# قانون لنز :

(( القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في موصل تحدث بحيث تعاكس التغير المسبب لها ))

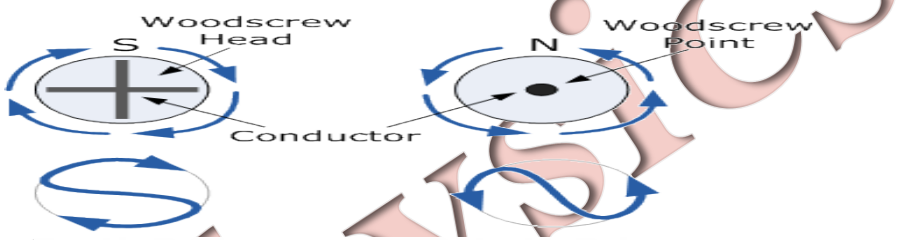
## شرح القانون :

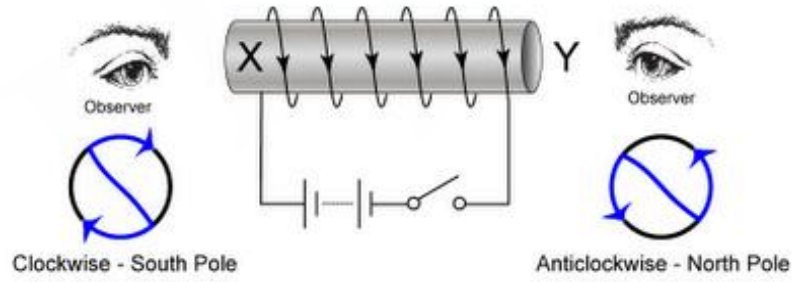
عند تولد تيار حثي تأثيري في الموصل فإنه وحسب مبدأ أورستد سوف يتولد حول هذا الموصل مجال مغناطيسي يعاكس التغير في المجال المغناطيسي الأصلي المسبب له .

- يمكن تحديد اتجاه المجال المغناطيسي باستخدام الطرق والقواعد التالية :

almanahj.com/om
Physics Genius

# ☼ طريقة تحديد اتجاه التيار الحثي في الموصل او الملف :




يتم بطريقتين :

1- قاعدة قبضة اليد اليمنى ، حيث أن الإبهام يشير إلى الشمال وبقية الأصابع تشير إلى اتجاه التيار التأثيري أو الحثي .

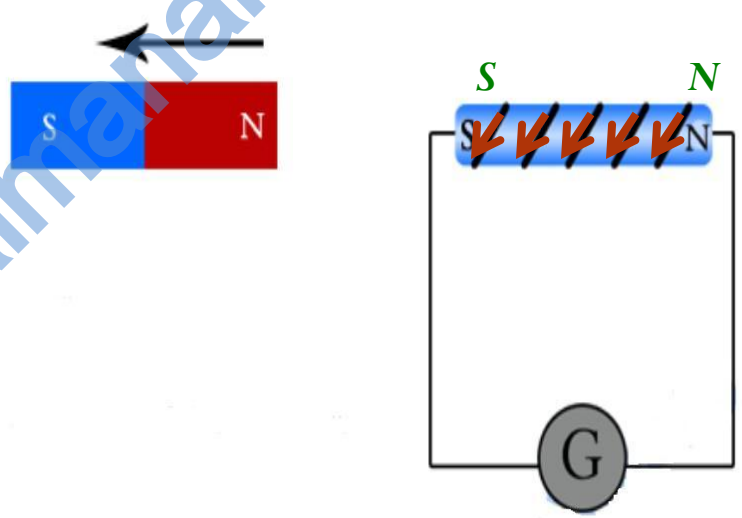
2- قاعدة N و S ، عند النظر إلى الملف دائري أو حلزوني من أحد الجانبين فإذا كان التيار يتحرك مع عقارب الساعة فإن الجهة التي ننظر منها هي الجنوب أما إذا كان التيار عكس عقارب الساعة فإن الجهة التي ننظر منها هي الشمال

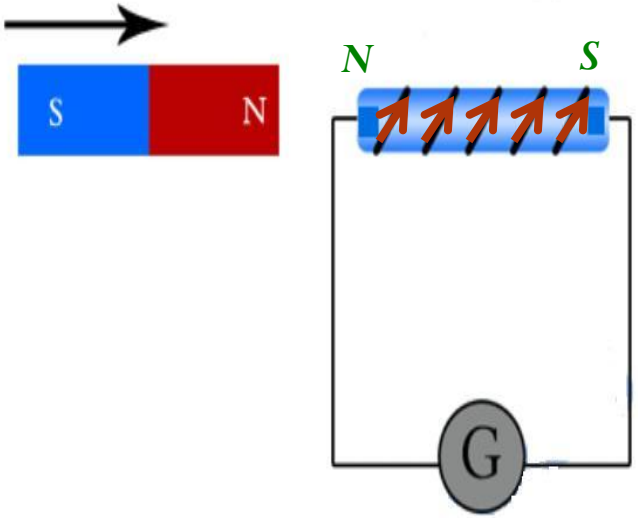
almanahj.com/om
Physics Genius

◄ **الفائدة منه :**

**ـ تحديد اتجاه التيار التأثيري المتكون في الموصل**

● **تجربة :**




almanahj.com/om

## ☼ الاستنتاج :

$$\varepsilon' = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

ويعرف هذا القانون بإسم :

قانون فاراداي – لنز في الحث الكهرومغناطيسي

◄ حيث أن الإشارة السالبة تدل على قانون لنز

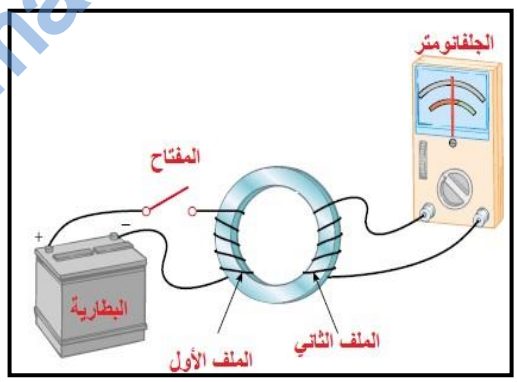
almanahj.com/om
Physics Genius

# الحث الكهرومغناطيسي

تعلمنا في الصف الحادي عشر أنه وحسب مبدأ أورستد اذا مر تيار كهربائي في موصل فإنه سوف يتولد مجالاً مغناطيسيا حول هذا الموصل تعتمد شدته على شدة التيار المار فيه وهنا قد تساءل العالم فاراداي : هل من الممكن للمجال المغناطيسي أن يولد تياراً كهربائياً ؟

وهنا تمكن العالم فاراداي من اجراء تجارب أوضحت أنه من الممكن الحصول على التيار الكهربائي من المجال المغناطيسي ، وكانت كما يلي :

## التجربة الأولى :




بالاعتماد على مبدأ اورستد فإنه عند إغلاق المفتاح فإن التيار المار في الملف الأول سوف يولد مجالا مغناطيسيا حوله حيث سيعمل الملف كأنه مغناطيس تحيط به خطوط المجال المغناطيسي هذه الخطوط ستخترق الملف الثاني الموضوع بالقرب منه وكانت الملاحظات كما يلي :

- ◄ عند لحظة اغلاق المفتاح : مؤشر الجلفانومتر ينحرف لحظيا ثم يعود للصفر.
- ◄ عند الاستمرار في الاغلاق : مؤشر الجلفانومتر يشير دائماً الى الصفر.
- ◄ عند لحظة فتح المفتاح : مؤشر الجلفانومتر ينحرف لحظيا ثم يعود للصفر.

## الاستنتاج :

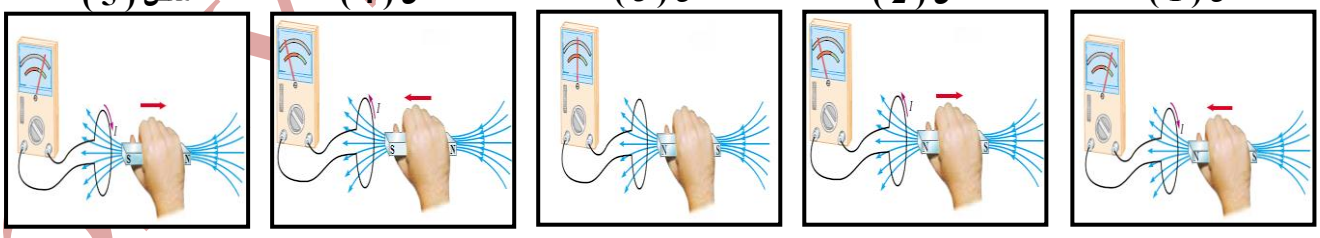
- يمكن للمجال المغناطيسي ان يولد تياراً كهربائياً ويسمى التيار الكهربائي الناتج بالتيار الحثي أو التأثيري وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحث الكهرومغناطيسي .
- عند لحظة اغلاق المفتاح فإن التيار الكهربائي المار في الملف الاول يبدأ بالنمو تدريجيا الى ان يصل الى اقصى قيمة له ثم يستقر عند الاستمرا في الاغلاق وفي هذه المرحله يتولد مجلا مغناطيسيا متغيرا حول الملف الاول تزداد شدته تدريجيا مع زيادة شدة التيار المار في المف الاول ثمم تثبت شدته مع ثبات شدة التيار وهنا فإن عدد خطوط المجال التي تخترق سطح المف الثاني تبدأ في الزيادة ايضا تدريجيا الى ان تثبت مع ثبات شدة المجال المغناطيسي ، أما عند فتح المفتاح فإن شدة التيار المار عبر الملف الاول تبدأ في التلاشي تدريجا الى ان ينعدم التيار تماما في الملف ويصاحب ذلك نقصان في شدة المجال المغناطيسي المتولد حول الملف الاول ونقصان عدد خطوط المجال التي تخترق سطح الملف الثاني ، وهنا نستنتج انه حتى يتولد تيار تأثيري في اللف الثاني فإنه لابد من ايكون عدد خطوط المجال التي تخترق سطح الملف الثاني متغيرا.

◄ تعريف ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي : هي ظاهرة تولد تيار تأثيري في موصل نتيجة تغير في عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق سطحه .

## التجربة الثانية :

♦ حركة مغناطيس بالنسبة لموصل ثابت وحركة موصل بالنسبة لمغناطيس ثابت .

شكل ( 1 ) شكل ( 2 ) شكل ( 3 ) شكل ( 4 ) شكل ( 5 )



◄ الملاحظات :

- عند تقريب القطب الشمالي للمغناطيس من الملف ( شكل 1 ) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه اليمين .
- عند ابعاد القطب الشمالي للمغناطيس من الملف ( شكل 2 ) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه اليسار.
- عند تقريب القطب الجنوبي للمغناطيس من الملف ( شكل 4 ) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه اليسار .
- عند ابعاد القطب الجنوبي للمغناطيس من الملف ( شكل 5 ) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه اليمين .
- عند وضع المغناطيس بالقرب من الملف ( شكل 3 ) دون تحريكه لا ينحرف مؤشر الجلفانومتر .
- عند زيادة سرعة ادخال او اخراج المغناطيس بالنسبة للملف يزداد انحراف مؤشر الجلفانومتر والعكس صحيح .
- عند اعادة نفس الخطوات السابقة مع تثبيت المغناطيس وتحريك الملف بالنسبة للمغناطيس نحصل على نفس النتائج .

◄ الاستنتاج :

- شرط تولد تيار حثي في الملف موضوع في منطقة مجال مغناطيسي هو :
  - أن يكون الملف يتصل بدائرة كهربائية مغلقة.
  - أن يخترق المجال المغناطيسي سطح الملف او ان يقطع الملف خطوط المجال .
  - حدوث تغير باستمرار لخطوط المجال التي تخترق سطح الملف .
  - حركة مغناطيس بالنسبة للملف او العكس .

almanahj.com/om
PHYSICSgeniUS

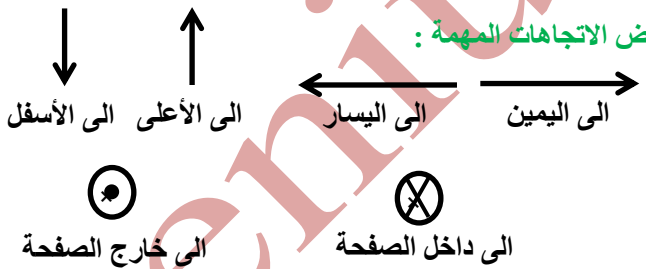
● يعتمد اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف او الموصل على كلا من :
ـــ اتجاه حركة الملف او المغناطيس .
ـــ اتجاه خطوط المجال المغناطيسي .

◄ تعيين اتجاه التيار التأثير في سلك يتحرك في منطقة المجال المغناطيسي :

يمكننا معرفة اتجاه حركة التيار الكهربائي التأثيري المتولد في موصل ( سلك ) يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم باستخدام قاعدة اليد اليمنى لفليمنج ، والتي تنص على أن :

عند وضع كلا من الابهام والسبابة والوسطى متعامدة على بعضها البعض فإن :
››› الابهام يشير دائما الى اتجاه حركة السلك .
››› السبابة يشير دائما الى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي .
››› الوسطى يشير دائما الى اتجاه التيار التأثيري في السلك .

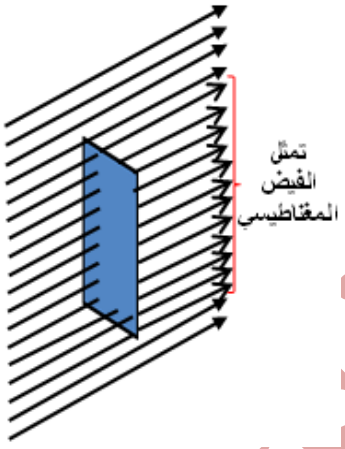
●بعض الاتجاهات المهمة :

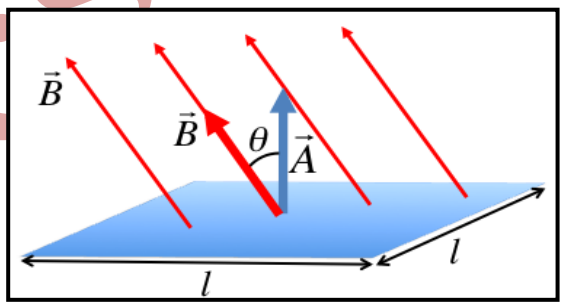



◄ تفسير فاراداي لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي :

♦العدد الكليلخطوط المجال التي تخترق مساحة سطح الملف تسمى بـ( الفيض المغناطيسي ) .
، ويرمز له بالرمز : $\Phi_B$

♦ حساب الفيض المغناطيسي:




$$\Phi_B = \vec{B}.\vec{A}$$
$$\Phi_B = B.A.cos\theta$$

حيث أن :
B تمثل شدة المجال المغناطيسي ( كثافة الفيض ) ووحدة قياسها هي T ( تسلا ).
A تمثل مساحة سطح الملف الذي تقطعه خطوط المجال وحدة قياسها $m^2$ ( المتر المربع ) .
θ تمثل الزاوية المحصورة بين اتجاه المساحة ( العمودي على سطح الملف ) واتجاه خطوط المجال .

● وحدة قياس الفيض :
الويبر ( Wb ) وتكافؤها التسلا . متر مربع ( $T.m^2$ )

● يعتمد الفيض المغناطيسي على :

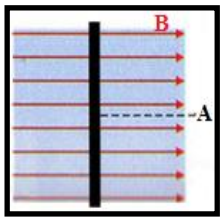
ـــ شدة المجال المغناطيسي .
ـــ مساحة سطح الملف .
ـــ الزاوية المحصورة بين اتجاه المساحة واتجاه خطوط المجال .

* ملاحظة :
عند ذكر الزاوية المحصورة بين مستوى الملف وخطوط المجال ولتكن α مثلاً فإن :
$\theta = 90 - \alpha$

almanahj.com/om
physics genius

almanahj.com/om

## ● تغير الفيض المغناطيسي لملف موصل يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم تبعاً لتغير موضعه :



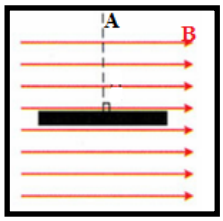

››› عندما يكون الملف عمودياً على خطوط المجال :

$\theta = 0^\circ$ او $180^\circ$ أو $360^\circ$

$cos\theta = \pm 1$

يكون الفيض أكبر ما يمكن

$\Phi_{max} = \pm B.A$



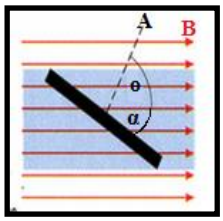

››› عندما يكون الملف موازياً لخطوط المجال :

$\theta = 90^\circ$ او $270^\circ$

$cos\theta = 0$

لا يوجد خطوط تقطع سطح الملف

$\Phi_B = 0$




››› عندما يصنع الملف زاوية مع خطوط المجال :

$90^\circ > \theta > 0$

$\Phi_{max} > \Phi_B > 0$

♦ عند حركة ملف بالنسبة لمغناطيس او العكس فإنه يتولد بين طرفي المولف فرق في الجهد يعمل على تحريك الشحنات وتكوين التيار التأثيري في الملف يسمى فرق الجهد المتولد بالقوة الدافعة الكهربائية التأثيرية ويرمز لها بالرمز $\varepsilon'$ .

● العوامل التي تعتمد عليها القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية :

○ تتناسب القوة الدافعة التأثيرية تناسباً طرديا مع التغير في الفيض المغناطيسي :

$$\varepsilon' \alpha \Delta\Phi_B$$

حيث أن :

$$\Delta\Phi_B = \Phi_f - \Phi_i$$

○ تتناسب القوة الدافعة التأثيرية تناسباً عكسياً مع الفترة الزمنية التي يحدث فيها التغير في الفيض المغناطيسي :

$$\varepsilon' \alpha \frac{1}{\Delta t}$$

○ تتناسب القوة الدافعة التأثيرية تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف :

$$\varepsilon' \alpha N$$

وبصورة عامة يمكن القول أن :

$$\varepsilon' \alpha N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

ومنها نستنتج أن :

$$\varepsilon' = (\text{ثابت التناسب}).N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

وباعتبار ان ثابت التناسب يساوي 1 تصبح العلاقة :

$$\varepsilon' = N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

وحدة قياس القوة الدافعة التأثيرية هي الفولت ( V ) ويكافؤها ( Wb/sec )

physics genius

# الحركة الموجية

تعلمنا فيما سبق الحركة الاهتزازية كحركة الجسم المرتبط بنابض زنبركي وحركة البندول البسيط وعرفنا بأنها اهتزاز الجسم حول موضع اتزانه في اتجاهين متعاكسين وفي فترات زمنية متساوية ، وإذا حدث وانتقلت هذه الحركة الاهتزازية من نقطة لأخرى فتسمى بالحركة الموجية .

وبالتالي نستطيع تعريف الحركة الموجية بأنها (( انتقال الحركة الاهتزازية من نقطة إلى أخرى بعيداً عن مصدر الاهتزاز )) وأفضل مثال على ذلك هو اهتزاز الوتر والموجات المائية المتكونة عند إلقاء حجر في بركة ماء راكدة ... إلخ.

تقسم الحركة الموجية إلى نوعين وذلك حسب مصدرها وهما :

1- الموجات الميكانيكية .
2- الموجات الكهرومغناطيسية .

وسنتطرق في هذا الفصل إلى دراسة الموجات الميكانيكية .

## ◄ الموجات الميكانيكية :

● التعريف :

الموجة الميكانيكية هي موجات تنشأ من حدوث اضطراب أو اهتزاز لجزيئات وسط ما وانتقال هذا الاضطراب بين جزيئات هذا الوسط بعيداً عن مصدر الاضطراب بنفس تردد المصدر .

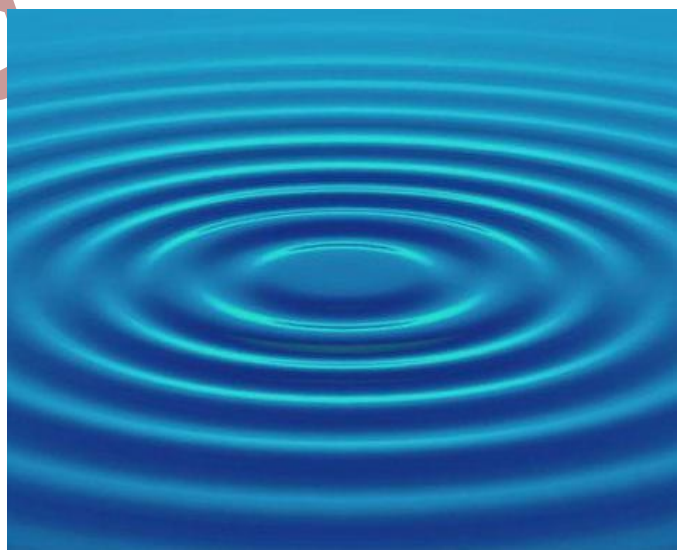
● شرط الحدوث :

حتى نحصل على موجة ميكانيكية لابد من توفر النقاط التالية :

■ وجود مصدر للاضطراب أو الاهتزاز .
■ وجود وسط مادي مرن ينقل هذا الاضطراب .

وبالتالي فإنه عند حدوث اضطراب ما بواسطة مصدر الاضطراب يعمل على جعل جزيئات الوسط تهتز بنفس اهتزاز المصدر وينتقل هذا الاهتزاز بين جزيئات الوسط على شكل حركة موجية .

فمثلا عند إلقاء حجر على سطح بركة ماء راكدة يعمل الحجر على إزاحة جزيئات الماء مسافة عن موضع اتزانها وأثناء عودة الجزيئات إلى موضع اتزانها وبسبب القصور الذاتي فإن الجزئيات ستهتز حول موضع الاتزان ينتقل هذا الاهتزاز بين جزيئات الماء فتتشكل الموجات المائية حول الحجر على هيئة حلقات دائرية تنتشر في جميع الاتجاهات. وبالتالي هنا نسمي الحجر بأنه مصدر الاهتزاز أو الاضطراب والماء هو الوسط الناقل للاضطراب .



almanahi.com/om
physics genius

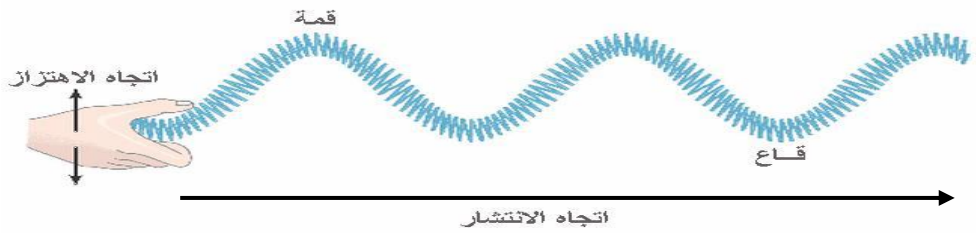
## ◄ أنواع الموجات الميكانيكية :

تقسم الموجات الميكانيكية حسب العلاقة بين اتجاه انتشارها وبين اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط بالنسبة لموضع اتزانها إلى نوعين هما :

### ● موجات مستعرضة :

هي تلك الموجات التي يكون اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط فيها عمودياً على اتجاه انتشارها وتتكون من قمم وقيعان .

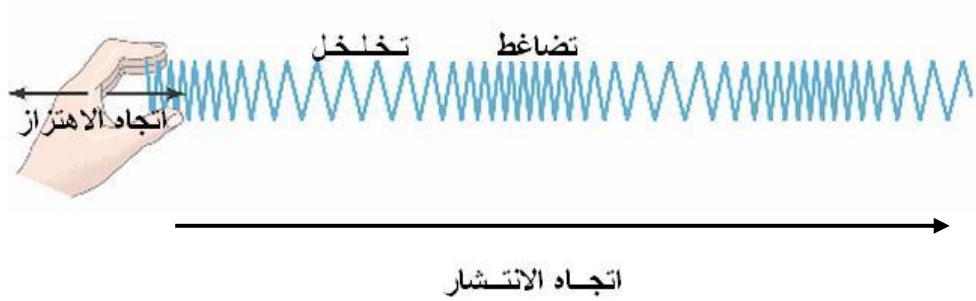
- مثال : الموجات المتكونة على الوتر ، الموجات المائية .




### ● موجات طولية :

هي تلك الموجات التي يكون اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط فيها على طول ( موازي ) اتجاه انتشارها وتتكون من تضاغطات وتخلخلات .

- مثال : الموجات المتكونة على النابض الزنبركي ، الموجات الصوتية .




## ◄ خصائص الحركة الموجية :

أي حركة موجية سواءً كانت ميكانيكية أو كهرومغناطيسية فلابد من تمتلك الخصائص التالية :

### ● الإزاحة :

هي بعد الجسم المهتز عن موضع الاتزان عند لحظة معينة ، ويرمز لها بالرمز ( $y$ ) ، وتقاس بوحدة المتر ( $m$ ) .

### ● سعة الموجة :

هي أقصى إزاحة للجسم المهتز أو أقصى بعد يصل إليه الجسم المهتز على جانبي موضع الاتزان ، ويرمز لها بالرمز ( $A$ ) ، وتقاس بوحدة المتر ( $m$ ) .

### ● مسافة الانتشار :

هي المسافة التي تقطعها الموجة بعيداً عن مصدرها ، ويرمز لها بالرمز ( $x$ ) ، وتقاس بوحدة المتر ( $m$ )

### ● الطور :

الصفة التي تصف موضع واتجاه حركة الجسم المهتز عند لحظة معينة .

almanahj.com/om

almanahj.com/om

● **الطول الموجي :**

هو البعد بين أي نقطتين متفقتين في الطور أو المسافة التي تقطعها الموجة والتي تكافئ اهتزازة كاملة بالنسبة للمصدر أو هو طول الموجة الواحدة ، ويرمز له بالرمز ( $\lambda$ ) ، ويقاس بوحدة المتر ( $m$ ).

● **زمن الانتشار :**

هو الزمن الذي تحتاجه الموجة لقطع مسافة معينة ، ويرمز له بالرمز ( $t$ ) ، و يقاس بوحدة الثانية ( $s$ ).

● **الزمن الدوري :**

زمن الموجة الواحدة أو هو الزمن الذي يحتاجه المصدر لإنتاج موجه كاملة ، ويرمز له بالرمز ( $T$ ) ، ويقاس بوحدة الثانية ( $s$ ) .

● **العلاقة بين مسافة الانتشار والطول الموجي :**

$$\lambda = \frac{x}{n} \quad \text{أو} \quad x = n.\lambda$$

حيث أن :

$n$ تمثل عدد الموجات ( الأطوال الموجية ) التي تمر عبر نقطة معينة .

● **العلاقة بين زمن الانتشار والزمن الدوري :**

$$T = \frac{t}{n} \quad \text{أو} \quad t = n.T$$

● **تردد الموجات :**

هو عدد الموجات ( الأطوال الموجية ) التي تمر عبر نقطة معينة في الوسط خلال الثانية الواحدة ، ويرمز له بالرمز ( $f$ ) ، ويقاس بوحدة الهيرتز ( $Hz$ ) أو 1 \ الثانية ( $s^{-1}$ ) ، ويمكن إيجاد التردد من العلاقة :

$$f = \frac{n}{t}$$

● **العلاقة بين تردد الموجات والزمن الدوري :**

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{أو} \quad f = \frac{1}{T}$$

● **سرعة الانتشار :**

هي المسافة التي تقطعها الموجة بالنسبة لوحدة الزمن ، ويرمز لها بالرمز ( $v$ ) ، وتقاس بوحدة المتر\الثانية($m/s$).

حيث أن :

$$v = \frac{x}{t}$$

بالتعويض عن مقدار كلاً من ( $x$ ) و ( $t$ ) :

$$v = \frac{n.\lambda}{n.T}$$

ومنها نحصل على :

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

physics genius

♦ ملاحظة مهمة :

سرعة انتشار الموجة في الوسط الواحد ثابتة ولا تتغير بتغير أيٍّ من التردد أو الطول الموجي وتعتمد على خصائص الوسط الناقل أي أنها تتغير بتغير خصائص الوسط .

وعندئذٍ نستنتج أن :

$$\lambda . f = \text{مقدار ثابت}$$

$$\lambda = (\text{مقدار ثابت}) . \frac{1}{f}$$

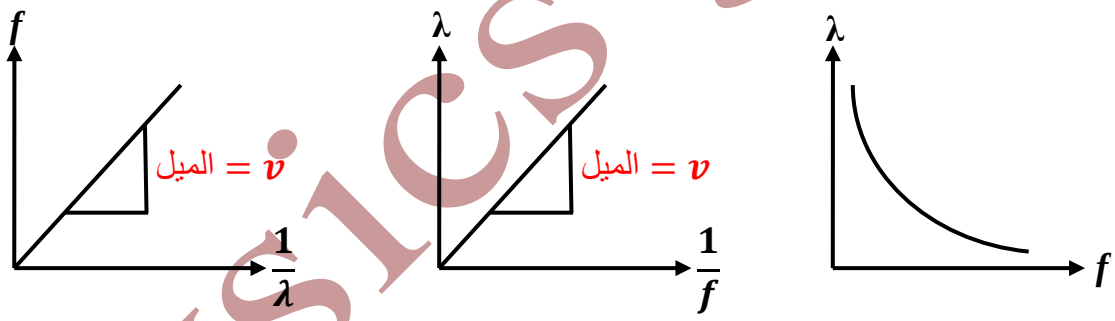
أي أن :

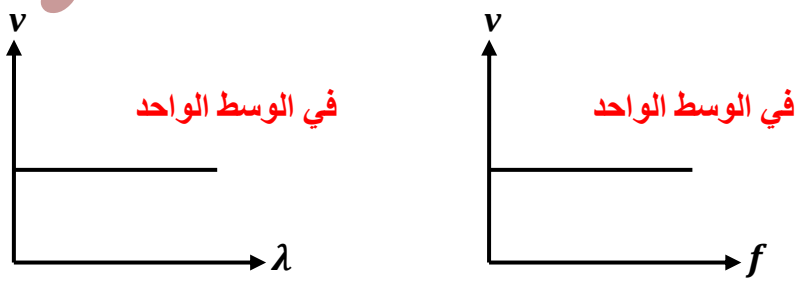
$$\lambda \; \alpha \; \frac{1}{f}$$

ـ العلاقة بين التردد والطول الموجي للموجة في الوسط الواحد عكسية ( بزيادة التردد يقل الطول الموجي والعكس صحيح ) ، ومنها نستطيع القول أن :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{f_2}{f_1}$$

* التمثيل البياني للعلاقة :



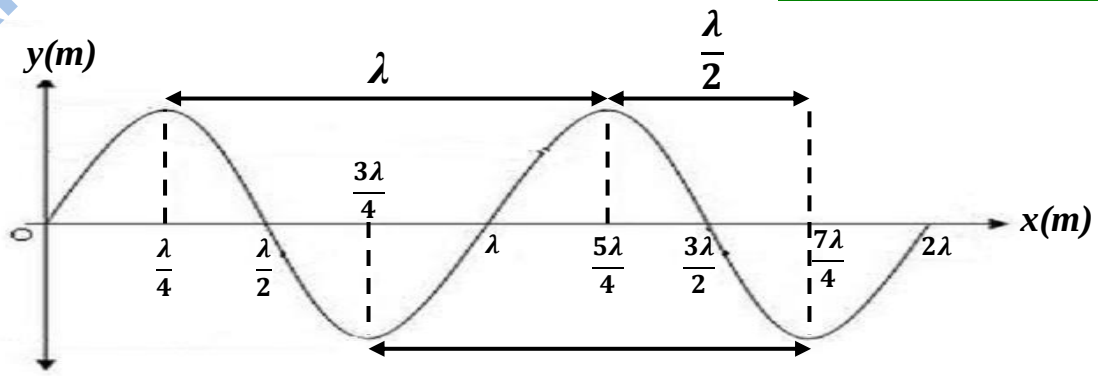




almanahj.com/om
physics genius

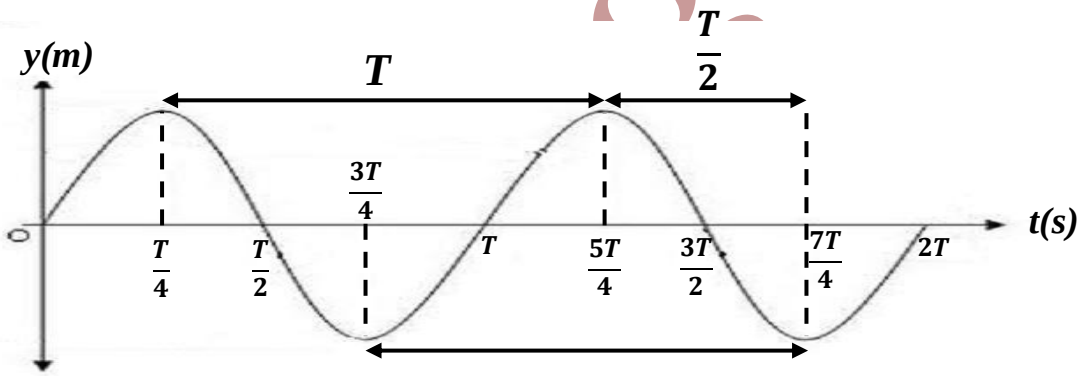
## ◄ التمثيل البياني للحركة الموجية :

أي حركة موجية سواءً كانت موجات طولية أو مستعرضة فإنه يتم تمثيلها بيانياً كما يلي :

● منحنى ( الإزاحة – مسافة الانتشار ) :

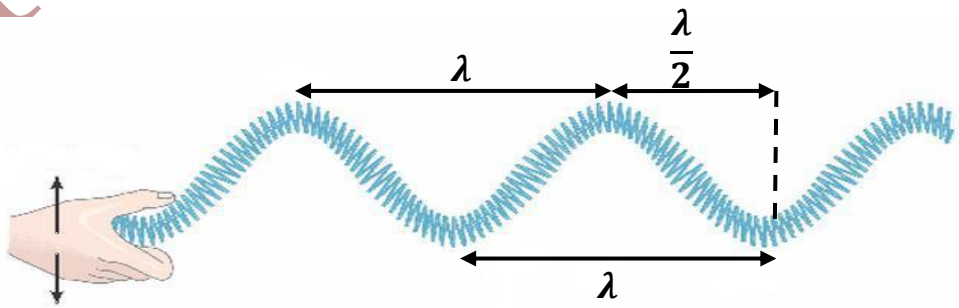



● منحنى ( الإزاحة – زمن الانتشار ) :




## ◄ الطول الموجي في الموجات المستعرضة :

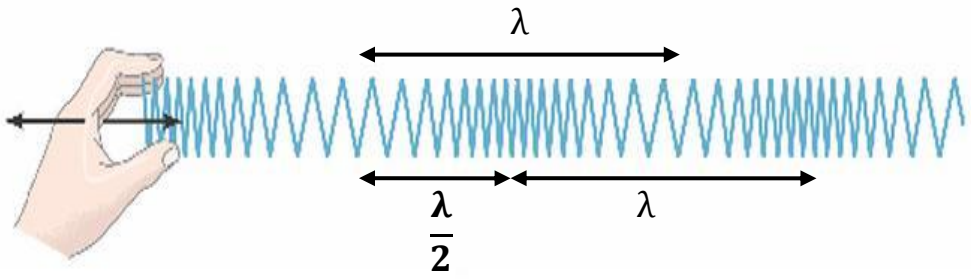
* المسافة بين قمتين متتاليتين = $\lambda$
* المسافة بين قاعين متتاليين = $\lambda$
* المسافة بين قمة وقاع متتالين = $\frac{\lambda}{2}$




almanahj.com/om
phys

## ◄ الطول الموجي في الموجات الطولـية :

* المسافة بين مركزي تضاغطين متتاليتين = $\lambda$
* المسافة بين مركزي تخلخلين متتاليين = $\lambda$
* المسافة بين مركز تضاغط ومركز تخلخل متتالين = $\frac{\lambda}{2}$




## ◄ سرعة انتشار الموجة في الوتر المشدود :

تنتشر الموجات الميكانيكية في الوتر المشدود بصورة أفضل عنه في الوتر غير المشدود ، ويمكن إيجاد سرعة انتشار موجة ما في وتر طوله ( $L$ ) وكتلته ( $m$ ) ويتعرض لقوة شد مقدارها ( $T_f$ ) من خلال العلاقة :

$$v = \sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$

حيث أن :

$\mu$ هي الكثافة الطولية للوتر أو كتلة وحدة الأطوال للوتر وهي ثابتة للوتر الواحد وتتغير بتغير نوع الوتر وتساوي :

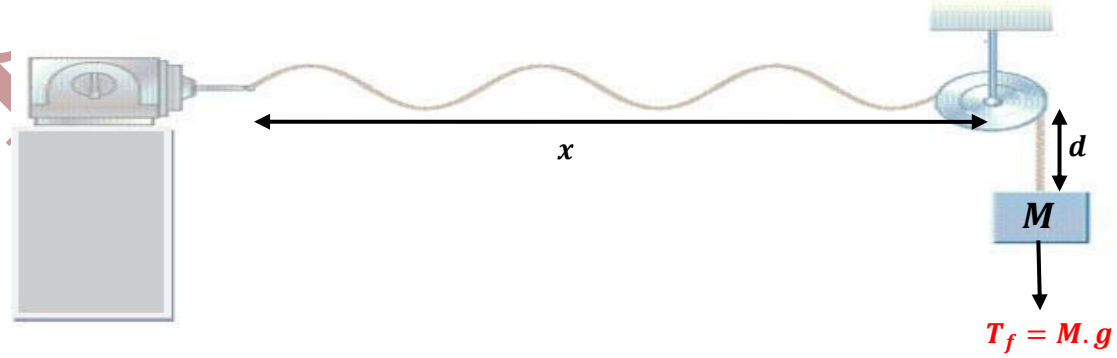
$$\mu = \frac{\text{كتلة الوتر}}{\text{طول الوتر}} = \frac{m}{L}$$

وحدة قياسها هي كيلوجرام \ المتر ( $kg / m$ )

وبالتالي يمكن القول أيضاً :

$$v = \sqrt{\frac{T_f . L}{m}}$$

* الشكل أدناه يوضح مثالاً على تعرض وترٍ ما لقوة شد :




almanahj.com/om
physics

● **في هذا الشكل**

**قوة الشد تساوي :**

$$T_f = M.g$$

**حيث أن :**

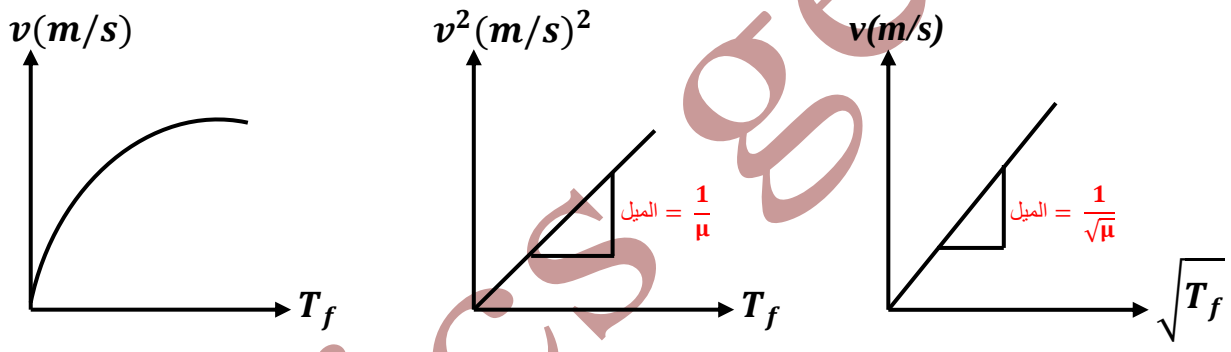
$M$ **تمثل كتلة الثقل المعلق في نهاية الوتر .**

$g$ **تمثل عجلة الجاذبية الأرضية (** $9.8\ m/s^2$ **) .**

**طول الوتر (** $L$ **) =** $x$ **( مسافة انتشار الموجة ) +** $d$ **( بعد الثقل عن البكرة )**

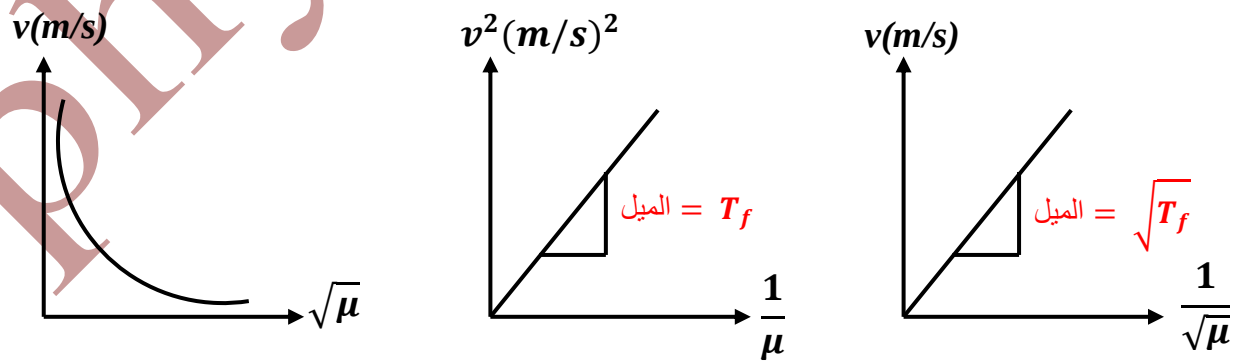
*** العلاقة بين سرعة الانتشار (** $v$ **) وقوة الشد (** $T_f$ **) :**

$$v \propto \sqrt{T_f}$$



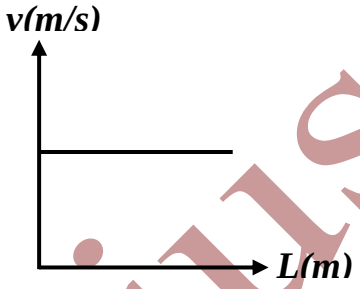

*** العلاقة بين سرعة الانتشار (** $v$ **) وكتلة وحدة الأطوال (** $\mu$ **) :**

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

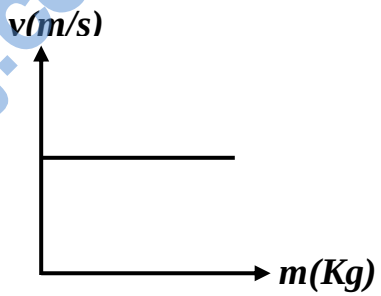



almanahj.com/om
physics genius

* العلاقة بين سرعة الانتشار ( $v$ ) وطول الوتر ( $L$ ) الواحد :




* العلاقة بين سرعة الانتشار ( $v$ ) وكتلة وحدة الأطوال ( $\mu$ ) للوتر الواحد :




## ◄ الموجات الميكانيكية ونقل الطاقة :

عند إنشاء اهتزازات على أحد طرفي وتر ما فإننا نشاهد انتقال هذه الحركة الاهتزازية بين جزيئات هذا الوتر لتصل إلى نهايته الأخرى دون أن يحدث انتقال لجزيئات الوتر ، وبهذا ندرك أن الحركة الموجية لا تعمل على نقل جزيئات الوتر وإنما الطاقة الحركية ( الاهتزازية ) التي اكتسبتها جزيئات الوتر المرتبطة بمصدر الاهتزاز قد انتقلت بين الجزيئات وان مقدار الطاقة ( $E$ ) التي انتقلت بين الجزيئات يعتمد على مقدار سعة الموجة ( $A$ ) الناقلة لها حيث أن الطاقة المنقولة بواسطة الحركة الموجية تتناسب طردياً مع مربع سعة الموجة :

$$E \propto A^2$$

وعند تحويل هذه العلاقة إلى علاقة يساوي ، تصبح المعادلة :

$$E = (\text{ثابت التناسب}) . A^2$$

وباعتبار أن ثابت التناسب يساوي الواحد ، فإنه يمكن القول أن :

$$E = A^2$$

وبالتالي فإن طاقة الموجة لا تعتمد على أيٍّ من :

- الطول الموجي للموجة .
- تردد الموجة .
- سرعة انتشار الموجة .

ومن هنا فإنه لو افترضنا أن موجةً ما سعتها ( $2\ m$ ) في وسط ما ، فإن الطاقة المنقولة بواسطة هذه الموجة تساوي :

$$E = A^2 = (2)^2 = 4\ J$$

نظراً لأن الحركة الموجية تتعرض لبعض العوامل الخارجية كالاحتكاك مثلاً فإن سعة الموجة لا تظل ثابتة وإنما تتضاءل قيمتها تدريجياً وهذا يعرف بالمضاءلة ، هذه العملية تجعل من العلاقة السابقة غير قابلة للتطبيق عند مسافات بعيدة عن مصدر الحركة الموجية بينما عند المسافات القريبة يمكن تطبيق هذه العلاقة كون أن سعة الموجة ثابتة تقريباً عند هذه المسافات .

## ◄ الموجات المسافرة :

عند انتقال الحركة الموجية خلال وسط ما دون أن يقابلها أي عائق يغير من اتجاه حركتها أو سرعتها أو غيرها من الخصائص فإنه يطلق عليها بالموجات المسافرة .

almanahj.com/om
physics genius

## ◄ إنعكاس الموجات :

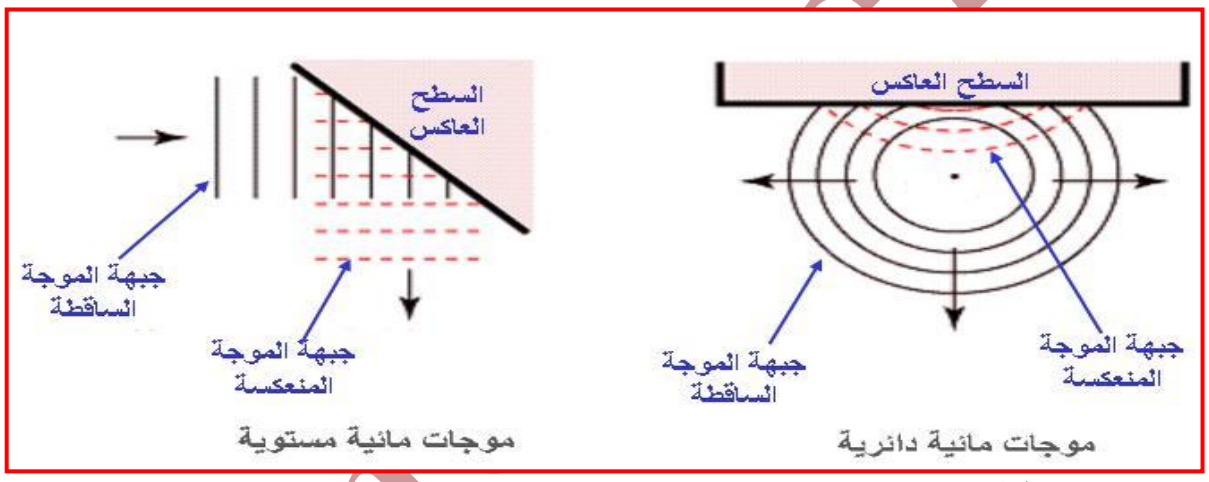
* **تعريف الإنعكاس :**

**هو ارتداد الموجات المسافرة في مسارها الأصلي عند اصطدامها بحاجز مادي .**

* **خصائص الإنعكاس :**

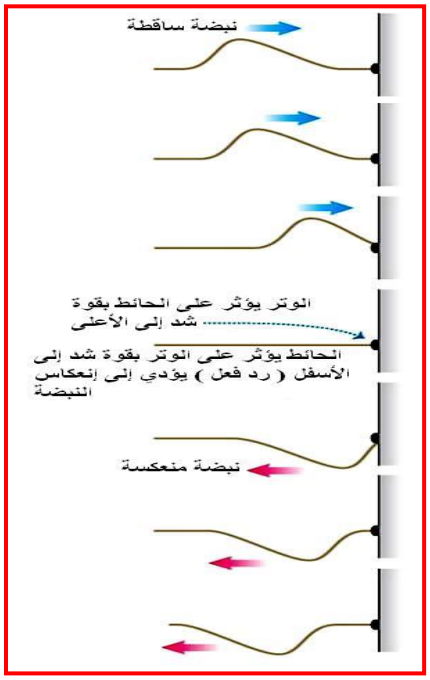
- يحدث في وسط واحد .
- لا يعمل على تغيير الخصائص الموجية للموجات ( التردد ، الطول الموجي ، سرعة الانتشار ..... إلخ )
- يغير من اتجاه حركة الموجة .
- يحدث الانعكاس لأجزاء الموجة التي تصل أولا إلى الحاجز ثم يتبعه الأجزاء الأخرى .
- تسمى الموجات قبل اصطدامها بالحاجز بالموجات الساقطة وبعد ارتدادها عن الحاجز بالموجات المنعكسة
- يسمى الحاجز بالسطح العاكس .

* **إنعكاس الموجات المائية :**

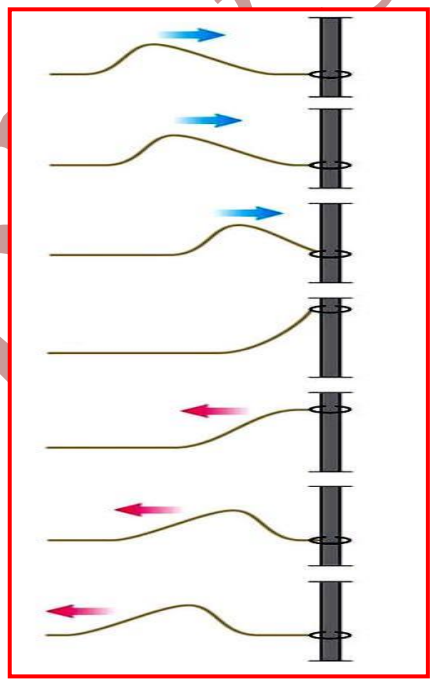



* **إنعكاس الموجات المتكونة في وتر :**

● **وتر أحد طرفيه ثابت :**



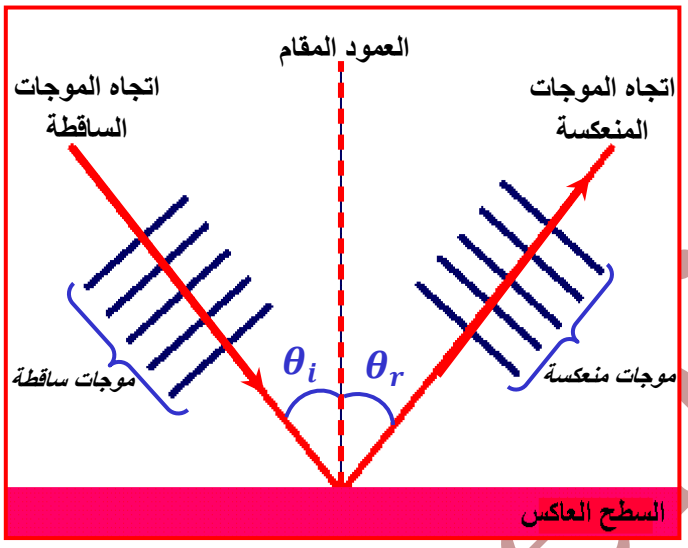

● **وتر أحد طرفيه حر الحركة :**



almanahj.com/om
physics genius

* قوانين الإنعكاس :

♦ القانون الأول للإنعكاس :




$\theta_i$ زاوية السقوط وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات الساقطة والعمود المقام .
$\theta_r$ زاوية الانعكاس وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنعكسة والعمود المقام .

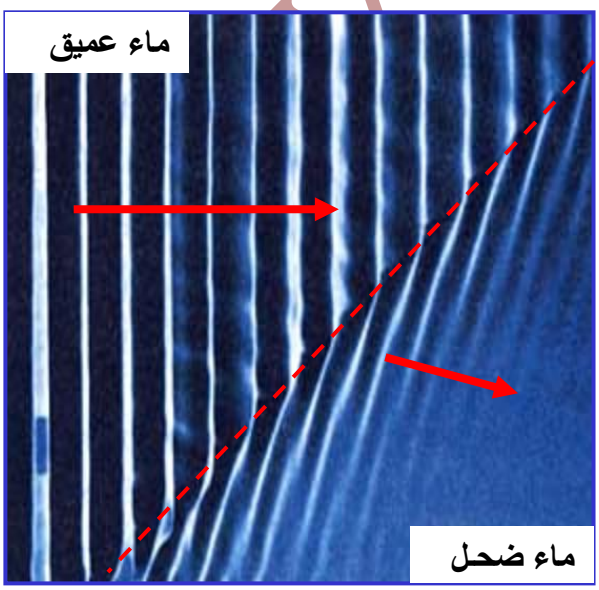
☜ نص القانون : (( زاوية السقوط = زاوية الانعكاس ))

$$\theta_i = \theta_r$$

♦ القانون الثاني للإنعكاس :

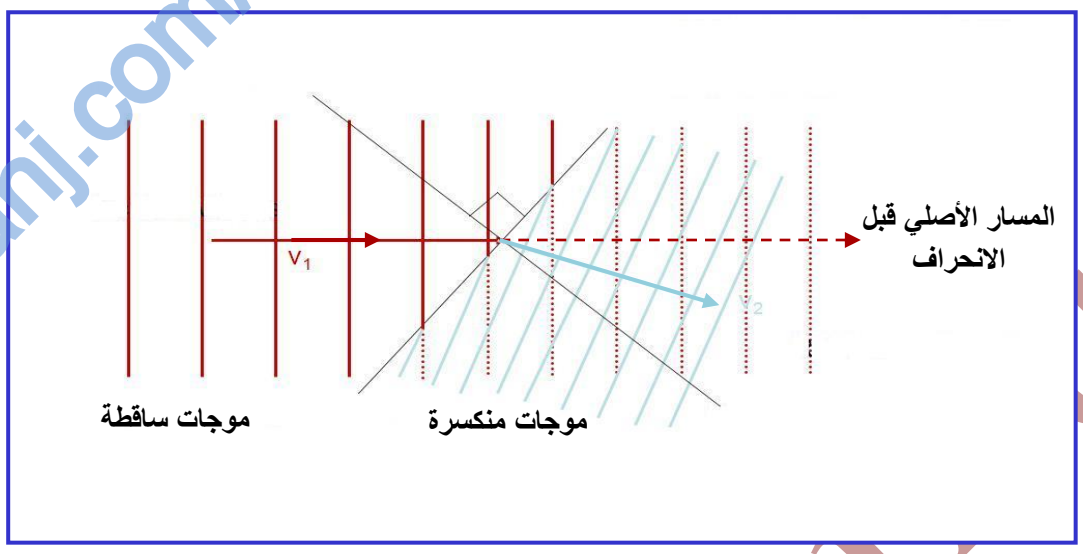
☜ نص القانون : (( اتجاه الموجة الساقطة ، واتجاه الموجة المنعكسة ، والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس جميعها تقع في مستوى واحد ، عمودي على السطح العاكس ))

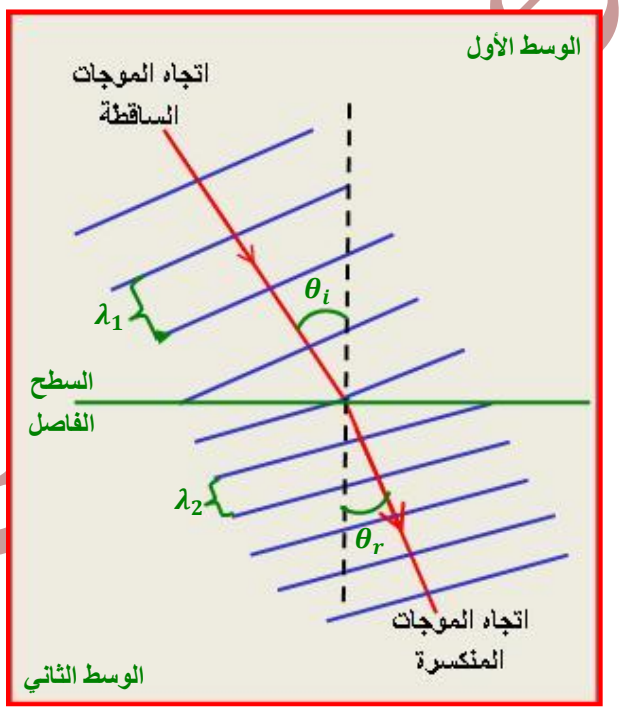
◄ <u>إنكسار الموجات :</u>




* تعريف الإنكسار :
هو انحراف الموجات عن مسارها الأصلي عند انتقالها بين وسطين مختلفين بسبب الاختلاف في سرعة الموجات .
- مثال : إنتقال الموجات المائية من الماء الضحل إلى الماء العميق أو العكس

* خصائص الإنكسار :
- يحدث بين وسطين .
- يغير من اتجاه حركة الموجة .
- السبب الرئيسي في حدوث الانكسار هو التغير في سرعة الموجة .
- تسمى الموجات قبل انتقالها من الوسط الأول إلى الوسط الثاني بالموجات الساقطة وبعد انتقالها بالموجات المنكسرة
- يفصل بين الوسطين خط وهمي يسمى بالسطح الفاصل .

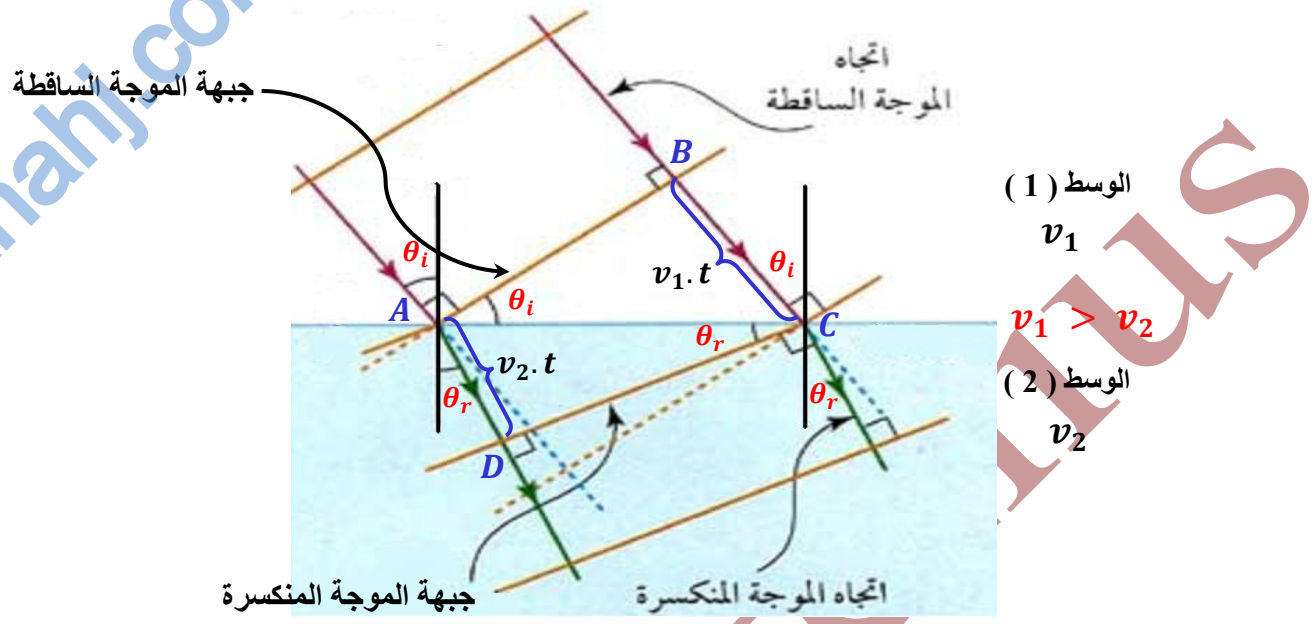



$\theta_i$ زاوية السقوط وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات الساقطة والعمود المقام .
$\theta_r$ زاوية الانكسار وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنكسرة والعمود المقام .

almanahj.com/om
physicals

* قوانين الإنكسار :




في الشكل أعلاه :

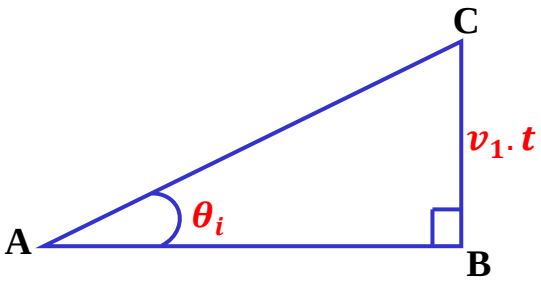
نفترض أن جبهة الموجة الساقطة ( $\overline{AB}$ ) تنتقل من الوسط ( 1 ) إلى الوسط ( 2 ) وكانت سرعتها في الوسط ( 1 ) هي ( $v_1$ ) أكبر من سرعتها في الوسط الثاني ( $v_2$ ) ، وكانت النقطة ( A ) في الجبهة عند السطح الفاصل بين الوسطين أما النقطة ( B ) كانت على بعد ( $\overline{BC}$ ) منه .

عندها تكون النقطة ( A ) تتحرك في الوسط الثاني وبالتالي فإن سرعتها فيه تكون ( $v_2$ ) أما النقطة ( B ) فهي تتحرك في الوسط الأول وسرعتها فيه تكون ( $v_1$ ) أي أن سرعة النقطة ( B ) سوف تكون أكبر من سرعة النقطة ( A ) .

وإذا افترضنا أنه عند فترة زمنية ( t ) تكون النقطة ( B ) قد قطعت مسافة قدرها ( $\overline{BC}$ ) وعند نفس الفترة الزمنية تكون النقطة ( A ) قد قطعت مسافة قدرها ( $\overline{AD}$ ) ونظراً لأن سرعة النقطة ( B ) أكبر من سرعة النقطة ( A ) فإن المسافة ($\overline{BC}$) سوف تكون أكبر من المسافة ( $\overline{AD}$ ) وبالتالي فإن الجبهة ( $\overline{AB}$ ) سوف تعاني انحرافاً في مسارها ( إنكسار ) وتسلك مسار الجبهة ( $\overline{CD}$ ) .

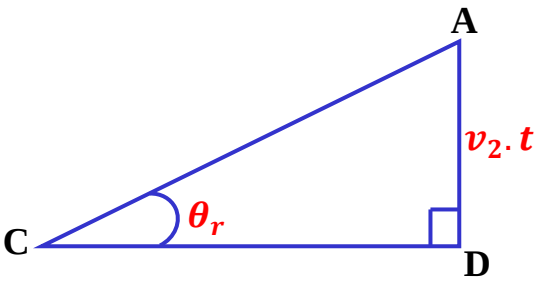
وبما أن النقطة ( B ) تتحرك بسرعة مقدارها ( $v_1$ ) فإن المسافة ( $\overline{BC}$ ) التي تقطعها خلال فترة زمنية ( t ) تساوي ($v_1.t$) وكذلك أيضاً بما أن النقطة ( A ) تتحرك بسرعة مقدارها ( $v_2$ ) فإن المسافة ( $\overline{AD}$ ) التي تقطعها خلال فترة زمنية ( t ) تساوي ($v_2.t$) .

وإذا ما نظرنا للشكل أعلاه سنجد أن الجبهة ( $\overline{AB}$ ) تشكل مثلثاً قائم الزاوية مع السطح الفاصل ( $\overline{AC}$ ) كما يلي :




almanahj.com/om
physics

وكذلك سنجد أن الجبهة ( $\overline{CD}$ ) تشكل مثلثاً قائم الزاوية مع السطح الفاصل ( $\overline{AC}$ ) كما يلي :




وبمقارنة المثلثان مع بعضهما سنجد أنهما :

- يشتركان في الوتر .
- الضلع المقابل لزاوية رأس كل منهما معلوم المقدار.

وبالتالي يمكن ربط وتر المثلثان ببعضهما من خلال إيجاد جيب الزاوية ( $\sin\theta$ ) لكل منهما كما يلي:

* المثلث الأول :

$$\sin\theta_i = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{v_1.t}{\overline{AC}}$$

وبالتالي فإن :

$$\overline{AC} = \frac{v_1.t}{\sin\theta_i}$$

* المثلث الثاني :

$$\sin\theta_r = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{v_2.t}{\overline{AC}}$$

وبالتالي فإن :

$$\overline{AC} = \frac{v_2.t}{\sin\theta_r}$$

وعندها نستطيع القول أن:

$$\frac{v_1.t}{\sin\theta_i} = \frac{v_2.t}{\sin\theta_r}$$

ومنها نحصل على :

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

وبما أن :

$v_1$ سرعة الموجة في الوسط الأول هي مقدار ثابت في الوسط .

$v_2$ سرعة الموجة في الوسط الثاني هي مقدار ثابت في الوسط .

فإن :

$$\frac{v_1}{v_2} = \text{مقدار ثابت}$$

أي أن :

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \text{مقدار ثابت}$$

يطلق على المقدار الثابت بإسم ( معامل الانكسار النسبي بين الوسطين ) ويرمز له بالرمز ( $n_{12}$ ) .

almanahj.com/om
physics genius

وبالتالي نستنتج أن :

$$n_{12} = \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

ويعرف هذا القانون بـ (( القانون الأول للانكسار )) وينص على أن : ( عند انتقال الموجات من وسط إلى آخر فإنها تعاني انكساراً بحيث تكون النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني تساوي مقداراً ثابتاً يسمى معامل الانكسار النسبي بين الوسطين ) .

وبما أن سرعة انتشار الموجة يمكن إيجادها من العلاقة :

$$v = \lambda . f$$

وبما أن مصدر الموجات الساقطة والموجات المنكسرة هو نفس المصدر فإن:

تردد الموجات الساقطة = تردد الموجات المنكسرة

أي أن الانكسار لا يؤثر على تردد الموجات فيضل ثابت ، إلا أن الطول الموجي يتغير بتغير السرعة حيث أن :

$$v \; \alpha \; \lambda$$

وبالتالي فإن :

سرعة انتشار الموجات في الوسط الأول تساوي :

$$v_1 = \lambda_1 . f$$

سرعة انتشار الموجات في الوسط الثاني تساوي :

$$v_2 = \lambda_2 . f$$

وعندها سنحصل على :

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

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

وبالتعويض في القانون الأول للانكسار نحصل على :

$$n_{12} = \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

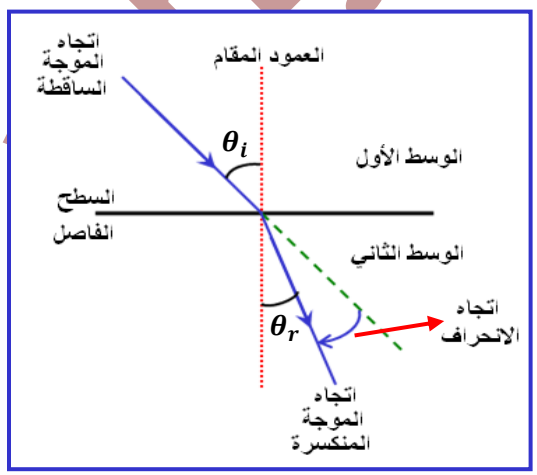
* استنتاج :

☜ إذا كان : $v_1 > v_2$ فإن :

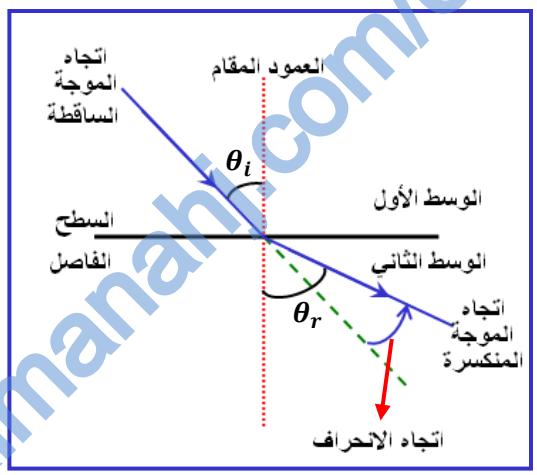
$$\lambda_1 > \lambda_2$$

$$\theta_i > \theta_r$$

(( الموجات ستنحرف عن مسارها الأصلي مقتربة من العمود المقام ))




almanahj.com/om
physics genius

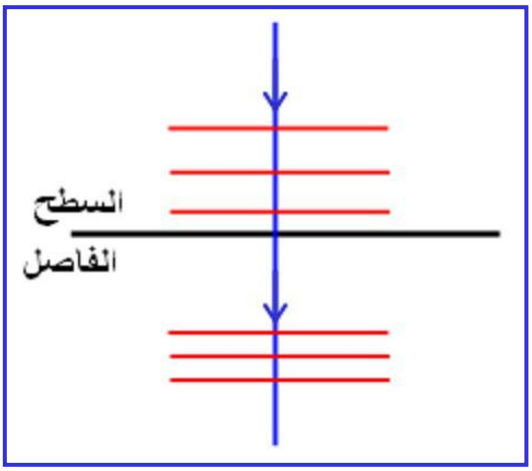



☜ إذا كان : $v_1 < v_2$ فإن :

$$\lambda_1 < \lambda_2$$

$$\theta_i < \theta_r$$

(( الموجات ستنحرف عن مسارها الأصلي مبتعدة عن العمود المقام ))




☜ إذا سقطت الموجة عمودياً على السطح الفاصل وكان :

$$v_1 \neq v_2$$

فإن :

$$\lambda_1 \neq \lambda_2$$

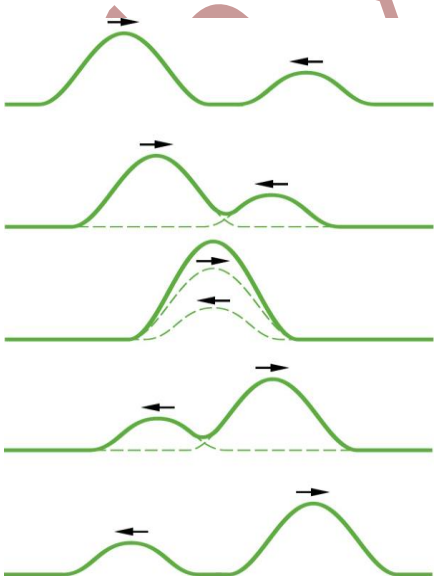
$$\theta_i = 0$$
$$\theta_r = 0$$

(( الموجات سوف تنتقل بين الوسطين دون أن تعاني أي انحراف ))

♦ القانون الثاني للانكسار :

☜ نص القانون : (( اتجاه الموجة الساقطة ، واتجاه الموجة المنكسرة ، والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل جميعها تقع في مستوى واحد ، عمودي على السطح الفاصل ))

◄ تراكب الموجات :



الشكل المقابل، يوضح إلتقاء نبضتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين على وتر، ويتضح من الشكل أن كلا النبضتين سرت في الوتر دون أن تؤثر إحداهما على الأخرى وكل نبضة حافظت على اتجاه حركتها وكذلك سعتها وسرعتها وغيرها من الخصائص الموجية .

تعرف هذه الظاهرة بإسم ظاهرة (( تراكب الموجات )) وهي ظاهرة تحدث عند إلتقاء قطارين أو أكثر من الموجات عند نقطة معينة في الوسط وعبورها بعضها بعضاً دون أن يطرأ أي تغيير في خصائصها الموجية .

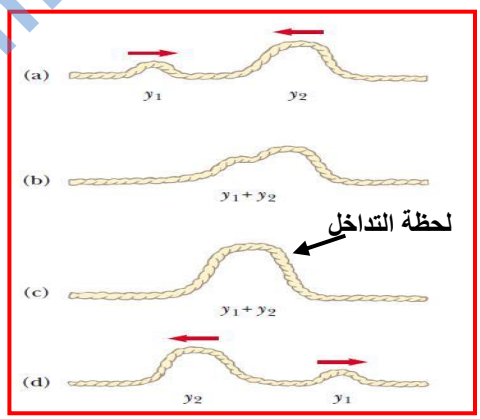
وهذا ما يفسر لنا لماذا نستطيع تمييز أصوات المتحدثين معاً في نفس الغرفة ، وذلك لأن الموجات الصوتية الناتجة عن المتحدثين تنتقل إلينا دون أن تؤثر على بعضها البعض بسبب هذه الظاهرة .

almanahj.com/om
physics genius

## ◄ تداخل الموجات :

إذا ما رجعنا للشكل السابق في ظاهرة تراكب الموجات ، سنجد أنه عند نقطة إلتقاء النبضتين مع بعضهما البعض تندمج النبضتين وتبدو وكأنهما نبضة واحدة للحظة زمنية سعتها تساوي محصلة سعة النبضتين ثم تعود كل نبضة إلى شكلها الأصلي وتواصلان سيرهما .

تلك اللحظة التي حدث عندها اندماج النبضتين يطلق عليها ( التداخل ) ويعرف بأنه : ( ظاهرة إلتقاء قطارين أو أكثر من الموجات في نفس المسار ونفس الوسط وتراكبهما مما ينشأ عنه ظهور مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة ومناطق أخرى تقل فيها سعة الموجة المحصلة ) .

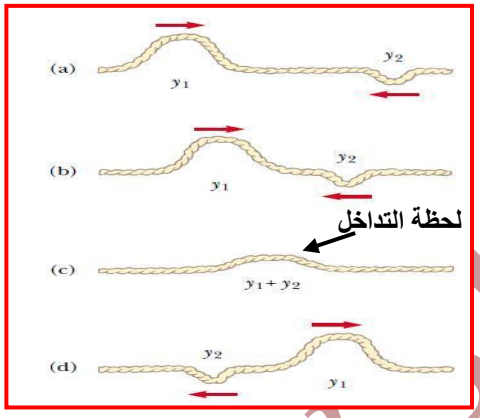



### * أنواع التداخل :

● **التداخل البناء :** وهو التداخل الذي ينتج عنه مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة ، مثل إلتقاء :

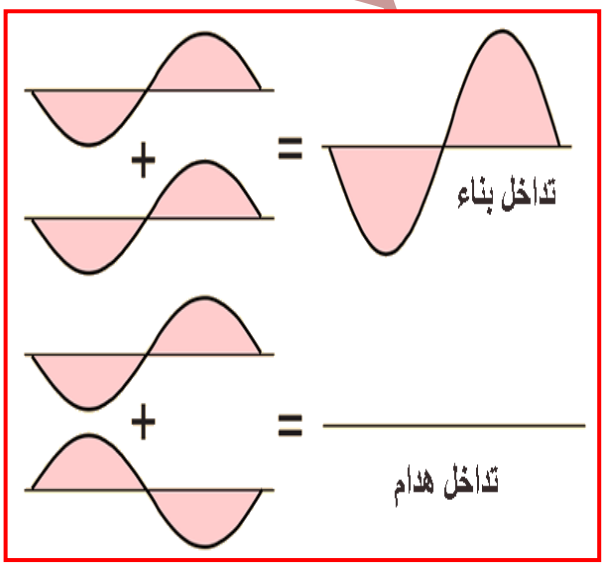
موجات مستعرضة
- قمة مع قمة ← ينتج عنه قمة عظمى
- قاع مع قاع ← ينتج عنه قاع أعظم

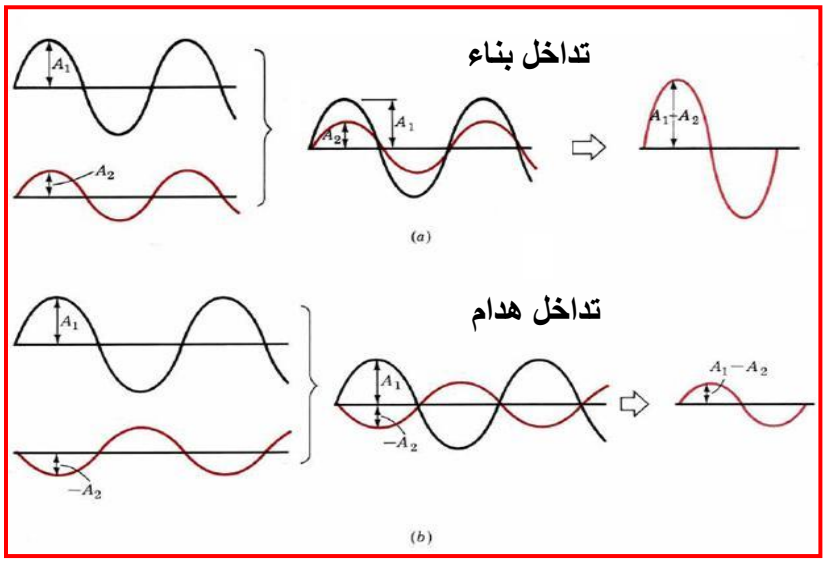
موجات طولية
- تضاغط مع تضاغط ← ينتج عنه تضاغط اعظم
- تخلخل مع تخلخل ينتج ← عنه تخلخل أعظم




● **التداخل الهدام :** وهو التداخل الذي ينتج عنه مناطق تقل فيها سعة الموجة المحصلة ، مثل إلتقاء :
- قمة مع قاع .
- تضاغط مع تخلخل .

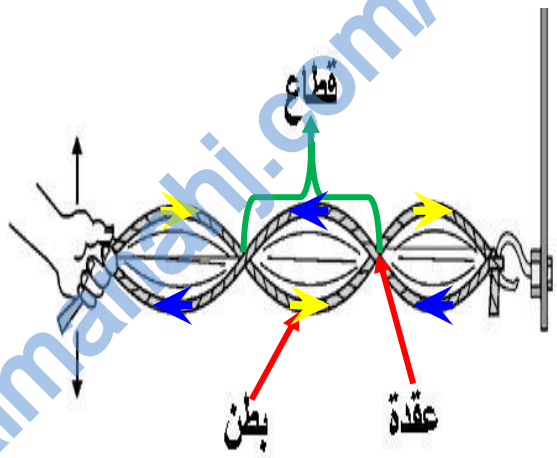
### * بعض حالات التداخل :




almaraji.com/om
Physics genius

## ◄ الموجات الموقوفة :




إذا انتشرت موجات في حبل إحدى نهايتيه ثابتة فإنها سوف تنعكس عند نهايته الثابتة ، عندئذٍ سوف تلتقي الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة وتتداخل فيما بينها فينتج عنها تشكل أمواج مستقرة في الحبل ، كما هو واضح في الشكل المقابل ☜

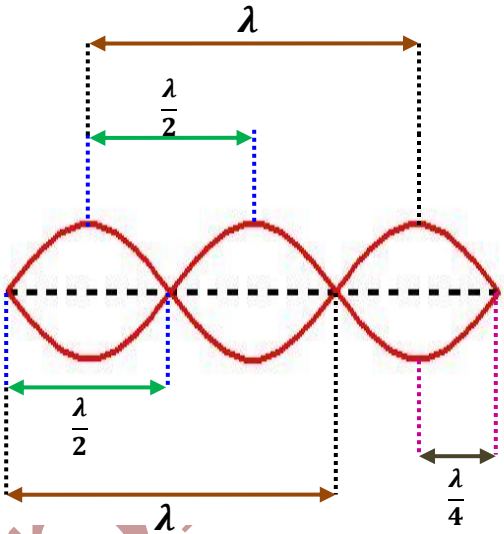
يطلق عليها بإسم (( الموجات الموقوفة )) وتعرف بأنها :

( نمط مستقر من الموجات ينتج عند إلتقاء وتراكب قطارين من الموجات المتماثلة - لهما نفس الخصائص الموجية – ويسيران في اتجاهين متعاكسين ينتج عنه ظهور مناطق ثابتة تكون عندها الإزاحة أكبر ما يمكن ومناطق تكون فيها الإزاحة تساوى صفر )

### * خصائص الموجات الموقوفة :

- يطلق على المناطق التي تكون عندها الإزاحة أكبر ما يمكن والتي تعادل ضعف سعة الموجة الواحدة بإسم ((البطون)).
- ويطلق على المناطق التي تكون عندها الإزاحة مساوية للصفر بإسم ((العقد)) .
- كذلك نجد أن الموجات الموقوفة تتكون من عدة مناطق تتكون كل منطقة من عقدتين بينهما بطن وتسمى بـ((القطاعات)) .
- الموجات الموقوفة لا تعمل على نقل الطاقة لأنها موجات ساكنة لا تنتقل ولأن التداخل بين الموجات المتراكبة دائماً هدام .
- الموجات الموقوفة تنتج في الموجات المستعرضة مثل الموجات التي تتكون على الوتر والموجات الطولية مثل الموجات الموقوفة التي تتكون في الأعمدة الهوائية ( الرنين ) .

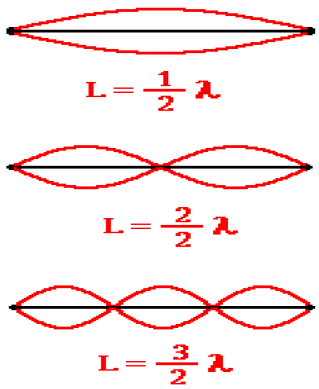
### * الطول الموجي للموجات الموقوفة :




- طول القطاع الواحد = $\frac{\lambda}{2}$
- المسافة بين عقدتين متتاليتين = طول القطاع الواحد = $\frac{\lambda}{2}$
- المسافة بين بطنين متتاليين = $\frac{\lambda}{2}$
- الطول الموجي للموجة الموقوفة = ضعف طول القطاع الواحد.
- المسافة بين ثلاث عقد متتالية = $\lambda$
- المسافة بين ثلاثة أبطن متتالية = $\lambda$
- المسافة بين بطن وعقدة متتاليان = $\frac{\lambda}{4}$
- عدد القطاعات = عدد البطون .
- عدد القطاعات أو البطون = عدد العقد – 1

### * العلاقة بين الطول الموجي للموجة الموقوفة وطول الوتر :

نفترض تكون موجات موقوفة على وتر طوله ( $L$ ) كما هو واضح في الشكل المقابل ☜




من خلال دراسة الشكل نستنتج أن :

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

حيث أن :

$n = 1 , 2 , 3 , 4 , \ldots\ldots$ إلخ ... عدد البطون أو القطاعات

almanahi.com/om

يمكن كتابة العلاقة السابقة بمعلومية عدد العقد كما يلي :

إذا افترضنا أن عدد العقد هو $N$ فإن

$$L = (N-1).\frac{\lambda}{2}$$

حيث أن :

$n = 2\ ,3\ ,4\ ,\ldots\ldots$ إلخ عدد العقد

- أقل للعقد في الوتر هو $2$ .

- يمكن إيجاد الطول الموجي من العلاقتين السابقتين كما يلي :

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

أو :

$$\lambda = \frac{2L}{(N-1)}$$

ملاحظة :

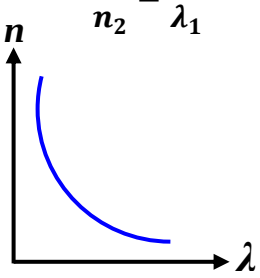
الطول الموجي للموجات الموقوفة المتكونة على الوتر يتناسب عكسياً مع عدد البطون أو عدد القطاعات :

$$n\ \alpha\ \frac{1}{\lambda}$$

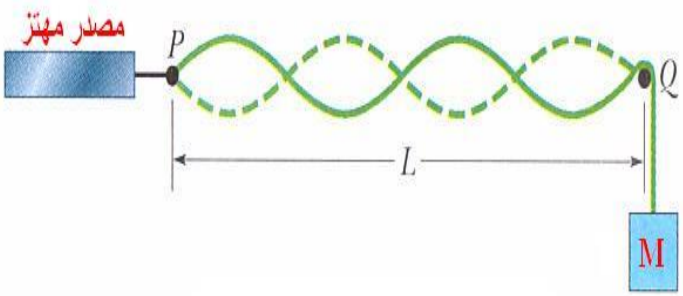
أي أن :

بزيادة الطول الموجي يقل عدد البطون وعدد القطاعات وكذلك عدد العقد ( والعكس صحيح ) :

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




## * الموجات الموقوفة في الوتر المشدود ( تجربة ميلد ) :




الشكل المقابل يوضح وتر أحد طرفيه بمصدر مهتز له تردد معين وليكن ( $f$ ) والطرف الأخر يمر ببكرة ويتصل بثقل كتلته ($M$). عندما يهتز المصدر فإنه يرسل سلسلة من الموجات تصطدم بالبكرة فترتد ويتكون عن ذلك سلسلة من الموجات المنعكسة تتداخل مع الموجات القادمة من المصدر ( الموجات الساقطة ) مكونة موجات موقوفة على الوتر.

- قوة الشد المؤثرة على الوتر ( $T_f$ ) يمكن إيجادها من العلاقة :

$$T_f = M.g$$

وهي قابلة للتغيير بتغيير كتلة الثقل المعلق ( $M$ ).

$g$ تمثل عجلة الجاذبية الأرضية وتساوي ( $9.8\ m/s^2$ ) .

- وكما درسنا سابقاً يمكن إيجاد سرعة انتشار الموجات الموقوفة في الوتر من العلاقة :

$$v = \sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$

وكما نعلم أن :

$$v = \lambda.f$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة للسرعة نحصل على :

$$\lambda.f = \sqrt{\frac{T_f}{\mu}} \quad \gg\gg \quad \lambda = \frac{1}{f}.\sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$

بالتعويض عن الطول الموجي بالعلاقة :

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

almanahj.com/om
physicsgenius

نحصل على :

$$\frac{2L}{n} = \frac{1}{f}.\sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$

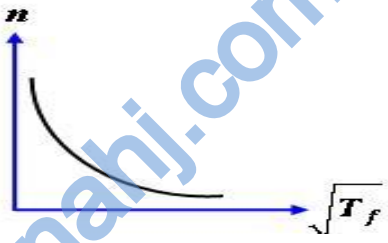
بقسمة الطرفين على ( $2L$ ) نحصل على :

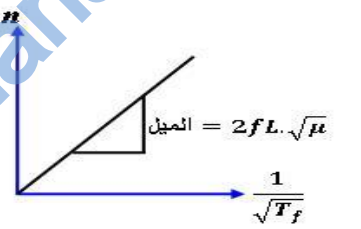
$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2fL}.\sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$

يمكن كتابة المعادلة الأخيرة أيضاً كما يلي :

$$n = 2fL.\sqrt{\frac{\mu}{T_f}}$$

ومنها نستنتج أن :



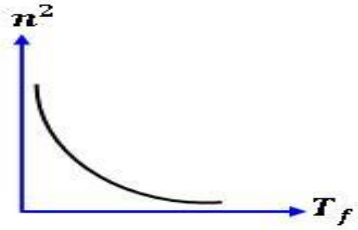

■ <u>العلاقة بين قوة الشد وعدد القطاعات ( البطون ) :</u>

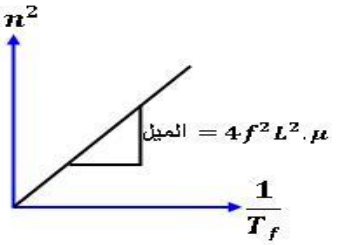
$$n\ \alpha\ \frac{1}{\sqrt{T_f}}$$

أي أن بزيادة قوة الشد في الوتر يقل عدد البطون وعدد القطاعات وعدد العقد والطول الموجي يزداد .

ومنها يمكن القول أنه عند ثبوت تردد المصدر فإن :

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{(T_f)_2}{(T_f)_1}}$$



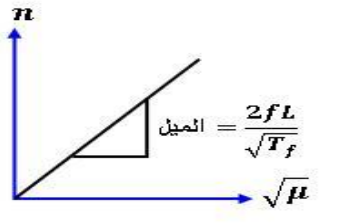



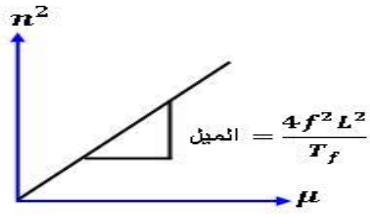

■ <u>العلاقة بين وحدة كتلة الأطوال وعدد القطاعات ( البطون ) :</u>

$$n\ \alpha\ \sqrt{\mu}$$

أي أنه عند تغيير نوع السلك من سلك نحيف إلى سلك غليظ فإن ( $\mu$ ) تزداد وبالتالي فإن عدد البطون والقطاعات والعقد سوف يزداد والطول الموجي يقل بشرط ثبات كلاً من التردد وقوة الشد ، وعندها يمكن القول أن :

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}$$



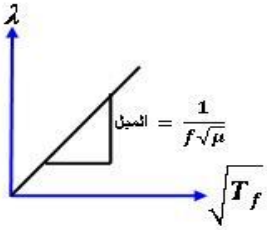



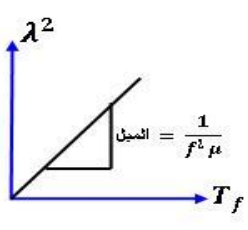

■ <u>العلاقة بين قوة الشد والطول الموجي :</u>

$$\lambda\ \alpha\ \sqrt{T_f}$$

بزيادة قوة الشد يزداد الطول الموجي والعكس صحيح . أي أن :

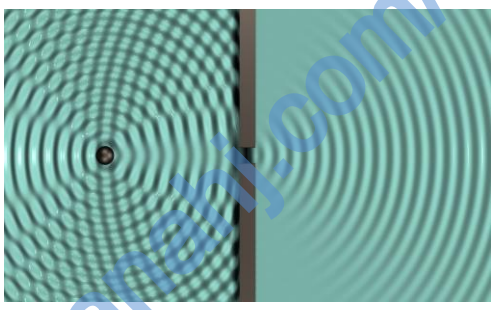
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{(T_f)_1}{(T_f)_2}}$$

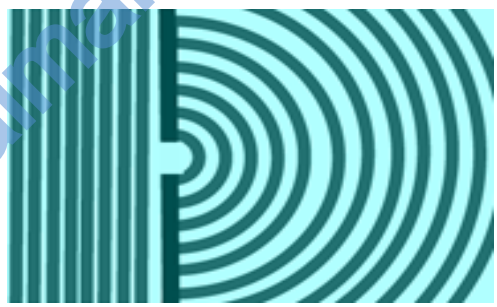


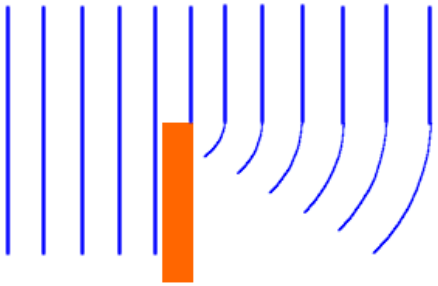




almanahj.com/om
physics genius

## ◄ حيود الموجات :





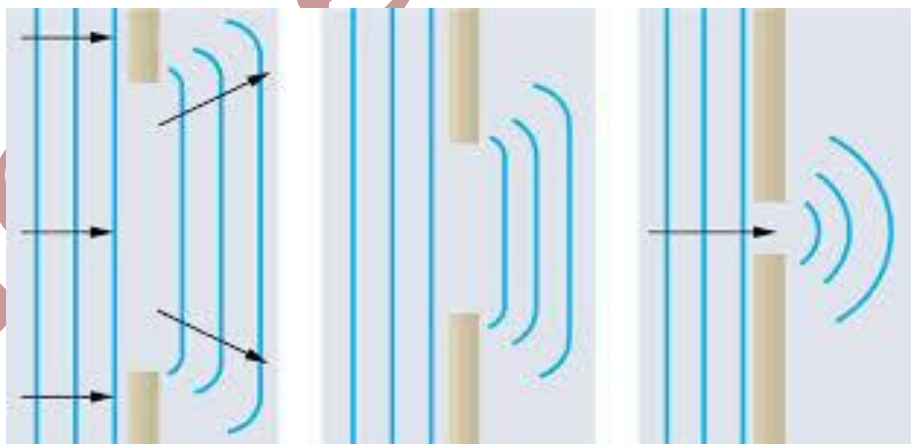


عند انتقال الموجات الميكانيكة المسافرة في وسط ما يحتوي على حاجز به فتحة فإن الموجات سوف تعاني إنحرافاً في مسارها ، وكذلك عند مرورها من خلال حافة حاجز فإن الموجات عند الحافة سوف تعاني انحرافاً في مسارها وفي كلا الحالتين نجد أن الموجات تنتشر خلف هذا الحاجز ، كما هو واضح في الأشكال المقابلة ☜ .

تسمى هذه الظاهرة ( ظاهرة انحراف الموجات الميكانيكية في مسارها الأصلي أثناء عبورها من حاجز به فتحة أو عبر حافة الحاجز لتملأ الفراغ خلف هذا الحاجز ) بإسم (( ظاهرة حيود الموجات الميكانيكية )) .

وهذه الظاهرة هي التي تفسر لنا السبب في قدرتنا على سماع أصوات الأشخاص المتحدثين خارج غرفة الصف أو خلف الأبواب بالرغم من أننا لا نراهم ، حيث أن الصوت يمر من خلال الفتحات الموجودة على النوافذ والأبواب مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة الحيود للصوت فينتشر الصوت خلف هذه الفتحات وعندها يصل الصوت إلينا وبالتالي نستطيع سماعه .

- يعتمد مقدار انحراف الموجات عند عبورها خلال حاجز به فتحة على النسبة بين الطول الموجي للموجات وعرض الفتحة ، حيث إنه كلما زاد عرض الفتحة كلما قل انحراف مسار الموجات ، كما هو مبين في الشكل أدناه :



### * خصائص حيود الموجات :

- هو انحراف في مسار الموجات مثله مثل الانكسار ولكن ما يميزه عن الانكسار أن الانكسار يحدث بين وسطين أما الحيود فيحدث في وسط واحد فقط .
- الحيود لا يؤثر على الخصائص الموجية للموجات ( التردد ، الطول الموجي ، سعة الموجة ، سرعة الموجة ...إلخ ).
- يحدث للموجات الطولية والموجات المستعرضة .

almanahj.com/om
physics genius

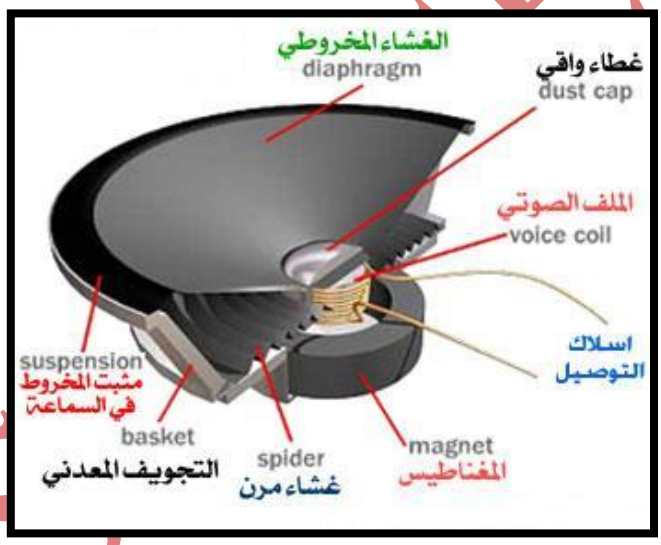
# الصوت وطبيعة الصوت

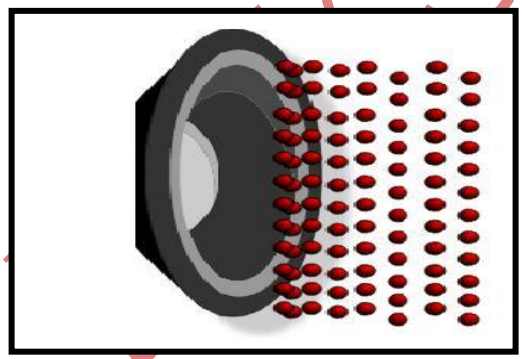
الصوت من أهم الظواهر الطبيعية التي تحدث في حياتنا في كل ثانية وربما في كل جزء من أجزاء الثانية , ونعمة السمع من أهم النعم التي وهبها لنا الخالق عز وجل ، والصوت والسمع مرتبطان ببعضهما ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر , ولكن هل تساءلنا يوماً : كيف ينشأ هذا الصوت ؟ وكيف نسمع الأصوات وكيف ندرك تنوعها ؟

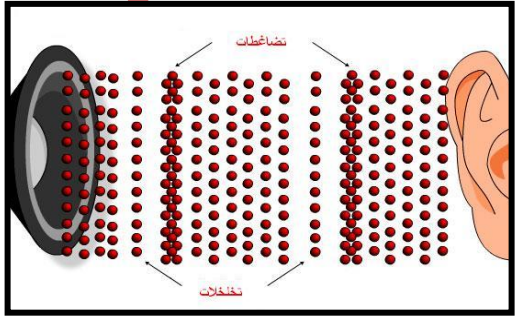
لعلك لاحظت أن أي مصدر صوتي مثل آلة العزف العود أو الجيتار حتى تنشئ صوت فإنه لابد من عمل إهتزازه في أوتارها ، وكذلك بالنسبة للمكبر الصوتي عندما ينشئ الصوت تلاحظ أن طبقة رقيقة تشبه الغشاء تقوم بالاهتزاز ، وأيضاً عندما تتحدث إلى زملائك وتقوم بوضع يدك على حنجرتك فإنك ستشعر بوجود اهتزاز داخل الحنجرة ، وهذا يعني أن أي مصدر صوتي ينتج الموجات الصوتية فإنه لابد من إنشاء اهتزاز معين , فما الذي يحدث أثناء إنتاج هذا الاهتزاز ؟؟

هذا ما سنحاول شرحه فيما يلي .....

لفهم وإدراك ما يحدث ، لنتصور لدينا جهاز المكبر الصوتي ( the speaker ) موضوع في الهواء الطلق ويقوم هذا الجهاز بإنتاج سلسلة من الموجات الصوتية ، وإذا ما نظرنا لهذا الجهاز من الداخل لوجدنا أنه يحتوي على غشاء مخروطي رقيق قابل للاهتزاز إلى الداخل والخارج ، كما هو واضح في الشكل أدناه :






عندما يبدأ هذا الجهاز في إنتاج الصوت وتبدأ طبقة الغشاء المخروطي في الاهتزاز إلى الأمام والخلف بتردد ثابت وعند حركتها إلى الأمام فإنها تدفع جزيئات الهواء الملامسة لها أيضاً إلى الأمام مما يؤدي إلى حدوث تصادم مرن بينها وبين جزيئات الهواء التي أمامها وتكون منطقة يكون فيها ضغط الهواء أعلى من الضغط الجوي الطبيعي بقليل جداً وتسمى هذه المنطقة تضاغط ونتيجة للتصادم تتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام وفي نفس الوقت تعود الجزيئات إلى الخلف ويصاحب ذلك عودة الغشاء الرقيق إلى الخلف فيحدث منطقة تتباعد فيها جزيئات الهواء عن بعضها البعض وتتكون منطقة يقل فيها الضغط عن الضغط الجوي وتسمى تخلخل ، وتنتقل هذه التضاغطات والتخلخلات في الهواء حول المكبر الصوتي في جميع الاتجاهات وعلى شكل موجات طولية لتصل إلى جزيئات الهواء الملامسة لطبلة أذن الإنسان فتجعلها تهتز بنفس تردد المصدر ( المكبر الصوتي ) فتعمل الأذن على نقل هذه الاهتزازات عبر العصب السمعي إلى الدماغ والذي يقوم بدوره بترجمة وتخزين هذه الترددات إلى الأصوات التي نسمعها .

almanahj.com/om

● مما سبق نستنتج أنه حتى نحصل على الصوت لابد من توفر الشروط التالية :

1- وجود مصدر مهتز يقوم بإنتاج الموجات الصوتية ( طولية ).

2- وجود وسط مادي مرن يقوم بنقل الاهتزازات التي ينشئها المصدر إلى المستمع ، وهذا ما يفسر عدم قدرة رواد الفضاء في التخاطب فيما بينهم مباشرة إلا باستخدام الجهاز اللاسلكي وذلك لأن الموجات الصوتية لا يمكنها الانتقال في الفراغ فهي تحتاج إلى وسط مادي يقوم بنقل هذه الموجات .

◄ خصائص الموجات الصوتية :

الموجات الصوتية عبارة عن موجات ميكانيكية طولية تمتلك نفس الخصائص الموجية التي تمتلكها الموجات الميكانيكية والتي هي :

التردد – الطول الموجي – الإزاحة – سعة الموجة – الزمن الدوري – سرعة الانتشار ..... وغيرها من الخصائص الموجية.

كما ويمكن أن يحدث لها جميع الظواهر الموجية من الانعكاس ( صدى الصوت ) والانكسار والتداخل والحيود .

◄ سرعة انتشار الموجات الصوتية :

يمكن حساب سرعة انتشار الموجات الصوتية في أي وسط مثلها مثل أي موجة ميكانيكية وذلك من خلال العلاقة :

$$v = \lambda . f$$

حيث أن :

$f$ يمثل تردد الموجات الصوتية أو تردد مصدرها ويقاس بوحدة الهيرتز $Hz$ أو $s^{-1}$ .

$\lambda$ يمثل الطول الموجي للموجات الصوتية ويقاس بوحدة المتر $m$ .

إلا أنه وكما ذكرنا سابقاً فإن الموجات الصوتية تحتاج إلى وسط مادي مرن يقوم بنقل هذه الموجات الصوتية وبالتالي فإنه لابد وأن تتأثر سرعة انتشار الموجات الصوتية بخصائص هذا الوسط فقد أثبتت الدراسات أن سرعة الموجات الصوتية في أي وسط مادي تعتمد على :

■ نوع الوسط ( الكثافة ، المرونة )

■ درجة حرارة الوسط .

● نوع الوسط :

لكل وسط مادي له خصائص محددة من الكثافة الحجمية وكذلك المرونة وسرعة الموجات الصوتية تتأثر بهذه العوامل أو الخصائص فكلما كان الوسط أكثر مرونة وأكثر كثافة كلما زادت سرعة الموجات الصوتية فيه والعكس صحيح ، وكما نعلم تم تقسيم المواد ( الأوساط ) حسب هذه الخصائص إلى ثلاثة أنواع وهي مرتبة تنازلياً من الاكثر كثافة ومرونة إلى الأقل كما يلي:

♦ مواد صلبة .

♦ مواد سائلة .

♦ مواد غازية .

وبما أن المواد الصلبة هي في المجمل العام الأكثر كثافة ومرونة تليها المواد السائلة ثم اخيراً المواد الغازية ، فإنه يمكننا القول:

$$v_{\text{الصلبة}} > v_{\text{السائلة}} > v_{\text{الغازية}}$$

● درجة حرارة الوسط :

تتأثر سرعة الصوت بدرجة حرارة الوسط حيث أن بزيادة درجة الحرارة تزداد طاقة حركة الجزيئات مما يساعد على نقل الموجات الصوتية بصورة أسرع وقد أثبتت التجارب أنه عندما تزداد درجة حرارة الوسط الناقل بمقدار $1°C$ فإن سرعة الصوت في الوسط تزداد بمقدار $0.6\ m/s$ ، فمثلاً في الهواء وجد أن سرعة الصوت فيه عند درجة حرارة $0°C$ تساوي $331\ m/s$ وبالتالي فإنه إذا ارتفعت درجة حرارة الهواء إلى $1°C$ فإن سرعة الصوت سوف تصبح $(331 + 0.6) m/s$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

وإذا أصبحت درجة الحرارة $2°C$ فإن سرعة الصوت سوف تصبح $(331 + 0.6 + 0.6)\ m/s$ ، وإذا ما أصبحت درجة الحرارة $3°C$ سوف تصبح سرعة الصوت $(331 + 0.6 + 0.6 + 0.6)\ m/s$ ..... وهكذا .

ومما سبق يمكن كتابة المقدار $331 + 0.6$ كما يلي : $331 + 1 \times 0.6$

والمقدار $331 + 0.6 + 0.6$ كما يلي : $331 + 2 \times 0.6$

والمقدار $331 + 0.6 + 0.6 + 0.6$ كما يلي : $331 + 3 \times 0.6$ ..... إلخ

ومنها نجد أن :

$331$ تمثل سرعة الصوت في الهواء عند درجة $0°C$

والمقادير $1$ ، $2$ ، $3$ تمثل درجات الحرارة

ومنها نستطيع القول أن سرعة الصوت في الهواء عند أي درجة حرارة يمكن إيجادها من خلال العلاقة :

$v = 331 + 0.6T$ عند أي درجة حرارة

حيث أن :

$T$ تمثل درجة حرارة الهواء بوحدة الدرجة سيليزية .

فمثلاً سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة $20°C$ تساوي :

$$v = 331 + (0.6 \times 20) = 343\ m/s$$

ويمكن تطبيق هذه العلاقة عند جميع الأوساط المادية وبصورة عامة يمكن القول أن :

$$v = v_o + 0.6T$$

حيث أن :

$v_o$ تمثل سرعة الصوت في الوسط سواءً كان صلب أو سائل أو غاز عند درجة حرارة $0°C$

$T$ تمثل درجة حرارة الهواء بوحدة الدرجة سيليزية .

* مثال :

أوجد سرعة الصوت في الماء عند درجة حرارة $50°C$

الحل :

سرعة الصوت في الماء عند $0°C$ تساوي $1493\ m/s$ ( أنظر الجداول 4-1 في الكتاب المدرسي صفحة 127 )

وبالتالي فإن سرعة الصوت في الماء عند $50°C$ تساوي :

$$v = 1493 + (0.6 \times 50) = 1523\ m/s$$

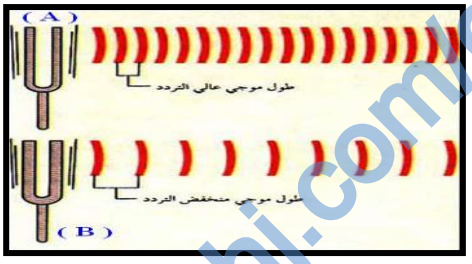
## ◄ درجة الصوت :

تمتاز أذن الإنسان الطبيعي بقدرتها على التمييز بين الأصوات من حيث حدتها وغلظتها وتعرف هذه الخاصية بدرجة الصوت وتعتمد أذن الإنسان على التمييز بين الأصوات في هذه الخاصية على ترددها فالأصوات الأكثر تردداً تكون أكثر حدة وأقل غلظة والأصوات الأقل تردداً تكون الأكثر غلظة والأقل حدة ، ويمكن تعريف درجة الصوت بأنها :

(( الخاصية التي تستطيع أذن الإنسان الطبيعي من خلالها التمييز بين الأصوات من حيث الحدة والغلظة عن طريق ترددها ))

وهنا نجد أن درجة الصوت مرتبطة بتردده لذلك عندما يطلب منا إيجاد درجة الصوت فهذا يعني أن يطلب منا إيجاد تردده ومن خلال التردد نستطيع المقارنة والتمييز بين صوت وآخر ، فمثلاً عندما يقال أن ( صوت المرأة أكثر حدة من صوت الرجل ) فإننا ندرك مباشرةً أن تردد الصوت الصادر من المرأة أعلى تردداً من الصوت الصادر من الرجل .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

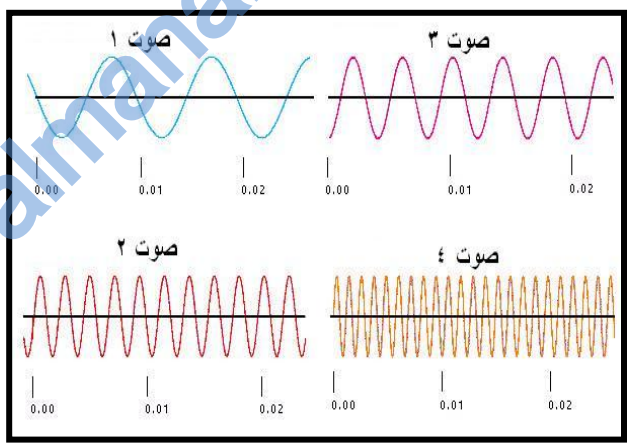



ولنستوعب أكثر ، الشكل المقابل يوضح شوكتان رنانتان مختلفتا التردد ، وعند التمعن نجد أن:

الشوكة ( $A$ ) أعلى تردداً من الشوكة ( $B$ ) لذلك نستطيع القول أن :

♦ الصوت الصادر من الشوكة ( $A$ ) أكثر حدة من الصوت الصادر من الشوكة ( $B$ ).

♦ الصوت الصادر من الشوكة ( $B$ ) أكثر غلظة من الصوت الصادر من الشوكة ( $A$ ).




**لنأخذ مثالاً آخر:**

ادرس الشكل المقابل ، ثم رتب الأصوات تصاعدياً من حيث الحدة .

**الحل :**

صوت 1 ← صوت 3 ← صوت 2 ← صوت 4

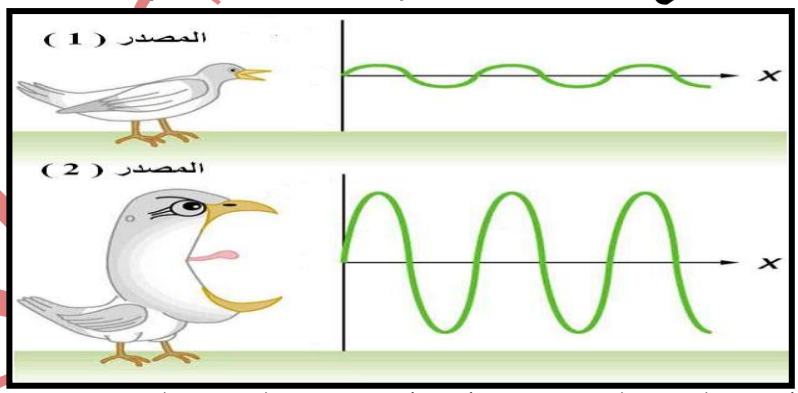
أي أن الصوت 4 هو أكثر الأصوات حدة وأقلها غلظة .

والصوت 1 أو أقل الأصوات حدة وأكثرها غلظة .

## ◄ شدة الصوت :

تعرف شدة الصوت بأنها الخاصية التي تستطيع أذن الإنسان الطبيعي من خلالها التمييز بين الأصوات من حيث العلو والانخفاض وتعتمد على الطاقة التي تحملها الموجة الصوتية وبالتالي فهي تعتمد على سعة الموجة .

فمثلاً في الشكل أدناه يوضح مصدرين صوتيين لهما نفس التردد ولكنهما مختلفان في سعة الموجة :




في هذا الشكل أن سعة موجة الصوت الأول أقل من سعة الموجة الصوت الثاني وبالتالي نستنتج أن شدة الصوت الثاني أعلى من شدة الصوت الأول والعكس صحيح .

*** حساب شدة الصوت :**

يمكن تعريف شدة الصوت أيضاً بأنها معدل الطاقة التي تحملها الموجة عبر وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشارها

يرمز لشدة الصوت رياضيا بالرمز ( $I$ ) ومنها يمكن ترجمة هذا التعريف إلى معادلة رياضية كما يلي :

$$I = \frac{E}{A.t}$$

وكما نعلم أن معدل الطاقة التي تحملها الموجة يعرف بالقدرة ويرمز لها بالرمز ( $P$ ) فإن :

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

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

حيث أن :

$$P = \frac{E}{t}$$

وحدة قياس القدرة هي الواط ( $Watt$ ) وتكافؤها الجول \ الثانية ( $J/s$ )
ومنها نستنتج أن وحدة قياس شدة الصوت هي الواط \ المتر مربع ( $Watt/m^2$ ) وتكافؤها الجول \ الثانية× المترمربع( $J/s.m^2$ ) .

◄ مستوى شدة الصوت :

أذن الإنسان الطبيعي لا تستطيع سماع جميع الأصوات بمختلف شدتها فهي لها حدود معينة للسماع ، وأقل شدة صوت يمكن لأذن الإنسان الطبيعي سماعها هي $1 \times 10^{-12} W/m^2$
ويرمز لها بالرمز ( $I_o$ ) ومن خلال هذه القيمة نستطيع مقارنة شدة الأصوات ببعضها البعض وعدد مضاعفات مقدار شدة صوتٌ ما بالنسبة لهذه القيمة يعرف بمستوى شدة الصوت ويرمز له رياضياً بالرمز( $B$ ) ويقاس بوحدة البيل ( $Bel$ ) نسبة إلى العالم جراهام بيل مخترع الهاتف فمثلاً إذا علمنا أن مستوى شدة صوت عند نقطة معينة هو $7\ Bel$ فهذا يعني أن شدة الصوت عند هذه النقطة أكبر بمقدار 7 مضاعفات من أقل قيمة لشدة الصوت ( $I_o$ ) .... وهكذا.
إلا أن وحدة البيل ( $Bel$ ) تعتبر وحدة كبيرة مقارنة بمقدار مستوى شدة الصوت المسموعة وبالتالي فقد تم اشتقاق وحدة أخرى للتعبير عن مستوى شدة الصوت وهي وحدة الديسيبل ( $dB$ ) وهي تساوي $\frac{1}{10}$ بالنسبة لقيمة البيل ( $Bel$ ) حيث أن :

$$1\ Bel = 10\ dB$$

أي أن إذا كان مستوى شدة صوت ما هي $5Bel$ فإنها سوف تساوي $50dB$

* حساب مستوى شدة الصوت :

يستخدم التدريج اللوغاريتمي لحساب مستوى شدة الصوت كما يلي :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{I}{I_o}$$

حيث أن :
$I$ تمثل شدة الصوت المراد حساب مستوى شدته .
$I_o$ تمثل أقل قيمة لشدة الصوت يمكن سماعها .

وبالتالي إذا أردنا معرفة أدنى قيمة لمستوى شدة الصوت يمكن لأذن الإنسان سماعها فبكل بساطة نعوض عن مقدار $I$ بمقدار $I_o = 1 \times 10^{-12} W/m^2$ في قانون حساب مستوى شدة الصوت كما يلي :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{1 \times 10^{-12}}{1 \times 10^{-12}} = 0\ dB$$

أي أن أقل قيمة لمستوى شدة الصوت التي يمكن سماعها هي $0dB$ وتعرف بعتبة السمع أو الحد الحرج للسماع.
في المقابل فإن أعلى قيمة لشدة الصوت والتي يمكن لأذن الإنسان الطبيعي تحملها هي $I_{max} = 1\ W/m^2$ وعندها فإن أعلى مستوى شدة صوت يمكن تحملها تكون :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{1}{1 \times 10^{-12}} = 120\ dB$$

وتعرف هذه القيمة بعتبة الألم أو الحد الأعلى للسماع أي أن أي مستوى شدة صوت أعلى من هذه القيمة قد يتسبب بالألم للأذن وربما مشاكل في السمع بعد ذلك .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

وبالتالي نستنتج أن حدود السمع بالنسبة للإنسان الطبيعي تتراوح بين $0dB$ و $120dB$ .

وكذلك نستنتج أنه يمكن استنتاج مقدار شدة صوت ما فقط بمعلومية مستوى شدة الصوت له كما يلي :
اذا كان لدينا صوت مستوى شدته عند نقطةٍ هو 70dB فإن مقدار شدته يساوي :

$$B\,(dB) = 10\,log\frac{I}{I_o}$$

$$70\,dB = 10\,Log\frac{I}{I_o}$$

$$\therefore log\,\frac{I}{I_o} = \frac{70}{10}$$

$$log\,\frac{I}{I_o} = 7$$

ومنها :

$$\frac{I}{I_o} = shift\,log\,7$$

$$\frac{I}{I_o} = 1 \times 10^7$$

$$\therefore I = (1 \times 10^7)I_o$$

$$I = (1 \times 10^7) \times (1 \times 10^{-12})$$

$$\therefore I = 1 \times 10^{-5} W/m^2$$

وبصورة عامة فإنه يمكننا القول أن :

$$I = \left[shift\,log\left(\frac{B(dB)}{10}\right)\right] I_o$$

♦ استنتاج :

إذا كان مستوى شدة الصوت لصوت شدته $I_1$ هو $B_1$ ومستوى شدة الصوت لصوت آخر شدته $I_2$ هو $B_2$ عند موضع معين فإن:

$$B_2 - B_1 = 10log\frac{I_2}{I_o} - 10log\frac{I_1}{I_o}$$

$$B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{I_2}{I_o} - log\frac{I_1}{I_o}\right]$$

من قوانين اللوغاريتمات :

$$log\frac{x}{y} = logx - logy$$

فإن :

$$B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{\frac{I_2}{I_o}}{\frac{I_1}{I_o}}\right]$$

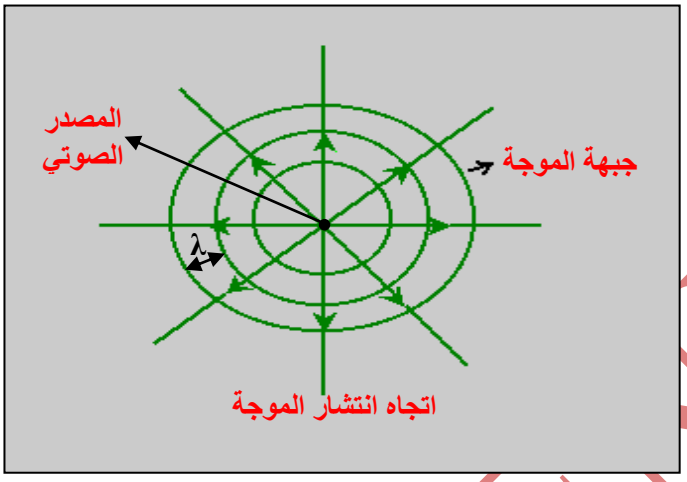
إذاً نحصل على :

$$\boxed{B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{I_2}{I_1}\right]} \quad 1$$

PHYSICS GENIUS

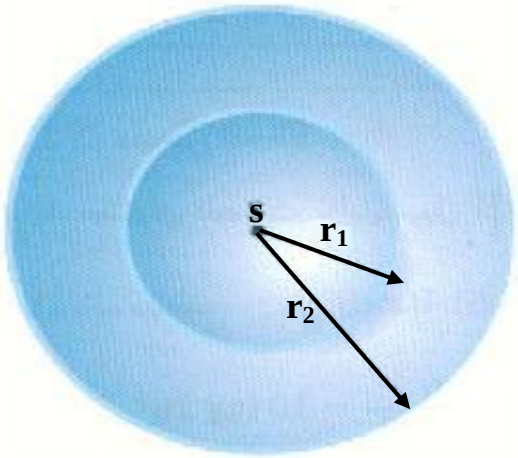
◄ **الموجات الكروية :**

تنتشر الموجات الصوتية مبتعدة حول المصدر الصوتي على هيئة سلسلة من التضاغطات والتخلخلات في جميع الاتجاهات وبالتالي فلو أمكننا رؤية هذه الموجات لوجدناها تكون على شكل كرة بالنسبة للمصدر الصوتي ويكون المصدر الصوتي هو مركز هذه الكرات المنتشرة ويمكن تمثيل الموجات الكروية على هيئة أقواس دائرية مركزها المصدر كما في الشكل أدناه :




كل قوس من الأقواس أو كل حلقة من الحلقات تمثل جبهة الموجة المنتشرة حول المصدر والمسافة بين الأقواس متساوية إذا كان الوسط متجانساً وتساوي الطول الموجي للموجات المنتشرة ( $\lambda$ ) .

هذه الموجات الكروية تنتشر حاملة معها الطاقة الصوتية والطاقة التي تحملها كل كرة تساوي مقدار الطاقة التي تحملها الكرات الأخرى أي أن الطاقة تتوزع على جميع المساحات بالتساوي فمثلا في الشكل أدناه :




نجد أن الكرة الأولى والتي نصف قطرها ( $r_1$ ) سوف تتوزع فيها الطاقة الصوتية في مساحة تساوي $4\pi r_1^2$ ( مساحة الكرة ) ، وبالتالي فإن هذا المقدار من الطاقة نفسه سوف يتوزع على الكرة الثانية التي نصف قطرها ( $r_2$ ) والتي تبلغ مساحتها $4\pi r_2^2$ ، ومن هنا نجد أن الطاقة الصوتية سوف تتوزع على مساحة أصغر في الكرة الأولى بينما على مساحة أكبر في الكرة الثانية ، وكما نعلم أن :

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

وبما أن :

$$P = \frac{E}{t}$$

وبما أن الطاقة الصوتية ( $E$ ) تتوزع على المساحات بالتساوي فإن القدرة ( $P$ ) سوف تتوزع أيضاً على المساحات بالتساوي ، أي أن القدرة سوف تكون مقدار ثابت عند جميع المساحات بالنسبة للمصدر الواحد .

وبالتعويض عن المساحة ( $A$ ) بمساحة الكرة نحصل على :

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

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

ومن هنا نجد أن :

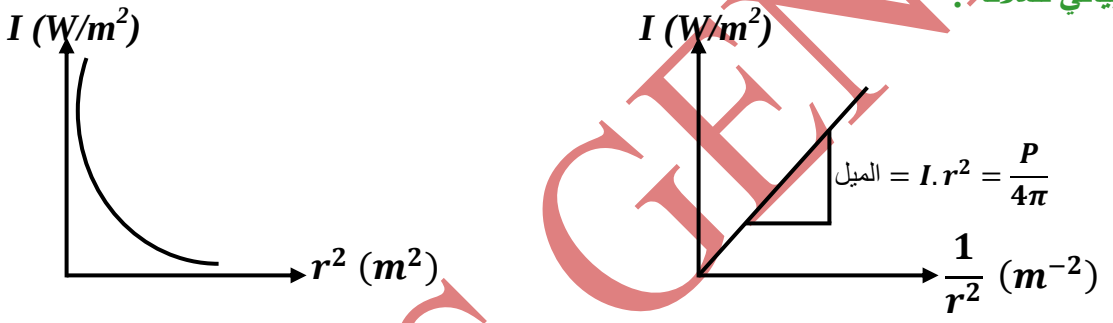
$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

نستنتج أن شدة الصوت التي تتوزع على الكرة الأولى سوف تكون أكبر من شدة الصوت التي تتوزع على الكرة الثانية ، فلو كان لدينا شخصان وكان الشخص الأول يقف على بعد يساوي نصف قطر كرة الأولى والشخص الثاني يقف على بعد يساوي نصف قطر الكرة الثانية من المصدر الصوتي فإن شدة الصوت بالنسبة للشخص الأول سوف تكون أعلى من شدة الصوت بالنسبة للشخص الثاني .... وهكذا فإن شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع البعد عن المصدر الصوتي.

وبصورة عامة نستنتج أن :
شدة الصوت التي تصل إلى مستمع يقف على بعد ( $r$ ) من المصدر الصوتي تعتمد على بعده عن المصدر وكلما ابتعد هذا المستمع عن المصدر كلما قلت شدة الصوت والعكس صحيح ، ومنها يمكن القول:

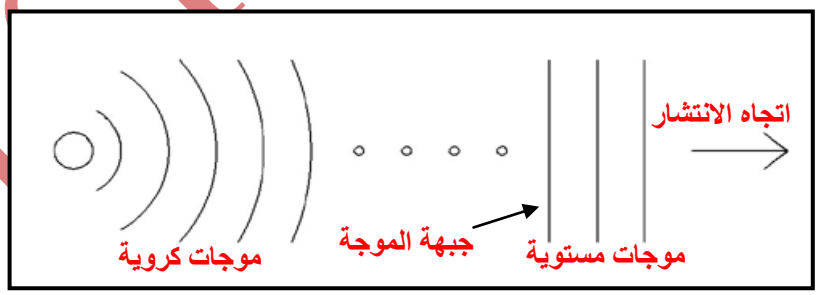
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

* التمثيل البياني للعلاقة :




◄ **الموجات المستوية :**

لو افترضنا أنه من الممكن مشاهدة الموجات الصوتية الكروية بالعين المجردة بالنسبة لمستمع يقف على بعد معين من المصدر الصوتي فإنه ومما نجد أنه كلما ابتعد المستمع عن المصدر الصوتي كلما يزداد نصف قطر تكور هذه الموجات ، وهذا يعني أن مقدار تقوس جبهة هذه الموجات بالنسبة للمستمع سوف يقل تدريجياً ، وبالتالي فإنه وعند مسافات بعيدة عن المصدر سوف تبدو جبهات الموجات الكروية وكأنها عبارة عن جبهات مستقيمة ومتوازية كما يلي :




وتعرف هذه الموجات في هذه الحالة بالموجات المستوية

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

## ◄ ظاهرة دوبلر :

لعلك لاحظت انه عندما تتحرك سيارة إسعاف مقتربة منك بسرعة ثم تتخطاك مبتعدة عنك أثناء وقوفك في مكان ما على الطريق أن صوت صفارتها يسلك سلوكاً غريباً نوعاً ما فتجد أن صوت الصفارة يزداد حدة كلما اقتربت السيارة منك وكلما ابتعدت فإن حدته تقل ويصبح أغلظ من السابق ؟!!

تغير نوع الصوت بالنسبة لك بين الحدة والغلظة يبين لك وكما درسنا سابقاً أن تردد الصوت المسموع يتغير بالنسبة لك وهذت يعني أنه عند اقتراب سيارة الإسعاف منك تردد الصوت المسموع يزداد وعند ابتعادها تردد الصوت المسموع يقل بالرغم من أن التردد الحقيقي للصوت المنبعث من صفارة سيارة الإسعاف لم يتغير !!

وقد يحدث العكس أيضاً ، أي قد تكون سيارة الإسعاف واقفة وكنت أنت تقترب منها بسرعة ثم تبتعد عنها سوف تستنتج نفس الملاحظات التي لاحظتها في الحالة السابقة ، وهذا يعني أن تردد الصوت المسموع يتغير عند حركة المصدر الصوتي بالنسبة للمستمع أو حركة المستمع بالنسبة للمصدر الصوتي ، وتعرف هذه الظاهرة بإسم ظاهرة دوبلر وذلك نسبة إلى مكتشفها العالم الفيزيائي النمساوي كريستان دوبلر وهي تحدث لجميع أنواع الموجات سواءً كانت الموجات الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية ،وبالنسبة للموجات الصوتية يمكن تعريفها بأنها (( تغير تردد الصوت المسموع نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمستمع بالرغم من عدم تغير التردد الحقيقي للمصدر )) .

ومن هنا نجد أن تردد الصوت الذي يصل إلى أذن المستمع لا يمثل التردد الحقيقي للصوت الصادر من المصدر ويسمى بالتردد الظاهري وقد يكون هذا التردد أكبر من التردد الحقيقي فتزداد حدة الصوت المسموع وقد يكون أقل فتقل حدة الصوت المسموع .

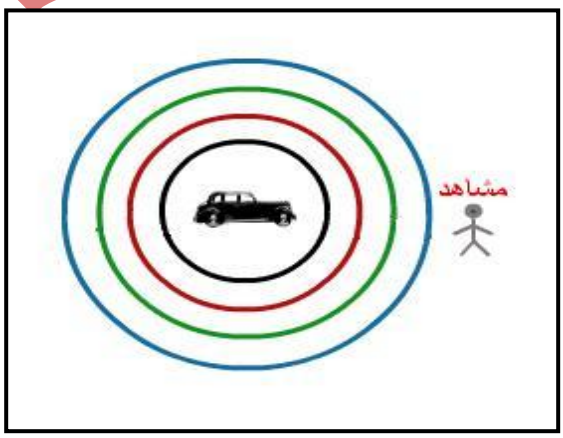
مما سبق نستنتج أن ظاهرة دوبلر تعتمد على حركة كلاً من :

- حركة المصدر الصوتي .
- حركة المستمع والذي سنسميه لاحقاً بالمشاهد على افتراض أنه يمكن رؤية الموجات الصوتية بالعين المجردة .
- ويمكن إضافة أيضاً حركة الوسط الناقل .

ولنفهم ما يحدث في ظاهرة دوبلر لندرس أولاً كل حركة من الحركات السابقة :

### ♦ أولاً حركة المصدر :

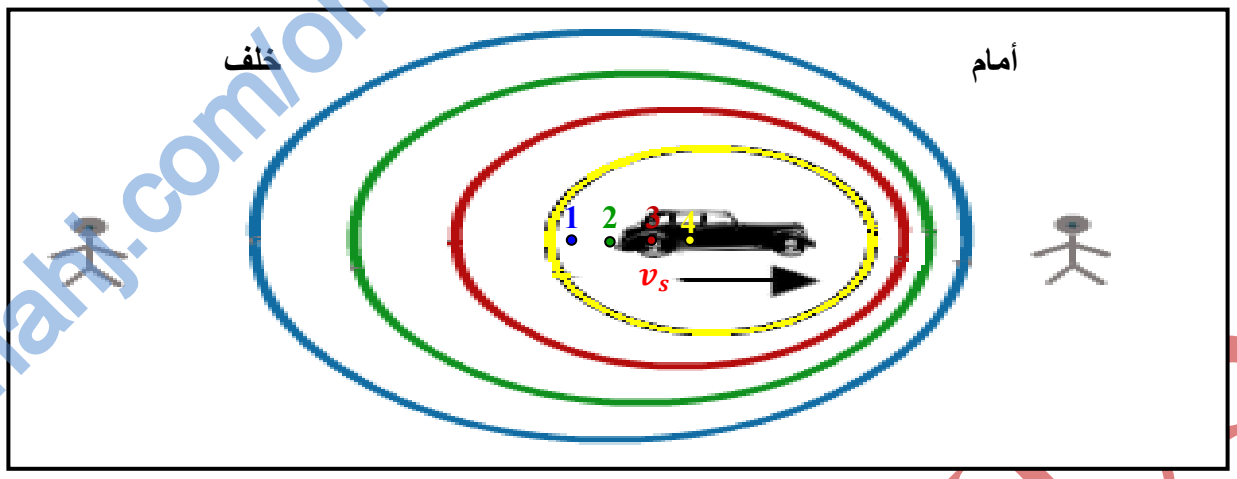
نعلم أن الموجات الصوتية تنتشر حول المصدر في جميع الاتجاهات وتكون على شكل موجات كروية ويتم تمثيلها على هيئة حلقات دائرية متحدة المركز ومركزها المصدر نفسه ، وعندما يكون المصدر ساكناً تكون الحلقات على الشكل التالي:




في هذه الحالة تكون المسافة بين الجبهات متساوية في جميع الإتجاهات أي أن الطول الموجي متساوي في جميع الاتجاهات وهو نفسه الطول الموجي الحقيقي ( $\lambda$ ) للمصدر الصوتي ( السيارة ) وهنا الموجات الصوتية سوف تصل إلى أذن المشاهد الذي يقف أمام السيارة بنفس طولها الموجي الحقيقي أي بنفس ترددها الحقيقي ( $f$ ).

لنفترض الآن أن المصدر قد بدأ بالحركة في اتجاه المشاهد بسرعة مقدارها $v_s$ كما في الشكل أدناه :

PHYSICS GENIUS

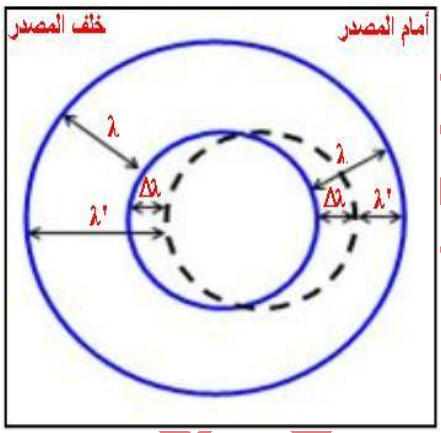



مما يؤدي إلى جعل الجبهات أمام المصدر تتحرك إلى الأمام في نفس اتجاه حركة المصدر ويؤدي ذلك إلى جعل الجبهات أمام المصدر تتقارب من بعضها بمسافة تساوي المسافة التي سيتحركها المصدر خلال فترة زمنية تعادل الزمن الدوري الحقيقي للموجات الصوتية ( $T$ ) فبالنسبة للحلقة التي باللون الأزرق فهي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان المصدر عند الموضع ( 1 ) والحلقة التي باللون الأخضر فهي الحلقة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع ( 2 ) والحلقة التي باللون الأحمر فهي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع ( 3 ) والحلقة التي باللون الأصفر هي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع ( 4 ) ..... وهكذا

وهنا نجد أن الحلقات نتيجة لهذه الحركة تتقارب من بعضها البعض أمام المصدر وتتباعد عن بعضها خلفه وبالتالي فإن الموجات الصوتية سوف تصل للمشاهد الذي يقف أمام المصدر بطول موجي غير حقيقي ( ظاهري) أقل من الطول الموجي الحقيقي أي بتردد ظاهري أعلى من التردد الحقيقي للمصدر ، أما بالنسبة للمشاهد الذي يقف خلف المصدر سوف تصله الموجات الصوتية بطول موجي ظاهري أعلى من الطول الموجي الحقيقي وبتردد ظاهري أقل من التردد الحقيقي .

ومما سبق إذا رمزنا للطول الموجي الظاهري بالرمز ( $\lambda'$ ) والطول الموجي الحقيقي بالرمز ( $\lambda$ ) فإننا نستنتج ما يلي :

* أمام المصدر :




كما يتضح من الشكل المقابل ، إذا رمزنا للفرق بين الطول الموجي والحقيقي والطول الموجي الظاهري بالرمز ( $\Delta\lambda$ ) فإن :

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$$

وعندها يمكن حساب الطول الموجي الظاهري كما يلي :

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda \quad \text{>>>> 1}$$

ومن الشكل أن المقدار ( $\Delta\lambda$ ) يمثل المسافة التي تحركها المصدر خلال فترة زمنية تعادل الزمن الدوري للموجات الصوتية الصادرة ، وكما نعلم أن :

$$v = \frac{x}{t}$$

$$\therefore v_s = \frac{\Delta\lambda}{T}$$

ومن العلاقة :

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

نستنتج أن :

$$v_s = \Delta\lambda . f$$

$$\therefore \Delta\lambda = \frac{v_s}{f}$$

وكما نعلم أيضاً :

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

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

حيث أن :

$\lambda$ تمثل الطول الموجي الحقيقي للصوت.

$v$ تمثل سرعة الصوت في الوسط .

$f$ تمثل التردد الحقيقي للصوت .

وبالتعويض عن قيم $\Delta\lambda$ و $\lambda$ في المعادلة ( 1 ) نحصل على :

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

$$\therefore \lambda' = \frac{v - v_s}{f} \quad \ggg 2$$

* خلف المصدر:

وبنفس الطريقة ، بالنظر في الشكل أعلاه ، نجد أن :

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$$

$$\therefore \lambda' = \frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}$$

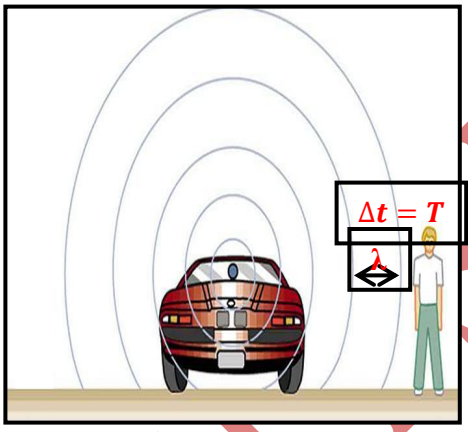
$$\therefore \lambda' = \frac{v + v_s}{f} \quad \ggg 3$$

وبمقارنة المعادلتين ( 1 ) و ( 2 ) يمكن القول أن :

$$\lambda' = \frac{v \pm v_s}{f} \quad \ggg 4$$

ومنها نستنتج أن :

حركة المصدر الصوتي تؤثر فقط في الطول الموجي للصوت ولا تؤثر في سرعة الصوت .

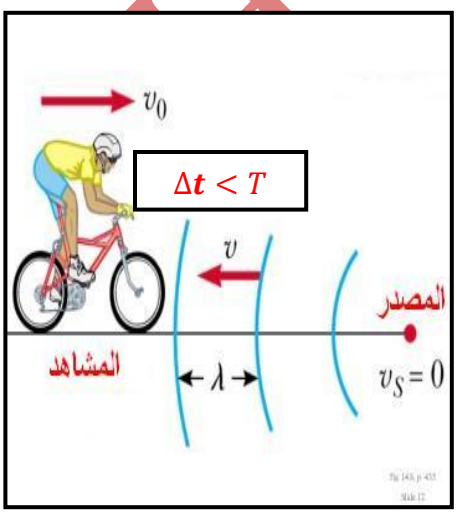



♦ حركة المشاهد ( المستمع ) :

لنفترض وجود مصدر صوتي ساكن يقوم بإطلاق موجات صوتية باتجاه مشاهد ما ، كما يوضح الشكل المقابل ، فإذا كان المشاهد ساكناً فإن جبهة الموجات الصوتية سوف تصل إلى المشاهد خلال فترة زمنية ثابتة وتساوي الزمن الدوري للموجات الصوتية ( $T$ ) أي أنه على سبيل المثال إذا كانت الجبهة الأول تصل إلى المشاهد عند زمن ( $t = 0$ ) وبعد فترة زمنية ( $\Delta t = T$ ) سوف تصل الجبهة التي تليها ، وبعد فترة زمنية ( $\Delta t = T$ ) سوف تصل الجبهة التي تليها ,,,, وهكذا .

فإذا بدأ المشاهد في الحركة وكان :

* المشاهد يقترب من المصدر :




كما يوضحه الشكل المقابل ، فإنه عند زمن ( $t = 0$ ) سوف تصل الجبهة الأولى إلى المشاهد وبدأ المشاهد في الحركة بسرعة مقدارها ( $v_o$ ) مقترباً من المصدر عند نفس اللحظة فإنه عند فترة زمنية مقدارها أصغر من الزمن الدوري للموجات الصوتية ( $\Delta t < T$ ) سوف تصل الجبهة الثانية ، فإذا كان المشاهد يتحرك بسرعة ثابتة فإن جبهات الموجات سوف تصل إليه خلال فترات زمنية ثابتة ولكن مقدارها أقل من الزمن الدوري الحقيقي للموجات الصوتية وهنا سوف تبدو الموجات الصوتية بالنسبة للمشاهد وكأن سرعتها قد ازدادت ولكن في الحقيقة سرعة الموجات الصوتية لم تتغير ولكن الذي جعل المشاهد يشعر بزيادة سرعة الموجات الصوتية هي حركته باتجاه الموجات الصوتية فتصل إليه بصورة أسرع مما كانت عليه وهو ساكن ، أي أن سرعة الصوت بالنسبة للمشاهد سوف تزداد وأن السبب في زيادتها هي حركته وأن سرعة الموجات التي يقيسها المشاهد لا تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية وإنما هي السرعة الظاهرية للموجات الصوتية ، وأن مقدار الزيادة في سرعة الموجات الصوتية يمثل مقدار سرعة المشاهد نفسه.

فإذا رمزنا للسرعة الظاهرية التي يقيسها المشاهد للموجات الصوتية بالرمز ( $v'$ ) فإن مقدارها سوف يكون :

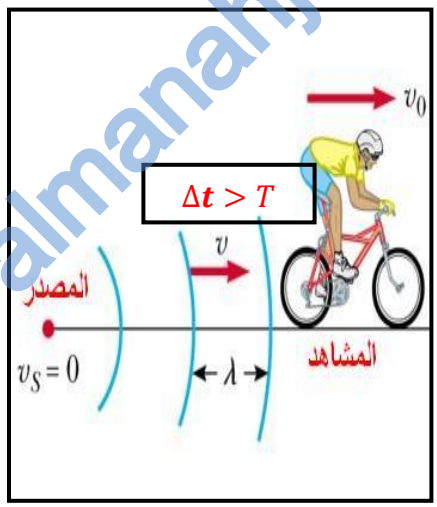
$$v' = v + v_o \quad \ggg 5$$

حيث أن :

$v$ تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية .

* المشاهد يبتعد المصدر :

بنفس الطريقة في حالة اقتراب المشاهد من المصدر ، فإنه عند زمن ( $t = 0$ ) عند وصول الجبهة الأولى إلى المشاهد بدأ المشاهد في الحركة مبتعداً عن المصدر بسرعة مقدارها ( $v_o$ ) ، فإن الجبهة الثانية للموجات الصوتية سوف تصل إلى المشاهد في فترة زمنية مقدارها أكبر من الزمن الدوري للموجات الصوتية ( $\Delta t > T$ ) وعندها سوف تبدو سرعة الموجات الصوتية بالنسبة المشاهد أقل من سرعتها الحقيقية وأن السرعة التي يقيسها المشاهد لا تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية وإنما هي السرعة الظاهرية وأن مقدار النقص في السرعة سببه هو سرعة المشاهد نفسه ويكون مقدار السرعة الظاهرية مساوياً :




$$v' = v - v_o \quad \ggg 6$$

وعند مقارنة المعادلتين ( 5 ) و ( 6 ) نستنتج أن :

$$v' = v \pm v_o \quad \ggg 7$$

♦ حساب التردد الظاهري :

من خلال دراستنا للحركة الموجية ، نعلم أن :

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

نجد أن تردد الموجات الصوتية يعتمد على سرعة الموجات الصوتية وطولها الموجي ، ومنها إذا رمزنا للتردد الظاهري بالرمز ( $f'$ ) فيمكننا استنتاج أن التردد الظاهري يعتمد على :

- السرعة الظاهرية للموجات الصوتية ( $v'$ )
- الطول الموجي الظاهري للموجات الصوتية ( $\lambda'$ )

ومنها نستطيع القول أن :

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

وبالتعويض عن قيم ( $v'$ ) و ( $\lambda'$ ) من المعادلتين ( 7 ) و ( 4 ) نحصل على :

$$f' = \frac{v \pm v_o}{\frac{v \pm v_s}{f}}$$

$$\therefore f' = \left[\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s}\right] f$$

وهذه هي المعادلة العامة لحساب التردد الظاهري للموجات الصوتية في ظاهرة دوبلر ، وعند استخدام هذه المعادلة ينبغي مراعاة ما يلي :

1- إذا كان المشاهد ساكناً فإن سرعة المشاهد تساوي صفر( $v_o = 0$ ).

2- إذا كان المصدر ساكناً فإن سرعة المصدر تساوي صفر( $v_s = 0$ ).

3- إذا كان المشاهد متحركاً وكان :

- المشاهد يقترب من المصدر فإننا نعوض عن مقدار ( $v_o$ ) بالموجب.
- المشاهد يبتعد عن المصدر فإننا نعوض عن مقدار ( $v_o$ ) بالسالب.

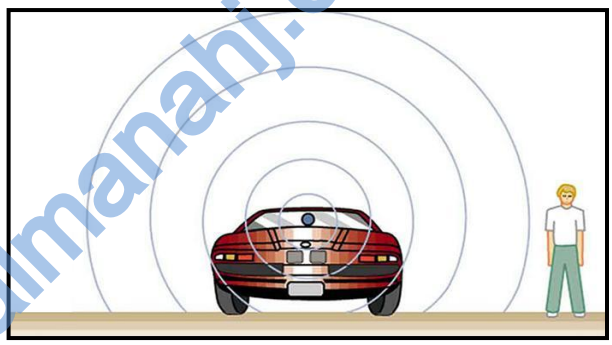
4- إذا كان المصدر متحركاً وكان :

- المصدر يقترب من المشاهد فإننا نعوض عن مقدار ( $v_s$ ) بالسالب.
- المصدر يبتعد عن المشاهد فإننا نعوض عن مقدار ( $v_s$ ) بالموجب.

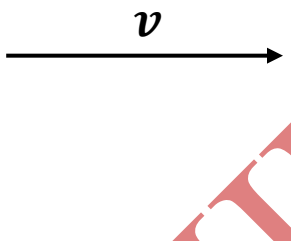
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

♦ الحالات المتعلقة بظاهرة دوبلر :

قبل أن ندرس الحالات التي يمكن ملاحظتها في ظاهرة دوبلر ، لنتفق على أن نرمز للمصدر الصوتي بالرمز ( S ) والمشاهد بالرمز ( O ) وسرعة الصوت في الهواء بالرمز ( $v$ ) وسرعة المشاهد بالرمز ( $v_o$ ) وسرعة المصدر بالرمز ( $v_s$ ) . عند دراسة أي حالة نقوم بتمثيل هذه الحالة بالرسم بحيث نمثل المصدر بنقطة والمشاهد بنقطة وأن نجعل دائماً سرعة الصوت تتجه من المصدر إلى المشاهد في جميع الحالات ، كما يلي :



● أولا: المصدر والمشاهد ساكنان :




وبالتطبيق في المعادلة العامة أعلاه ، نحصل على :

$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v \pm 0}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v}{v}\right] f$$

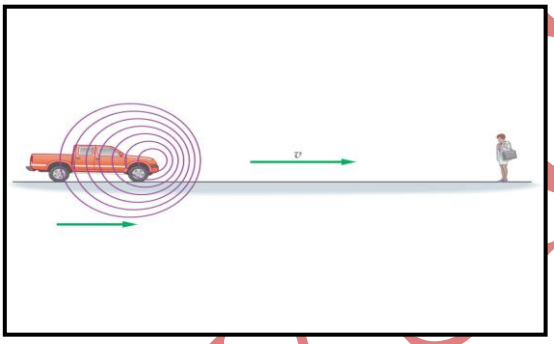
$$f' = f$$

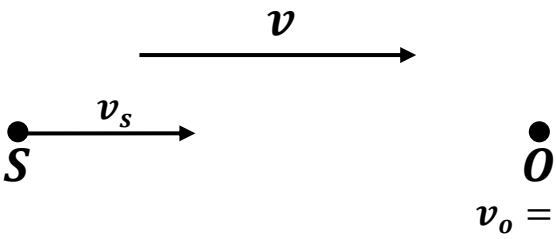
وبالتالي نستنتج أن : التردد المسموع ( $f'$ ) يساوي التردد الحقيقي ( $f$ ) .

● ثانياً: المصدر متحرك والمشاهد ساكن :

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المصدر يقترب من المشاهد الساكن :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

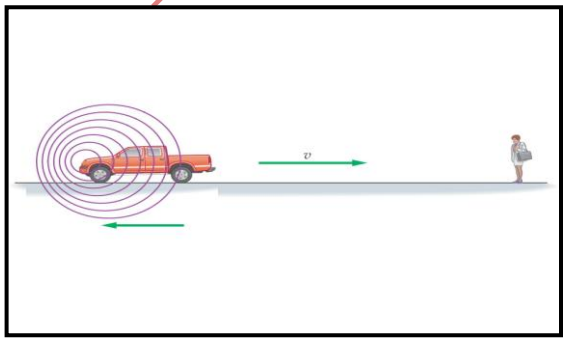
$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v - v_s}\right] f$$

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

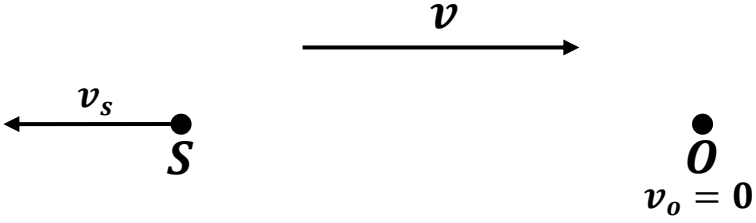
هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أكبر من الواحد ، ومنها نستنتج أن أي قيمة أكبر من الواحد مضروبة في التردد الحقيقي ( $f$ ) فإن المحصلة تكون دائماً أكبر من ( $f$ ) أي أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .



2- المصدر يبتعد عن المشاهد الساكن :




almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v + v_s}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v}{v + v_s}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أصغر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أصغر من الواحد ، ومنها نستنتج أن أي قيمة أصغر من الواحد مضروبة في التردد الحقيقي ( $f$ ) فإن المحصلة تكون دائماً أصغر من ( $f$ ) أي أن :

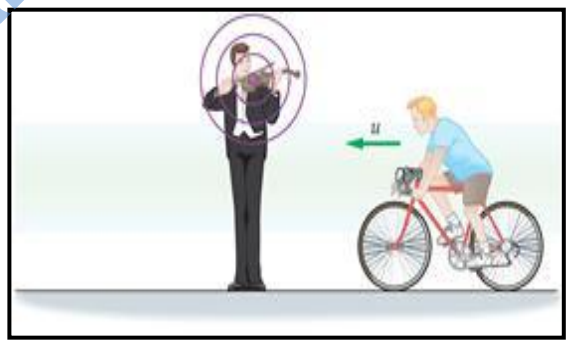
$$f' < f$$

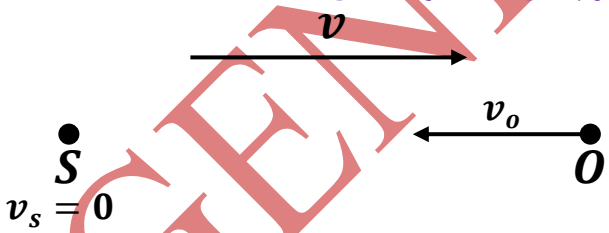
وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

● **ثالثاً: المصدر ساكن والمشاهد متحرك :**

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المشاهد يقترب من المصدر الساكن :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v \pm 0}\right] f$$

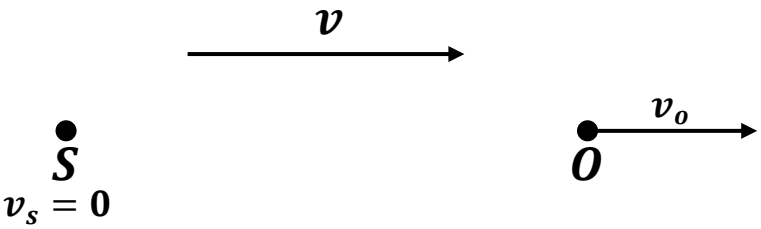
$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أكبر من الواحد ، ومنها نستنتج أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .

2- المشاهد يبتعد عن المصدر الساكن :




بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v \pm 0}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أقل من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أقل من الواحد ، ومنها نستنتج أن :

$$f' < f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

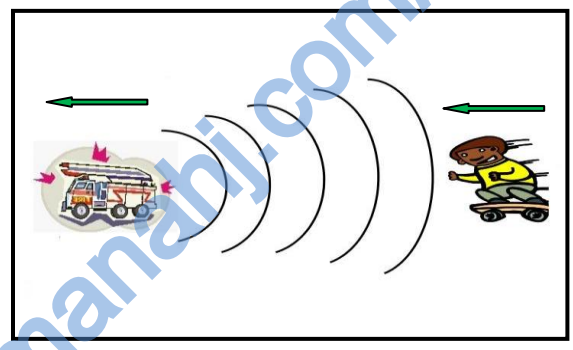
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

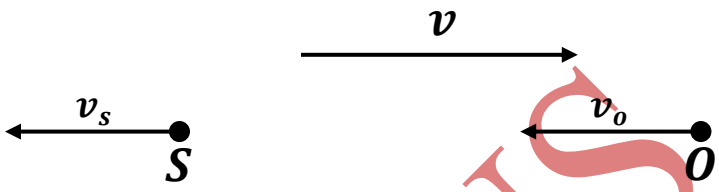
almanahj.com/om

## ● رابعاً: المصدر والمشاهد متحركان في نفس الاتجاه :

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

### 1- المصدر المتحرك أمام المشاهد المتحرك :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v + v_s}\right] f$$

وهنا نجد أنه إذا كان :

■ سرعة المشاهد أكبر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o > v_s$$

يكون البسط أكبر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' > f$$

أي أن الصوت يصبح أكثر حدة .

■ سرعة المشاهد أصغر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o < v_s$$

يكون البسط أصغر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' < f$$

أي أن الصوت يصبح أقل حدة .

■ سرعة المشاهد تساوي سرعة المصدر فإن:

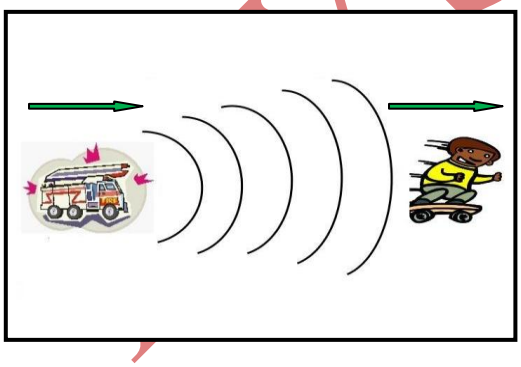
$$v_o = v_s$$

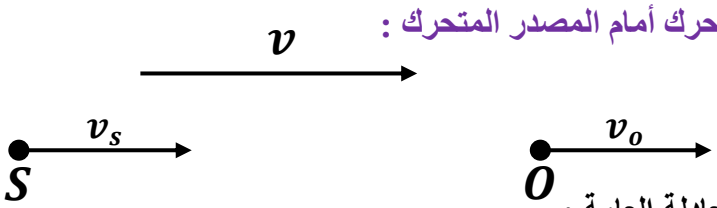
يكون البسط مساوياً للمقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' = f$$

أي لا يحدث تغير في التردد الحقيقي وفي درجة الصوت .

### 2- المشاهد المتحرك أمام المصدر المتحرك :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

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

وهنا نجد أنه إذا كان :

وهنا نجد أنه إذا كان :

■ سرعة المشاهد أكبر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o > v_s$$

يكون البسط أصغر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' < f$$

أي أن الصوت يصبح أقل حدة .

PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

■ سرعة المشاهد أصغر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o < v_s$$

يكون البسط أكبر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' > f$$

أي أن الصوت يصبح أكثر حدة .

■ سرعة المشاهد تساوي سرعة المصدر فإن:

$$v_o = v_s$$

يكون البسط مساوياً للمقام وبالتالي نستنتج أن :

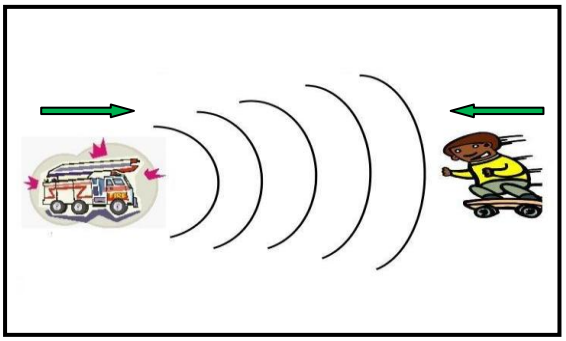
$$f' = f$$

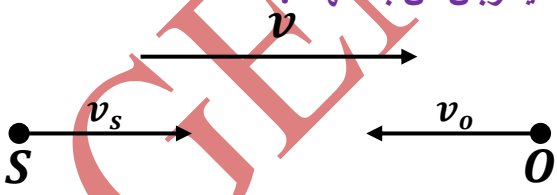
أي لا يحدث تغير في التردد الحقيقي وفي درجة الصوت .

● خامساً: المصدر والمشاهد يتحركان في اتجاهين متعاكسين :

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المصدر والمشاهد يقتربان من بعضهما :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

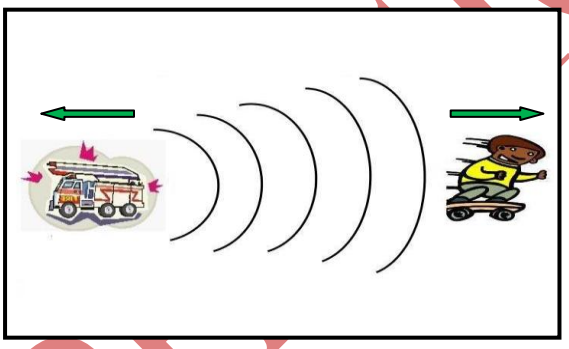
$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v - v_s}\right] f$$

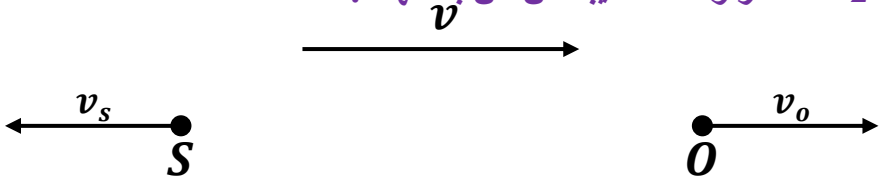
هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، ومنها نستنتج أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .

2- المصدر والمشاهد يبتعدان عن بعضهما :






بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v + v_s}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أصغر من المقام ، ومنها نستنتج أن :

$$f' < f$$

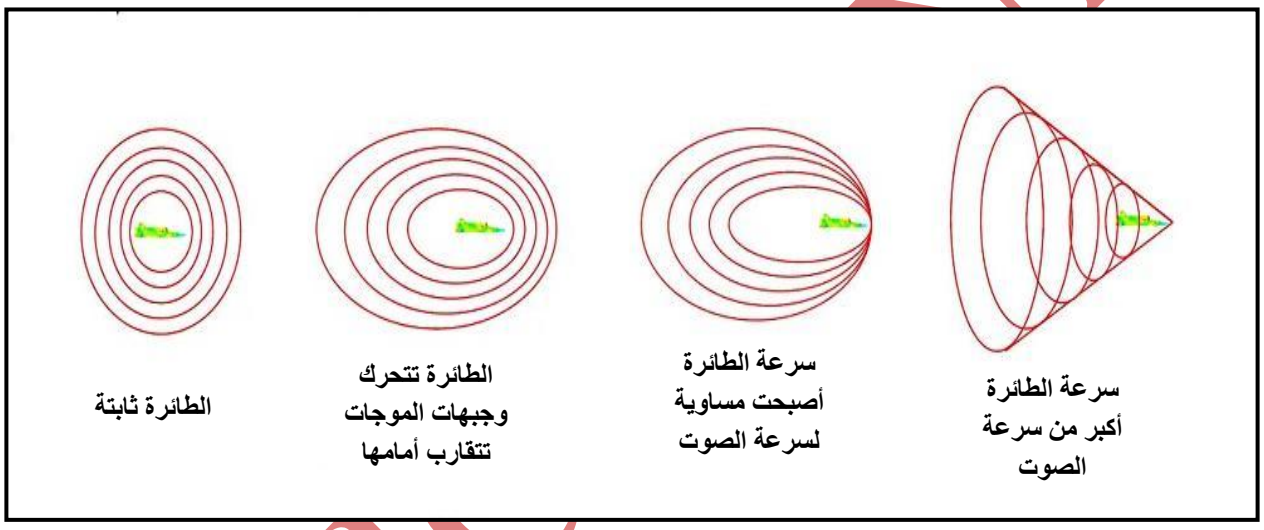
وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

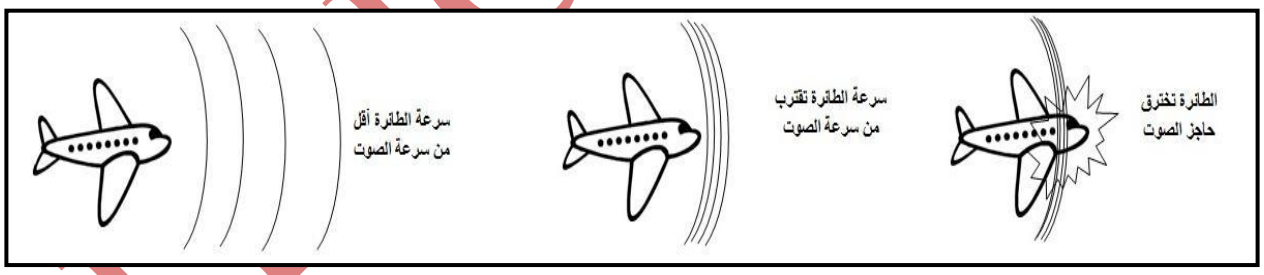
* فيما سبق جميع الحالات التي من الممكن أن يكون عليها المصدر والمشاهد بالنسبة لبعضهما والتي تؤثر على تردد الصوت المسموع بالنسبة للمشاهد .

PHYSICS GENIUS

## ◄ حاجز الصوت :

لاحظنا ومن خلال دراستنا لظاهرة دوبلر أن جبهة الموجات الصوتية تتقارب من بعضها البعض أمام المصدر المتحرك وأن مقدر التقارب يعتمد على سرعة المصدر نفسه مما يؤدي إلى زيادة تردد الموجات الصوتية المسموعة وزيادة اهتزاز جزيئات الهواء حول موضع اتزانها ، وهذا يعني أنه كلما زادت سرعة المصدر كلما تقاربت الجبهات من بعضها أكثر وأكثر وإذا ما أصبحت سرعة المصدر مساوية لسرعة الصوت فإن جبهات الموجات الصوتية تتداخل مع بعضها البعض لتبدو وكأنها جبهة واحدة ويكون الطول الموجي عندها تقريباً مساوياً للصفر ويكون التردد عندها عالياً جداً جداً ، هذا التقارب الكبير جداً بين الجبهات يعني أن جزيئات الهواء أيضاً هي الأخرى أصبحت متقاربة جداً بين بعضها البعض مما يؤدي إلى زيادة كثافة الهواء أمام المصدر فيؤدي إلى تكون طبقة دخانية تشبه الغيم أمام المصدر هذه الطبقة تشكل مثل الحاجز أمام المصدر ويطلق عليها بحاجز الصوت ، وإذا ما زاد المصدر من سرعته لتصبح أكبر من سرعة الصوت فإنه سوف يؤدي إلى اختراق هذا الحاجز وعند الاختراق يُسمع صوت دويّ هاائل ، وعندها تصبح الموجات الصوتية خلف المصدر أي أن المصدر يصبح متقدماً عن الموجات الصادرة منه ، والشكل المقابل يوضح هذه العملية :



almanahi.com/om
PHYSICS PLUS

## ◄ الرنين في الأعمدة الهوائية :

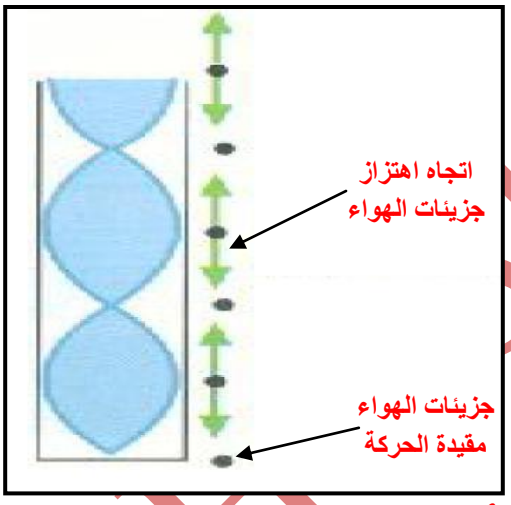
لكل وسط ناقل للموجات تردد خاص به يعرف بالتردد الطبيعي للوسط الناقل وهو يعتمد على الخصائص الميكانيكية لهذا الوسط ، وإذا ما أثر مصدر مهتز على هذا الوسط وكان تردد المصدر مساوياً للتردد الطبيعي لهذا الوسط عندها تكون سعة الاهتزازة أكبر ما يمكن ، ويحدث ما يسمى بظاهرة الرنين .

هذه الظاهرة يمكن أن تحدث في الموجات الصوتية فيما يعرف بالرنين في الأعمدة الهوائية ، فالعمود الهوائي هو عبارة عن أنبوب مجوف من الداخل يحتوي على جزيئات الهواء وقد يكون هذا الأنبوب مفتوح من طرفين وقد يكون مفتوح من طرف واحد فقط ، وموضوع دراستنا سوف يكون حول العمود الهوائي المفتوح من طرف واحد فقط.

تحدث ظاهرة الرنين في العمود الهوائي عندما يكون تردد المصدر الصوتي وقد يكون شوكة رنانة أو أي مصدر صوتي آخر مساوياً للتردد الطبيعي لجزئيات الهواء بداخل العمود الهوائي مما يؤدي إلى حدوث تضخم للصوت الصادر من المصدر ، فكيف يحدث ذلك ؟

الشكل المقابل يوضح تجربة توضح حدوث ظاهرة الرنين في العمود الهوائي المفتوح من طرف واحد فقط .

عند تقريب طرف الشوكة الرنانة من فوهة العمود الهوائي فإنها تؤثر على جزيئات الهواء عند الفوهة ويجعلها تهتز مما يؤدي إلى تكون موجات طولية تنتقل من أعلى العمود الهوائي إلى الطرف المغلق ، وعندما تصل إلى الطرف المغلق للعمود فإنها سوف تصطدم به مما يؤدي إلى انعكاسها فيتكون داخل العمود قطار من الموجات الطولية الساقطة وقطار من الموجات الطولية المنعكسة فتتداخل الموجات مع بعضها مما يؤدي إلى تكون موجات موقوفة تتكون من عقد وبطون داخل العمود الهوائي وتتكون عقدة دائماً عند الطرف المغلق للعمود الهوائي وذلك لأن جزيئات الهواء عنده تكون مقيدة الحركة وغير قابلة للاهتزاز حول موضع اتزانها ، ويحدث الرنين عندما تصبح سعة الموجة الموقوفة أكبر ما يمكن عند فوهة العمود ولا يحدث ذلك إلا إذا تكون بطن عند فوهة العمود وعندها تكون شدة الصوت الصادر من الشوكة الرنانة أعلى ما يمكن ، وبالتالي فإن هذه الظاهرة يمكن أن تتكرر في العمود الهوائي عند أطوال مختلفة كلما تكون بطن عند فوهة العمود الهوائي .




وعندها فإن أقصر طول للعمود الهوائي يمكن أن يحدث عنده الرنين يحدث عندما يتكون أول بطن عند فوهة العمود.

♦ إذا افترضنا أن طول العمود الهوائي قابل للتغيير وتردد الشوكة الرنانة ثابت فإن:

- أقصر طول للعمود الهوائي يحدث عنده الرنين عندما يكون طول العمود مساوياً ( $\frac{\lambda}{4}$ ) ما يتضح في الشكل المقابل ، وعندها يسمى الرنين في هذه الحالة بالرنين الأول أو بالنغمة الأساسية .

- عند زيادة الطول تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين عندما يتكون البطن الثاني عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود الهوائي مساوياً ( $3\frac{\lambda}{4}$ ) ويسمى عندها الرنين بالرنين الثاني أو بالنغمة التوافقية الأولى.

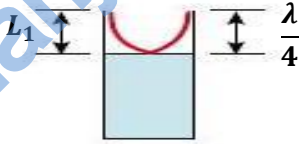
- بنفس الطريقة ، عند زيادة طول العمود تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين مرة أخرى عندما يتكون البطن الثالث عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود مساوياً ( $5\frac{\lambda}{4}$ ) ويسمى عندها الرنين بالرنين الثالث أو بالنغمة التوافقية الثانية .

- و عند زيادة طول العمود تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين مرة أخرى عندما يتكون البطن الرابع عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود مساوياً ( $7\frac{\lambda}{4}$ ) ويسمى عندها الرنين بالرنين الرابع أو بالنغمة التوافقية الثالثة ..... وهكذا.

ويوضح الشكل أدناه ذلك :

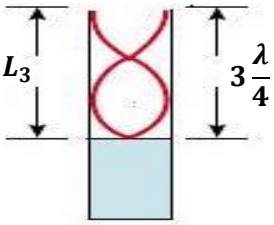
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om



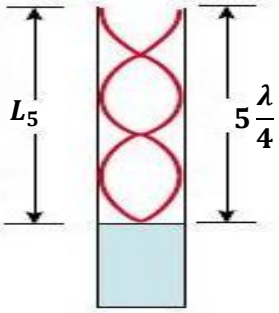

الرنين الأول

النغمة الأساسية




الرنين الثاني

النغمة التوافقية الأولى




الرنين الثالث

النغمة التوافقية الثانية

من الشكل نحصل على :

$$L_1 = \frac{\lambda}{4} \ , L_3 = 3\frac{\lambda}{4} \ , \ L_5 = 5\frac{\lambda}{4}$$ وهكذا ... ... ...

وبصورة عامة نستنتج أن :

$$L_n = n\frac{\lambda}{4} \quad \gg\gg\gg 1$$

حيث أن :

$n = 1, 3, 5, 7, 9, \ldots \ldots \ldots, \infty$ ( رتبة الرنين )

ـ مما سبق إذا حسبنا الفرق في الطول بين كل رنين متتاليين سنجد ما يلي :

$$L_3 - L_1 = 3\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} = (3-1)\frac{\lambda}{4} = 2\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

أو :

$$L_5 - L_3 = 5\frac{\lambda}{4} - 3\frac{\lambda}{4} = (5-3)\frac{\lambda}{4} = 2\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

ومنها نستنتج أن :

إذا كان $m$ و $n$ رنينين متتاليين وكانت رتبة $m > n$ فإن :

$$L_m - L_n = \frac{\lambda}{2}$$

PHYSICS GEN

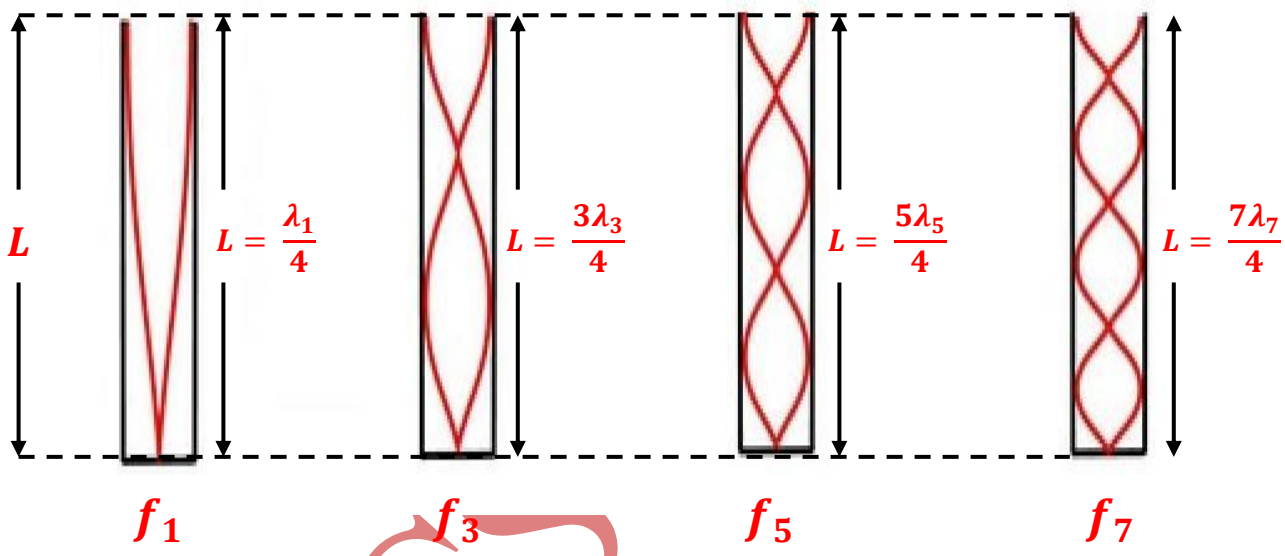
♦ أما إذا افترضنا أن طول العمود الهوائي ثابت وكان تردد الشوكة الرنانة قابل للتغيير فإن:

- أقل تردد يحدث عنده الرنين في العمود الهوائي هو الذي يؤدي إلى تكون موجة موقوفة تتكون من بطن عند الطرف المغلق للعمود الهوائي وبطن عند فوهة العمود ويسمى بالتردد الأساسي ويرمز له بالرمز ( $f_1$ ) .

- عند زيادة تردد الشوكة تدريجياً فإنه لن يحدث رنين إلا عند تكون موجة موقوفة داخل العمود الهوائي تتكون من عقدتين وبطنين ،ويسمى هذا التردد بالتردد التوافقي الأول ويرمز له بالرمز ( $f_3$ )

- وبنفس الطريقة عند زيادة التردد تدريجيا لن يحدث رنين أيضاً في العمود الهوائي إلا إذا تكونت موجة موقوفة بداخله تتكون من ثلاث عقد وثلاثة بطون, ويسمى هذا التردد بالتردد التوافقي الثاني ويرمز له بالرمز ( $f_5$ ) ،،،،،، وهكذا .

والشكل أدناه يوضح ذلك :




ومن الشكل نستنتج أن :

$$L = \frac{n\lambda_n}{4}$$

ومنها فإن :

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

حيث أن :

$n = 1, 3, 5, 7, 9, 11, \ldots\ldots\ldots, \infty$ ( رتبة الرنين )

نعلم أن :

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

$$\therefore f_n = \frac{v}{\lambda_n}$$

وبالتعويض عن مقدار ( $\lambda_n$ ) نحصل على :

$$f_n = \frac{v}{\frac{4L}{n}}$$

$$\therefore f_n = \frac{nv}{4L}$$

almaraahj.com
PHYSICS

وبالتالي فإن التردد الأساسي الذي يحدث عنده الرنين يكون :

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

ويكون التردد التوافقي الأول :

$$f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$

ويكون التردد التوافقي الثاني :

$$f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

,,,,,,, وهكذا ، ومنها يمكن القول أن :

$$f_n = nf_1$$

ومنها نستنتج أن :
تردد الشوكة الرنانة يتناسب طردياً مع رتبة الرنين :

$$f_n \, \alpha \, n$$

وبالتالي ، إذا كان لدينا تردد توافقي رتبته ( $m$ ):

$$f_m = mf_1$$

وتردد توافقي آخر رتبته ( $n$ ) :

$$f_n = nf_1$$

فإن :

$$\frac{f_m}{f_n} = \frac{mf_1}{nf_1}$$

$$\therefore \quad \frac{f_m}{f_n} = \frac{m}{n}$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

## ◄ التقانات التي تعتمد على الموجات فوق الصوتية :

تستطيع أذن الإنسان الطبيعي سماع الأصوات التي يتراوح ترددها بين ( $20\ Hz$ ) و ( $20\ KHz$ ) وبالتالي فإن الإنسان لا يستطيع سماع الأصوات التي يقل ترددها عن ( $20\ Hz$ ) والتي يزيد ترددها عن ( $20\ KHz$ ) والموجات الصوت التي يكون ترددها أقل من ( $20\ Hz$ ) تسمى بالموجات تحت الصوتية أما الموجات التي يزيد ترددها عن ( $20\ KHz$ ) فتسمى بالموجات فوق الصوتية وهذه الموجات تحمل جميع الخصائص الفيزيائية التي تحملها الموجات الصوتية المسموعة .
للموجات فوق الصوتية استخدامات عديدة ومن أهمها :

### * جهاز الموجات فوق الصوتية :

يستخدم هذا الجهاز في الطب بصورة كبيرة فهو يساعد على تشخيص الأمراض والكشف عنها وكذلك في علاجها ويمتاز جهاز الموجات فوق الصوتية عن جهاز التصوير بالأشعة السينية في أنه :

- غير ضار .
- يستطيع التمييز بين الأنسجة اللينة والسوائل .
- يستطيع التمييز بين الكيس المائي والورم .

يعتمد مبدأ عمل جهاز الموجات فوق الصوتية على ظاهرة إنعكاس الموجات و ظاهرة دوبلر وآلية عمل هذا الجهاز نلخصها في العمليات التالية :

1- الإرسال : يحتوي جهاز الموجات فوق الصوتية على مجس يقوم بإرسال الموجات فوق الصوتية والتي يتراوح ترددها بين ( $1\text{-}5\ MHz$ ) على هيئة نبضات إلى العضو أو الجهاز المراد فحصه .

2- الانعكاس : تستطيع الموجات فوق الصوتية اختراق جسم الإنسان وأعضاؤه وعند انتقالها بين الحدود والفواصل بين الأعضاء فإن جزءً منها ينفذ من خلال العضو والآخر ينعكس ليصل إلى المجس أما الجزء الآخر من النبضات يستمر إلى أجزاء أعمق في جسم الإنسان لتصل إلى حدود فاصل أخرى وينعكس جزءً منها عائداً إلى المجس والباقي ينفذ وهكذا .

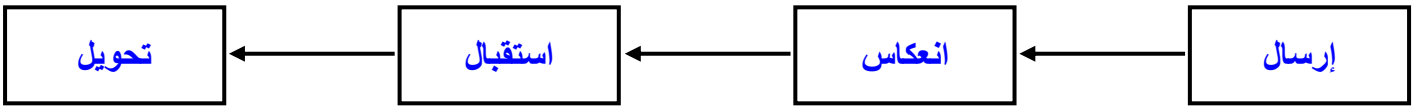
3- الإستقبال : يقوم المجس باستقبال النبضات المنكسة تباعاً ويقوم بعد ذلك بحساب المسافة بينه وبين العضو الذي انعكست عنه النبضات من خلال معرفة الفترة الزمنية التي استغرقتها ذهاباً وعودة والتي يجب أن لا تزيد عن ( $10^{-6}s$ ) ومعرفة سرعة الصوت في جسم الإنسان والتي تبلغ تقريباً ( $1540\ m/s$ ) .

4- التحويل : يقوم المجس بتحويل النبضات الصوتية إلى أشارات كهربائية وتكوين توزيع ثنائي الأبعاد لهذه الإشارات وتحويلها إلى صورة للعضو المراد فحصه .

قد يستخدم جهاز الموجات فوق الصوتية ظاهرة دوبلر في قياس سرعة سريان الدم داخل جسم الإنسان وقياس معدل نبضات القلب وغيرها .

### * جهاز السونار :

فكرة عمل جهاز السونار تشبه تماماً فكرة عمل جهاز الموجات فوق الصوتية , وهي أيضاً تعتمد على ظاهرة دوبلر وانعكاس الموجات وآلية عمله هي نفسها آلية عمل جهاز الموجات فوق الصوتية وهي تتلخص في :




PHYSICS GENIUS

ومن أهم استخدامات جهاز السونار هي :

- حساب عمق مياه البحار والمحيطات .
- الكشف عن السفن والأجسام في قاع البحار والمحيطات.
- تجنب الحيود الصخرية التي قد تصيب الضرر بالسفن والغواصات .
- تتبع حركة الأجسام في قاع البحار والمحيطات .

* الرادار :

فكرة ومبدأ آلية عمل الرادار هي نفسها بالضبط بالنسبة لجهاز الموجات فوق الصوتية والسونار ، ومن أهم استخداماته هي :

- تعقب حركة الطائرات وتوجيهها أثناء رحلاتها وأثناء الإقلاع والهبوط .
- ضبط سرعة السيارات في حدود السرعة القانونية المسموح بها .
- يستخدم لرسم خرائط الكواكب ومراقبة مسارات الأقمار الصناعية .
- معرفة الأحوال الجوية .
- في المعارك الحربية وتوجيه القذائف والصواريخ .

ولكن نظراً لأن الموجات فوق الصوتية مداها قصير جداً بحيث لا يتعدى ( 2Km ) فإنه يفضل استخدام الرادارات التي تعتمد على نوع من الموجات الكهرومغناطيسية ( الراديو ) بدلاً عن الرادارات التي تعتمد على الموجات فوق الصوتية .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

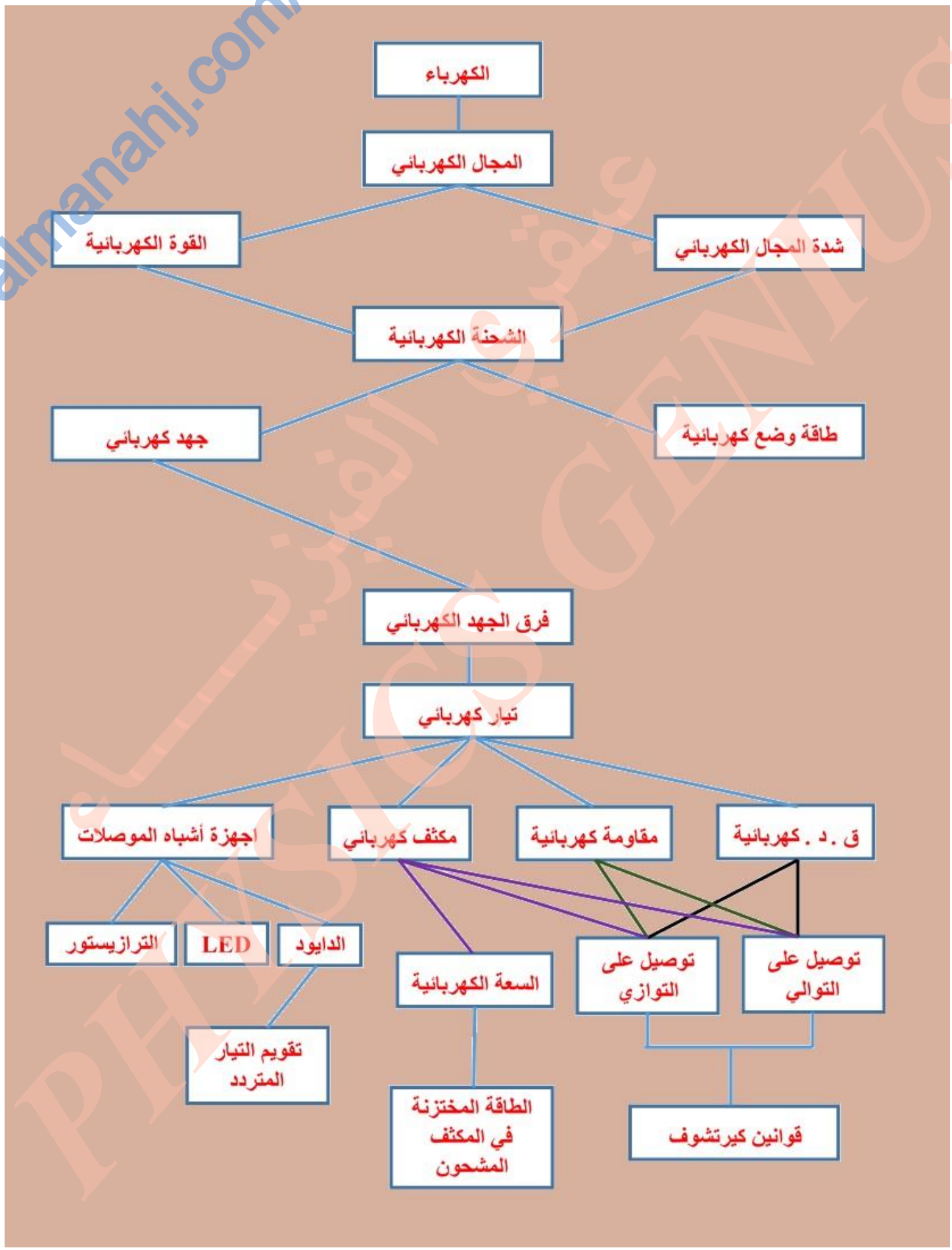
## ◄ الفصل الأول : الكهرباء

*** المحاور التي سوف نتحدث عنها في هذا الفصل هي :**

- طاقة الوضع الكهربائية
- الجهد الكهربائي
- فرق الجهد الكهربائي
- التيار الكهربائي
- القوة الدافعة الكهربائية
- قانون اوم
- المقاومة الكهربائية
- طرق توصيل ( تجميع ) المقاومات الكهربائية
- قوانين كيرتشوف
- المكثف الكهربائي
- طرق توصيل ( تجميع ) المكثفات الكهربائية
- الطاقة المختزنة في المكثف المشحون
- أشباه الموصلات
- أجهزة أشباه الموصلات

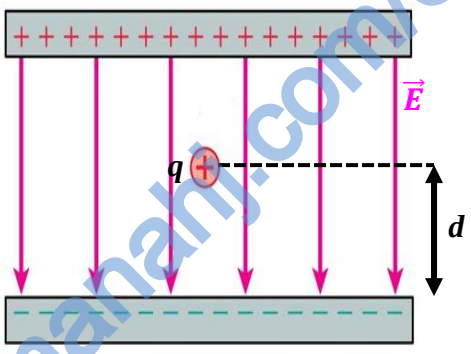
almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

* خريطة المفاهيم للفصل :




almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## 1) طاقة الوضع الكهربائية ( Electric Potential Energy ) :-




شكل ( 1 – 1 )

عند وضع لوحين كهربائيين مشحونين بشحنتين مختلفتين متقابلين على بعضهما البعض ومتوازيين فإنه سيتولد بينهما مجالاً كهربائياً منتظماً أي ان شدته ولتكن $E$ ستكون ثابته عند أي نقطة بين اللوحين واتجاهه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، وعند وضع شحنة اختبارية موجبة $+q$ بين اللوحين ، كما في الشكـــل ( 1 – 1 ) فإنها سوف تكتسب طاقة وضع كهربائية $PE_e$ مقدارها يمكن إيجاده من العلاقة :

$$PE_e = q.E.d \quad \gg 1-1$$

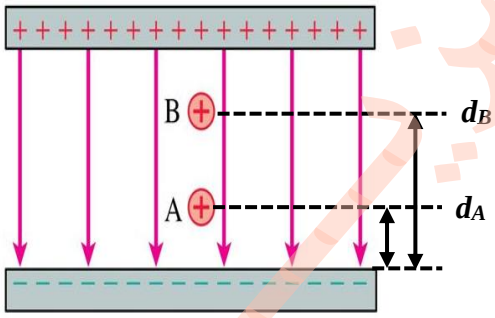
وحدة قياسها هي :

الجول ( $J$ ) وتكافؤها نيوتن×متر ( $N.m$ ) ، حيث أن :

$$1J = 1\ N.m$$

طاقة الوضع الكهربائية للشحنة الاختبارية الموجبة كمية عددية تحدد بالمقدار فقط وتعتمد على عاملين ( باعتبار أن شدة المجال الكهربائي ثابتة ) هما :

- مقدار الشحنة ( $q$ )
- بعدها عن اللوح السالب أي موضع الشحنة بالنسبة للوح السالب ( $d$ ).




شكل ( 1 – 2 )

في الشكل ( 1 – 2 ) عندما كانت الشحنة في الموضع $A$ فإنها تكتسب طاقة وضع كهربائية مقدارها $PE_A$ وتساوي :

$$PE_A = q.E.d_A$$

وعند تحريكها إلى النقطة $B$ فإنها ستكتسب طاقة وضع كهربائية مقدارها $PE_B$ وتساوي :

$$PE_B = q.E.d_B$$

ومنها نستنتج أن طاقة الوضع الكهربائية التي تكتسبها الشحنة:

- تتغير بتغير موضع الشحنة .
- عند النقطة $B$ أكبر منها عند النقطة $A$ وذلك لأن $d_B > d_A$

يمكن إيجاد مقدار التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة من العلاقة :

$$\Delta PE_e = PE_f - PE_i = PE_B - PE_A$$

$$= q.E(d_B - d_A)$$

$$\therefore \Delta PE = q.E.\Delta d \quad \gg 2-1$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

من دراستنا السابقة في الصف الحادي عشر تعلمنا أن :

$$W = \Delta PE$$

وإذا ما طبقنا هذه العلاقة على الشحنة الكهربائية فإنه يمكن القول أن :

$$W = \Delta PE_e = PE_f - PE_i$$

$$\therefore W = q.E.\Delta d \quad \gg 3-1$$

أي أنه لجعل الشحنة الكهربائية تنتقل بين النقطتين $A$ و $B$ فإنه ينبغي أن نبذل عليها شغلاً كهربائياً إما بواسطة القوة الكهربائية الناتجة عن المجال الكهربائي أو بواسطة قوة خارجية ، وعندما تكون الشحنة الكهربائية الموجبة تحت تأثير القوة الكهربائية فقط فإنها سوف تتحرك مع اتجاه المجال – الشكل ( 1 – 2 ) – أي من النقطة $B$ إلى النقطة $A$ وعندها يقال ان الشحنة تتحرك في اتجاه حركتها الطبيعية ( أي تحت تأثير المجال الكهربائي ) وبالتالي فإن طاقة الوضع الكهربائية للشحنة سوف تقل ، إما إذا أثرنا عليها بقوة خارجية وجعلناها تتحرك من $B$ إلى $A$ فإنها سوف تكتسب طاقة وضع كهربائية ( ماذا تستنتج ؟ )

- وحدة قياس الشغل هي أيضاً الجول ( $J$ ) .

## 2) الجهد الكهربائي ( Electric Potential ) :-

عند محاولة معرفة ما مدى تأثير المجال الكهربائي على الشحنة الكهربائية الموضوعة فيه فإننا نتحدث عن مصطلح جديد يعرف بالجهد الكهربائي ويرمز له بالرمز $V$ وهو يعبر عن مقدار طاقة الوضع الكهربائية التي تمتلكها هذه الشحنة ويمكن إيجاده من العلاقة :

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

وبالتعويض عن مقدار $PE_e$ من العلاقة 1 :

$$V = \frac{q.E.d}{q}$$

$$\therefore V = E.d \quad \gg 1-2$$

ومن هنا نستنتج أن الجهد الكهربائي المؤثر على الشحنة داخل المجال الكهربائي المنتظم الذي شدته ( $\vec{E}$ ) يعتمد على موضع هذه

الشحنة ( $d$ ) ، وبالتالي فإن الجهد الكهربائي عند النقطة ( $A$ ) شكل ( 1-2 ) سيكون :

$$V_A = E.d_A$$

وأيضاً عند النقطة ( $B$ ) سيكون :

$$V_B = E.d_B$$

وهذا يدل على أن الجهد الكهربائي بين النقطتين يتغير وذلك نظراً لان موضع النقطتين داخل منطقة المجال الكهربائي مختلف، وإذا ما اردنا حساب مقدار التغير في الجهد الكهربائي بين النقطتين فإننا سوف نصل لمصطلح آخر يعرف بفرق الجهد الكهربائي.

## 3) فرق الجهد الكهربائي ( *Potential Deference* ) :-

اذاً نستطيع القول أن فرق الجهد الكهربائي هو مقدار التغير في الجهد الكهربائي المؤثر على الشحنة الكهربائي بين نقطتين مختلفتين في الموضع ويرمز له بالرمز $\Delta V$ أو اختصاراً $V$ ، ومنها يمكن القول أن :

$$\Delta V = V_f - V_i$$

وإذا ما اعتبرنا أن الشحنة تتحرك داخل المجال حركة طبيعية في الشكل ( 1-2 ) أي من النقطة $B$ إلى النقطة $A$ فإن :

$$\Delta V = V_A - V_B$$

$$= E.d_A - E.d_B$$

$$= E(d_A - d_B)$$

$$\therefore \Delta V = E.\Delta d$$

وبالتعويض عن $E$ من المعادلة ( 3 ) نحصل على :

$$\Delta V = \frac{W}{q.\Delta d}\Delta d$$

$$\therefore \Delta V = \frac{W}{q} = \frac{\Delta PE_e}{q} \gg 1-3$$

ومنها نجد ان فرق الجهد الكهربائي هو مقدار الشغل المبذول على الشحنة الكهربائية لتحريكها بين النقطتين $A$ و $B$ .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

### ◆ وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي :

من خلال العلاقة *3-1* نجد ان وحدة قياسه هي ( $\frac{\text{الجول } (J)}{\text{الكولوم } (C)}$ )
والوحدة المكافئة لها هي ( الفولت $V$ ) ، أي أن :

$$1V = 1J / 1C$$

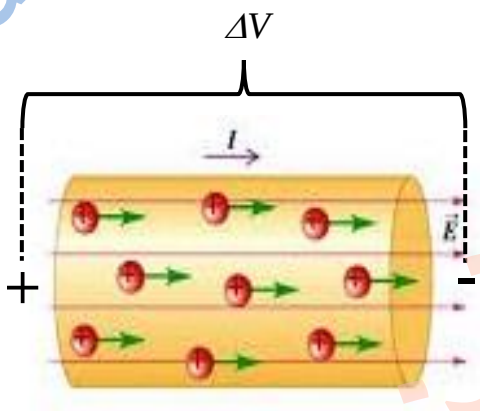
### ◆ مما سبق نستنتج أن فرق الجهد الكهربائي يعمل على :

- تحريك الشحنة الكهربائية الموجبة داخل منطقة المجال من الجهد الأعلى ( + ) إلى الجهد الأقل ( - ) .

- التقليل من طاقة الوضع الكهربائية التي تحملها الشحنة لأنه يعمل على نقل الشحنة من موضع يكون فيه طاقة الوضع الكهربائية أعلى إلى موضع آخر تكون فيه الطاقة أقل .

- توليد تيار كهربائي في سلك موصل شكل ( *3-1* ) وذلك لأنه إذا ما تم ربط طرفا السلك بقطبين مختلفين احدهما موجب والاخر سالب وبالتالي فإن فرق الجهد بين الطرفين سيعمل على تحريك الشحنات الكهربائية بينهما وسيجعلها تتحرك في اتجاه واحد مما يؤدي إلى تكون التيار الكهربائي في السلك ، ويرمز لشدة التيار الكهربائي المار في السلك بالرمز ( $I$ ) ويمكن إيجادها وكما درسنا في الحادي عشر من العلاقة:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad (\text{الأمبير } A)$$



**شكل ( 3 – 1 )**

**◆ مثال:**

( **<u>اختر الإجابة الصحيحة</u>** ) يتولد مجالاً كهربائياً منتظماً شدته *1* $N/C$ بين لوحين متوازيين وتفصل بينهما مسافة مقدارها $d$ ، فإن شدة المجال المؤثر على كرة معدنية موضوعة في منتصف المسافة بينهما تساوي :

أ) *0*  ب) *0.25 N/C*  ج) *0.5 N/C*  د) *1 N/C*

**◆ مثال:**

مجال كهربائي شدته *215 N/C* اتجاهه للأعلى ، ويتحرك بداخله جسم مشحون وفي نفس اتجاهه مسافة مقدارها *2 cm* مما أدى الى انخفاض طقة وضعها الكهربائية بمقدار $6.9 \times 10^{-19} J$ فأوجد مقدار كلاً من :

أ- الشحنة التي يحملها الجسم .

ب- فرق الجهد الكهربائي بين الموضعين اللذان تحرك بينهما الجسم .

**- المعطيات :**

$$\Delta PE_e = -6.9 \times 10^{-19} J$$

$$E = 215\ N/C$$

$$\Delta d = -2\ cm = -0.02\ m$$

**- المطلوب والحل:**

**أ- $q$ :**

من المعادلة رقم 2

$$\Delta PE_e = q.E.\Delta d$$

$$q = \frac{\Delta PE_e}{E.\Delta d} = \frac{-6.9 \times 10^{-19}}{215 \times -0.02} = 1.604 \times 10^{-19} C$$

**ب- $\Delta V$ :**

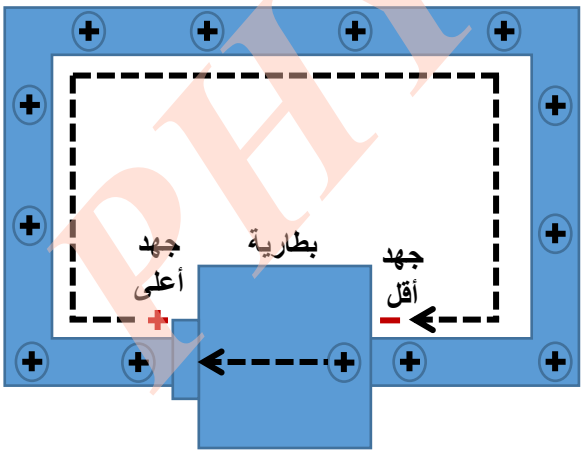
من المعادلة رقم 3

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{\Delta PE_e}{q} = \frac{-6.9 \times 10^{-19}}{1.604 \times 10^{-19}}$$

$$= -4.3\ V$$

## 4) القوة الدافعة الكهربائية ( Electromotive Force [ e.m.f ] ) :

لنعد الى الشكل ( 1 – 3 ) ، فنجد أن الشحنات الموجبة ( التيار الكهربائي الاصطلاحي ) تنتقل من القطب الموجب للسلك الى القطب السالب للسلك تحت تأثير فرق الجهد بينهما وهذا يؤدي كما ذكرنا سابقاً إلى جعل الشحنات الكهربائية تفقد طاقة وضعها الكهربائية ، وإذا ما افترضنا أن طاقة الوضع الكهربائية للشحنات عند الطرف السالب تصبح صفراً وأردنا جعل الشحنات الكهربائية تعيد الحركة من جديد أي جعل التيار الكهربائي في السلك مستمراً فهذا يعني انه يجب ان ننقلها من الطرف السالب الى الطرف الموجب أي من منطقة ذات الجهد الأقل الى منطقة ذات الجهد الأعلى وبالتالي نجعلها تكتسب طاقة وضع كهربائية لكي تتمكن من إعادة الحركة من جديد أي انه يجب بذل شغل خارجي على هذه الشحنات وتسمى طاقة الوضع الكهربائية التي تكتسبها هذه

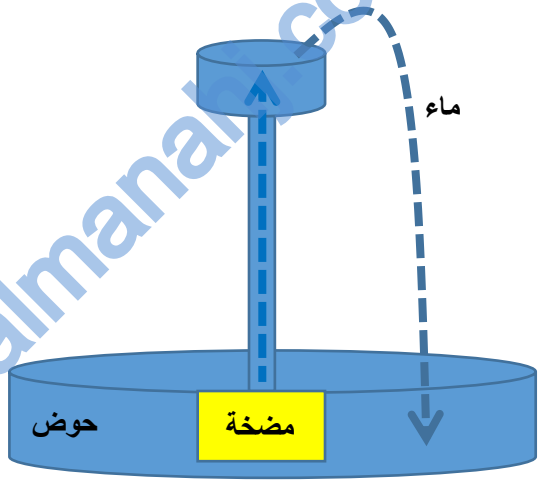



شكل ( 4 – 1 )

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

الشحنات بالقوة الدافعة الكهربائية ، ويمكن توفيرها بواسطة مصدر خارجي يطلق عليه بمصدر القوة الدافعة الكهربائية مثل البطارية والمولد الكهربائي والخلايا الشمسية .

يمكن تشبيه هذه العملية بطريقة عمل نافورة المياه فالمياه تتساقط من اعلى النافورة الى القاع لتتجمع في الحوض اسفل النافورة ولجعل المياه تتساقط باستمرار في النافورة يجب نقل المياه من قاع الحوض الى اعلى النافورة ويتم ذلك عن طريق مضخة المياه وبالتالي فإن المضخة تعمل على اكساب المياه طاقة الوضع التثاقلية التي تفقدها جراء سقوطها من أعلى النافورة الى قاع الحوض لكي تستطيع أن تعيد حركتها باستمرار ، وهكذا هو بالنسبة للبطارية فيمكن اعتبارها كمضخة للشحنات تعمل على ضخ الشحنات من المنطقة التي يكون فيها طاقة الوضع الكهربائية للشحنات تساوي صفر تقريباً ( الطرف السالب للسلك ) الى منطقة يكون فيها طاقة الوضع الكهربائية للشحنات تكون اكبر ما يمكن ( الطرف الموجب للسلك )



شكل ( 4 – 2 )

أنظر الشكلين ( 1 – 4 ) و ( 1 – 5 )

مما سبق يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربائية بانها الطاقة التي تكتسبها الشحنة الكهربائية بواسطة المصدر الكهربائي أو هي الشغل الذي يبذله المصدر الكهربائي على الشحنة بالنسبة لوحدة الشحنة

يرمز للقوة الدافعة الكهربائية في المعادلات والقوانين الرياضية بالرمز ( $\varepsilon$ ) وتنطق إيبسلون أما في الدوائر الكهربائية فيرمز لها بالرمز (  )

إذا ما عدنا للتعريف فيمكن ترجمته رياضياً كما يلي :

$$\varepsilon = \frac{W}{q} = \frac{\Delta PE_e}{q}$$

وبالتالي فنجد أن العلاقة الرياضية لحساب القوة الدافعة الكهربائية هي نفسها العلاقة الرياضية لحساب فرق الجهد وبهذا نستنتج أنها ليست قوة كما يدل عليه اسمها وانما هي عبارة عن فرق في الجهد الكهربائي وبالتالي فإنه يتم قياسها بوحدة الفولت ( $V$ ) ويكافؤها الجول / الكولوم ( $J/C$ ) حيث أن :

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

وهذا يعني انه إذا كان لدينا مصدر كهربائي قوته الدافعة الكهربائية $1V$ فإنه يستطيع اكساب شحنة مقدارها $1C$ طاقة وضع كهربائية مقدارها $1J$ أو بصورة أخرى يعني أن الشغل المبذول بواسطة

المصدر لنقل شحنة كهربائية مقدارها $1C$ داخل المصدر الكهربائي يساوي $1J$ .

**♦ مثال:**

ماذا نعني بقولنا أن القوة الدافعة الكهربائية لبطارية ما هي $24V$ ؟ وكم مقدار الطاقة الكهربائية التي يمكن أن تنتجها هذه البطارية لنقل 10 شحنات كهربائية شحنة كل منها $1C$ ؟

**الحل :**

- يعني أن مقدار الطاقة الكهربائية التي يمكن أن تكتسبها شحنة كهربائية مقدارها $1C$ بواسطة البطارية تساوي $24J$ ( هل يمكنك التعبير عنها بواسطة الشغل ؟ )

- مقدار الطاقة الكهربائية التي تنتجها البطارية :

من العلاقة :

$$\varepsilon = \frac{\Delta PE_e}{Q}$$

$$\therefore \Delta PE_e = \varepsilon . Q = 24 \times 10 = 240\,J$$

**◄ مما سبق نستنتج أن القوة الدافعة الكهربائية تعمل على :**

- تحريك الشحنات الكهربائية داخل المصدر
- نقل الشحنات الكهربائية من الجهد الأدنى ( الطرف السالب ) إلى الجهد الأعلى ( الطرف الموجب ) .
- إكساب الشحنات الكهربائية طاقة وضع كهربائي .

**◄ مقارنة بين القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي :**

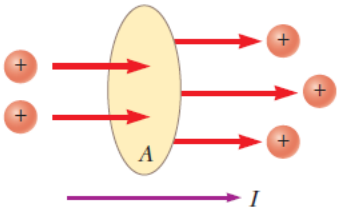
| وجه المقارنة | فرق الجهد الكهربائي | القوة الدافعة الكهربائية |
|---|---|---|
| الرمز الرياضي | $\Delta V$ | $\varepsilon$ |
| الوظيفة | تحريك الشحنات الكهربائية من منطقة ذات الجهد الأعلى إلى منطقة ذات الجهد الأدنى | تحريك الشحنات الكهربائية من منطقة ذات الجهد الأدنى إلى منطقة ذات الجهد الأعلى |
| التأثير على الشحنات | الشحنة تفقد طاقة وضعها الكهربائية | الشحنة تكتسب طاقة وضع كهربائية |
| مكان العمل | خارج البطارية | داخل البطارية |
| القانون | $\Delta V = \frac{W}{Q} = \frac{\Delta PE_e}{Q}$ | $\varepsilon = \frac{W}{Q} = \frac{\Delta PE_e}{Q}$ |
| وحدة القياس | الفولت $V$ | الفولت $V$ |

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## 5) التيار الكهربائي ( *Electric Current* ) :

عند تطبيق فرق في الجهد الكهربائي بين طرفا موصل فإنه يعمل على تحريك الشحنات الكهربائية من الطرف ذو الجهد الأعلى ( ويسمى القطب الموجب ) إلى الطرف ذو الجهد الأقل ( ويسمى القطب السالب ) ، هذه الحركة الموحدة للشحنات الكهربائي يطلق عليها باسم التيار الكهربائي ، ويقسم التيار الكهربائي إلى نوعين تيار إلكتروني وهو يمثل حركة الشحنات السالبة بي طرفا الموصل واتجاهه من الطرف السالب إلى الطرف الموجب للموصل ، أما النوع الآخر فيسمى بالتيار الاصطلاحي وهو يمثل حركة الشحنات الموجبة بين طرفا الموصل واتجاهه من الطرف الموجب إلى الطرف السالب، وهو الذي سوف نقصده في دراستنا عند ذكر مصطلح التيار الكهربائي.

شكل ( 5 – 1 )



شكل ( 5 – 2 )

ويرمز للتيار الكهربائي رياضياً بالرمز $I$ ويعرف بأنه عدد الشحنات $\Delta Q$ التي تمر عبر المقطع العمودي للموصل خلال الثانية الواحدة $\Delta t$ ويمكن حسابه من العلاقة :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \gg 1-5$$

وحدة قياس التيار الكهربائي هي الأمبير $A$ وتكافؤها الكولوم/الثانية $\frac{C}{s}$

## 6) المقاومة الكهربائية ( *Electrical Resistance* ) :

عند انتقال الشحنات الكهربائية بين طرفا موصلٍ ما بواسطة فرق الجهد الكهربائي بين الطرفين فإن الشحنات الكهربائي تتصادم مع أنوية الذرات المكونة لمادة الموصل مما يؤدي إلى حدوث عرقلة لحركة الشحنات وأيضاً تفقد جزءاً من طاقتها على هيئة حرارة نتيجةً لهذا التصادم وهذا ما نلاحظه عند ملامستنا لسلك موصل معزول يمر به تيار كهربائي ، هذه العرقلة لمرور الشحنات تعرف باسم المقاومة الكهربائية ويرمز لها بالرمز $R$ ويمكن تعريفها بأنها " عرقلة ذرات الموصل لمرور الشحنات عبرها " وقد أثبتت التجارب أن المقاومة الكهربائية لمعظم المواد الموصلة ثابتة وتتغير فقط إذا تغيرت إحدى العوامل التالية عند ثبوت درجة حرارتها :

1- نوع المادة المصنوع منها الموصل ، حيث أن لكل موصل مقاومة خاصة به تتغير بتغير نوع الموصل وتعرف بالمقاومة

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

النوعية لمادة الموصل ويرمز لها بالرمز $\rho$ ، وتتناسب تناسباً طردياً مع المقاومة الكهربائية.

$$R\alpha\rho$$

2- طول الموصل $L$، ويتناسب تناسباً طردياً مع المقاومة الكهربائي ، أي أن بزيادة طول الموصل تزداد مقاومته الكهربائية والعكس صحيح.

$$R\alpha L$$

3- مساحة المقطع العمودي للموصل $A$ ، وتتناسب تناسباً عكسياً مع المقاومة الكهربائية ، أي أنه بزيادة مساحة مقطع الموصل تقل مقاومته الكهربائية والعكس صحيح .

$$R\alpha\frac{1}{A}$$

ويمكن جمع العلاقات السابقة في علاقة واحدة كما يلي :

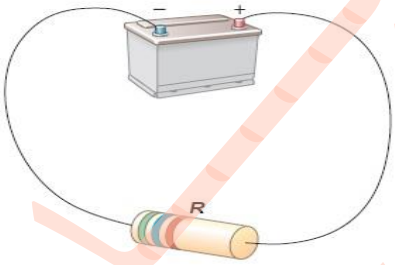
$$R\alpha\frac{\rho.L}{A}$$

وباعتبار أن ثابت التناسب يساوي الواحد الصحيح ، فإننا نحصل على العلاقة التالية :

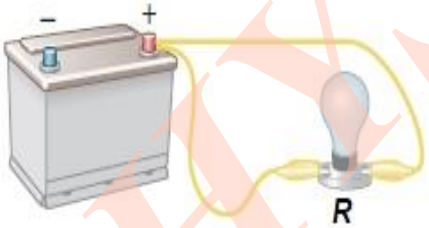
$$R=\frac{\rho.L}{A}$$

يرمز للمقاومة الكهربائية في الدوائر الكهربائية بالرمز :

ويمكن للمقاومة الكهربائية أن تكون جزءاً منفصلاً في الدائرة يمكن ربطه مع بقية أجزاء الدائرة الكهربائية كما في الشكل ( *1-6* ) ، أو يمكن أن تكون أي جهاز كهربائي مستخدم في الدائرة الكهربائية مثل مصباح كهربائي ، مكواة كهربائية .... إلخ كما في الشكل ( *2-6* ) .




**شكل ( 6 – 1 )**




**شكل ( 7 – 1 )**

## 7) قانون أوم ( *Ohm's Law* ) :

استطاع العالم الألماني جورج أوم ومن خلال التجارب أن يستنتج علاقة بين شدة التيار الكهربائي $I$ وفرق الجهد بين طرفا موصلٍ ما فقد وجد أنه عندما تكون درجة حرارة الموصل ثابته ، فإنه وعند زيادة فرق الجهد بين طرفا الموصل تزداد شدة التيار وعندما يقل فرق الجهد بين طرفا الموصل تقل شدة التيار أيضاً ومنها وضع قانوناً يصف هذه العلاقة يعرف بقانون اوم وينص على أن "عند ثبوت درجة حرارة الموصل فإن شدة التيار الكهربائي المار

عبره تتناسب تناسباً طرديا مع فرق الجهد الكهربائي المطبق بين طرفيه" أي أن :

$$V \alpha I$$

- عند تحويل علاقة التناسب بين فرق الجهد وشدة التيار إلى علاقة يساوي تصبح العلاقة أعلاه كما يلي :

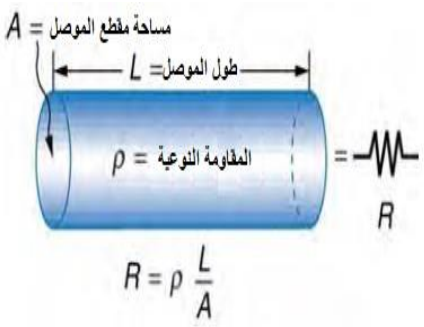
$$V = \text{ثابت التناسب} . I$$

ومنها يمكن حساب ثابت التناسب من العلاقة :

$$\text{ثابت التناسب} = \frac{V}{I}$$

وقد وجد أوم أن مقدار ثابت التناسب يساوي دائماً المقدار $\frac{\rho.L}{A}$ بالنسبة للموصل ، ومنها استطاع استنتاج أن ثابت التناسب ما هو إلا المقاومة الكهربائي للموصل أي أن المقاومة الكهربائية للموصل مقدار ثابت عند ثبوت درجة الحرارة ، وعندها يمكن القول أن :

$$V = R.I$$




**شكل ( 1 – 7 )**

وأيضاً:

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

- الوحدة الدولية لقياس المقاومة الكهربائية هي الأوم وهي وحدة مشتقة للوحدة المكافئة لها من قانون أوم كما يلي ، وسميت بهذا الاسم تكريما للعالم أوم :

$$\frac{V(Volt)}{A\ (Ampere)} = \Omega\ (Ohm)$$

حيث أن :

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

♦ **مثال:**

ماذا نقصد من قولنا أن المقاومة الكهربائية لموصلٍ ما تساوي $1\Omega$؟

**الحل :**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

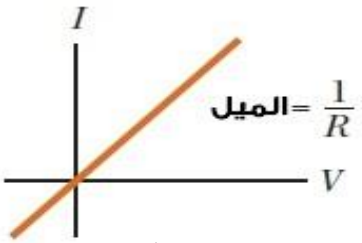
يُقصد بها أنه عندما يكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين طرفا الموصل يساوي $1V$ فإنه يمر عبره تيار كهربائي شدته $1A$ .

- بالرغم من أن قانون أوم قانوناً تجريبياً ، إلا أنه لا ينطبق على جميع المواد وبالتالي فإن المواد التي يمكن أن نطبق عليها قانون أوم هي فقط المواد التي تبقى مقاومتها ثابتة عند ثبوت درجة الحرارة مهما تغيرت شدة التيار المار عبر الموصل أو فرق الجهد الكهربائي بين طرفا الموصل وتسمى هذه المواد بالمواد الأومية مثل المعادن.

أما المواد التي لا ينطبق عليها قانون أوم هي المواد التي تتغير مقاومتها بتغير فرق الجهد بين طرفا الموصل او شدة التيار المار عبره عند ثبوت درجة الحرارة ، وتسمى هذه المواد بالمواد غير الأومية مثل أشباه الموصلات.

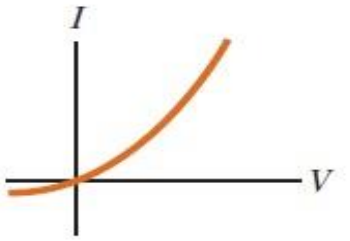
*** التمثيل البياني للعلاقة بين فرق الجهد الكهربائي ( $V$ ) بين طرفا موصل ، وشدة التيار المار عبر هذا الموصل ( $I$ ):**

**أولاً: المواد الأومية ( قانون أوم ) :**




الميل يمثل مقلوب المقاومة ونجد أنه مقدار ثابت مهما تغيرت قيم كلاً من $V$ و $I$

**ثانياً: المواد غير الأومية :**

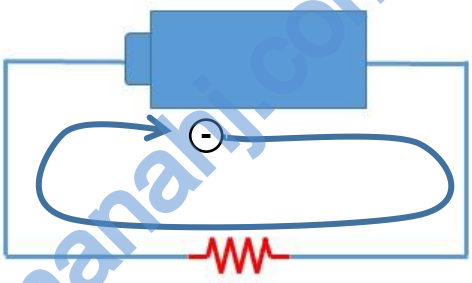



هنا نجد أن الميل يمثل أيضاً مقلوب المقاومة ولكنه يزداد بزيادة $V$ و $I$ وبالتالي فإن المقاومة الكهربائية تقل بزيادة $V$ و $I$ .

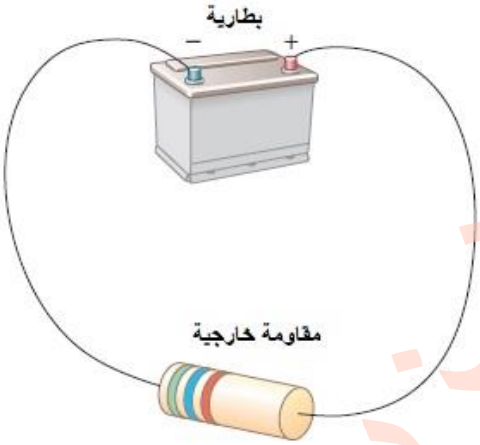
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

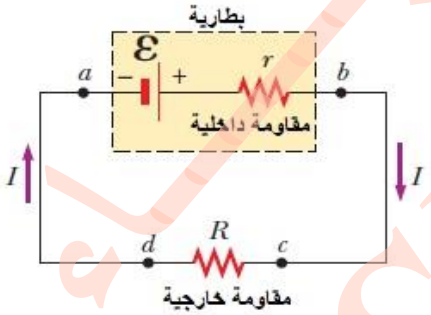
## 8) المقاومة الداخلية للبطارية ( *Internal Resistance* ) :

في الدائرة الكهربائية المقابلة ، فإن الإلكترونات سوف تنتقل بواسطة القوة الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon$ ) عبر السلك من القطب السالب إلى القطب الموجب وكما ذكرنا سابقاً ونتيجة للتصادم بينها وبين ذرات مادة السلك فإن السلك سيقاوم مرورها عبره وهو ما يعرف بالمقاومة الكهربائية وهو الذي يمثله الرمز باللون الأحمر في الدائرة ، إلا أن الإلكترونات سوف تواصل حركتها لتدخل داخل البطارية وتتحرك من القطب الموجب للبطارية إلى القطب السالب وكما نعلم فإن البطارية ليست فراغ وإنما أيضاً تتكون من ذرات أي أنه كذلك سيحدث تصادم بين الإلكترونات وذرات المادة التي تتكون منها البطارية مما يؤدي إلى حدوث عرقلة أخرى لحركة الإلكترونات وهذه المرة داخل البطارية إذن هناك مقاومة كهربائية أخرى تتعرض لها الإلكترونات في الدائرة الكهربائية تؤدي إلى أنها ستفقد جزءاً من طاقتها الكهربائية داخل البطارية وتسمى حينها المقاومة الكهربائية بالمقاومة الداخلية ويرمز لها بالرمز $r$ ، وبسبب المقاومة الداخلية تتأين ذرات مادة البطارية مما يؤدي إلى حدوث تفاعلات كيميائية داخلها فتفقد البطارية جزءاً من قوتها الدافعة تدريجياً إلى أن تصبح غير صالحة للاستخدام أي غير قادرة على إنتاج تياراً كهربائياً في الدائرة وهنا نستطيع القول ان البطارية ليست مثالية لأنها تفقد قوتها الدافعة الكهربائية تدريجياً مع مرور الزمن فلو كانت مثالية لظلت قوتها الدافعة ثابتة خلال الزمن وهذا لا يتحقق إلا إذا كانت مقاومتها الداخلية تساوي صفراً وهذا مستحيل حدوثه.



شكل ( 8 – 1 )




شكل ( 8 – 2 )

**ـ حساب المقاومة الداخلية للبطارية :**

لنستطيع حسابها وفهمها ، نفترض بداية أن البطارية المستخدمة في الدائرة الكهربائية السابقة مثالية ( أي أن مقاومتها الداخلية تساوي 0 ) ، في هذه الحالة فإن الطاقة الكهربائية التي ستكتسبها الشحنات الكهربائية بواسطة القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ستفقدها بواسطة المقاومة الكهربائية للسلك ، وبتطبيق مبدأ حفظ الطاقة على الدائرة الكهربائية فإن :

الطاقة الكهربائية المفقودة بواسطة المقاومة = الطاقة الكهربائية المكتسبة بواسطة القوة الدافعة

$$PE_{in} = PE_{out}$$

$$\varepsilon . q = V_R . q$$

$$\therefore \ \varepsilon = V_R$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

أي أن القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تساوي فرق الجهد الكهربائي بين طرفا المقاومة الخارجية $R$

- الآن لنفترض ان البطارية غير مثالية ، وبالتالي في هذه الحالة فإن الطاقة الكهربائية التي ستكتسبها الشحنات بواسطة البطارية ستفقدها بواسطة مقاومة السلك ( المقاومة الخارجية $R$ ) ومقاومة البطارية ( المقاومة الداخلية $r$ ) ، وبنفس الطريقة وبتطبيق مبدأ حفظ الطاقة فإن :

الطاقة المفقودة بواسطة المقاومة الخارجية + الطاقة المفقودة بواسطة المقاومة الداخلية = الطاقة المكتسبة بواسطة القوة الدافعة

$$PE_{in} = PE_{out(R)} + PE_{out(r)}$$

$$\varepsilon . q = V_R . q + V_r . q$$

$$\varepsilon . q = (V_R + V_r) . q$$

$$\therefore \varepsilon = V_R + V_r \quad \gg 1-8$$

وبما أن المقاومتين يمر عبرهما نفس مقدار الشحنات الكهربائية فإنه وبطبيعة الحال سيمر عبرهما نفس شدة التيار ، وبتطبيق قانون أوم على المقاومتين فإن :

$$V_R = I . R$$

$$V_r = I . r$$

وبالتعويض في العلاقة 1-8 نحصل على :

$$\varepsilon = I . R + I . r$$

$$\varepsilon = I(R + r) \quad \gg 2-8$$

ومنها نحصل على :

$$r = \frac{\varepsilon}{I} - R \quad \gg 3-8$$

- التمثيل البياني لتغير فرق الجهد الكهربائي وشدة التيار المار في دائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومقاومة خارجية :

**♦ مثال:**

بطارية قوتها الدافعة الكهربائية $9V$ تنتج تياراً شدته $117mA$ عندما يتم ربط قطبيها بطرفي موصل مقاومتها الكهربائية $72\Omega$ ، فما مقدار المقاومة الداخلية للبطارية ؟



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**ـ المعطيات :**

$$\varepsilon = 9V$$

$$I = 117mA = 117 \times 10^{-3}A$$

$$R = 72\Omega$$

**ـ المطلوب :**

إيجاد المقاومة الداخلية $r$ للبطارية

**ـ الحل :**

باستخدام المعادلة رقم 3-8 :

$$r = \frac{\varepsilon}{I} - R$$

$$= \frac{9}{117 \times 10^{-3}} - 72$$

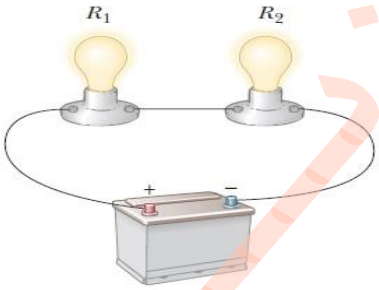
$$= 4.923\Omega$$

## 9) توصيل المقاومات :

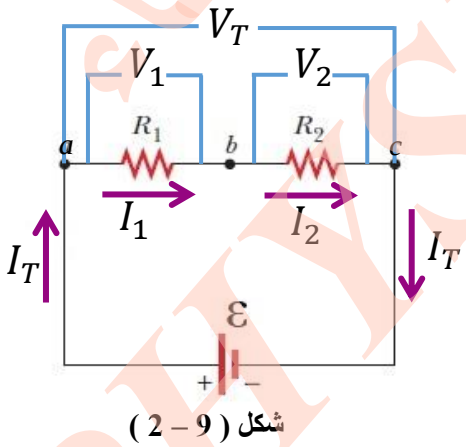
في أي دائرة كهربائية يمكن ربط مقاومتين أو اكثر ببعضهما بهدف الحصول على قيمة محددة للمقاومة الكهربائية ويتم ذلك بطريقتين:

*** أولاً: التوصيل على التوالي :**

في هذا النوع من التوصيل ( أو التجميع ) يتم ربط المقاومات الكهربائية بشكل متتالي بحيث تتصل كل مقاومة مع المقاومة التي تليها بطرف واحد فقط كما في الشكلين ( 1-9 ) و ( 2-9 ).




شكل ( 9 – 1 )




شكل ( 9 – 2 )

نلاحظ فيهما أن المقاومتين $R_1$ و $R_2$ تتصلان مع بعضهما عند النقطة $b$ فقط ولا يوجد بينهما أي اتصال عند $a$ أو $c$ .

**ـ خصائصه :**

* شدة التيار المار عبر جميع المقاومات هي نفسها.

أي أن شدة التيار المار $I_1$ عبر المقاومة $R_1$ هي نفسها شدة التيار $I_2$ المار عبر المقاومة $R_2$ وهي نفسها شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية $I_T$ وبالتالي :

$$I_T = I_1 = I_2$$

* فرق الجهد بين طرفا التجميع يساوي مجموع فروق الجهود بين طرفي كل مقاومة فيه.

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

أي أن فرق الجهد بين طرفا النقطتين $a$ و $c$ (طرفا التجميع) $V_T$ يساوي مجموع فرق الجهود بين طرفا المقاومتين $V_1$ و $V_2$ كمايلي:

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \gg 1-9$$

يمكن إيجاد فرق الجهد بين طرفا كل مقاومة باستخدام قانون أوم فيكون :

$$V_1 = I_1 . R_1$$

$$V_2 = I_2 . R_2$$

وبالتعويض في المعادلة 9-1 نحصل على :

$$V_T = I_1 . R_1 + I_2 . R_2$$

$$\because I_T = I_1 = I_2$$

$$\therefore V_T = I_T . R_1 + I_T . R_2$$

$$\therefore V_T = I_T (R_1 + R_2)$$

وبقسمة الطرفين على $I_T$ نحصل على :

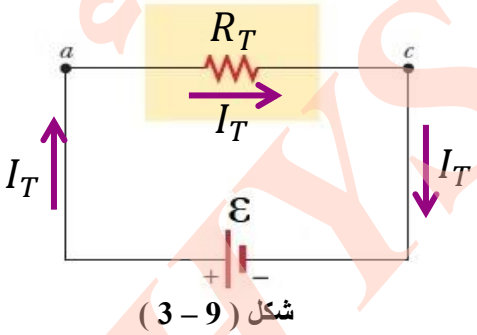
$$\frac{V_T}{I_T} = R_1 + R_2$$

ومنها نجد أن المقدار $\frac{V_T}{I_T}$ يمثل وحسب قانون أوم $R_T$ وبالتالي تصبح المعادلة الأخيرة :

$$R_T = R_1 + R_2 \quad \gg 2-9$$

* المقاومة المكافئة تساوي المجموع الجبري لجميع المقاومات في التجميع

حيث أن في المعادلة 9-2 ، $R_T$ تمثل المقاومة المكافئة لمجموع المقاومتين $R_1$ و $R_2$ أي أنه يمكن تبسيط الدائرة الكهربائية في الشكل ( 9-2 ) لتصبح كما في الشكل ( 9-3 ).



شكل ( 9 – 3 )

◄ **ملاحظة :**

- إذا كانت البطارية المستخدمة في الدائرة مثالية فإن : $V_T = \varepsilon$
أما إذا كانت غير مثالية وكانت مقاومتها الداخلية $r$ فإن : $\varepsilon = V_T + I_T . r$

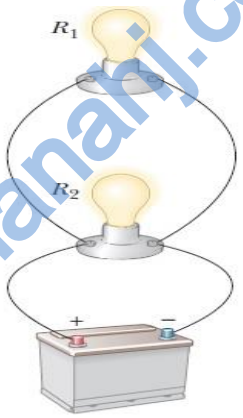
- المقاومة المكافئة للتجميع تكون أكبر من أي مقاومة في التجميع.

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

- إذا كانت لدينا عدد $N$ من المقاومات المتماثلة في التجميع ومقاومة كل منها $R$ فإن :

$$R_T = N.R$$

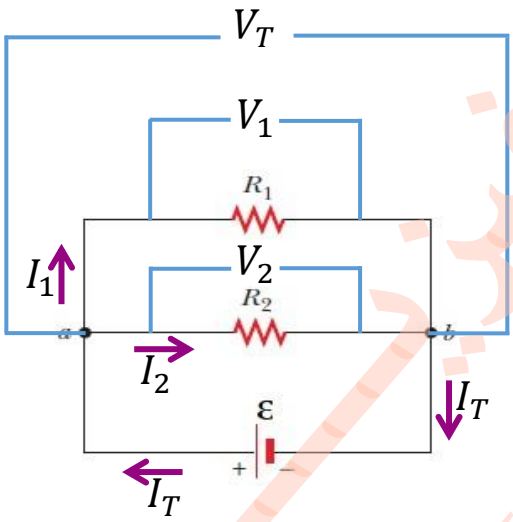
حيث أن $N$ تمثل عدد المقاومات في التجميع.




شكل ( 9 – 4 )

***ثانياً: التوصيل على التوازي:**

في هذا النوع من التوصيل ( أو التجميع ) تتصل جميع المقاومات مع بعضها البعض بطرفين فقط ، كما في الشكلين ( 9-4 ) و ( 9-5 ) أي أن جميع المقاومات في التجميع لها نفس الطرفين. فنلاحظ في الشكل ( 9-5 ) أن طرفا المقاومة $R_1$ هما النقطتين $a$ و $b$ ، وطرفا المقاومة $R_2$ هما أيضاً النقطتين $a$ و $b$ وكذلك أيضاً نجد ان طرفا التجميع هما $a$ و $b$ .




شكل ( 9 – 5 )

**- خصائصه :**

* فرق الجهد بين طرفا كل مقاومة يساوي فرق الجهد بين طرفا أي مقاومة في التجميع ويساوي فرق الجهد بين طرفا التجميع .

من خلال الشكل نجد أن فرق الجهد بين طرفا المقاومة $R_1$ هو $V_1$ ، وفرق الجهد بين طرفا المقاومة $R_2$ هو $V_2$ وفرق الجهد بين طرفا التجميع $a$ و $b$ هو $V_T$ ، وبالتالي فإن :

$$V_T = V_1 = V_2$$

* شدة التيار الناتج عن البطارية يتوزع بين المقاومات حسب مقدار كل مقاومة ، وتكون شدة التيار الناتج عن البطارية مساوية للمجموع الجبري لشدة التيار المار عبر كل مقاومة في التجميع .

من خلال الشكل نجد أن التيار القادم من البطارية هو $I_T$ والتيار الذي يمر عبر المقاومة $R_1$ هو $I_1$ ، أما التيار الذي يمر عبر المقاومة $R_2$ هو $I_2$ ، وبالتالي فإن :

$$I_T = I_1 + I_2 \gg 3-9$$

ومن خلال قانون أوم ، يمكن إيجاد شدة التيار المار عبر كل مقاومة كما يلي :

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

وبالتعويض في المعادلة 3-9 نحصل على :



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$I_T = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}$$

$$\because V_T = V_1 = V_2$$

$$\therefore\ I_T = \frac{V_T}{R_1} + \frac{V_T}{R_2}$$

وبأخذ $V_T$ عامل مشترك وبقسمة الطرفين على $V_T$ نحصل على :

$$\frac{I_T}{V_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

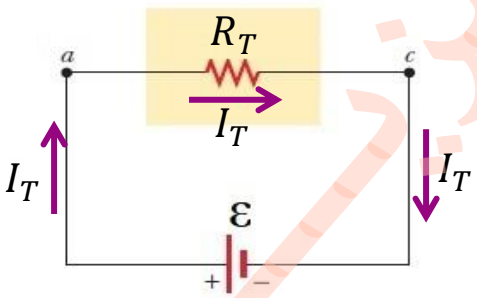
وبالتالي نجد أن المقدار $\frac{I_T}{V_T}$ وحسب قانون أوم يمثل مقلوب المقاومة المكافئة $\frac{1}{R_T}$ ومنها يمكن القول أن :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \gg 4-9$$

ومنها نحصل على الخاصية الثالثة للتوصيل على التوازي وهي:

* مقلوب المقاومة المكافئة للتجميع يساوي المجموع الجبري لمقلوب كل المقاومات في التجميع.

وعندئذ يمكن تبسيط الدائرة الكهربائية في الشكل ( 5-9 ) لتصبح كما في الشكل ( 6-9 ) .



شكل ( 9 – 6 )

**◄ ملاحظة:**

- - إذا كانت البطارية المستخدمة في الدائرة مثالية فإن : $\varepsilon = V_T = V_1 = V_2$ أما إذا كانت غير مثالية وكانت مقاومتها الداخلية $r$ فإن : $\varepsilon = V_T + I_T.r$

- مقدار المقاومة المكافئة أصغر من مقدار أي مقاومة في التجميع.

- إذا كان لدينا مقاومتين فقط في التجميع وكانتا غير متماثلتين أي أن $R_1 \neq R_2$ فإن:

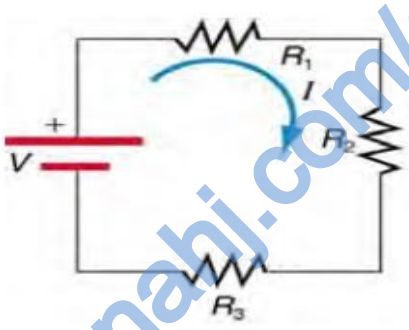
$$R_T = \frac{R_1.R_2}{R_1 + R_2}$$

- إذا كان لدينا عدد $N$ من المقاومات المتماثلة وكان مقدار كل منها $R$ فإن :

$$R_T = N.R$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

♦ **مثال:**




**شكل ( 9 – 7 )**

في الشكل ( 9-7 ) إذا علمت أن $R_1 = 1\Omega$ و $R_2 = 6\Omega$ و $R_3 = 13\Omega$ وكانت القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تساوي $12V$ ، فأوجد ما يلي:

1- نوع التوصيل.

2- المقاومة المكافئة للتجميع.

3- شدة التيار المار عبر كل مقاومة .

4- فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

5- أرسم الدائرة الكهربائية في أبسط صورة لها.

**- المعطيات :**

$$R_1 = 1\Omega$$

$$R_2 = 6\Omega$$

$$R_3 = 13\Omega$$

$\varepsilon = V_T = 12V$ لأن البطارية مثالية

**- المطلوب والحل:**

**1- نوع التوصيل؟**

∵ كل مقاومة تتصل بطرف واحد فقط بالمقاومة التي تليها

∴ التوصيل هنا يكون على التوالي.

**2- المقاومة المكافئة للتجميع $R_T$ ؟**

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 1 + 6 + 13 = 20\Omega$$

**3- شدة التيار المار عبر كل مقاومة $I_1$ و $I_2$ و $I_3$ ؟**

∵ التوصيل على التوالي

$$\therefore\ I_1 = I_2 = I_3 = I_T$$

∵ لدينا $V_T$ وكذلك $R_T$ ، ∴ يمكن إيجاد $I_T$ كما يلي:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12}{20} = 0.6A$$

$$\therefore I_1 = 0.6A$$



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$I_2 = 0.6A$$

$$I_3 = 0.6A$$

**4- فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة $V_1$ و $V_2$ و $V_3$ ؟**

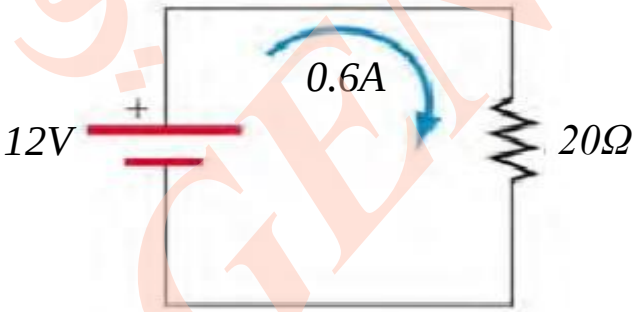
بتطبيق قانون أوم:

$$V_1 = I_1.R_1 = 0.6 \times 1 = 0.6V$$

$$V_2 = I_2.R_2 = 0.6 \times 6 = 3.6V$$

$$V_3 = I_3.R_3 = 0.6 \times 13 = 7.8V$$

**5- الدائرة في أبسط صورة لها؟**




**♦ مثال:**

أدرس الشكل المقابل ( 8-9 ) ثم أوجد ما يلي:

1- ما نوع التوصيل؟

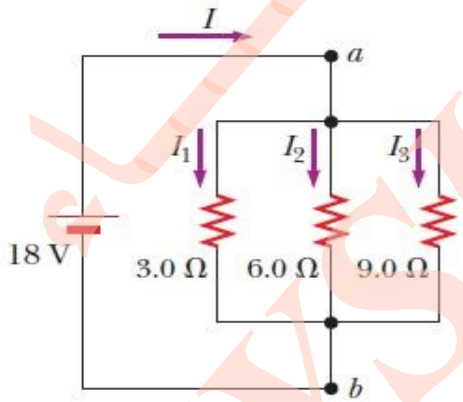
2- مقدار المقاومة المكافئة للتجميع.

3- فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

4- شدة التيار المار عبر كل مقاومة.

5- شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية.

6- أرسم الدائرة الكهربائية في أبسط صورة لها.




شكل ( 8 – 9 )

**- المعطيات:**

$$R_1 = 3\Omega$$

$$R_2 = 6\Omega$$

$$R_3 = 9\Omega$$

$\varepsilon = V_T = 18V$ لأن البطارية مثالية

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**- المطلوب و الحل:**

**1- نوع التوصيل؟**

∵ كل المقاومات في التجميع لها نفس الطرفين $a$ و $b$

∴ التوصيل يكون على التوازي.

**2- المقاومة المكافئة للتجميع $R_T$ ؟**

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$= \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9} = \frac{11}{18}$$

$$\therefore R_T = \frac{18}{11} = 1.64\Omega$$

**3- فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة $V_1$ و $V_2$ و $V_3$ ؟**

∵ التوصيل على التوازي

$$\therefore V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

$$\therefore V_1 = 18V$$

$$V_2 = 18V$$

$$V_3 = 18V$$

**4- شدة التيار المار عبر كل مقاومة $I_1$ و $I_2$ و $I_3$ ؟**

بتطبيق قانون أوم على كل مقاومة:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{18}{3} = 6A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18}{6} = 3A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{18}{9} = 2A$$

**5- شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية $I_T$؟**

من المعادلة 9-3:

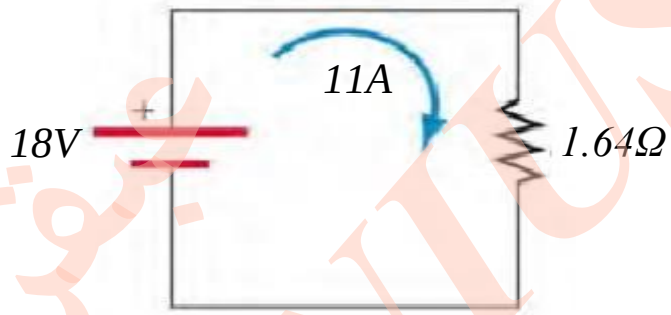
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 6 + 3 + 2 = 11A$$

أو بتطبيق قانون أوم على المقاومة المكافئة $R_R$:

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

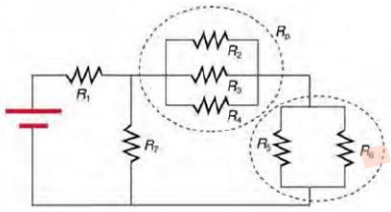
$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{18}{\frac{18}{11}} = 11A$$

**6- الدائرة في أبسط صورة لها؟**

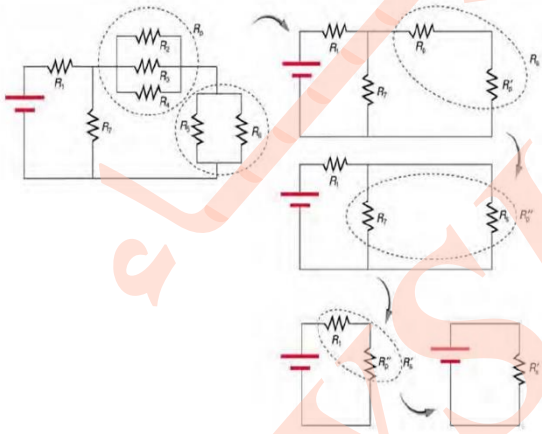



## 10) قوانين كيرشوف ( *Kirchhoff's Rules* ):

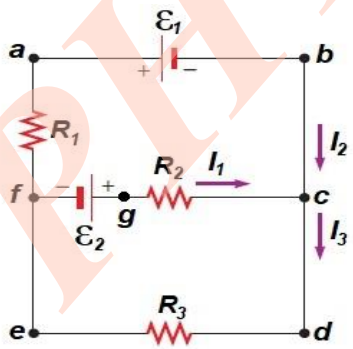
بعض الدوائر الكهربائية قد تحتوي فقط على نوع واحد من طرق توصيل المقاومات الكهربائية قد يكون على التوالي أو على التوازي مثل الدائرتين اللتان درسناهما في المثالين السابقين ، هذا النوع من الدوائر الكهربائية تسمى بالدوائر البسيطة وذلك لأنه أمكننا تبسيطها إلى أبسط صورة لها بحيث تحتوي على مقاومة مكافئة وبطارية ، وأيضاً هناك بعض الدوائر الكهربائية التي قد تحتوي على النوعين من التوصيل معاً مثل الدائرة في الشكل ( *10 -1* ) ، هذا النوع من الدوائر هو أكثر تعقيداً من الدوائر السابقة ولكنها يمكن أيضاً تبسيطها إلى أبسط صورة لها باستخدام قوانين وخصائص توصيل المقاومات الكهربائية على التوالي وعلى التوازي كما هو موضح في الشكل ( *10-2* ) ، إلا أن بعض الدوائر الكهربائية مثل تلك الموضحة في الشكل ( *10-3* ) والتي تحتوي على أكثر من مقاومة لا يمكننا تبسيطها إلى أبسط صورة لها ولا يمكننا أن نطبق عليها قوانين التوصيل على التوالي وعلى التوازي ، وتسمى بالدوائر الكهربائية المعقدة ، لذلك يتم التعامل معها على ماهي عليه عند تحليلها ، ولكن يكف يمكننا تحليل هذا النوع من الدوائر ؟!!



شكل ( 10 – 1 )



شكل ( 10 – 2 )




شكل (4-10)

استطاع العالم الألماني غوستاف كيرشوف من وضع قانونين نستطيع بواسطتهما تحليل مثل هذا النوع من الدوائر الكهربائية يطلق عليهما "قوانين كيرشوف".

وقبل أن نتطرق إلى القانون ينبغي أن نتعرف على بعض المصطلحات الهامة في الدوائر الكهربائية المعقدة وسنتعرف عليها من خلال الشكل ( *10-4* ) وهي:

almanahj.com/om
PHYSICS

- **التفرع:** وهو نقطة في الدائرة الكهربائية تلتقي عندها التيارات الكهربائية في الدائرة ( تتجمع عندها ) أو تتجزأ عندها التيارات الكهربائية ( تتفرق عندها ) وهي النقاط $f$ و $c$ .

- **مسار التيار:** وهو المسار الذي يسلكه التيار في الدائرة الكهربائية بحيث يبدأ من تفرع وينتهي عند تفرع آخر، فمثلاً مسار التيار $I_1$ هو المسار $fabc$ بحيث يبدأ من التفرع $f$ وينتهي عند التفرع $c$ وهكذا....

- **المسار المغلق:** وهو المسار الذي يسلكه الشخص الذي يقوم بتحليل الدائرة الكهربائية ( قد يكون أنت ) ، وهو يبدأ من نقطة أو تفرع وينتهي عند نفس النقطة أو التفرع وقد يكون في اتجاه عقارب الساعة أو عكس اتجاه عقارب الساعة، مثل المسار المغلق $abcgfa$ نلاحظ أنه ابتدأ من النقطة $a$ وانتهى عندها وأنه مع عقارب الساعة ، ومثال آخر أيضاً المسار المغلق $fedcbaf$ نلاحظ أنه عكس عقارب الساعة وابتدأ من التفرع $f$ وانتهى عنده أيضاً.

◄ **ملاحظة:** في أي دائرة كهربائية يجب أن يكون:

- عدد مسارات التيارات = عدد التفرعات + 1

- مسار التيار يحتوي على تيار واحد فقط ولا يمكن أن يحتوي على أكثر من ذلك.

- عدد مسارات التيارات = عدد التيارات = عدد المسارات المغلقة

## * القانون الأول لكيرشوف:

يعرف باسم قانون التفرع وينص على أن "**عند أي تفرع في الدائرة الكهربائية فإنه لابد أن يكون المجموع الجبري للتيارات الداخلة فيه $I_{in}$ يساوي المجموع الجبري للتيارات الخارجة منه $I_{out}$**"

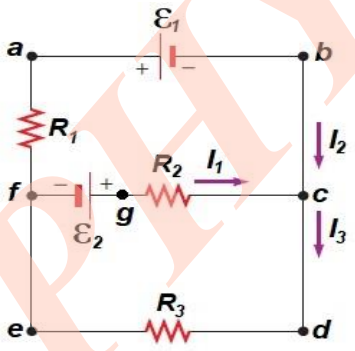
ويمكن كتابته رياضياً بالصورة التالية:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

ومن خلال الشكل ( *4-10* ) ، وعند التفرع $f$ نجد أن:

$$I_2 + I_3 = I_1$$

هذا القانون يحقق مبدأ حفظ الشحة والذي ينص على أن "الشحنة الكهربائية عند أي نقطة لا يمكن استحداثها أو إلقاؤها فهي كمية ثابتة" ، حيث أنه ومن خلال المعادلة *5-1* نجد أن:



شكل (4-10)

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$I_{in} = \frac{Q_{in}}{\Delta t}$$

$$I_{out} = \frac{Q_{out}}{\Delta t}$$

وبالتعويض عنها في القانون الأول لكيرشوف ، نحصل على:

$$\sum \frac{Q_{in}}{\Delta t} = \sum \frac{Q_{out}}{\Delta t}$$

$$\therefore \sum Q_{in} = \sum Q_{out}$$

وبالتالي نجد أن كمية الشحنة ظلت مقدار ثابت ، أي أن كمية الشحنة محفوظة لذلك هو يحقق مبدأ حفظ الشحنة.

### * القانون الثاني لكيرشوف:

يعرف باسم قانون المسار المغلق وينص على أن **"في أي مسار مغلق لابد أن يكون المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية $\varepsilon$ يساوي المجموع الجبري لفروق الجهود $V$ بين طرفا كل مقاومة"**

ويمكن كتابته رياضياً بالصورة التالية:

$$\sum \varepsilon = \sum V$$

أو

$$\sum \varepsilon - \sum V = 0$$

فمثلاً في الشكل ( *4-10* ) لو أخذنا المسار المغلق *fgcdef* لابد أن يكون:

$$\varepsilon_2 + I_1 . R_2 + I_3 . R_3 = 0$$

هذا القانون أيضاً يطبق مبدأ حفظ الطاقة والذي ينص على أن "في أي نظام مغلق ، فإنه لابد أن يكون مقدار الطاقة الداخلة إليه يساوي مقدار الطاقة الخارجة منه"

نعلم فيما سبق أن $\varepsilon$ تمثل الطاقة الكهربائية التي تكتسبها الشحنات الكهربائية بواسطة البطارية أما $V$ فتمثل الطاقة الكهربائية التي تفقدها الشحنات الكهربائية بواسطة المقاومة وبالتالي فإن:

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$\varepsilon = \frac{PE_{in}}{q}$$

$$V = \frac{PE_{out}}{q}$$

وبالتعويض في القانون الثاني لكيرشوف نحصل على :

$$\sum \frac{PE_{in}}{q} = \sum \frac{PE_{out}}{q}$$

$$\therefore \sum PE_{in} = \sum PE_{out}$$

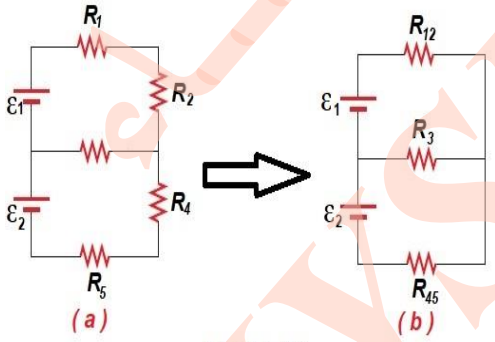
هذا يعني أن الطاقة الكهربائية التي تكتسبها الشحنات الكهربائية في الدائرة الكهربائية يساوي مقدار الطاقة التي تفقدها وهذا ما يحقق مبدأ لحفظ الطاقة.

*** كيف نستخدم قوانين كيرشوف في تحليل الدوائر الكهربائية؟**

لا يوجد طريقة معينة من الممكن أن نستخدمها في تحليل الدوائر الكهربائية بواسطة قوانين كيرشوف فلكل منا طريقته حسب فهمه وقدرته ، إلا إننا يمكن أن نحدد بعض الخطوات التي من الممكن أن نتبعها وقد تساعد على تبسيط استخدام قوانين كيرشوف وهذه الخطوات من الأفضل أن نتبعها بالترتيب كما يلي:

**1- نبسط المسارات التي تحتوي على مقاومات تتصل على التوالي او على التوازي.**

كما في الشكل ( 5-10 ) نجد أن في المسار المغلق العلوي من الشكل ( $a$ ) المقاومتان $R_1$ و $R_2$ تتصلان على التوالي لذلك نقوم بواسطة قوانين التوالي بتبسيطهما إلى المقاومة المكافئة لهما $R_{12}$ ، وكذلك في المسار المغلق السفلي نجد أن المقاومتان $R_4$ و $R_5$ أيضاً تتصلان على التوالي فنقوم بتبسيطهما إلى المقاومة المكافئة لهما $R_{45}$ ، لتصبح الدائرة في أبسط صورة ممكنة لهما على الشكل ( $b$ ) .

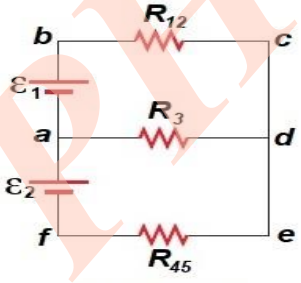


شكل ( 5-10 )

**2- نحدد النقاط المهمة على الدائرة ونرمز لها بالرموز الأبجدية الإنجليزية أو العربية.**

كما في الشكل ( 6-10 ) وتكون النقاط المهمة في الدائرة عبارة عن:

- تفرعات وهي $a$ و $d$.



شكل ( 6-10 )

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

- كل نقطة بين عنصرين من عناصر الدائرة ( مقاومة ، بطارية ) وهي $a$،$f$،$b$

- كل زاوية من زوايا الدائرة وهي $a$،$d$،$f$،$e$،$c$،$b$.

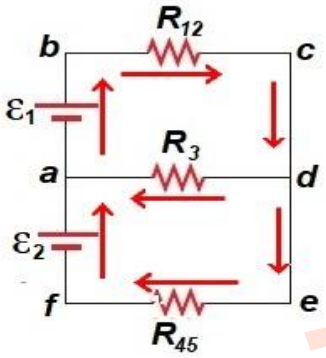
**3- نحدد عدد التيارات ومساراتها واتجاهها ونرمّزها في كل مسار:**

- نحدد عدد التيارات = عدد التفرعات +1 = 2+1 = 3 تيارات

- نحدد مسارات التيارات وهي من الشكل ( 6-10 ) $abcd$ و $ad$ و $afed$

- نحدد اتجاه التيار في كل مسار تحديداً عشوائياً دون الأخذ في الاعتبار وجود البطاريات في الدائرة ويتم ذلك عن طريق اخذ تفرع من التفرعات في الدائرة ونحدد اتجاه التيارات الداخلة إليه والخارجة منه عبر كل مسار من مسارات التيارات بشرط أن لا نضع جميع التيارات داخلة إلى التفرع أو جميعها خارجة منه.

فمثلاً في الشكل ( 6-10 ) لنأخذ التفرع $a$ ونحدد منه اتجاه التيارات في كل مسار من مسارات الدائرة كما في الشكل ( 7-10 ).



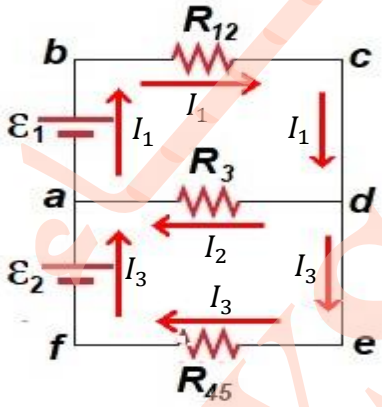

شكل ( 7-10 )

- نقوم بترميز التيارات في الشكل ( 7-10 ) $I_1$ ، $I_2$ ، $I_3$ كما في الشكل ( 8-10 ) فنجد أن التيار $I_1$ قد أخذ المسار $abcd$ ، والتيار $I_2$ قد أخذ المسار $da$ ، في حين أن التيار $I_3$ قد أخذ المسار $defa$.

**4- نطبق القانون الأول لكيرشوف على تفرع من التفرعات في الدائرة ونسمي المعادلة رقم 1.**

فمثلاً في الشكل ( 8-10 ) نختار التفرع $a$ فيكون :

$$I_2 + I_3 = I_1 \qquad \gg 1$$




شكل ( 8-10 )

- أما إذا كانت الدائرة لا تحتوي على تفرعات فإننا نتجاهل هذه الخطوة.

**5- نحدد مسارين مغلقين في الدائرة بحيث يكون بينهما مسار تيار مشترك بشرط أن يحتوي على المطلوب من السؤال.**

فمثلاً نفترض أن المطلوب من السؤال هو إيجاد مقدار $R_3$

∴ سوف نختار مسارين مغلقين يحتويان على مسار التيار الذي يوجد به المقاومة $R_3$ والمسارين هنا هما : $abcda$ و $afeda$ نجد أنهما يحتويان على المسار $da$ والذي يحتوي على المقاومة $R_3$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**6- نطبق القانون الثاني لكيرشوف على المسارين المغلقين للحصول على معادلتين بينهما عامل مشترك ونسميهما معادلة 2 ومعادلة 3، ثم نحل المعادلتين.**

- عند تطبيق القانون الثاني ينبغي الأخذ في الاعتبار قواعد الإشارة التالية :

● عند العبور عبر طرفي مقاومة كهربائية في الدائرة:

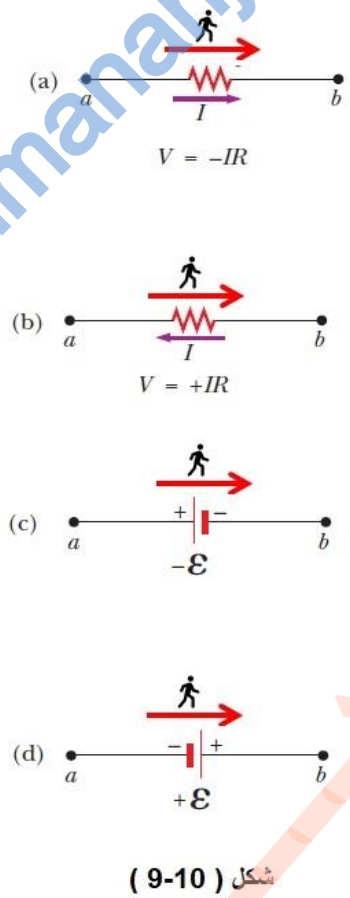
أ) إذا كان اتجاه المسار المغلق ( اتجاهك أنت ) في نفس اتجاه التيار ، فإننا نعوض عن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المقاومة بإشارة السالب ، كما في الشكل ( 9-10 ) $a$

ب) إذا كان اتجاه المسار المغلق ( اتجاهك أنت ) في عكس اتجاه التيار ، فإننا نعوض عن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المقاومة بإشارة الموجب ، كما في الشكل ( 9-10 ) $b$

● عند العبور عبر طرفي قوة دافعة كهربائية:

أ) إذا كان اتجاه المسار المغلق ( اتجاهك أنت ) من الطرف الموجب إلى الطرف السالب ( بغض النظر عن اتجاه التيار ) ، فإننا نعوض عن مقدار القوة الدافعة الكهربائية بالسالب كما في الشكل ( 10-10 ) $c$ .

ب) إذا كان اتجاه المسار المغلق ( اتجاهك أنت ) من الطرف السالب إلى الطرف الموجب ( بغض النظر عن اتجاه التيار ) ، فإننا نعوض عن مقدار القوة الدافعة الكهربائية بالموجب كما في الشكل ( 10-10 ) $d$ .



شكل ( 9-10 )

فمثلاً عند تطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسارين المغلقين اللذان اخترناهما في الخطوة 5 نحصل على :

- المسار المغلق $abcda$ :

إذن حركتنا على المسار ستكون من $a \leftarrow d \leftarrow c \leftarrow b \leftarrow a$

كما يلي :

من $a \leftarrow b$ سنتحرك عبر قوة دافعة ونتحرك فيها من السالب إلى الموجب

$$\therefore +\varepsilon_1$$

من $b \leftarrow c$ سنتحرك عبر المقاومة $R_{12}$ وفي نفس اتجاه التيار

$$\therefore -I_1 . R_{12}$$

من $c \leftarrow d$ لن نتحرك عبر أي نعصر وبالتالي سنتجاوزها

من $d \leftarrow a$ سنتحرك عبر المقاومة $R_3$ وفي نفس اتجاه التيار

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$\therefore -I_2.R_3$$

وبالتالي سنحصل على المعادلة :

$$+\varepsilon_1 - (I_1.R_{12}) - (I_2.R_3) = 0$$

الآن نبسط المعادلة حتى نحصل على تيار واحد ويكون غير مطلوب في السؤال في طرف وبقية المعادلة بالإضافة إلى المطلوب في الطرف الآخر ونسميها بالمعادلة رقم 2 كما يلي :

$$(I_1.R_{12}) = +\varepsilon_1 - (I_2.R_3)$$

بقسمة الطرفين على $R_{12}$ :

$$I_1 = \frac{+\varepsilon_1}{R_{12}} - \frac{(I_2.R_3)}{R_{12}} \gg 2$$

- المسار المغلق $afeda$ : وبنفس الطريقة نحصل على

$$-\varepsilon_2 + (I_3.R_{45}) - (I_2.R_3) = 0$$

الآن وبنفس الطريقة نضع $I_3.R_{45}$ في طرف لأنه غير مطلوب ونضع بقية المعادلة في الطرف آخر كما يلي:

$$+(I_3.R_{45}) = +\varepsilon_2 + (I_2.R_3)$$

وبقسمة الطرفين على $R_{45}$ نحصل على :

$$I_3 = \frac{+\varepsilon_2}{R_{45}} + \frac{(I_2.R_3)}{R_{45}} \gg 3$$

**7- نعوض عن المعادلتين 2 و 3 في المعادلة 1 لنحصل على الناتج والمطلوب من السؤال.**

**8- التحقق من الحل ( اختياري ).**

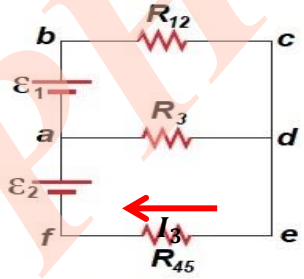
من الممكن ان نستخدم المسار المغلق الغير مستخدم للتأكد من الحل فلو حصلنا على ناتج 0 في هذا المسار ستكون الإجابة صحيحة.

**♦ مثال:**

أوجد مقدار المقاومة $R_3$ في الدائرة المقابلة في الشكل ( 6-10 ) إذا علمت أن :

$$R_{12} = 6\Omega \, , R_{45} = 6\Omega \, , \varepsilon_1 = 24V \, , \varepsilon_2 = 12V$$

$$I_3 = 1A$$



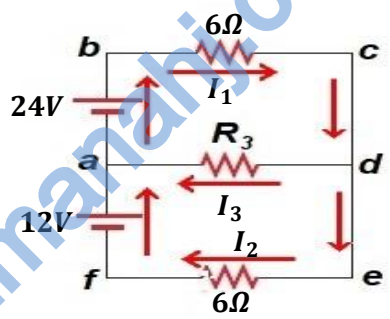
شكل ( 6-10 )

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**- المطلوب:**

إيجاد مقدار $R_3$.

**- الحل:**




شكل ( 10-10 )

**1- نبسط المسارات التي تحتوي على مقاومات تتصل على التوالي او على التوازي.**

**2- نحدد النقاط المهمة على الدائرة ونرمز لها بالرموز الأبجدية الإنجليزية أو العربية.**

**3- نحدد عدد التيارات ومساراتها واتجاهها ونرمّزها في كل مسار.**

( الخطوات تم شرحها أعلاه بالتفصيل ومطبقة على الشكل *10-10* )

**4- نطبق القانون الأول لكيرشوف على تفرع من التفرعات في الدائرة ونسمي المعادلة رقم 1.**

-بتطبيق القانون الأول لكيرشوف على التفرع $a$.

$$I_2 + I_3 = I_1$$

$$I_2 + 1 = I_1 \quad \gg 1$$

**5- نحدد مسارين مغلقين في الدائرة بحيث يكون بينهما مسار تيار مشترك بشرط أن يحتوي على المطلوب من السؤال.**

**6- نطبق القانون الثاني لكيرشوف على المسارين المغلقين للحصول على معادلتين بينهما عامل مشترك ونسميهما معادلة 2 ومعادلة 3، ثم نحل المعادلتين.**

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق و $afeda$ :

$$24 - (6I_1) - (R_3) = 0$$

$$\therefore 6I_1 = 24 - R_3$$

بقسمة الطرفين على 6 :

$$\frac{6I_1}{6} = \frac{24}{6} - \frac{R_3}{6}$$

$$\therefore I_1 = 4 - \frac{R_3}{6} \quad \gg 2$$

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق و $afeda$:

$$-12 + (6I_2) - (R_3) = 0$$

$$\therefore 6I_2 = 12 + R_3$$

almanahi.com/om
PHYSICS GENIUS

بقسمة الطرفين على 6 :

$$\frac{6I_2}{6} = \frac{12}{6} + \frac{R_3}{6}$$

$$\therefore\ I_2 = 2 + \frac{R_3}{6} \quad \gg 3$$

**7- نعوض عن المعادلتين 2 و 3 في المعادلة 1 لنحصل على الناتج والمطلوب من السؤال.**

$$\left(2 + \frac{R_3}{6}\right) + 1 = \left(4 - \frac{R_3}{6}\right)$$

$$2 + \frac{R_3}{6} + 1 = 4 - \frac{R_3}{6}$$

$$\frac{R_3}{6} + \frac{R_3}{6} = 4 - 2 - 1$$

$$\frac{2R_3}{6} = 1$$

$$\therefore\ R_3 = 3\Omega$$

**8- التحقق من الحل ( اختياري ).**

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق $abcdefa$:

$$24 - 6I_1 - 6I_2 + 12 = 0$$

يمكن إيجاد مقدار $I_1$ من المعادلة رقم 2 بالتعويض عن مقدار $R_3$ الذي حصلنا عليه:

$$I_1 = 4 - \frac{R_3}{6} = 4 - \frac{3}{6} = 3.5A$$

يمكن إيجاد مقدار $I_2$ من المعادلة رقم 3 بالتعويض عن مقدار $R_3$ الذي حصلنا عليه:

$$I_2 = 2 + \frac{R_3}{6} = 2 + \frac{3}{6} = 2.5A$$

بالتعويض عن قيم $I_1$ و $I_2$ في المعادلة الأخيرة ونحصل على:

$$24 - (6 \times 3.5) - (6 \times 2.5) + 12 = 0$$

$$24 - 21 - 15 + 12 = 0$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

♦ **مثال:**

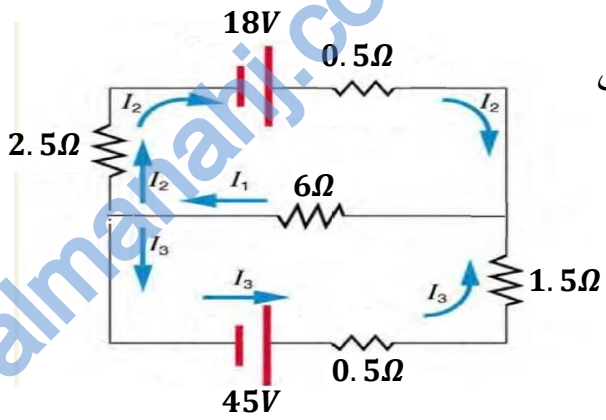
أدرس الشكل المقابل ( *11-10* ) ثم أوجد مقدار شدة التيار على كل مسار من مسارات الدائرة الكهربائية.

**- المعطيات:**

على الرسم

**- المطلوب:**

إيجاد مقدار كلاً من $I_1$ ، $I_2$ ، $I_3$



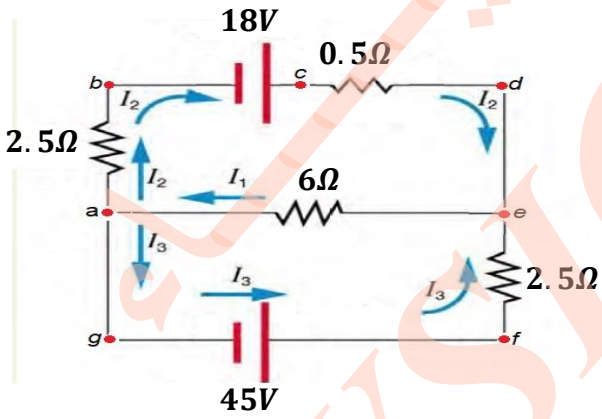

شكل ( *11-10* )

**- الحل :**

**1- نبسط المسارات التي تحتوي على مقاومات تتصل على التوالي او على التوازي.**

نجد أن المقاومتان $0.5\Omega$ و $1.5\Omega$ في المسار السفلي في الدائرة تتصلان على التوالي فتصبح المقاومة المكافئة لهما $2\Omega$ فتصبح الدائرة كما في الشكل ( *12-10* ).

**2- نحدد النقاط المهمة على الدائرة ونرمز لها بالرموز الأبجدية الإنجليزية أو العربية.**




شكل ( *11-10* )

كما في الشكل ( *12-10* )

**3- نحدد عدد التيارات ومساراتها واتجاهها ونرمّزها في كل مسار.**

هذه الخطوة موجودة ضمن معطيات السؤال في الشكل لذلك نتجاوزها.

**4- نطبق القانون الأول لكيرشوف على تفرع من التفرعات في الدائرة ونسمي المعادلة رقم 1.**

- بتطبيق القانون الأول لكيرشوف على التفرع $a$:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad \gg 1$$

**5- نحدد مسارين مغلقين في الدائرة بحيث يكون بينهما مسار تيار مشترك بشرط أن يحتوي على المطلوب من السؤال.**

**6- نطبق القانون الثاني لكيرشوف على المسارين المغلقين للحصول على معادلتين بينهما عامل مشترك ونسميهما معادلة 2 ومعادلة 3، ثم نحل المعادلتين.**

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

هنا بما أنه المطلوب هو جميع التيارات في الدائرة الكهربائية ، نقوم باختيار أحد التيارات عشوائياً ليكون التيار المشترك ، لذلك سوف نختار التيار $I_1$ .

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق $abcdea$:

$$-2.5I_2 + 18 - 0.5I_2 - 6I_1 = 0$$

$$-3I_2 + 18 - 6I_1 = 0$$

نضع الآن التيار غير المشترك في طرف وبقية المعادلة في طرف آخر كما يلي:

$$3I_2 = 18 - 6I_1$$

بقسمة الطرفين على 3 :

$$\frac{3I_2}{3} = \frac{18}{3} - \frac{6I_1}{3}$$

$$I_2 = 6 - 2I_1 \quad \gg 2$$

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق $aefga$:

$$6I_1 + 2.5I_3 - 45 = 0$$

نضع الآن التيار غير المشترك في طرف وبقية المعادلة في طرف آخر كما يلي:

$$2.5I_3 = 45 - 6I_1$$

بقسمة الطرفين على 2.5:

$$\frac{2.5I_3}{2.5} = \frac{45}{2.5} - \frac{6I_1}{2.5}$$

$$I_3 = 18 - 2.4I_1 \quad \gg 3$$

**7- نعوض عن المعادلتين 2 و 3 في المعادلة 1 لنحصل على الناتج والمطلوب من السؤال.**

$$I_1 = (6 - 2I_1) + (18 - 2.4I_1)$$

$$I_1 = 6 - 2I_1 + 18 - 2.4I_1$$

$$I_1 + 2I_1 + 2.4I_1 = 6 + 18$$

$$5.4I_1 = 24$$

$$\therefore I_1 = \frac{24}{5.4} = 4.44A$$

- بالتعويض عن مقدار $I_1$ في المعادلة 2:



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$I_2 = 6 - 2I_1 = 6 - (2 \times 4.44)$$

$$\therefore I_2 = -2.88A$$

◄ ملاحظة : هنا نجد أن مقدار شدة التيار $I_2$ بالسالب ، وهذا لا يعني أن الناتج الذي حصلنا عليه خاطئ وانما فقط أن مسار التيار يكون في الاتجاه المعاكس للاتجاه الموضح في الشكل.

- بالتعويض عن مقدار $I_3$ في المعادلة 3:

$$I_3 = 18 - 2.4I_1 = 18 - (2.4 \times 4.44)$$

$$\therefore I_3 = 7.344A$$

أو يمكن إيجاد $I_3$ بالتعويض عن $I_1$ و $I_2$ في المعادلة 1:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$4.44 = -2.88 + I_3$$

$$\therefore I_3 = 4.44 + 2.88 = 7.32A$$

**8- التحقق من الحل ( اختياري ).**

- بتطبيق القانون الثاني لكيرشوف على المسار المغلق $abcdefga$:

$$-2.5I_2 + 18 - 0.5I_2 + 2.5I_3 - 45 = 0$$

$$-(2.5 \times -2.88) + 18 - (0.5 \times -2.88) + (2.5 \times 7.344) - 45 = 0$$

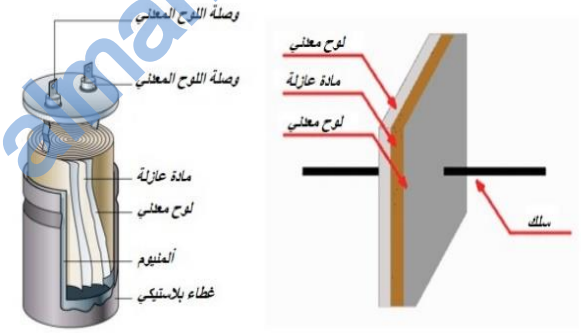
لاحظ هنا أننا قمنا بالتعويض عن $I_2$ بالمقدار السالب الذي حصلنا عليه.

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

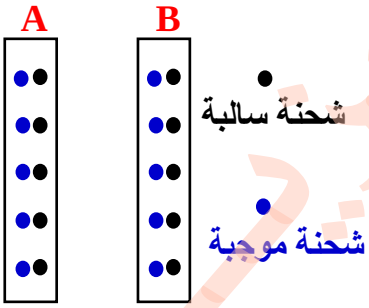
## 11) المكثف الكهربائي ( *Electrical Capacitor* ):

المكثف الكهربائي أحد أهم عناصر الدوائر الكهربائية يعمل على تخزين الطاقة الكهربائية وتمكين استخدامها عند الحاجة إليها، وللمكثف الكهربائي عدة أشكال قد يكون أسطواني أو دائري أو غيرها من الأشكال، كما في الشكل ( *11-1* ) ولكنه في جميع هذه الأشكال يتكون وفي أبسط تركيب له من لوحين معدنيين متقابلين تفصل بينهما مادة عازلة أو فراغ كما في الشكل ( *11-2* )، ويسمى المكثف حسب نوع المادة العازلة الموجودة بين لوحيه فإذا كانت المادة العازلة هي الهواء يسمى مكثف هوائي، أما إذا كانت المادة العازلة هي مثلاً البلاستيك يسمى مكثف بلاستيكي ... وهكذا، ويرمز للمكثف الكهربائي في الدوائر الكهربائية بالرمز :

شكل ( *11-1* )




شكل ( *11-2* )




شكل ( *11-3* )

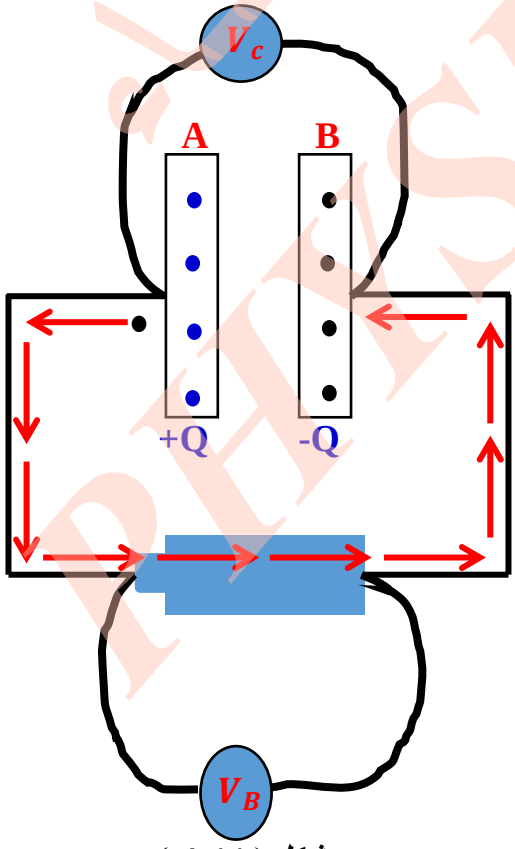
### * طريقة شحن المكثف الكهربائي:

**- قبل الشحن:**

يكون المكثف قبل الشحن متعادل كهربائياً بحيث يكون في كل لوح من لوحيه عدد الشحنات الكهربائية الموجبة مساوياً لعدد الشحنات الكهربائية السالبة كما في الشكل ( *11-3* ).

**- عند الشحن:**

لشحن المكثف وتخزين الطاقة الكهربائية فيه يتم توصيله بمصدر للطاقة الكهربائية ( بطارية ) بحيث يتصل أحد لوحيه بالقطب الموجب للمصدر واللوح الآخر بالقطب السالب للمصدر كما في الشكل ( *11-4* ) كما في الشكل ( *11-4* )، وعند إغلاق الدائرة الكهربائية فإن القطب الموجب للبطارية سيعمل على جذب الشحنات السالبة من اللوح $A$ ويصبح مشحوناً بشحنة موجبة $+Q$ لتتحرك عبر السلك مروراً بالبطارية الى اللوح $B$ فيكتسب هو الآخر شحنة سالبة $-Q$ ونتيجة لذلك يكتسب اللوح $A$ جهداً موجباً $+V$ في حين أن اللوح $B$ يكتسب جهداً سالباً $-V$ ويتولد فرق في الجهد بين اللوحين $V_c$ يعمل على مقاومة عمل البطارية أي انه يحاول أن يحرك الشحنات في عكس اتجاه حركتها بواسطة البطارية ، ومع ذلك تستمر عملية نقل الشحنات بواسطة البطارية من اللوح $A$ إلى اللوح $B$ وذلك لأن فرق الجهد بين قطبي البطارية




شكل ( *11-4* )



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$V_B$ أكبر من فرق الجهد بين لوحي المكثف $V_c$ أي أنه $V_c \neq V_B$، إلا أنه مع استمرار عملية النقل يزداد عدد الشحنات على كل من اللوحين تدريجياً مما يؤدي إلى زيادة فرق الجهد بين اللوحين تدريجياً إلى أن تصل إلى مرحلة يتساوى فيها فرق الجهد بين اللوحين مع فرق الجهد بين قطبي البطارية أي أن $V_c = V_B$ وعندها تصبح البطارية غير قادرة على نقل الشحنات بين اللوحين وبالتالي تتوقف عملية الشحن ويصبح المكثف مشحوناً.

**- بعد الشحن:**

بعدما يصبح المكثف مشحوناً يكون من الممكن استخدام المكثف كمصدر للطاقة الكهربائية في الدوائر الكهربائية ويعمل عمل البطارية وعندها يبدأ المكثف بعملية تعرف بعملية التفريغ أي أنه يقوم بتفريغ الشحنة التي قام بتخزينها بواسطة البطارية لإنتاج التيار الكهربائي في الدائرة وتستمر عملية التفريغ إلى أن يصبح كل من لوحي المكثف متعادل كهربائياً ويصبح فرق الجهد بين اللوحين مساوياً للصفر.

◄ **ملاحظة :** يكون المكثف الكهربائي متعادلاً كهربائياً قبل وبعد عملية الشحن؟!! فقبل عملية الشحن يكون كل من اللوحين متعادلاً كهربائياً وبالتالي يكون المكثف ككل هو أيضاً متعادلاً كهربائياً أما بعد عملية الشحن وبالرغم من أن كل من اللوحين يكون مشحوناً بشحنة مخالفة عن اللوح الآخر إلا أن عدد الشحنات الموجبة المختزنة على اللوح $A$ يساوي عدد الشحنات السالبة المختزنة على اللوح $B$ وبالتالي يكون المكثف ككل متعادلاً كهربائياً.

## * سعة المكثفة ( *Capacity* ):

من خلال عملية شحن المكثف نجد أنه كلما زاد مقدار كمية الشحنة على كل من لوحي المكثف، زاد مقدار فرق الجهد بينهما وهذا يعني أن العلاقة بينهما علاقة طردية:

$$Q \alpha V$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة كما يلي:

$$Q = \text{ثابت التناسب} . V$$

$$\therefore \text{ثابت التناسب} = \frac{Q}{V}$$

ونلاحظ هنا أن ثابت التناسب يمثل كمية الشحنات التي من الممكن أن يخزنها المكثف الكهربائية على كل من لوحيه عندما يكون فرق الجهد الكهربائي بينهما يساوي $V$ ، لذلك يسمى هذا الثابت باسم



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

السعة الكهربائية للمكثف ويرمز لها بالرمز $C$ وبالتالي يمكن القول أن:

$$C = \frac{Q}{V} \quad \gg 1-11$$

- وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد ( $F$ ) وهي وحدة مشتقة من الوحدة كولوم \ الفولت ( $\frac{C}{V}$ )، أي أن:

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

ومعنى قولنا أن سعة مكثفٍ ما هي $1F$ هو أن المكثف الكهربائي يستطيع تخزين كمية شحنة مقدارها $1C$ عندما يكون فرق الجهد بين لوحيه $1V$ .

إلا أنه عند التعبير عن سعة المكثفات بوحدة الفاراد فإن المقدار صغير جداً نظراً لكبر وحدة الفاراد مقارنةً بحجم سعة المكثفات الفعلية ولذلك تم اشتقاق وحدات قياس أخرى تعبر عن سعة المكثف الكهربائي وهي:

| ما يكافؤها بالفاراد | الرمز | الوحدة المشتقة |
|---|---|---|
| $\times 10^{-3}F$ | $mF$ | **الميلي** فاراد |
| $\times 10^{-6}F$ | $\mu F$ | **المايكرو** فاراد |
| $\times 10^{-9}F$ | $\eta F$ | **النانو** فاراد |
| $\times 10^{-12}F$ | $\rho F$ | **البيكو** فاراد |

فمثلاً :

$$20\mu F = 20 \times 10^{-6}F$$

- ملاحظة: الوحدات المشتقة لوحدة كمية الشحنة $Q$ هي نفسها الوحدات المشتقة للفاراد كما يلي:

| ما يكافؤها بالكولوم | الرمز | الوحدة المشتقة |
|---|---|---|
| $\times 10^{-3}C$ | $mC$ | **الميلي** كولوم |
| $\times 10^{-6}C$ | $\mu C$ | **المايكرو** كولوم |
| $\times 10^{-9}C$ | $\eta C$ | **النانو** كولوم |
| $\times 10^{-12}C$ | $\rho C$ | **البيكو** كولوم |

◄ **ملاحظة:** عندما يتم شحن المكثف الكهربائي فإن عملية الشحن تتوقف عندما يكون $V_c = V_B$ ولكن إذا قمنا بتغيير البطارية واستخدمنا أخرى قوتها الدافعة أكبر فإن عملية الشحن سوف تستمر ويستطيع المكثف أن يستقبل المزيد من الشحنات الكهربائية على كل من لوحيه إلى أن يصبح مرة أخرى $V_c = V_B$ وهكذا ،

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

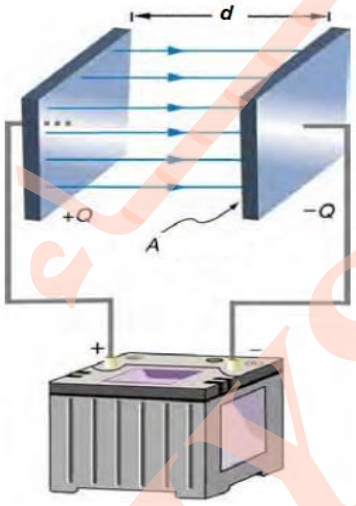
إلى أن يصل لمرحلة يكون فيها المكثف غير قادر على استقبال المزيد من الشحنات الكهربائية حتى لو قمنا بزيادة القوة الدافعة الكهربائية للبطارية وعندها يقال أن المكثف مشحون شحناً تاماً ، إذن المكثف المشحون شحناً تاماً لا يمكن أن يستقبل أي شحنة إضافية على لوحيه وقد يؤدي زيادة القوة الدافعة للبطارية بعد هذه المرحلة إلى تلف المكثف أو انفجاره.

### * المكثف المتوازي اللوحين ( *Parallel Plates Capacitor* )

ذكرنا سابقاً أن للمكثف الكهربائي عدة أشكال ويعد المكثف المتوازي اللوحين أحد هذه الأشكال وأبسطها حيث يتكون من لوحين معدنين متقابلين متوازيين وتفصل بينهما مادة عازلة كما في الشكل ( *11-5* ) ، وهو الذي سوف نتناوله فقط في دراستنا.

عندما يتم شحن المكثف المتوازي اللوحين فإن الشحنة الكهربائية تتوزع بشكل منتظم على السطح الخارجي للمساحة المتقابلة بين اللوحين اللذان تفصل بينهما مسافة مقدارها $d$ قد تحتوي على مادة عازلة او الفراغ كما في الشكل ( *11-6* ) مما يؤدي إلى تولد مجال كهربائي منتظم بين اللوحين شدته $E$ يمكن إيجاده من العلاقة :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \gg 2-11$$




شكل ( *11-6* )

حيث أن :

- σ تمثل كثافة الشحنة الكهربائية $Q$ المتوزعة على المساحة المتقابلة أو المشتركة بين كل من لوحي المكثف $A$ ، وبالتالي يمكن القول أن:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

- ε مقدار ثابت وتمثل السماحية الكهربائية للمادة العازلة ، وهي تتغير بتغير نوع المادة العازلة وأقل قيمة لها هي السماحة الكهربائية للفراغ أو الهواء وتسمى $\varepsilon_0$ وتساوي:

$$8.85 \times 10^{-12} F/m$$

وبالتعويض في العلاقة *11-2* نحصل على :

$$E = \frac{|Q|}{A.\varepsilon} \quad \gg 3-11$$

وكما نعلم في الصف الحادي عشر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين معدنيين متوازيين يمكن إيجاده من العلاقة:

$$V = E.d$$

وبالتعويض عن $E$ من العلاقة $3\text{-}11$ نحصل على:

$$V = \frac{Q.d}{A.\varepsilon} \gg 4-11$$

وبالتعويض في العلاقة $1\text{-}11$ نحصل على:

$$C = \frac{Q}{\frac{Q.d}{A.\varepsilon}}$$

$$\therefore C = \frac{A.\varepsilon}{d} \gg 5-11$$

ومن هنا نجد ان السعة الكهربائية للمكثف المتوازي اللوحين لا تعتمد على كمية الشحنة المختزنة على كل من لوحي المكثف $Q$ ولا على فرق الجهد الكهربائي بينهما $V$ وإنما على ثلاثة عوامل هي:

**1- ( $A$ ) المساحة المشتركة أو المتقابلة بين لوحي المكثف الكهربائي**، حيث أن:

$$C \alpha A$$

أي بزيادة المساحة المتقابلة بين اللوحين تزداد سعة المكثف الكهربائي.

**2- ( $\varepsilon$ ) نوع المادة العازلة أو السماحية الكهربائية للمادة العازلة**، حيث أن:

$$C \alpha \varepsilon$$

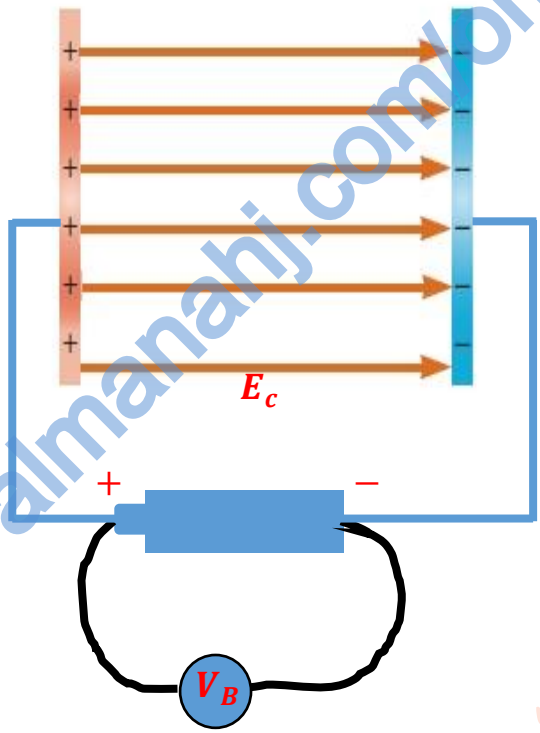
يجب أن نعلم أن المقدار $\varepsilon$ يزداد كلما كانت المادة أكثر عزلاً للكهرباء ، أي أن $\varepsilon$ للخشب مثلاً أكبر من $\varepsilon$ للزجاج وهكذا، وبما أنها تتناسب طردياً مع السعة الكهربائية للمكثف فإنه بزيادة $\varepsilon$ يزداد مقدار $C$ .

**3- ( $d$ ) المسافة الفاصلة بين اللوحين**، حيث أن:

$$C \alpha \frac{1}{d}$$

أي كلما ابتعد اللوحين عن بعضهما كلما قلت سعة المكثف الكهربائي والعكس صحيح.

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS




شكل ( 7-11 )

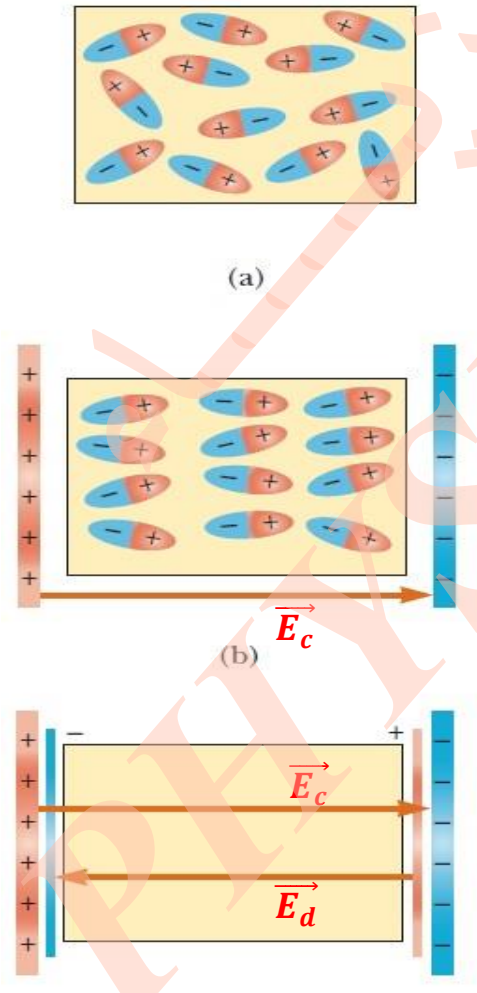
## * كيف تعمل المادة العازلة على زيادة السعة الكهربائية للمكثف؟

ذكرنا أعلاه أن السعة الكهربائية تزداد كلما وضعنا مادة عازلة السماحية الكهربائية لها أكبر، ولكن كيف يحدث ذلك؟!

لنفترض مكثفاً كهربائياً متوازي اللوحين المادة العازلة بينهما هي الهواء أو الفراغ يتم شحنه بواسطة بطارية فرق الجهد بين قطبيها $V_B$ كما في الشكل ( 7-11 ) مما يؤدي إلى تولد فرق في الجهد بين لوحي المكثف الكهربائي مقداره $V_c$ ومجالاً كهربائياً شدته $E_c$ بحيث تتوقف عملية الشحن عندما أصبح $V_B = V_c$ أي أن محصلة شدة المجال الكهربائي بين اللوحين $E_T$ ستكون فقط:

$$E_T = E_c$$

وعند إحضار مادة عازلة لنضعها بين اللوحين تكون قطبية جزئياتها متوزعة عشوائياً بحيث لا يمكن تحديد القطب الموجب والسالب لهذه المادة كما في الشكل ( a 8-11 ) ، وعند وضعها بين لوحي المكثف المشحون في الشكل ( 7-11 ) لتحل محل الهواء فإن اللوح السالب للمكثف سيعمل على جذب الشحنات الموجبة لجزيئات المادة العازلة ( الأنوية ) باتجاهه وسيعمل اللوح الموجب للمكثف على جذب الشحنات السالبة للجزيئات باتجاهه ( الإلكترونات ) مما يؤدي إلى إعادة ترتيب جزيئات المادة العازلة فتصبح جميع الشحنات السالبة على اليسار وجميع الشحنات الموجبة على اليمين بصورة منتظمة مما يؤدي إلى حدوث عملية استقطاب للمادة العازلة أي يصبح لها قطبين موجب على اليمين وسالب على اليسار كما في الشكل ( b 8-11 ).




شكل ( 8-11 )

وهذا بدوره يؤدي إلى تكون مجال كهربائي جديد داخل المادة العازلة وبين لوحي المكثف ولتكن شدته $E_d$ أصغر بكثير من شدة المجال الكهربائي الناتج بواسطة البطارية $E_c$ ومعاكس له في الاتجاه كما في الشكل ( c 8-11 ) ، مما يؤدي إلى أن محصلة شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف تقل وذلك لأن :

$$E_T = E_c - E_d$$

وبما أن :

$V_c \alpha E_T$ بين لوحي المكثف

فإنه عندما يقل مقدار $E_T$ سيقل بالتالي مقدار $V_c$ وعندها يصبح:

$$V_B > V_c$$

وبالتالي هنا تصبح البطارية قادرة على إمداد لوحي المكثف بالمزيد من الشحنات الكهربائية $Q$ مما يؤدي إلى زيادة مقدار كمية

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

الشحنة على كل من لوحي المكثف وتستمر هذه الزيادة إلى أن يصبح مرة أخرى $V_B = V_c$ وتتوقف عملية الشحن.

إذن نجد أن المكثف الكهربائي عند إضافة المادة العازلة بين لوحيه اكتسب مقداراً إضافياً من كمية الشحنة عند نفس فرق الجهد وحسب العلاقة *1-1* :

$$C = \frac{\text{يزداد } Q}{\text{يظل ثابت } V}$$

مما يؤدي إلى زيادة السعة الكهربائية للمكثف الكهربائي.

**♦ مثال:**

مكثف هوائي متوازي اللوحين مساحة كل منهما $1m^2$ وتفصل بينهما مسافة $1mm$ يتم شحنه بواسطة مصدر كهربائي قوته الدافعة $3000V$ ، أوجد ما يلي:

$a$) سعة المكثف.

$b$) الشحنة المختزنة على كل من لوحيه.

**- المعطيات:**

$$A = 1\ m^2\ , d = 1mm = 1 \times 10^{-3}m$$

$$V = 3000V$$

$\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}F/m$ لأن المكثف هوائي

**- المطلوب والحل:**

$a$) سعة المكثف $C$؟

$$C = \frac{\varepsilon_o . A}{d} = \frac{(8.85 \times 10^{-12}).(1)}{(1 \times 10^{-3})}$$

$$\therefore C = 8.85 \times 10^{-9} = 8.85nF$$

$b$) الشحنة المختزنة على كل من لوحيه $Q$؟

$$Q = \frac{C}{V} = \frac{8.85 \times 10^{-9}}{3000}$$

$$\therefore Q = 26.6 \times\ 10^{-6}C = 26.6\mu C$$

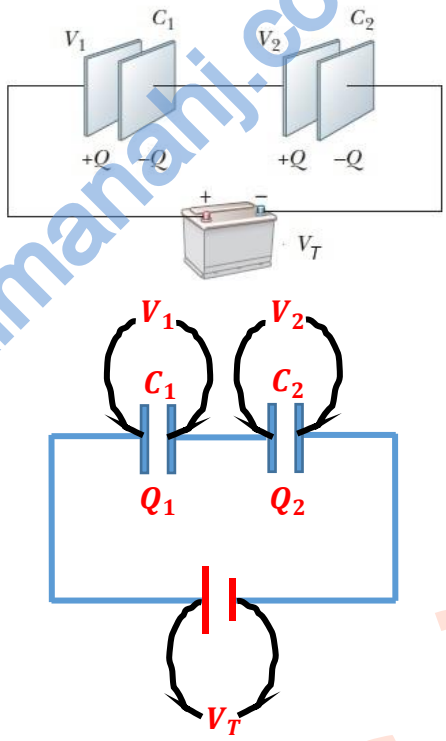
almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

## 12) توصيل المكثفات:

المكثف الكهربائي مثله مثل المقاومة الكهربائية يتم تجميعها في الدوائر الكهربائية بهدف الحصول على سعة كهربائية معينة ويتم ذلك بطريقتين :

### أولاً: التوصيل على التوالي:

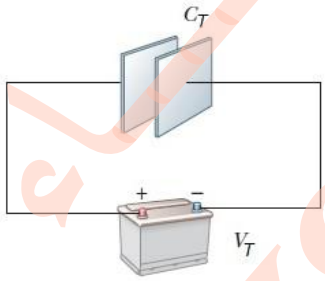
في هذا النوع من التوصيل ( أو التجميع ) يتم ربط المكثفات الكهربائية بشكل متتالي بحيث يتصل كل مكثف مع المكثف الذي يليه بطرف واحد فقط بنفس طريقة توصيل المقاومات كما في الشكل ( *12-1* ).

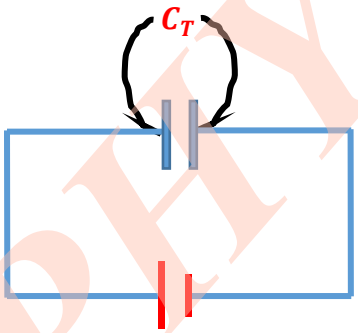






( a )




( b )

**شكل ( *12-2* )**

**ـ خصائصه:**

* كمية الشحنة المختزنة على كل مكثف تسوي كمية الشحنة المختزنة على جميع المكثفات.

$$Q_1 = Q_2 = Q_T$$

* فرق الجهد بين طرفا التجميع يساوي مجموع فروق الجهود للمكثفات في التجميع.

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \gg 1 - 12$$

ويمكن إيجاد فرق الجهد بين طرفي كل مكثف بتطبيق العلاقة *1-11* كما يلي:

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2}$$

وبالتعويض في المعادلة *12-1* نحصل على:

$$V_T = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$

$$\because Q_1 = Q_2 = Q_T$$

$$\therefore V_T = \frac{Q_T}{C_1} + \frac{Q_T}{C_2}$$

بأخذ $Q_T$ عامل مشترك نحصل على:

$$V_T = Q_T\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$$

وبقسمة الطرفين على $Q_T$:

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$\frac{V_T}{Q_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وحيث أن المقدار $\frac{V_T}{Q_T}$ يمثل مقلوب السعة المكافئة للتجميع $\frac{1}{C_T}$ ، إذن يمكن القول أن:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \gg 2-12$$

ومنها نحصل على الخاصية الثالثة للتوصيل على التوالي للمكثفات وهي:

* مقلوب السعة المكافئة للتجميع يساوي المجموع الجبري لمقلوب كل المكثفات في التجميع.

وبالتالي يمكن تبسيط الدائرة الكهربائية في الشكل ( *a* 1-12 ) ليصبح كما في الشكل ( *b* 1-12 )

◄ ملاحظة:

- عند شحن المكثفات المتصلة على التوالي فإن عملية الشحن تتوقف بمجرد أن يصبح أحد المكثفات مشحون شحناً تاماً أو عندما يصبح فرق الجهد بين طرفا التجميع يساوي فرق الجهد بين قطبا المصدر( البطارية ).

- السعة المكافئة للتجميع أصغر من أي سعة في التجميع.

- إذا كان لدينا مكثفان فقط كما في الشكل السابق ويتصلان على التوالي فإنه يمكن إيجاد السعة المكافئة لهما مباشرةً من العلاقة:

$$C_T = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$$

- إذا كان لدينا عدد $N$ من المكثفات المتماثلة وتتصل على التوالي وسعة كل منها $C$ فإن:

$$C_T = N . C$$

## ثانياً: التوصيل على التوازي:

في هذا النوع من التوصيل ( أو التجميع ) تتصل جميع المكثفات مع بعضها البعض بطرفين فقط ، كما في الشكل ( *2-12* ) أي أن جميع المكثفات في التجميع لها نفس الطرفين.

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**- خصائصه:**

* جميع المكثفات تتساوى في فرق الجهد بين طرفيها وبين طرفي التجميع.

$$V_T = V_1 = V_2$$

* تتوزع الشحنة الكلية القادمة من البطارية على المكثفات حسب سعة كل منها وتكون كمية الشحنة الكلية للتجميع مساوية لمجموع كمية الشحنة على كل المكثفات في التجميع.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad \gg 3-12$$

يمكن إيجاد الشحنة على كل مكثف بتطبيق العلاقة *1-11* فنحصل على:

$$Q_1 = C_1.V_1$$

$$Q_2 = C_2.V_2$$

وبالتعويض في المعادلة *3-12* نحصل على:

$$Q_T = C_1.V_1 + C_2.V_2$$

وبما أن:

$$V_T = V_1 = V_2$$

إذن يمكن القول أن:

$$Q_T = C_1.V_T + C_2.V_T$$

$$\therefore Q_T = V_T(C_1 + C_2)$$

وبقسمة الطرفين على $V_T$ نحصل على:

$$\frac{Q_T}{V_T} = C_1 + C_2$$

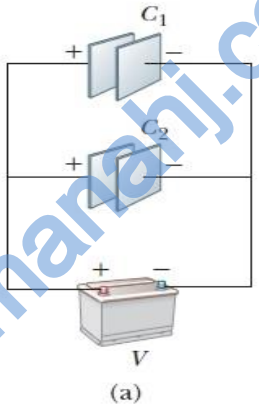
حيث أن المقدار $\frac{Q_T}{V_T}$ يمثل السعة المكافئة المختزنة في التجميع $C_T$

وبالتالي نحصل على:

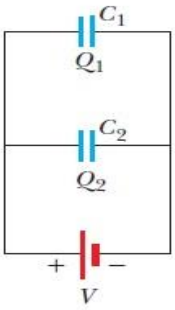
$$C_T = C_1 + C_2 \quad \gg 4-12$$

وبالتالي نحصل على الخاصية الثالثة من خصائص التوصيل على التوازي للمكثفات وهي:

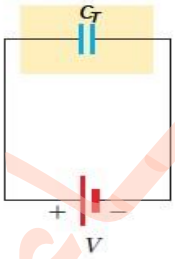
* السعة المكافئة للتجميع تساوي مجموع سعة المكثفات المكونة للتجميع.




(a)




(b)




(c)

**شكل ( *3-12* )**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

◄ ملاحظة:

- المكثف الذي يمتلك أكبر سعة سيخزن أكبر كمية من الشحنات في التجميع.

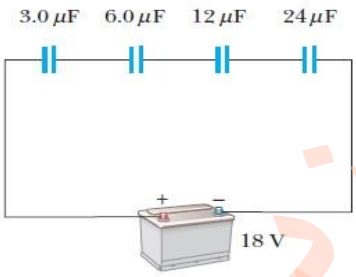
- السعة المكافئة للتجميع أكبر من أي سعة للمكثفات في التجميع.

- إذا كان لدينا عدد $N$ من المكثفات المتماثلة وسعة كل منها $C$ فإن:

$$C_T = N.C$$

♦ **مثال:**

أدرس الشكل ( *12-4* ) ثم أوجد:




**شكل ( *12-4* )**

1- نوع التوصيل.

2- السعة المكافئة للتجميع.

3- الشحنة المختزنة على المكثف الذي سعته $12\mu F$.

4- فرق الجهد بين طرفي المكثف الذي سعته $12\mu F$.

**- المعطيات:**

$$C_1 = 3\mu F\ , C_2 = 6\mu F, C_3 = 12\mu F, C_4 = 24\mu F$$

$$V_T = 18V$$

**- المطلوب والحل:**

**1- نوع التوصيل؟**

على التوالي .

**2- السعة المكافئة للتجميع $C_T$؟**

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

$$= \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{24}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{5}{8}$$

$$C_T = \frac{8}{5} = 1.6\mu F$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

**3- الشحنة المختزنة $Q_3$ على المكثف الذي سعته $12\mu F$؟**

∵ التوصيل على التوالي.

$$\therefore Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$$

∴ يمكن إيجاد $Q_3$ من خلال إيجاد $Q_T$:

$$Q_T = C_T . V_T = 1.6 \times 18 = 28.8\ \mu C$$

$$\therefore Q_3 = 28.8\mu F$$

**4- فرق الجهد $V_3$ بين طرفي المكثف الذي سعته $12\mu F$؟**

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{28.8}{1.6} = 18V$$

نلاحظ أن فرق الجهد بين طرفي المكثف هو نفسه فرق الجهد بين طرفي التجميع ( بين قطبي البطارية ).

**♦ مثال:**

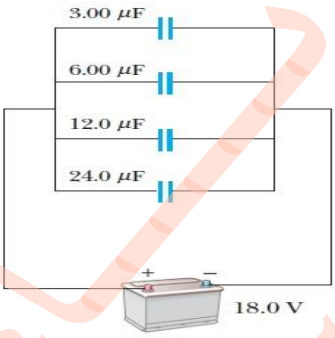
أدرس الشكل ( 5-12 ) ثم أوجد:

1- نوع التوصيل.

2- السعة المكافئة للتجميع.

3- الشحنة المختزنة على المكثف الذي سعته $12\mu F$.

4- الشحنة الكلية المختزنة في التجميع.




**شكل ( 5-12 )**

**- المعطيات:**

$$C_1 = 3\mu F\ , C_2 = 6\mu F, C_3 = 12\mu F, C_4 = 24\mu F$$

$$V_T = 18V$$

**- المطلوب والحل:**

**1- نوع التوصيل؟**

على التوازي.

**2- السعة المكافئة للتجميع $C_T$؟**

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$= 3 + 6 + 12 + 24$$

$$\therefore C_T = 45\mu F$$

**3- الشحنة المختزنة $Q_3$ على المكثف الذي سعته $12\mu F$؟**



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

∵ التوصيل على التوازي

$$\therefore\ V_3 = V_T = 18V$$

وبالتالي:

$$Q_3 = C_3.V_3 = 12 \times 18 = 216\mu C$$

**4- الشحنة الكلية المختزنة في التجميع $Q_T$؟**

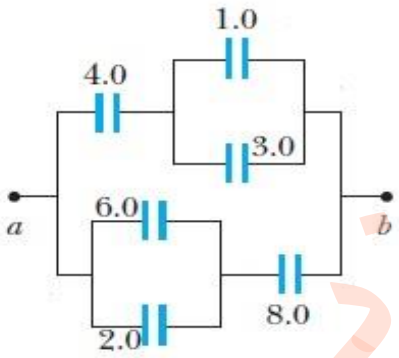
$$Q_T = C_T.V_T = 45 \times 18 = 810\mu C$$

**♦ مثال:**

أدرس الشكل ( *6-12* ) المقابل، وإذا علمت أن جميع المكثفات سعتها بالمايكروفاراد أوجد:

1- السعة المكافئة للتجميع.

2- الشحنة المختزنة على المكثف الذي سعته $4\mu F$ إذا علمت أن فرق الجهد بين النقطتين $a$ و $b$ يساوي $12V$.




**شكل ( *6-12* )**

**- المعطيات:**

$$C_1 = 4\mu F\ ,C_2 = 1\mu F\ ,C_3 = 3\mu F$$

$$C_4 = 6\mu F\ ,C_5 = 2\mu F\ ,C_6 = 8\mu F$$

$$V_{ab} = 12V$$

**- المطلوب والحل:**

**1- السعة المكافئة للتجميع $C_T$؟**

المكثفان $C_2$ و $C_3$ يتصلان على التوازي، إذن السعة المكافئة لهما تكون:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 1 + 3$$

$$C_{23} = 4\mu F$$

والمكثفان $C_4$ و $C_5$ يتصلان على التوازي، إذن السعة المكافئة لهما تكون:

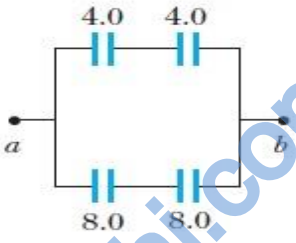
$$C_{45} = C_4 + C_5 = 6 + 2$$

$$C_{45} = 8\mu F$$

وبالتالي تصبح الدائرة كما في الشكل ( *7-12* ) المقابل.

ومنها نجد أن:

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS




شكل ( 7-12 )

- المكثفان $C_1$ و $C_{23}$ يتصلان على التوالي، وعندها السعة المكافئة لهما تكون:

$$\frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

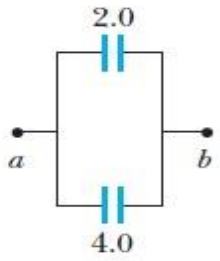
$$\therefore C_{123} = \frac{2}{1} = 2\mu F$$

- المكثفان $C_{45}$ و $C_6$ يتصلان على التوالي، وعندها السعة المكافئة لهما تكون:

$$\frac{1}{C_{456}} = \frac{1}{C_{45}} + \frac{1}{C_6} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore C_{456} = \frac{4}{1} = 4\mu F$$

وعندها تصبح الدائرة كما بالشكل ( 8-12 ) المقابل.

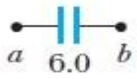



شكل ( 8-12 )

ومنها نجد أن المكثفان $C_{123}$ و $C_{456}$ يتصلان على التوازي، وبالتالي فإن السعة المكافئة للتجميع تكون:

$$C_T = C_{123} + C_{456} = 2 + 4$$

$$\therefore C_T = 6\mu F$$




شكل ( 9-12 )

**2- الشحنة المختزنة $Q_1$ على المكثف الذي سعته $4\mu F$ إذا علمت أن فرق الجهد بين النقطتين a و b يساوي $12V$؟**

∵ التجميع العلوي يتصل على التوازي مع التجميع السفلي

$$V_{ab} = V_{123} = V_{456}$$

$$\therefore V_{123} = 12V$$

∵ التجميع العلوي يتصل على التوالي

$$\therefore Q_{123} = Q_1 = Q_{23}$$

$$\therefore Q_{123} = C_{123}.V_{123} = 2.2 \times 12 = 26.4\mu C$$

$$\therefore Q_1 = 26.4\mu C$$

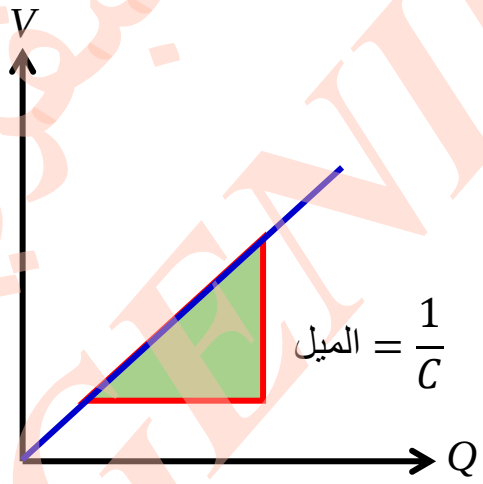
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## 13) منحنى العلاقة بين الشحنة المختزنة في المكثف الكهربائي $Q$ وفرق الجهد بين لوحيه $V$:

نعلم سابقاً أن:

$$V \alpha Q$$

وثابت التناسب بينهما هو مقدار ثابت يمثل $C$ سعة المكثف الكهربائي وبالتالي فإن:




## 14) حساب الطاقة المختزنة في المكثف المشحون:

نعلم أن المكثف الكهربائي يخزن الشحنات الكهربائية على كل من لوحيه وهذه الشحنات تكون قد اكتسبت طاقة وضع كهربائية بواسطة مصدر الطاقة الكهربائية ( البطارية ) وبالتالي فالمكثف عندما يخزن الشحنات الكهربائية فهو يخزن الطاقة الكهربائية $PE$ التي تحملها فكيف يتم ذلك؟ وما هو مقدار هذه الطاقة التي يخزنها المكثف الكهربائي.

لنفترض أن مكثفاً غير مشحوناً يتم شحنه بواسطة بطارية وبالتالي فإن في بداية يكون كل من لوحي المكثف كما تعلمنا سابقاً متعادلين كهربائياً ويكون فرق الجهد الكهربائي بينهما مساوياً للصفر.

وبالتالي فإن البطارية عندما تقوم بنقل الشحنة السالبة من اللوح الأول الى اللوح الآخر فإنها ستبذل شغل صغيراً جداً على الشحنة وعندها يبدأ فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بالتكون حسب العلاقة :

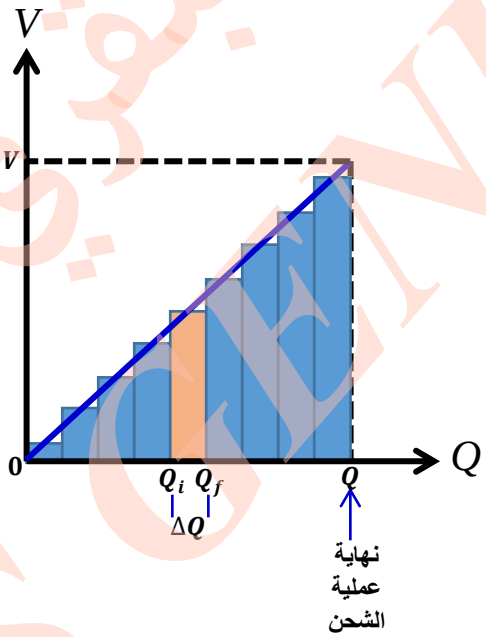
$$V = \frac{Q}{C}$$

ومع الاستمرار في الشحن فإن البطارية ستعمل على بذل شغلاً أكبر من الشغل الذي يسبقه وذلك لأن فرق الجهد بين لوحي المكثف سيعمل على منع البطارية من نقل الشحنات بين لوحيه ويتغير

مقدار الشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات بين لوحي المكثف حسب العلاقة ( 3-1) خلال مرحلة من مراحل الشحن مساوياً للمقدار:

$$\Delta W = \Delta V . \Delta Q$$

وبالعودة إلى منحنى العلاقة بين الشحنة المختزنة على لوحي المكثف وفرق الجهد بين لوحيه وبتقسيم المنحنى الى فترات صغيرة جداً ومتساوية من مراحل الشحن كما في الشكل نجد أن:




خلال المرحلة المظللة باللون المغاير تم شحن المكثف بشحنة مقدارها $\Delta Q$ وعند حساب مساحة هذا الجزء تحت المنحنى نجد أنها تمثل مساحة المستطيل وتساوي:

$$\text{مساحة المستطيل} = \text{الطول} \times \text{العرض}$$

$$\text{مساحة المستطيل} = \Delta V . \Delta Q = \Delta W$$

∴ نستنتج أن مساحة كل مرحلة من مراحل الشحن تحت المنحنى تمثل الشغل الذي تبذله البطارية لشحن المكثف بشحنة مقدارها $\Delta Q$ خلال هذه المرحلة

وبالتالي إذا ما أردنا حساب الشغل الكلي الذي تبذله البطارية لشحن المكثف فإننا نقوم بجمع كل المساحات لكل مرحلة تحت المنحنى أي حساب المساحة الكلية تحت المنحنى والتي من الشكل نجدها تمثل مساحة المثلث، وبالتالي نحصل على:

$$W = \text{مساحة المثلث}$$

$$\therefore W = \frac{1}{2} Q . V$$

وكما نعلم أن:



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$W = \Delta PE$$

أو يمكن القول:

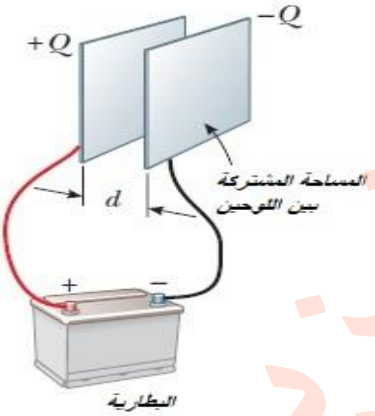
$$W = PE$$

إذن فإن مقدار الطاقة التي يخزنها المكثف يمكن إيجادها من العلاقة:

$$PE = \frac{1}{2} Q.V \quad \gg 1-14$$

**15) تأثير تغيير العوامل التي تعتمد عليها سعة المكثف على كل من $Q$ و $V$ و $C$ و $PE$ :**

أولاً: عندما يكون المكثف مشحون ومتصل ببطارية كما في الشكل ( *1-15* ):




**شكل ( *1-15* )**

في هذه الحالة يكون فرق الجهد بين لوحي المكثف يساوي فرق الجهد بين قطبي البطارية $V_B = V_c$ وبالتالي يظل فرق الجهد بين لوحي المكثف مقداراً ثابتاً لا يتغير بتغير العوامل الثلاثة.

في حين أن الشحنة الكهربائية المختزنة على كل من لوحيه يمكن ان تتغير تبعاً للفرق بين فرقي الجهدين عند فقط لحظة تغيير العوامل الثلاثة إلى أن يعود ويصبح $V_B = V_c$ ، ونظراً لأن كمية الشحنة المختزنة على كل من لوحي المكثف تتغير فإن هذا يؤدي إلى تغير سعة المكثف حسب العلاقة *1-11*:

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

وبالتالي يمكن القول أن:

$$Q = CV$$

وبالتعويض عنها في العلاقة *1-14* نحصل على:

$$PE = \frac{1}{2} C.V^2 \quad \gg 1-15$$

ومنها نجد أن :

$$PE \alpha C$$

وهذا ما يفسر زيادة الطاقة المختزنة على المكثف عند زيادة سعته، ويوضح الجدول التالي ماذا يحدث لكلاً $PE$،$V$،$C$،$Q$ عند زيادة مقدار العوامل الثلاثة التي تعتمد عليها سعة المكثف مع الأخذ في الاعتبار أن العكس صحيح عند نقصان مقدار هذه العوامل.

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

| | العامل المتغير | | |
|---|---|---|---|
| | زيادة مقدار $\varepsilon$ | زيادة مقدار $A$ | زيادة مقدار $d$ |
| Q | تزداد | تزداد | تقل |
| V | ثابت | ثابت | ثابت |
| C | تزداد | تزداد | تقل |
| PE | تزداد | تزداد | تقل |

ثانياً: عندما يكون المكثف مشحون وغير متصل بالبطارية كما في الشكل ( *2-15* ):

في هذه الحالة ونظراً لأن المكثف غير متصل بالبطارية فإن مصدر إمداد لوحي المكثف بالشحنات غير موجود وبالتالي لا يمكن أن تتغير كمية الشحنة على لوحي المكثف مهما تغير مقدار العوامل الثلاثة ( باعتبار أن مقاومة الفولتميتر تساوي 0 ).

أما بالنسبة لفرق الجهد فإنه من الممكن أن يتغير بتغير العوامل الثلاثة زيادة و نقصان حسب نوع التغير.

وبتغير فرق الجهد تتغير سعة المكثف أيضاً حسب العلاقة *1-11*:

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

وبالتالي يمكن إيجاد مقدار $V$ من العلاقة:

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

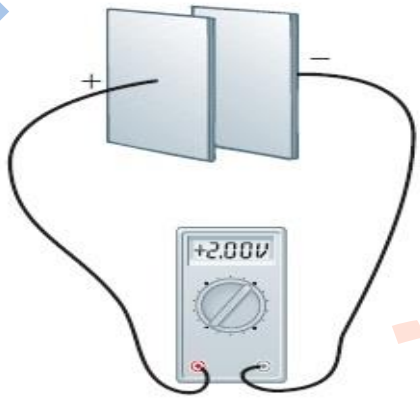
وبالتعويض في العلاقة *1-14* نحصل على:

$$PE = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \gg 1-15$$

يمكن معرفة التغير الذي ممكن أن يحدث للطاقة المختزنة على المكثف بتغير العوامل الثلاثة حيث يتضح أنه:

$$PE\alpha\frac{1}{C}$$

وهذا ما يفسر نقصان الطاقة المختزنة على المكثف المشحون عند زيادة سعته، ويوضح الجدول التالي ماذا يحدث لكلاً $PE، V، C، Q$ عند زيادة مقدار العوامل الثلاثة التي تعتمد عليها سعة المكثف مع الأخذ في الاعتبار أن العكس صحيح عند نقصان مقدار هذه العوامل.




**شكل ( *2-15* )**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

| | العامل المتغير | | |
|---|---|---|---|
| | زيادة مقدار $\varepsilon$ | زيادة مقدار $A$ | زيادة مقدار $d$ |
| Q | ثابت | ثابت | ثابت |
| V | يقل | يقل | يزداد |
| C | تزداد | تزداد | تقل |
| PE | تقل | تقل | تزداد |

∴ مما سبق يتضح لنا أن العلاقة بين $PE$ و $C$ تعتمد على وضع المكثف الكهربائي المشحون هل هو متصل بالبطارية أم غير متصل بالبطارية.

♦ مثال:

مكثفان كهربائيان سعة كل منهما $C_1 = 18\mu F$ و $C_2 = 36\mu F$ يتصلان ببعضهما على التوالي بحيث يتصل طرفا التجميع ببطارية قوتها الدافعة $12V$ ، أوجد:

1- السعة المكافئة للتجميع.

2- الطاقة الكلية المختزنة في التجميع.

3- الطاقة المختزنة على كل مكثف.

4- إذا تم توصيل المكثفان على التوازي فما هو فرق الجهد اللازم حتى يبقى مقدار الطاقة الكلية المختزنة في التجميع نفسه.

**- المعطيات:**

$$C_1 = 18\mu F \ , C_2 = 36\mu \ , V_T = 12V$$

**- المطلوب والحل:**

**1- السعة المكافئة للتجميع $C_T$؟**

∵ التوصيل على التوالي ولدينا مكثفان فقط

$$\therefore C_T = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2} = \frac{18 \times 36}{18 + 36} = 12\mu F$$

**2- الطاقة الكلية المختزنة في التجميع $PE$؟**

$$PE = \frac{1}{2} C_T . V_T^2$$

$$= \frac{1}{2} \times (12 \times 10^{-6}) \times (12)^2$$

$$\therefore PE = 8.64 \times 10^{-4} J$$

**3- الطاقة المختزنة على كل مكثف $PE_1$ و $PE_2$؟**

∵ التوصيل على التوالي

$$\therefore Q_T = Q_1 = Q_2$$

$$Q_T = C_T . V_T = 12 \times 12 = 144 \mu C$$

$$\therefore Q_T = 144 \times 10^{-6} C$$

$$\therefore Q_1 = 144 \times 10^{-6} C$$

$$\therefore Q_2 = 144 \times 10^{-6} C$$

ومنها:

$$PE_1 = \frac{1}{2}\frac{Q_1^2}{C_1} = \frac{1}{2} \times \frac{(144 \times 10^{-6})^2}{18 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore PE_1 = 5.76 \times 10^{-4} J$$

$$\therefore PE_2 = PE_T - PE_1$$

$$= (8.64 \times 10^{-4}) - (5.76 \times 10^{-4})$$

$$\therefore PE_2 = 7.2 \times 10^{-4} J$$

**4- فرق الجهد الكهربائي $V_T$ اللازم عند توصيل المكثفان على التوازي حتى الطاقة المختزنة في التجميع نفسها؟**

∵ التوصيل على التوازي

$$\therefore C_T = C_1 + C_2 = 18 + 36$$

$$\therefore C_T = 54 \mu F = 54 \times 10^{-6} F$$

نعلم أن:

$$PE = \frac{1}{2} C_T . V_T^2$$

$$\therefore V_T^2 = \frac{2PE}{C_T} = \frac{(2) \times (8.64 \times 10^{-4})}{(54 \times 10^{-6})} = 32 V^2$$

$$\therefore V_T = \sqrt{32} = 5.66 V$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## 16) أشباه الموصلات:

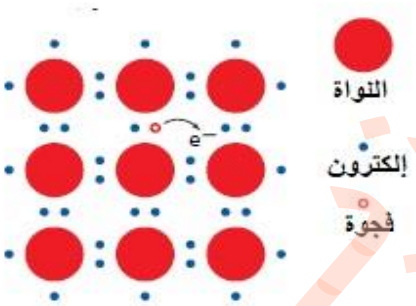
تقسم المواد حسب قابليتها لتوصيل التيار الكهربائي أو حسب عدد الإلكترونات الحرة الموجودة فيها إلى 3 أنواع:

- مواد موصلة، وتحتوي على كمية كبيرة جداً من الإلكترونات الحرة لذلك فهي موصلة جيدة للكهرباء مثل المعادن.

- مواد عازلة، وتحتوي على عدد قليل جداً من الإلكترونات الحرة تكاد تكون معدومة لذلك فهي غير موصلة للكهرباء مثل البلاستك والخشب والزجاج.

- مواد شبه موصلة، تحتوي على عدد قليل من الإلكترونات الحرة وتسلك سلوك المواد العازلة في بعض الظروف وفي ظروف أخرى تسلك سلوك المواد الموصلة، مثل السيليكون والجرمانيوم.

المواد شبه الموصلة هي مواد رباعية التكافؤ أي تقع في المجموعة الرابعة في الجدول الدوري كما في الشكل المقابل، وتشترك ذرات هذه المواد مع بعضها لتكوين مادة شبه موصلة تسمى بلورة عن طريق ارتباط إلكتروناتها ( حاملات الشحنة السالبة ) بروابط تساهمية كما في الشكل ( *16-1* ) تعمل هذه الروابط على تقييد حركة الإلكترونات فيها، ولكن عند درجة حرارة الغرفة العادية تستطيع بعض الإلكترونات ( حاملات الشحنة السالبة ) من التحرر من هذه الروابط التساهمية مخلفة ورائها فراغ يسمى الفجوات ( حاملات الشحنة الموجبة ) إلا أن عدد حاملات الشحنة في المواد شبه الموصلة عند هذه الدرجة يكون قليل وبالتالي تكون غير مجدية لإنتاج تيار كهربائي فعال، وعندها تكون المواد شبه الموصلة رديئة للكهرباء لذلك يلجأ العلماء إلى زيادة قدرة هذه المواد في توصيل الكهرباء باستخدام عدة طرق، وهي:




**شكل ( *16-1* )**

**1- تطبيق جهد عالي بين طرفي المادة شبه الموصلة**، حيث يعمل على نزع الإلكترونات من الروابط التساهمية التي تقيد حركتها وبالتالي يعمل على زيادة عدد حاملات الشحنة وتزداد قدرة هذه المواد في توصيل الكهرباء.

**2- رفع درجة حرارتها**، وذلك لأن المواد شبه الموصلة حساسة جداً للتغير في درجة الحرارة فكلما زادت درجة حرارتها كلما زادة قدرتها على توصيل الكهرباء، ففي درجات الحرارة المنخفضة جداً تكون إلكترونات مرتبطة جدً بذراتها وتسلك سلوك المواد العازلة أما عند رفع درجة حرارتها يؤدي إلى إكساب الإلكترونات طاقة حركة تمكنها من التحرر من الروابط التساهمية مما يؤدي

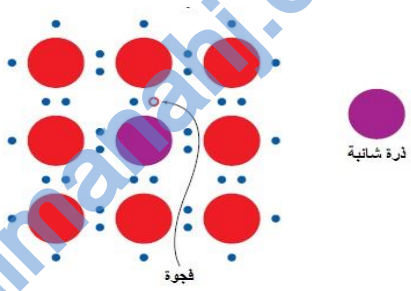
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

إلى زيادة عدد حاملات الشحنة وزيادة قدرتها على التوصيل وتسلك سلوك المواد الموصلة.

**3- عملية التطعيم**، وهي إضافة ذرات لمواد أخرى تسمى الشوائب إلى بلورات شبه الموصل النقية بطريقة معينة وبمعدل ذرة شائبة واحدة لكل مليون ذرة شبه موصل بهدف زيادة عدد حاملات الشحنة السالبة فيها ( الإلكترونات ) أو زيادة عدد حاملات الشحنة الموجبة ( الفجوات ) ويقسم إلى نوعين:

أ) التطعيم من النوع الموجب ( *P-type* ):

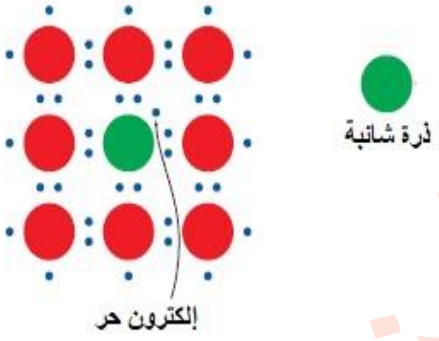
وفيه يتم إضافة الشوائب بهدف زيادة عدد حاملات الشحنة الموجبة ( الفجوات ) وتسمى بلورة شبه موصل غير نقية من النوع الموجب، شكل ( *2-16* ).




**شكل ( *2-16* )**

ب) التطعيم من النوع السالب ( *N-type* ):

وفيه يتم إضافة الشوائب بهدف زيادة عدد حاملات الشحنة السالبة ( الإلكترونات ) وتسمى بلورة شبه موصل غير نقية من النوع السالب، شكل ( *3-16* ).

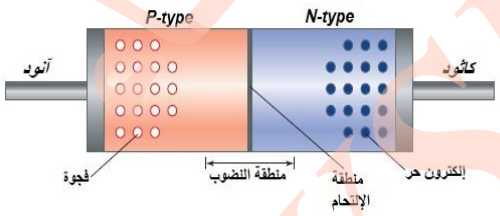



**شكل ( *3-16* )**

## * أجهزة أشباه الموصلات:

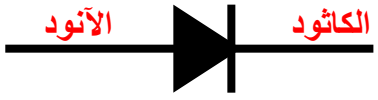
### ● الوصلة الثنائية ( *Diode* ):

عبارة عن بلورة شبه غير موصل غير نقية من النوع *N-type* يتم لحمها بطريقة معينة مع بلورة شبه موصل غير نقية من النوع *P-type* كما في الشكل ( *4-16* ) وبالتالي تتكون من طرفين الأول موجب ( *P-type* ) ويسمى المصعد ( الآنود )، والثاني سالب ( *N-type* ) ويسمى المهبط ( الكاثود ).




**شكل ( *4-16* )**

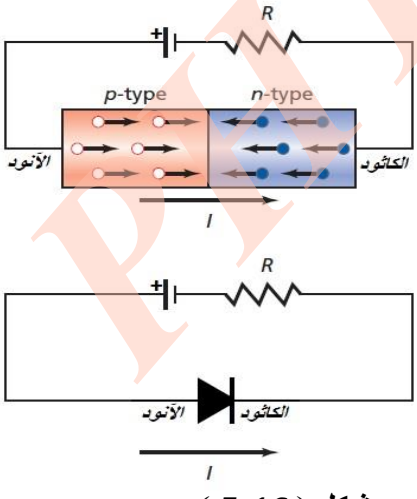
يرمز للوصلة الثنائية في الدوائر الكهربائية بالرمز:




**- طرق توصيلها في الدوائر الكهربائية:**

**1- التوصيل الأمامي:**

يتم ربط كاثود الوصلة الثنائية بالقطب السالب للبطارية، والآنود بالقطب الموجب، وفي هذه الحالة تكون مقاومة الوصلة الثنائية لمرور التيار تساوي صفر تقريباً وبالتالي تسمح بمرور التيار عبرها، كما في الشكل ( *5-16* ).

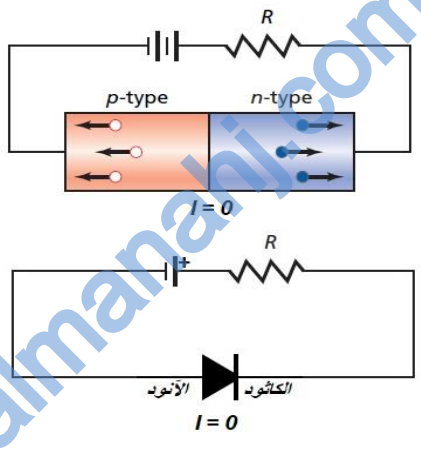



**شكل ( *5-16* )**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## 2- التوصيل العكسي:

يتم ربط كاثود الوصلة الثنائية بالقطب الموجب للبطارية، والآنود بالقطب السالب ، وفي هذه الحالة تكون مقاومتها لمرور التيار تساوي كبيرة جداً وبالتالي لن تسمح بمرور التيار عبرها، كما في الشكل ( 6-16 ).




شكل ( 6-16 )

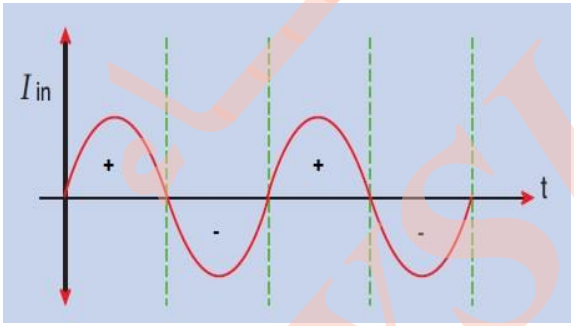
وبالتالي نجد أن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط ( الاتجاه الأمامي ) ولا تسمح بمروره في الاتجاه المعاكس ( الاتجاه العكسي )، لذلك نجد أن رمز الوصلة الثنائية أعلاه يحتوي على سهم حيث أن اتجاه السهم يشير إلى الاتجاه الذي يجب أن يسلكه التيار حتى تسمح له بالمرور عبرها أي أن اتجاه السهم يشير إلى اتجاه مرور التيار الكهربائي عبر الوصلة الثنائية.

### - استخدامات الوصلة الثنائية:

- تستخدم كمفتاح لفتح وغلق الدوائر الكهربائية.
- تقويم التيار المتردد.

### * عملية تقويم التيار المتردد:

التيار المتردد هو التيار المتغير الشدة والاتجاه في الدوائر الكهربائية، ويمكن تمثيله بيانياً كما في الشكل ( 7-16 ).



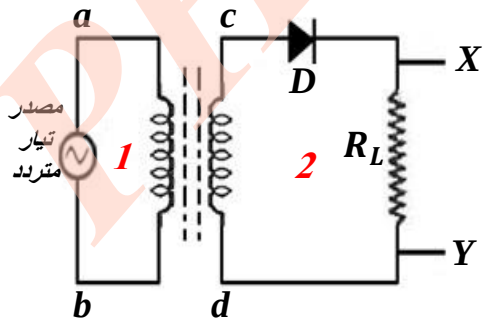

شكل ( 7-16 )

نلاحظ أن التيار تتغير شدته خلال النصف دورة زيادةً ونقصان في حين أنه يغير اتجاهه كل نصف دورة.

وعملية تقويم التيار المتردد هي عملية تحويل التيار المتردد من متغير الاتجاه في الدوائر الكهربائية إلى ثابت الاتجاه، ويقسم إلى نوعين:

### أولاً/ التقويم النصف موجي للتيار المتردد:

يتم ذلك باستخدام **وصلة ثنائية واحدة** تتصل على التوالي مع عناصر الدائرة الكهربائية الأخرى، كما في الشكل ( 8-16 ).




شكل ( 8-16 )

### - طريقة العمل:

الدائرة رقم 1 تتصل بمصدر تيار متردد يؤدي إلى انتاج تيار كهربائي متردد أيضاً في الدائرة رقم 2 بواسطة ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي والتي سنتناولها في فصل الحث الكهرومغناطيسي.

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

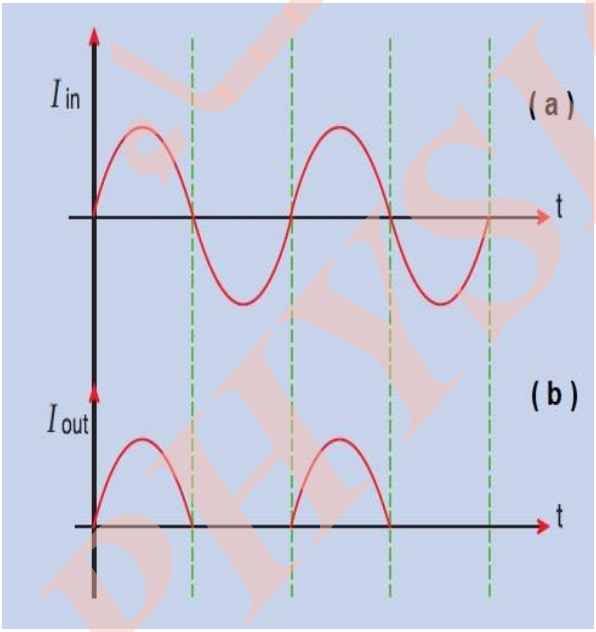
ويمثل الشكل ( 16-7 ) منحنى التيار الكهربائي الداخل إلى الدائرة الكهربائية بواسطة مصدر التير المتردد.

فإذا افترضنا أنه عندما يكون التيار الكهربائي في نصف الموجة الموجب تكون النقطة $c$ أعلى جهداً من النقطة $d$ وبالتالي فإنه يمكن اعتبار النقطة $c$ الطرف الموجب في الدائرة وتتصل بآنود الوصلة الثنائية $D$، والنقطة $d$ هي الطرف السالب وتتصل بكاثود الوصلة الثنائية وعندها تكون الوصلة الثنائية متصلة في الانحياز الأمامي وتكون مقاومتها صفر فتسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها فتصبح الدائرة الكهربائية مغلقة مما يؤدي إلى مرور التيار الكهربائي في الدائرة ويكون اتجاهه مع عقارب الساعة وبالتالي سوف يمر عبر المقاومة $R_L$ تيار كهربائي متغير الشدة اتجاهه من النقطة $X$ الى النقطة $Y$.

وعندما يكمل التيار الكهربائي في الدائرة $1$ نصف موجة فإنه ينعكس اتجاهه الى النصف السالب، وهذا يؤدي إلى انعكاس اتجاه التيار في الدائرة $2$ فتصبح النقطة $d$ أعلى جهداً من النقطة $c$ وبالتالي يمكن القول أن النقطة $d$ تمثل الطرف الموجب في الدائرة وتتصل بكاثود الوصلة الثنائية $D$ والنقطة $c$ تمثل الطرف السالب وتتصل بآنود الوصلة الثنائية، وعندها تكون الوصلة متصلة في الانحياز العكسي فتكون مقاومتها أكبر ما يمكن عبرها، فتكون الدائرة الكهربائية مفتوحة ولن يمر تيار كهربائي عبر المقاومة $R_L$.

عندها يكون التيار الكهربائي قد أكمل دورة كاملة، ليعيد الدورة من جديد، وبالتالي في كل مرة يكون التيار في النصف الموجب فإنه سوف يمر عبر المقاومة $R_L$ تيار كهربائي متغير الشدة واتجاهه من $X$ إلى $Y$ وفي كل مرة يكون التيار في النصف السالب لن يمر تيار كهربائي عبر المقاومة $R_L$ وبالتالي نجد أن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار عبر المقاومة $R_L$ في اتجاه واحد فقط ولا تسمح له بالمرور عبرها في الاتجاه الآخر، أي استطعنا ان نجعل التيار الذي يمر عبر المقاومة في اتجاه واحد فقط ( النصف الموجب ) لذلك نطلق عليه التقويم النصف موجي.

الشكل ( 16-9b) يوضح منحنى التيار الكهربائي الذي يمر عبر المقاومة $R_L$ .

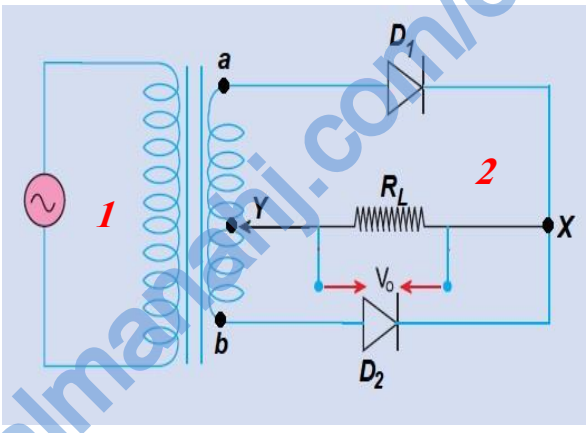



**شكل ( 16-9 )**

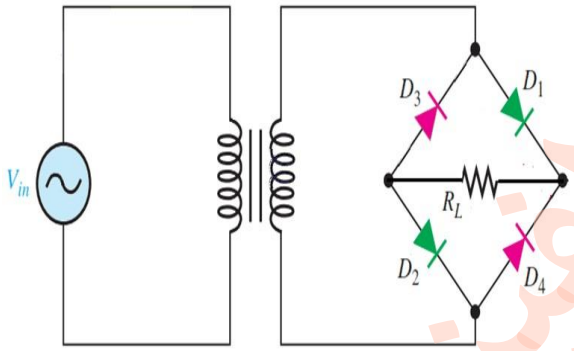
almanahj.com/om

**ثانياً/ التقويم الموجي الكامل للتيار المتردد:**

في هذا النوع نستخدم دائرة كهربائية تحتوي على **وصلتين ثنائيتين** كما في الشكل ( *10-16* ) ، أو **4 وصلات ثنائية** كما في الشكل ( *11-16* )، وسنتناول بالشرح فقط الدائرة التي تحتوي على وصلتين ثنائيتين.




**شكل ( *10-16* )**




**شكل ( *11-16* )**

**ـ طريقة العمل:**

بنفس الطريقة في التقويم النصف موجي، فإنه عند مرور تيار كهربائي متردد في الدائرة 1 فإنه سيؤدي إلى تولد تيار كهربائي متردد في الدائرة 2، ويوضح الشكل ( *7-16* ) منحنى تغير شدة واتجاه التيار المتردد الداخل إلى الدائرة الكهربائية.

إذا افترضنا أنه عندما يكون اتجاه التيار المتردد في النصف الموجب تكون النقطة $a$ أعلى جهداً من النقطة $b$، وبما أن الجهد الكهربائي ينخفض تدريجياً في الدائرة الكهربائية كلما انتقلنا من الجهد الأعلى إلى الجهد المنخفض فإنه لابد أن يكون النقطة $X$ أعلى جهداً من النقطة $b$ ومنها نستنتج أن:

$$V_a > V_X > V_b$$

وبالتالي فإنه بالنسبة للوصلة الثنائية $D_1$ فإن النقطة $a$ ستكون هي الطرف الموجب في الدائرة والنقطة $X$ هي الطرف السالب وعندها يكون آنود الوصلة متصل بالطرف الموجب والكاثود متصل بالطرف السالب أي أن الوصلة الثنائية $D_1$ تتصل في الانحياز الأمامي.

أما بالنسبة للوصلة الثنائية $D_2$ فإن النقطة $X$ ستكون هي الطرف الموجب والنقطة $b$ هي الطرف السالب وبالتالي يكون آنود الوصلة يتصل بالطرف السالب والكاثود يتصل بالطرف الموجب وبالتالي تكون الوصلة الثنائية $D_2$ تتصل في الانحياز العكسي.

ومنها نستنتج أن الجزء العلوي من الدائرة 2 يكون مغلق لأن الوصلة الثنائية $D_1$ متصلة أمامياً وتسمح بمرور التيار عبرها أما الجزء السفلي من الدائرة فإنه سوف يكون مفتوحاً وذلك لأن الوصلة الثنائية $D_2$ متصلة عكسياً ولا تسمح بمرور التيار عبرها.

وإذا ما تتبعنا مسار التيار فإنه سيبدأ من النقطة $a$ مروراً بالوصلة الثنائية $D_1$ إلى النقطة $X$ ونظراً لأن النقطة $X$ عبارة عن تفرع فإن التيار هنا يجب أن يتجزأ بين المسارين $XY$ و$Xb$ ولكن نظراً لأن الوصلة الثنائية $D_2$ متصلة عكسياً فإن التيار لن يمر عبر المسار $Xb$ فيسلك التيار فقط المسار $XY$ وبالتالي سوف يمر عبر المقاومة $R_L$ تياراً كهربائياً متغير الشدة اتجاهه من $X$ إلى $Y$.

almaarefi.com/om
PHYSICS GENIUS

أما عندما يكون التيار في النصف السالب فإن قطبية الدائرة سوف تتغير فتصبح النقطة $b$ أعلى جهداً من النقطة $a$ وبنفس الطريقة السابقة فإن:

$$V_b > V_X > V_a$$

وبالتالي فإنه بالنسبة للوصلة الثنائية $D_1$ فإن النقطة $a$ ستكون هي الطرف السالب في الدائرة والنقطة $X$ هي الطرف الموجب وعندها يكون آنود الوصلة متصل بالطرف السالب والكاثود متصل بالطرف الموجب أي أن الوصلة الثنائية $D_1$ تتصل في الانحياز العكسي.

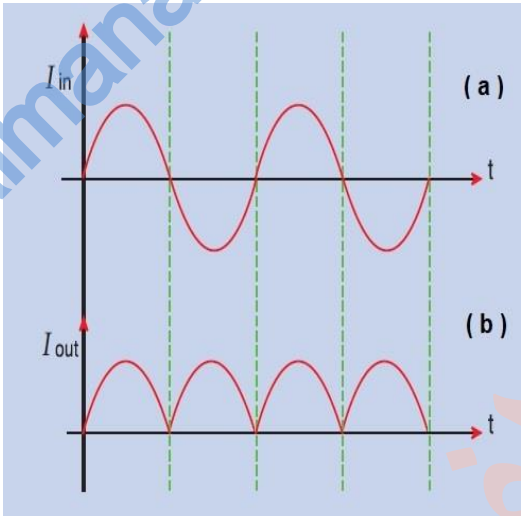
أما بالنسبة للوصلة الثنائية $D_2$ فإن النقطة $X$ ستكون هي الطرف السالب والنقطة $b$ هي الطرف الموجب وبالتالي يكون آنود الوصلة يتصل بالطرف الموجب والكاثود يتصل بالطرف السالب وبالتالي تكون الوصلة الثنائية $D_2$ تتصل في الانحياز الأمامي.

ومنها نستنتج أن الجزء العلوي من الدائرة 2 يكون مفتوحاً لأن الوصلة الثنائية $D_1$ متصلة عكسياً ولا تسمح بمرور التيار عبرها أما الجزء السفلي من الدائرة فإنه سوف يكون مغلقاً وذلك لأن الوصلة الثنائية $D_2$ متصلة أمامياً وتسمح بمرور التيار عبرها.

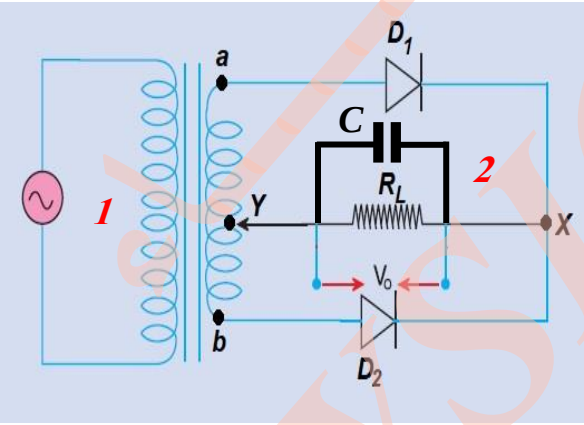
وإذا ما تتبعنا مسار التيار فإنه سيبدأ من النقطة $b$ مروراً بالوصلة الثنائية $D_2$ إلى النقطة $X$ ونظراً لأن النقطة $X$ عبارة عن تفرع فإن التيار هنا يجب أن يتجزأ بين المسارين $XY$ و$Xa$ ولكن نظراً لأن الوصلة الثنائية $D_1$ متصلة عكسياً فإن التيار لن يمر عبر المسار $Xa$ فيسلك التيار فقط المسار $XY$ وبالتالي سوف يمر عبر المقاومة $R_L$ تياراً كهربائياً متغير الشدة اتجاهه من $X$ إلى $Y$.

ومنها نستنتج أن التيار الكهربائي سوف يمر عبر المقاومة $R_L$ عند النصفين الموجب والسالب ويكون اتجاهه دائماً من $X$ إلى $Y$ أي موحد الاتجاه إلا أنه يكون متغير الشدة، ويوضح المنحنى ( 12-16 b ) شدة التيار الكهربائي المار عبر المقاومة $R_L$ .

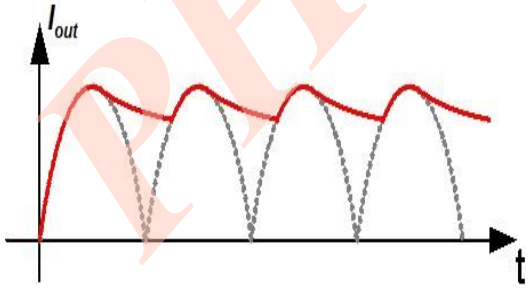
ونلاحظ أنه بالرغم من أن التيار المار عبر المقاومة $R_L$ موحد الاتجاه إلا أن شدته تتغير خلال الزمن وبالتالي فإن بعض الأجهزة الكهربائية لا يمكن ان تعمل مع هذا النوع من التيارات إذ أنه قد يؤدي إلى إحداث خللٍ فيها ، لذلك يلجأ العلماء إلى القيام بعملية تسمى **التنعيم** وتعرف بأنها عملية تحويل التيار الكهربائي من متغير الشدة إلى ثابت الشدة ، وتتم هذه العملية بإضافة مكثف كهربائي في الدائرة الكهربائية يتصل على التوازي مع المقاومة الكهربائية $R_L$ كما في الشكل ( 13-16 ) وينتج عنه تيار كهربائي ثابت الشدة تقريباً كما يوضحه المنحنى ( 14-16 ).




شكل ( 12-16 )



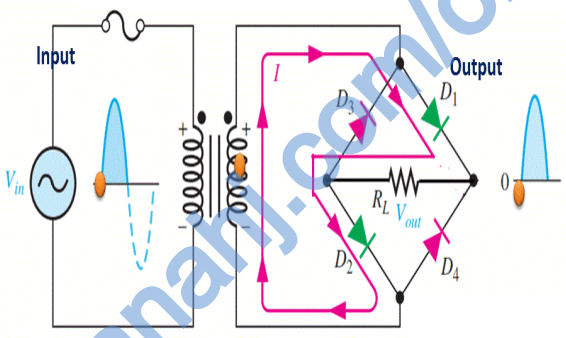

شكل ( 13-16 )




شكل ( 14-16 )

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

- يوضح الشكل ( 15-16 ) عملية التقويم الموجي الكامل للتيار المتردد باستخدام 4 وصلات ثنائية خلال نصف موجة .




شكل ( 15-16 )

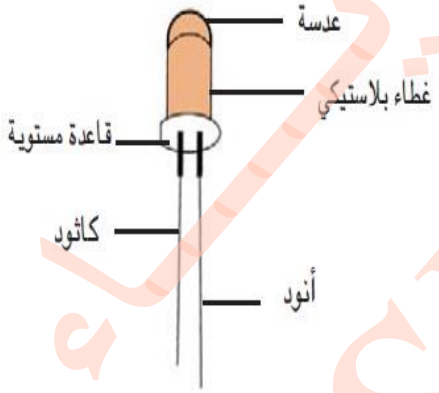
## ● الوصلة الثنائية الضوئية ( LED ):

هي عبارة عن وصلة ثنائية مصنوعة من الالمنيوم والجاليوم مضافاً إليها شوائب الفوسفور والزرنيخ ، تمتاز بقدرتها على الإضاءة باللون الأحمر أو الأخضر أو الأصفر وذلك حسب نوع الشوائب المضافة إليها عند مرور تيار كهربائي عليها أي عندما تكون متصلة في الانحياز الأمامي.

**- تركيبها:**

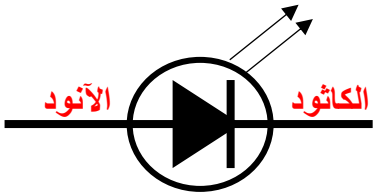
تتركب الوصلة الثنائية الضوئية كما في الشكل ( 16-16 ) من:

قاعدة بلاستيكية ، غرفة زجاجية شفافة تسمح بنفاذ الضوء عبرها مثبتة على القاعدة البلاستيكية ، عدسة محدبة تعمل على زيادة تركيز الضوء المنبعث من الوصلة الثنائية الضوئية ، ويخرج منها سلكان احدهما طويل ويسمى الآنود والآخر قصير ويسمى الكاثود.




شكل ( 16-16 )

**- رمزها في الدوائر الكهربائية:**




**- مميزاتها:**

صغيرة الحجم ، لا تتلف بسرعة ، سريعة الاستجابة فهي تضيء بمجرد مرور تيار كهربائي عليها ، تحتاج إلى تيار كهربائي صغير.

**- أهم استخداماتها:**

◊ تستخدم كمصباح بيان في الأجهزة الكهربائية.

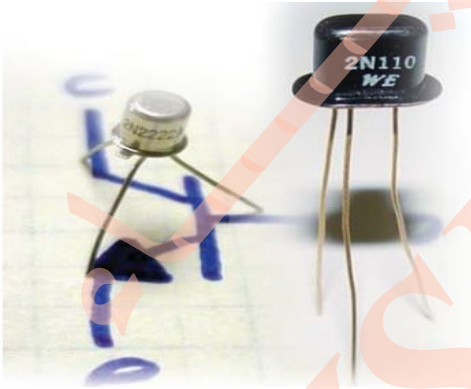
almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

◊ تستخدم في إظهار الأرقام والأحرف على العديد من الأجهزة الإلكترونية مثل الساعات والآلات الحاسبة، حيث يتم استخدام سبع وصلات ضوئية لتشكل الرقم 8 باللغة الإنجليزية بحيث أن كل ضلع من أضلاعه يكون عبارة عن وصلة ثنائية ضوئية كما يوضحه الشكل ( 16-17 ) وتكون جميع هذه الوصلات الضوئية لها آنود مشترك بينما لكل منها كاثود منفصل عن الأخرى ، وعند الضغط على أي رقم من 0 إلى 9 تكون فقط الوصلات الضوئية المكونة لهذا الرقم متصلة امامياً فتضيئ مكونة الرقم المطلوب وباقي الوصلات الأخرى تكون متصلة عكسيا فلا تضيئ، فمثلاً عند الضغط على الرقم 5 تكون الوصلات الضوئية a,f,g,c,d متصلة أمامياً في حين أن الوصلتين b,e تكون متصلة عكسياً فتشكل الرقم 5 على الشاشة ،،، وهكذا.

◊ تستخدم في قراءة الأسطوانات ( CD ).

◊ تستخدم في قراءة الباركود على السلع في المحلات التجارية.

## ● الترانزيستور ( Transistor ):




عبارة عن وصلة ثلاثية تتكون من إلتحام ثلاث بلورات شبه موصل غير النقية من النوع n و p وتتكون من ثلاثة مناطق:

1- المجمع C

2- القاعدة B

3- الباعث E

دائماً يكون الباعث والمجمع من نفس النوع في حين ان القاعدة من نوع مخالف لهما وتكون بين الباعث والمجمع.

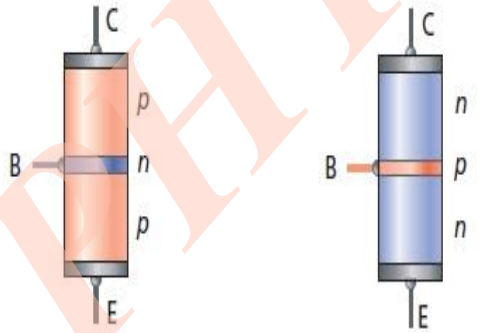
**- أنواع الترانزيستور:**

ينقسم إلى نوعين:

1- الترانزيستور من النوع n-p-n

2- الترانزيستور من النوع p-n-p

كما هو موضح في الشكل ( 16-17 ).




**شكل ( 16-17 )**

**- رمز الترانزيستور في الدوائر الكهربائية:**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

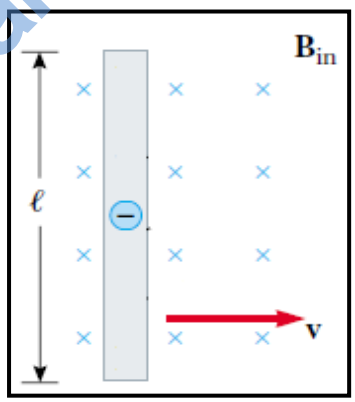
**- استخدامات الترانزيستور:**

◊ يستخدم كمفتاح في الدوائر الكهربائية.

◊ يستخدم كمكبر للقدرة والجهد الكهربائي والتيار الكهربائي.

almanahj.com/om
عبقري الفيزياء
PHYSICS GENIUS

# القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة في موصل متحرك



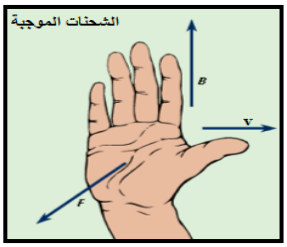

نفترض لدينا سلك طوله $L$ ويتحرك بسرعة منتظمة مقدارها $v$ داخل مجال مغناطيسي منتظم اتجاهه الى داخل الصفحة كما هو موضح في الشكل المقابل :
في هذه الحالة ستتحرك الشحنات الموجبة والسالبة داخل السلك بنفس سرعة السلك وفي نفس الاتجاه ، وعندها يصبح لدينا جسيمات مشحونة تتحرك داخل منطقة مجال مغناطيسي منتظم مما يؤدي إلى تأثر الشحنات بسبب ذلك بقوة مغناطيسية مقدارها :

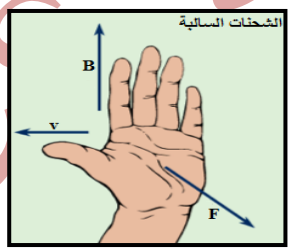
$$F_m = q.v.B.sin\theta$$

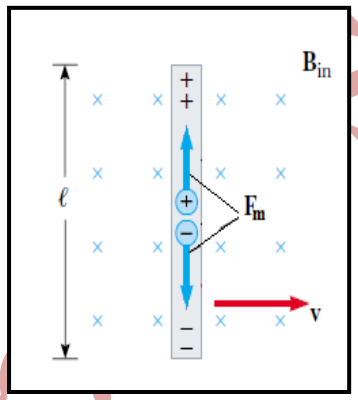
حيث أن ( $\theta$ ) هي الزاوية المحصورة بين اتجاه السرعه ( الحركة ) واتجاه خطوط المجال المغناطيسي ، ونظراً لأن السلك يتحرك عمودياً على خطوط المجال فإن مقدار $sin\theta$ لابد ان يساوي 1 وعندها يمكن القول ان :

$$F_m = q.v.B$$

ويمكن تحديد اتجاهها باستخدام قاعدة اليد اليمنى بالنسبة للشحنات الموجبة واليسرى بالنسبة للشحنات السالبة والتي تنص على ان :
عند فتح كف اليد فإنه دائماً الابهام يشير الى اتجاه حركة الشحنة ( السلك ) وبقية الاصابع تشير الى اتجاه خطوط المجال والعمودي من راحة اليد يشير الى اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة ( كما هو واضح في الاشكال أدناه ) .




وهنا ستعمل القوة المغناطيسية على سحب الشحنات الموجبة من اسفل السلك الى نهايته العلوية وسحب الشحنات السالبة من اعلى السلك الى نهايته السفلية مما يؤدي الى تجمع الشحنات الموجبة في النهاية العلوية وتجمع الشحنات السالبة في النهاية السفلية , وعندها سيتولد فرق في الجهد بين النهايتين مقداره :

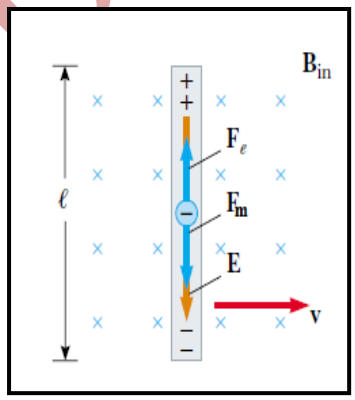
$$V = \frac{W}{q}$$

$W$ هو الشغل الذي تبذله القوة المغناطيسية لتحريك الشحنات على طول السلك ويساوي :

$$W = F_m.L$$
$$W = q.v.B.L$$

وبالتعويض في قانون فرق الجهد ، نحصل على :

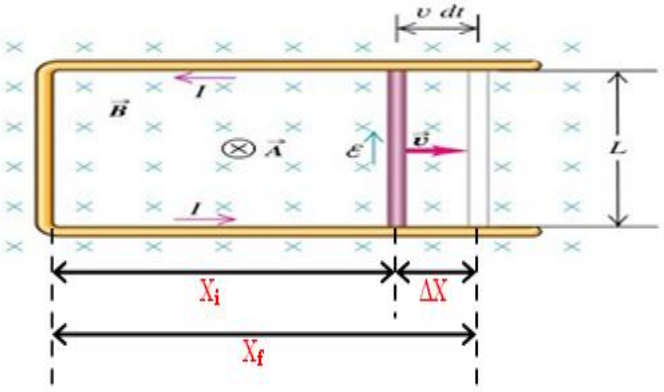
$$V = \frac{q.v.B.L}{q}$$
$$\therefore V = B.L.v$$




حركة الشحنات على طول السلك يؤدي الى تولد تيار حثي في السلك اتجاهه باتجاه حركة الشحنات الموجبة ( الى الاعلى ) هذا التيارلا يستمر لفترة طويلة وذلك لان فرق الجهد بين طرفا السلك سيؤدي الى تولد مجال كهربائي داخل السلك اتجاهه من الاعلى الى الاسفل سيؤدي الى تولد قوة كهربائية تؤثر على الشحنات في اتجاه يعاكس اتجاه القوة المغناطيسية ( كما في الشكل المقابل ) ومقدارها يزداد تدريجيا مع زيادة عدد الشحنات التي تتجمع على السلك الى ان تتساوى في المقدار مع القوة المغناطيسية وعندها تكون محصلة القوى المؤثرة على الشحنات تساوي صفر ويتوقف انتقال الشحنات وبالتالي يتوقف التيار التأثيري

almanahj.com/om
Physics genius

ولجعل التيار يستمر دون توقف , سنجعل السلك ينزلق على طول سلكين متوازيين على شكل حرف ( U ) , هنا سيعمل السلك وكأنه بطارية قوتها الدافعة ( $\varepsilon'$ ) تعمل على توليد تيار كهربائي على السلكين في الدائرة المغلقة يسار السلك ويكون اتجاهه عكس عقارب الساعة كما هو واضح في الشكل المقابل ، وبالتالي فإنه هنا مع استمرار حركة السلك سيستمر مرور التيار في الدائرة .




لنفترض ان السلك عند لحظه معينه ولتكن ( $t_i$ ) السلك يبعد عن الضلع الموازي له مسافة قدرها ( $X_i$ ) وهنا نجد ان السلك يصنع مع السلكين المتوازيين ملف مستطيل او مربع الشكل مساحته :

$$A_i = L.X_i$$

وبالتالي سنجد ان عددا من خطوط المجال تخترق سطح الملف واذا ما رسمنا العمودي على سطح الملف سنجد ان الزاوية بين اتجاه العمودي على سطح الملف واتجاه خطوط المجال تساوي صفراً وعندها يكون الفيض المغناطيسي للملف عند هذا الموضع يساوي :

$$\Phi_i = B.A_i$$
$$\Phi_i = B.L.X_i$$

وبعد فترة زمنية مقدارها ( $\Delta t$ ) يكون السلك على بعد ( $X_f$ ) من الضلع الموازي له وتصبح مساحة الملف :

$$A_f = L.X_f$$

والفيض المغناطيسي :

$$\Phi_f = B.A_f$$
$$\Phi_f = B.L.X_f$$

وهنا نجد ان الفيض المغناطيسي بالنسبة للملف يتغير مع الزمن مع تغير المساحة , وبالتالي يمكن تطبيق قانون فاراداي- لنز على هذا الملف :

$$\varepsilon' = -N.\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

وبما أن الملف يتكون من لفة واحدة ( $N = 1$ ) تصبح :

$$\varepsilon' = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$
$$= -\frac{(\Phi_f - \Phi_i)}{\Delta t}$$
$$= -\frac{B.L\,(Xf - Xi)}{\Delta t}$$
$$= -\frac{B.L\,\Delta X}{\Delta t}$$

المقدار ( $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ ) يمثل سرعة السلك :

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

وبالتالي نحصل على :

$$\therefore \varepsilon' = -B.L.v$$

وهي نفس العلاقة التي حصلنا عليها عند حساب فرق الجهد بين طرفا السلك , مما يثبت صحة قانون فاراداي في حساب القوة الدافعة التأثيرية المتولدة بين طرفا موصل .

**◄ الحالات التي لا يتولد فيها قوة دافعة تأثيرية لموصل موجود في مجال مغناطيسي منتظم :**

- عندما يكون الموصل ومصدر المجال المغناطيسي ثابتين .
- عندما يتحرك الموصل موازياً لخطوط المجال المغناطيسي .
- عندما يتحرك الموصل موازياً لطوله .
- عندما يتحرك الموصل ومصدر المجال المغناطيسي معاً بنفس السرعة وفي نفس الاتجاه .

almanahj.com/om
physics genius

almanahj.com/om

# الفصل الخامس

# الطبيعة الموجية للضوء

Physics Genius

إعداد : عبقري الفيزياء

## ◄ كيف تتكون الموجات الكهرومغناطيسية ؟

درسنا فيما سبق ، أن العالم أورستد تمكن من إيجاد أن التيار الكهربائي المار عبر موصل يمكنه أن يولد مجالاً مغناطيسياً حول هذا الموصل شدته تتغير بتغير شدة التيار ، وكما تعلمنا أيضاً وحسب قوانين فاراداي في الحث الكهرومغناطيسي أن المجال المغناطيسي المتغير الذي يقطع سطح الموصل يمكنه أن يولد مجالاً كهربائياً متغيراً بين طرفي الموصل .

درس العالم الاسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل الظواهر السابقة ووجد أنها تفتقد إلى التماثل فيما بينها وأن الفيزياء تعاني من النقص في هذه النقطة ، حيث لاحظ ماكسويل متسائلاً أنه إذا كانت المجالات المغناطيسية المتغيرة تولد مجالات كهربائية متغيرة فلماذا لا يمكنه أن يحدث العكس ( أي هل يمكن للمجالات الكهربائية أن تولد مجالات مغناطيسية ؟! )

هنا خطا ماكسويل خطوة جريئة أصبحت من أعظم الانجازات في تاريخ العلم فقد تنبأ أنه يمكن للمجالات الكهربائية المتغيرة أن تولد مجالات مغناطيسية متغيرة ، هذه الخطوة الجريئة حثت ماكسويل من صياغة معادلات رياضية تمكن من خلالها إثبات ما تنبأ به وتعرف هذه المعادلات في وقتنا الحالي بإسم (( معادلات ماكسويل )) .

ومن خلال هذه المعادلات تبين الشحنات المعجلة تؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً والذي بدوره يؤدي إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً والمجال الكهربائي المتغير يؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً , وهكذا...

وحسب المعادلات أيضاً لابد أن يكون المجالين متعامدين على بعضهما البعض وكل منهما يؤدي إلى توليد الآخر أي أن كل منهما يمكن اعتباره مصدراً للآخر ولا يمكن فصلهما عن بعضهما البعض . وبالتالي فإنه إذا كان المجال الكهربائي متغيراً بصورة جيبية ( متردد ) فإنه سيؤدي إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغيراً بصورة جيبية أيضاً والأخير سيؤدي إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً بصورة جيبية أيضاً ..... وهكذا .

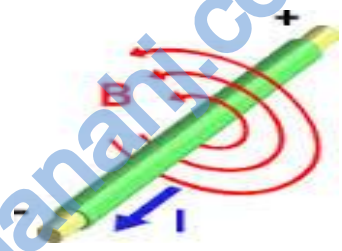
وعندها إذا أطلقنا للمجال الكهربائي والمغناطيسي المتغيران بصورة جيبية بالموجات الكهربائية و المغناطيسية على التوالي , وعندها ونظراً لأنه لا يمكن فصل المجالين عن بعضهما البعض فقد أطلق عليهما معاً بالموجات الكهرومغناطيسية .

وهكذا نجد أن ماكسويل قاد العالم إلى اكتشاف نوع آخر من الموجات بالإضافة إلى الموجات الميكانيكية وهو الموجات الكهرومغناطيسية .

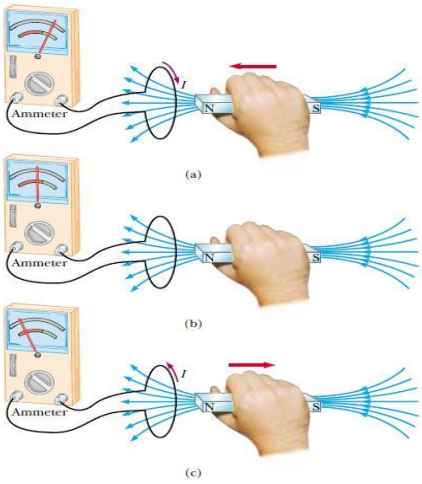
## ◄ توليد الموجات الكهرومغناطيسية :

على الرغم من أن ماكسويل هو صاحب فكرة وجود الموجات الكهرومغناطيسية والتي أثبتها رياضياً عن طريق المعادلات إلا إنه لم يستطع تحقيق وجودها عملياً .

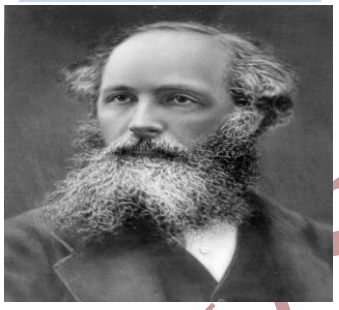
مبدأ أورستد




الحث الكهرومغناطيسي




جيمس ماكسويل



معادلات ماكسويل

$$\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

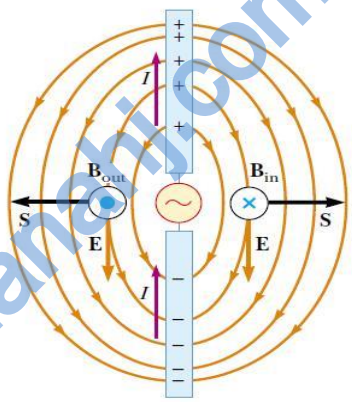
$$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{A} = 0$$

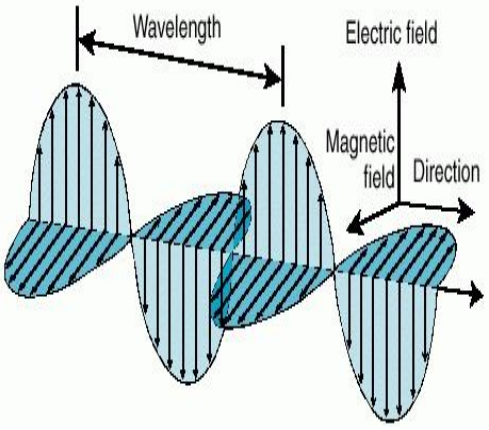
$$\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

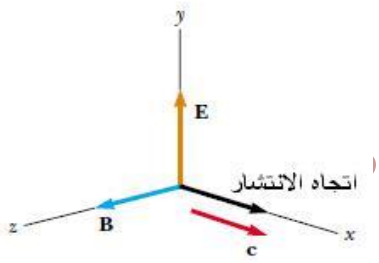
$$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = \mu_0\varepsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc}$$

almanahi.com/om
Physics Genius

almanahj.com/om




ويعتبر العالم هينريك هيرتز من أوائل العلماء الذين استطاعوا إنتاج الموجات الكهرومغناطيسية عملياً , وأبسط طريقة يمكننا من خلالها توليد الموجات الكهرومغناطيسية عن طريق استخدام هوائي ثنائي القطب يتصل قطباه بمصدر متردد كما في الشكل المقابل ، وذلك نجعل الشحنات الكهربائية تتحرك بتسارع على طول الهوائي بين قطباه تؤدي بدورها إلى توليد مجالاً كهربائياً متغير الشدة والاتجاه بين قطبي الهوائي اتجاهه يكون على طول الصفحة التي ننظر إليها وكذلك تؤدي إلى تولد مجالاً مغناطيسياً متغير الشدة والاتجاه واتجاهه متعامداً على اتجاه الصفحة التي ننظر إليها وينتشران في جميع الاتجاهات حول الهوائي وترددهما يساوي تردد الشحنات بين قطبيه , وبالتالي وحسب نظرية ماكسويل فإنه عند نقاط بعيدة عن الهوائي يؤدي المجال الكهربائي المتغير إلى توليد مجالاً مغناطيسياً متغير والذي يؤدي بدوره إلى توليد مجالاً كهربائياً متغيراً متعامدين على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشارهما , وهكذا فإن ذلك سيؤدي إلى انتقال المجالين المترددين إلى نقاط بعيدة عن الهوائي بمساندة ذاتية وبدون وجود شحنات على هيئة موجات كهرومغناطيسية ويطلق عليه ( مجال الإشعاع الكهرومغناطيسي ) .

كما استطاع ماكسويل أيضاً من حساب سرعة الموجات الكهرومغناطيسية رياضياً ووجد أنها تساوي سرعة الضوء في الفراغ أي $3 \times 10^8 m/s$ مما جعله يتنبأ أن الضوء أيضاً عبارة عن موجات كهرومغناطيسية .

◄ **تعريف الموجات الكهرومغناطيسية :**

تعرف الموجات الكهرومغناطيسية بأنها ( موجات مستعرضة تنشأ من اهتزاز مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشارهما ) .

◄ **خواص الموجات الكهرومغناطيسية :**

- موجات مستعرضة .
- يمكنها أن تنتقل في الأوساط المادية وغير المادية ( الفراغ ) .
- سرعتها في الفراغ أو الهواء ثابتة وتساوي $3 \times 10^8 m/s$ .
- قابلة للاستقطاب .
- لها القدرة على النفاذ والاختراق .
- تختلف في الخواص الفيزيائية .
- مصدرها الشحنات الكهربائية المعجلة .
- لا تحمل شحنة وبالتالي لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية .
- يمكن أن يحدث لها الظواهر الموجية مثل الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود .

Physics Genius

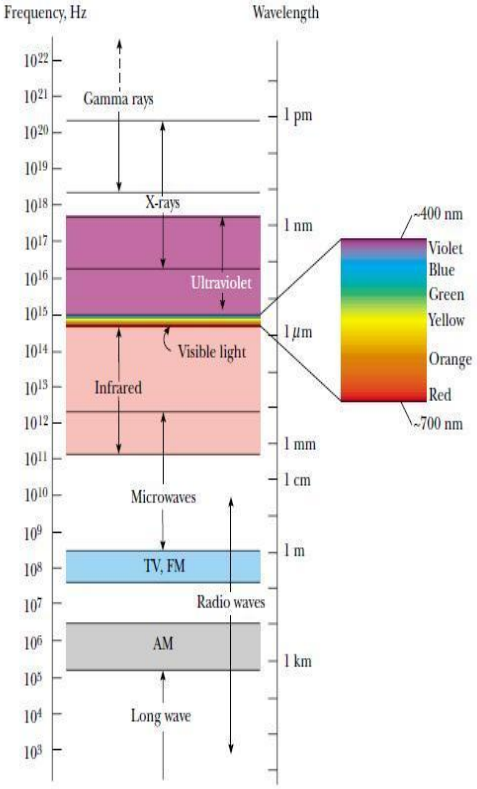
almanahj.com/om

## ◄ الضوء والطيف الكهرومغناطيسي :

لم يلاقي تنبؤ العالم ماكسويل في كون أن الضوء عبارة موجة كهرومغناطيسية القبول من قِبل العلماء في ذلك الوقت بسبب إنه لم يستطع تحقيقها عملياً إلى أن تمكن العالم الألماني هينريك هيرتز من إنتاج موجات كهرومغناطيسية باستخدام دائرة كهربائية تحتوي على معجل للشحنات الكهربائية معلوم التردد وبحساب الأطوال الموجية لهذه الموجات وبالتعويض في قانون حساب سرعة الموجات :

$$v = \lambda f$$

وجد أن سرعة هذه الموجات تساوي ( $3 \times 10^8 m/s$ ) وهو نفس المقدار الذي تنبأ به ماكسويل والذي يساوي سرعة الضوء في الفراغ مما يؤكد صحة فرضية ماكسويل أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية , وتتالى بعد ذلك إنتاج الموجات الكهرومغناطيسية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من $10^{14} Hz$ وطول موجي اقل من $10^{-12} m$, وبدراسة هذه الموجات وجد أن بعض الأطوال الموجية والترددات تتشابه في خواصها الفيزيائية وتختلف فيها عن أطوال موجية وترددات أخرى وتبعاً لذلك تم تصنيف الموجات الكهرومغناطيسية إلى عدة أنواع وتم ترتيبها ترتيباً تصاعدياً أو تنازلياً حسب الطول الموجي أو التردد في صف يعرف بإسم (الطيف الكهرومغناطيسي) ، وفيما يلي أنواع الموجات الكهرومغناطيسية مرتبة ترتيباً تصاعدياً ( من الأصغر إلى الأكبر) حسب الطول الموجي :




1- أشعة جاما .
2- الأشعة السينية .
3- الأشعة فوق البنفسجية .
4- الضوء المرئي .
5- الأشعة تحت الحمراء .
6- موجات المايكروويف .
7- موجات الراديو .

## ◄ مقارنة بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية :

| الموجات الميكانيكية | الموجات الكهرومغناطيسية |
|---|---|
| تنشأ من إهتزاز جزيئات الوسط المادي | تنشأ من الشحنات المعجلة |
| موجات طولية أو مستعرضة | موجات مستعرضة فقط |
| تحتاج إلى وسط ناقل | لا تحتاج إلى وسط ناقل |
| سرعتها في الفراغ تساوي صفر | سرعتها في الفراغ تساوي $3 \times 10^8 m/s$ |

## ◄ قياس سرعة الضوء :

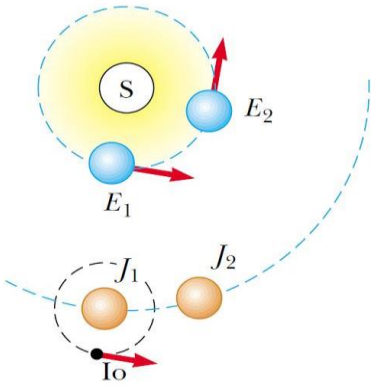
* محاولة العالم جاليليو :

تعتبر أول محاولة في قياس سرعة الضوء حيث طلب من أحد طلابه أن يقف في قمة إحدى تلتين تفصل بينهما مسافة $10Km$ ويقف هو في قمة التلة الأخرى كما في الشكل المقابل , حيث يحمل كل منهما مصباح

Physics Genius

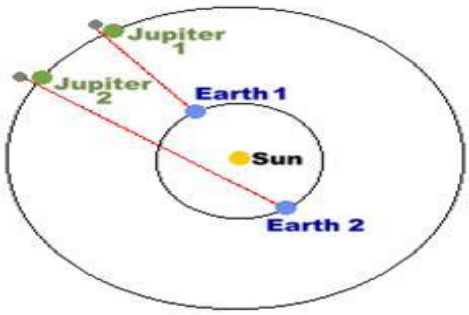
ويقوم جاليليو بإرسال إشارة ضوئية إلى الطالب ثم يقوم الطالب بإرسال إشارة ضوئية إلى جاليليو لحظة رؤيته لإشارة جاليليو ، وقد كانت فكرة جاليليو في أن يقوم بحساب الفترة الزمنية من انطلاق الإشارة الأولى وحتى لحظة استقباله للإشارة القادمة من الطالب وحينها يكون قد قام بحساب الفترة الزمنية للضوء ذهاباً وعودة وبقسمة المسافة على الزمن يستطيع حساب سرعة الضوء . إلا إنه فشل فذلك واستنتج أن الزمن الذي حصل عليه لا يمثل إلا زمن استجابة الإنسان وأنه من المستحيل حساب سرعة الضوء بهذه الطريقة وأن زمن انتقال الضوء بين التلتين أقل بكثير من سرعة استجابة الإنسان .

*** محاولة العالم رومر :**




تعتبر محاولة العالم الفلكي الدنماركي أولي رومر في عام 1976م أول محاولة ناجحة في تحديد سرعة الضوء , حيث قام رومر بتتبع حركة أحد أقمار كوكب المشتري والذي كان يدور حوله مرة كل 42.5 ساعة وكانت مدة دوران كوكب المشتري حول الشمس تقريباً مرة كل 12 سنة أي أن سرعة دوران الأرض حول الشمس تعادل $\frac{1}{12}$ مرة من سرعة دوران المشتري حول الشمس .

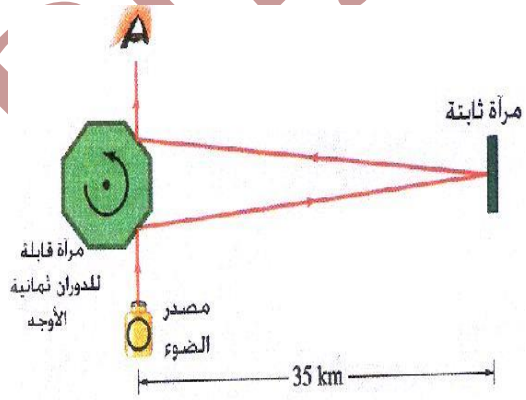
وبعد أكثر من سنة تقريباً من تجميع البيانات وجد رومر أن زمن دوران القمر حول المشتري يزداد عن 42.5 ساعة عندما تكون الأرض بعيدة عن المشتري ويقل عن 42,5 ساعة عندما تكون الأرض قريبة من المشتري ، وقد استنتج رومر أن النتائج التي حصل عليها غير دقيقة وقد عزا رومر هذا الخطأ في القياسات إلى الحركة النسبية بين الأرض والمشتري .




بعد ذلك قام العالم هيجنز بتجميع البيانات التي حصل عليها رومر في محاولته واستطاع من خلالها حساب اقل سرعة ممكنة للضوء وفقاً لهذه البيانات ووجد أنها تساوي تقريباً $2.1 \times 10^8 m/s$ وحينها أصبح جلياً للعلماء ومما لا يدع مجالاً للشك أن للضوء قيمة محددة عالية جداً ويمكن حسابها .

*** محاولة العالم مايكلسون :**

تعتبر محاولة العالم الأمريكي مايكلسون أول محاولة عالية الدقة في تحديد سرعة الضوء وكانت محاولته كما يمثلها الشكل المقابل ، عبارة عن حساب الزمن الذي يقطعه الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة بين مرآة ذات ثمانية أوجه قابلة للدوران حول محور مع أو عكس عقارب الساعة وبين مرآة مستوية تبعد عنها مسافة 35 Km ليسقط على تيليسكوب فإذا كانت سرعة دوران المرآة ذات الثمانية أوجه تتناسب مع سرعة الضوء ذهاباً وعودة بحيث يسقط الضوء على نقطة في أحد أوجه المرآة ذات الثمانية أوجه وينعكس عنها باتجاه المرآة المستوية وعند عودته تكون المرآة ذات الثمانية أوجه قد أكملت $\frac{1}{8}$ دورة بحيث يصنع الشعاع الضوئي زاوية سقوط نفس زاوية السقوط قبل انعكاسه باتجاه المرآة المستوية ليسقط مباشرة على التيليسكوب أما إذا كان غير ذلك فإن الشعاع الضوئي سينحرف قليلاً




almanahj.com/om
Physics Genius

بين جانبي التيليسكوب .

وبمعرفة سرعة دوران المرآة ذات الثمانية أوجه , وبالتعويض في المعادلة :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

وعندها يمكن حساب الزمن الدوري للمرآة :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

وبالتالي يمكن حساب الزمن الذي استغرقه الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة بين المرآتين كما يلي :

$$t = \frac{1}{\text{عدد أوجه المرآة}} . T$$

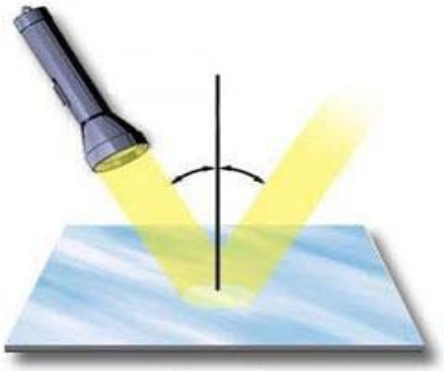
وبالتعويض عن الزمن في قانون حساب السرعة :

$$v = \frac{x}{t}$$

حيث أن x تمثل المسافة التي قطعها الشعاع الضوئي ذهاباً وعودة , وجد مايكلسون أن سرعة الضوء تساوي :

$$3 \times 10^8 m/s$$

ويعبر عن سرعة الضوء في كونها من الثوابت العامة بالرمز ( $c$ ) .

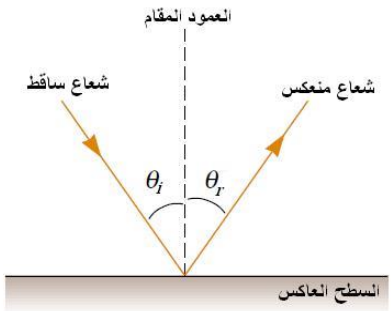


◄ **انعكاس الضوء :**

ينتقل الضوء في الفراغ أو أي وسط مادي على هيئة حزم ضوئية تتكون من أشعة مستقيمة ومتوازية مع بعضها البعض , وعندما تصطدم الحزمة بحاجز مادي غير نفاذ للضوء فإنها سوف ترتد في مسارها وتعرف هذه الظاهرة بالانعكاس .

● قانون الانعكاس :

عندما يسقط الشعاع الضوئي على السطح العاكس فإن الشعاع الساقط يصنع زاوية مع العمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تعرف بزاوية السقوط ، وعند انعكاسه فإن الشعاع المنعكس أيضاً سيصنع زاوية مع العمود المقام وتعرف بزاوية الانعكاس وينص قانون الانعكاس على أن :

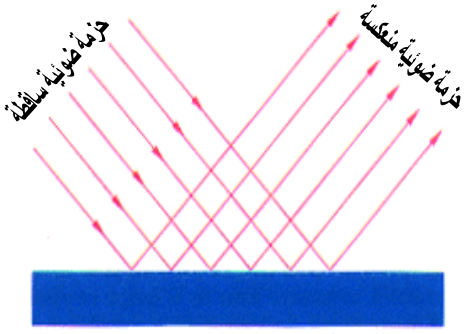



زاوية الانعكاس = زاوية السقوط

$$\theta_i = \theta_r$$

نظراً لقصر الطول الموجي للضوء فإنه يتأثر بطبيعة السطح العاكس هل هو أملس أم خشن ، فإذا كان :

♦ السطح العاكس أملس , كما في الشكل المقابل فإن :

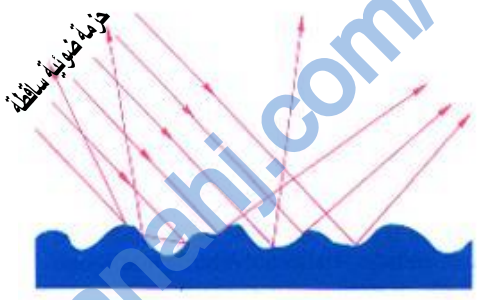



- الضوء يسقط على هيئة حزمة ضوئية وينعكس على هيئة حزمة ضوئية .
- يمكن تطبيق قانون الانعكاس على الحزمة الضوئية وعلى كل شعاع لحده.
- زوايا السقوط والانعكاس متساوية بالنسبة لجميع الأشعة في الحزمة وأيضاً بالنسبة للحزمة الضوئية ككل .
- أمثلة على الأسطح الملساء : المرايا ، سطح الماء الساكن .

almanahj.com/om
Physics Genius

♦ السطح العاكس خشن , كما في الشكل المقابل فإن :

- الضوء يسقط على هيئة حزمة ضوئية وينعكس على هيئة أشعة متفرقة.
- لا يمكن تطبيق قانون الانعكاس على الحزمة الضوئية ولكن يمكن تطبيقه على كل شعاع لحده.
- زوايا السقوط والانعكاس مختلفة بالنسبة لجميع الأشعة في الحزمة .
- أمثلة على الأسطح الخشنة : الخشب , الملابس , الكتاب .

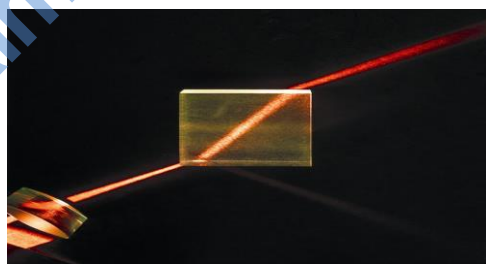


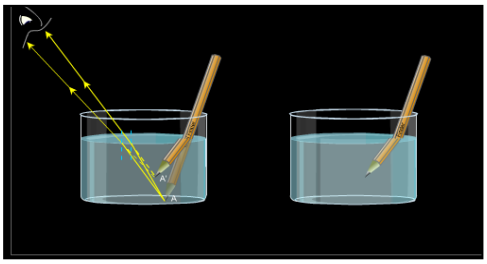

## إنكسار الضوء :

● التعريف :

هو انحراف الشعاع أو الموجات الضوئية عن مسارها الأصلي عند انتقاله بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بسبب التغير المفاجئ في سرعة الموجات الضوئية .

وهذا ما يفسر لنا رؤية القلم وكأنه يبدو مكسوراً عند وضعه في كوب زجاجي شفاف مملوء بالماء كما في الشكل المقابل

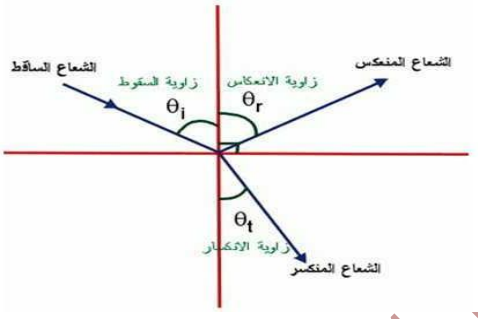




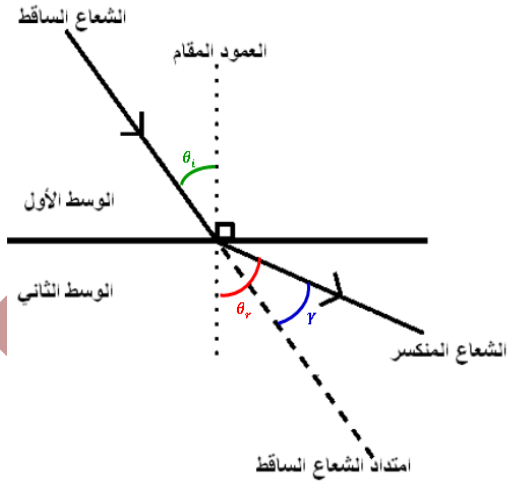
- الشعاع الضوئي عندما يسقط على السطح الفاصل بين وسطين فإن جزءاً منه سوف ينعكس وجزءاً منه سوف يمتص والجزء الآخر سوف ينكسر ويعتمد مقدار كلاً من الانعكاس والامتصاص والانكسار على طبيعة السطح الفاصل .

● قوانين الانكسار :

لنفترض أن شعاعاً ضوئياً يسقط على سطح فاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة ،من الوسط الأول إلى الوسط الثاني كما هو مبين في الشكل المقابل ، ومن خلال الشكل نجد أن:




- زاوية السقوط ( $\theta_i$ ) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل .
- زاوية الانكسار ( $\theta_r$ ) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام .
- زاوية الانحراف ( $\gamma$ ) هي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط والشعاع المنكسر .




♦ القانون الأول للانكسار :

$$n_{12} = \frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$ ( معامل الانكسار النسبي )

* تردد الضوء الساقط = تردد الضوء المنكسر .

♦ معامل الانكسار المطلق للوسط :

* التعريف :

هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ ( $c$ ) إلى سرعته في هذا الوسط ( $v$ ) .

almanahj.com/om
Les Genius

* القانون :

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

- معامل الانكسار المطلق لأي وسط عدا الهواء دائماً أكبر من الواحد الصحيح ( $n > 1$ ) وذلك لأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة للضوء ولا يمكن لسرعة الضوء في الوسط أن تكون أكبر منها وبالتالي عن الرجوع للقانون نجد أنه دائماً مقدار البسط ( $c$ ) أكبر من مقدار المقام ($v$) أما بالنسبة للهواء أو الفراغ فهو يساوي 1 .

♦ قانون سنل :

من خلال التجارب استطاع العالم الهولندي ويلبرود سنل من إثبات أن النسبة بين جيب زاوية السقوط ( $sin\theta_i$ ) في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار ( $sin\theta_r$ ) في الوسط الثاني دائماً تساوي النسبة بين معامل الانكسار المطلق للضوء في الوسط الثاني ( $n_2$ ) إلى معامل الانكسار المطلق للضوء في الوسط الأول ( $n_1$ ) :

$$\frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها نحصل على :

$$n_1 . sin\theta_i = n_2 . sin\theta_r$$

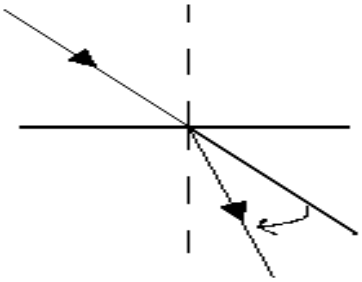
وهو ما يعرف بقانون سنل وينص على أن ( حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للضوء للوسط الأول في جيب زاوية السقوط لابد أن يساوي حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق للضوء للوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار )

* استنتاج :

مما سبق نستطيع استنتاج أن :

$$n_{12} = \frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

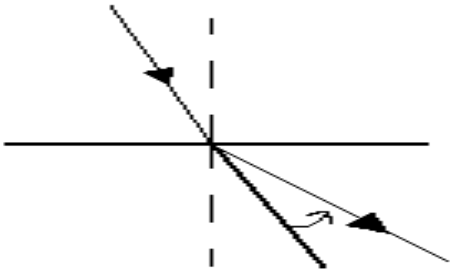
☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة فإن :



$$n_1 < n_2$$
$$v_1 > v_2$$
$$\lambda_1 > \lambda_2$$
$$sin\theta_i > sin\theta_r$$

أي أن الشعاع الضوئي سينكسر مقترباً من العمود المقام .

☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإن :



$$n_1 > n_2$$
$$v_1 < v_2$$
$$\lambda_1 < \lambda_2$$
$$sin\theta_i < sin\theta_r$$

أى أن الشعاع الضوئى سينكسر مبتعداً عن العمود المقام .

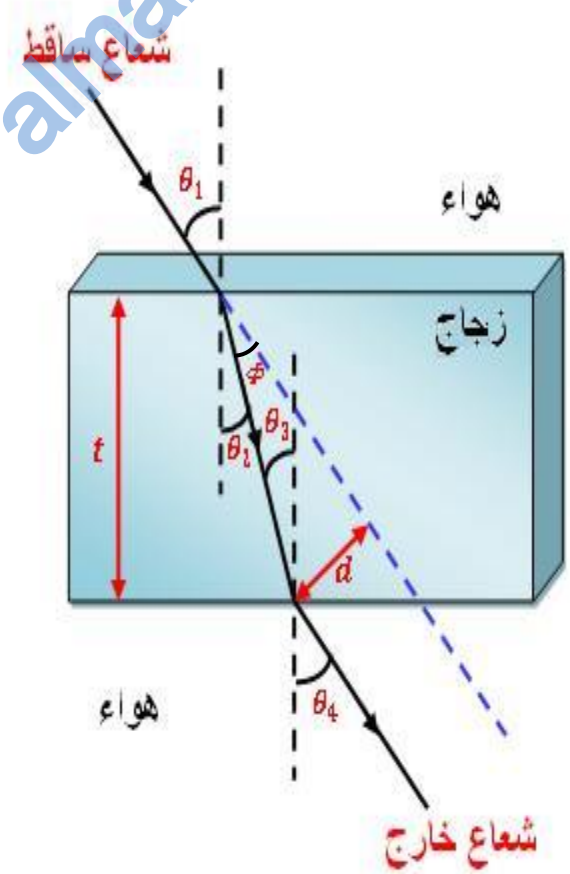


almanahj.com/om

☜ إذا كان الشعاع الضوئي ينتقل من وسطين مختلفين في الكثافة ويسقط عمودياً على السطح الفاصل بين الوسطين ( $\theta_i = 0$ ) ، فإنه يمر دون أن يعاني أي انكسار ( $\theta_r = 0$ ) .

◄ **إنتقال الشعاع الضوئي بين أكثر من وسطين :**

الشكل المقابل يوضح سقوط شعاع ضوئي بزاوية سقوط مقدارها ($\theta_1$) على سطح أحد أوجه مكعب من الزجاج معامل انكساره ( $n_2$ ) فانكسر مقترباً من العمود المقام (لأن معامل انكسار الزجاج أكبر من معامل انكسار الهواء) بزاوية انكسار مقدارها ($\theta_2$) ثم يخرج عنه من الوجه المقابل بحيث يصنع زاوية سقوط أخرى بالنسبة لهذا الوجه مقدارها ($\theta_3$) ليخرج إلى الهواء ويعاني انكساراً آخر ولكن في هذه الحالة ينكسر مبتعداً عن العمود المقام (لأن معامل انكسار الهواء أقل من معامل انكسار الزجاج) بزاوية انكسار مقدارها ($\theta_4$).




هنا نجد أن الشعاع الضوئي لأنه انتقل بين أكثر من وسطين (هواء ثم زجاج ثم هواء) فإنه قد عانى أكثر من انكسار ويمكن تطبيق قوانين الانكسار في كل مره ينكسر فيها وبتطبيق قوانين الانكسار في هذه الحالة نجد أن :

* أولاً / عندما ينتقل الشعاع من الهواء إلى الزجاج فإن :

$$n_1.sin\theta_1 = n_2.sin\theta_2 \qquad \gg 1$$

* ثانياً / عندما ينتقل الشعاع من الزجاج إلى الهواء فإن :

$$n_2.sin\theta_3 = n_1.sin\theta_4 \qquad \gg 2$$

وبما أن وجهي المكعب متوازيين ، فإنه يمكن القول أن :

$$\theta_3 = \theta_2 \text{ ( بالتبادل )}$$

$$\therefore \ sin\theta_3 = sin\theta_2$$

بإيجاد مقدار ($\sin\theta_2$) من المعادلة رقم 1 نحصل على :

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

ومنها نستنتج أن :

$$\therefore \ sin\theta_3 = \frac{n_1}{n_2}.sin\theta_1$$

وبالتعويض عن مقدار ($sin\theta_3$) الذي حصلنا عليه في المعادلة 2 كما يلي:

$$\cancel{n_2}.\frac{n_1}{\cancel{n_2}}.sin\theta_1 = \cancel{n_1}.sin\theta_4$$

$$\therefore \ sin\theta_1 = sin\theta_4$$

أي أن :

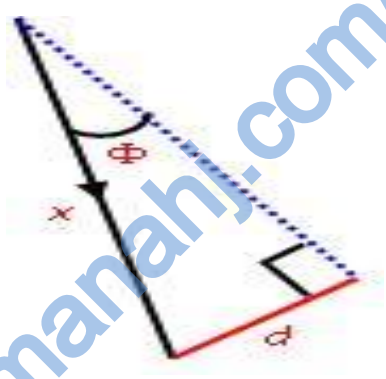
$$\theta_1 = \theta_4$$

هذا يعني أن الشعاع الساقط على الوجه الأول للمكعب الزجاجي يوازي الشعاع الخارج من الوجه الثاني .

● **إيجاد مقدار إزاحة الشعاع الخارج عن الشعاع الساقط ($d$) :**

من خلال الشكل نجد أن الشعاع الخارج عن المكعب الزجاجي ينزاح

almanahj.com/om
Physics Genius




عن المسار الأصلي للشعاع الساقط مسافة مقدارها ($d$) ، ونجد أيضاً أن الشعاع المنكسر داخل الزجاج ينحرف بزاوية إنحراف مقدارها ($\Phi$) عن المسار الأصلي كما في الشكل المقابل ، وبافتراض أن الشعاع الضوئي المنكسر يقطع مسافة مقدارها ($x$) بين وجهي المكعب فإننا سنحصل على :

$$sin\Phi = \frac{d}{x}$$

$$\therefore \quad d = x.sin\Phi$$

من الشكل الموضح للمكعب الزجاجي نجد أن :

$$\theta_1 = \Phi + \theta_2$$

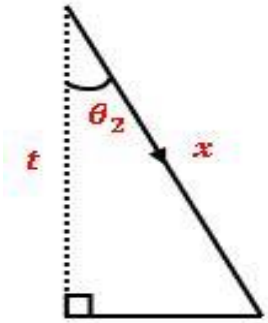
$$\therefore \quad \Phi = \theta_1 - \theta_2$$

ومنها تصبح :

$$d = x.sin(\theta_1 - \theta_2) \qquad \gg 3$$

كيف نوجد مقدار ($x$) ؟!!

من الشكل المقابل , وبافتراض أن ($t$) تمثل سمك مكعب الزجاج ، نستنتج أن :




$$cos\theta_2 = \frac{t}{x}$$

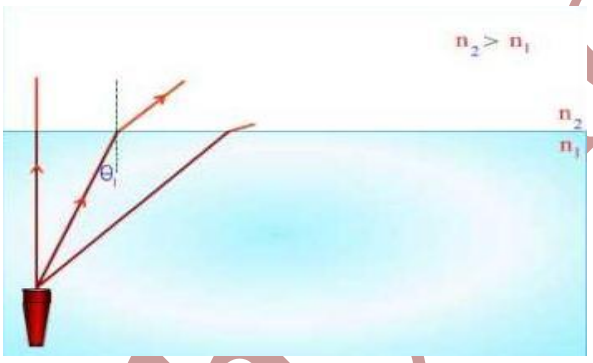
$$\therefore \quad x = \frac{t}{cos\theta_2} \qquad \gg 4$$

وبالتعويض عن ($x$) من المعادلة 4 في المعادلة 3 نحصل على :

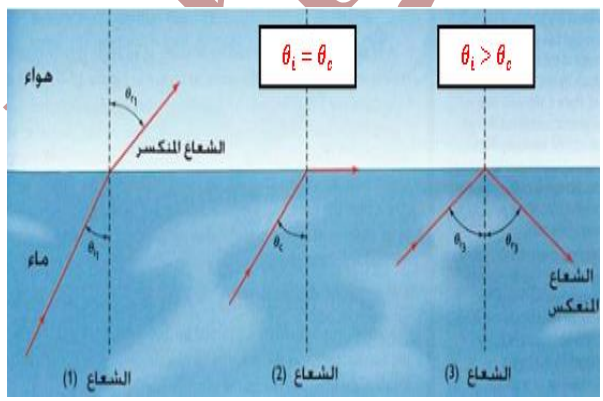
$$d = \frac{t.sin(\theta_1 - \theta_2)}{cos\theta_2}$$

◄ **الانعكاس الكلي الداخلي :**

عندما يسألك شخص ما , ماذا يحدث لشعاع ضوئي عند انتقاله بين وسطين مختلفين في الكثافة وكانت كثافة الوسط الأول أعلى من كثافة الوسط الثاني , كانتقاله من الماء إلى الهواء ؟



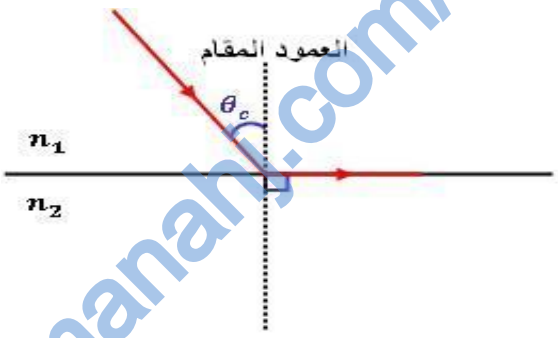

بطبيعة الحال وحسب معرفتك لقانون سنل في الانكسار ستكون إجابتك أن الشعاع الضوئي سيعاني الشعاع من انكسار ويكون اتجاه انكساره مبتعداً عن العمود المقام . أي أنه في هذه الحالة ستكون زاوية الانكسار ($\theta_r$) أكبر من زاوية السقوط ($\theta_i$) .




وماذا سيحدث إذا قمنا بزيادة زاوية السقوط ($\theta_i$) ؟! كما هو موضح في الشكل المقابل , هنا أيضاً ستزداد زاوية الانكسار ($\theta_r$) ، وهذا يعني أنه كلما اقتربت زاوية السقوط ($\theta_i$) من الزاوية ($90°$) فإن زاوية الانكسار ($\theta_r$) ستقترب أيضاً من الزاوية ($90°$) أي أن ونظراً لأن زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط ، فإنه وعند الاستمرار في زيادة زاوية السقوط تدريجياً فإن زاوية الانكسار تزداد تدريجياً إلى أن نصل إلى قيمة معينة لزاوية السقوط تصبح عندها زاوية الانكسار تساوي ($90°$) أي أن الشعاع الضوئي سينكسر موازياً للسطح الفاصل وتسمى هذه القيمة لزاوية السقوط بإسم ( الزاوية الحرجة ) ويرمز لها بالرمز ($\theta_c$) بحيث أن عـــند

almanahj.com/om
Physics Genius

زيادة زاوية السقوط إلى قيمة أكبر من الزاوية الحرجة $(\theta_i > \theta_c)$ فإن الشعاع الضوئي لا يمكن أن يحدث له إنكسار ويؤدي إلى انعكاسه عند السطح الفاصل ويسمى هذا الانعكاس بـ(الانعكاس الكلي الداخلي) .

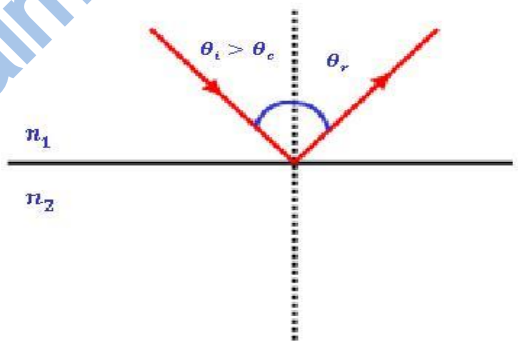



* تعرف الزاوية الحرجة $(\theta_c)$ :

هي زاوية السقوط التي يقابلها زاوية انكسار تساوي $(90°)$ عندما ينتقل الضوء من وسط أعلى كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية .

* تعريف الانعكاس الكلي :

ظاهرة انعكاس الضوء وعدم نفاذه عندما ينتقل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة بين الوسطين وكان معامل انكسار الوسط الأول أكبر من معامل انكسار الوسط الثانية .




● حساب الزاوية الحرجة :

☜ الشرط الأساسي للحصول على الزاوية الحرجة هو أن يكون $(n_1 > n_2)$ .

في الشكل المقابل يوضح انتقال شعاع ضوئي بين وسطين مختلفين في الكثافة بزاوية سقوط مقدارها $(\theta_c)$ , وبالتالي وبتطبيق قانون سنل :

$$n_1.sin\theta_i = n_2.sin\theta_r$$

نحصل على :

$$n_1.sin\theta_c = n_2.sin90$$

نعلم أن :

$$sin90 = 1$$

$$\therefore \quad n_1.sin\theta_c = n_2$$

ومنها نجد أن :

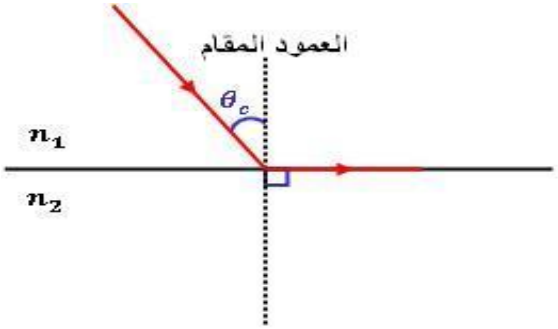
$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها يمكن القول أن :

$$sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

حيث أن :

$$n_1 > n_2$$
$$v_1 < v_2$$
$$\lambda_1 < \lambda_2$$




◄ تطبيقات على الانعكاس الكلي الداخلي :

من أهم التطبيقات والظواهر التي تعتمد على الانعكاس الكلي الداخلي هي :

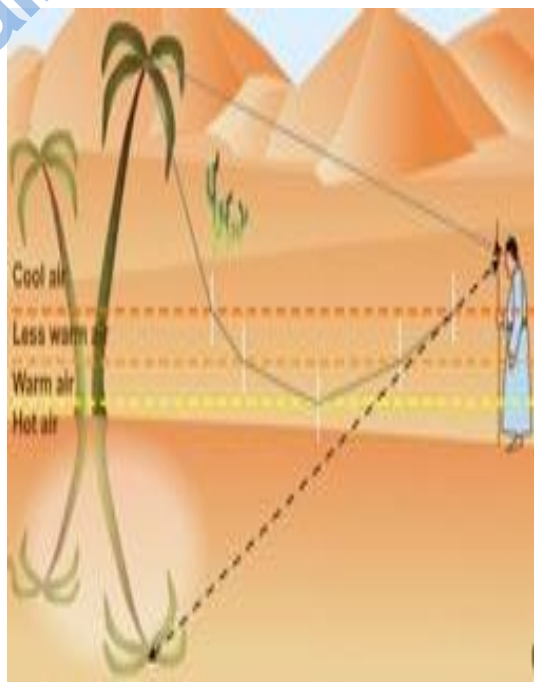
— السراب ( الصحراوي أو القطبي ) .

— الألياف الضوئية .

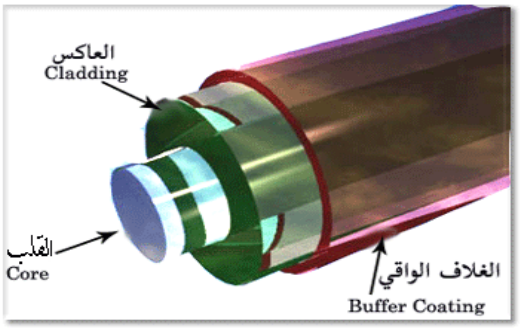
almanahj.com/om
Physics Genius

## * السراب الصحراوي :

ظاهرة تحدث في المناطق الحارة مثل دول الخليج العربي حيث أنه وفي فترة الظهيرة في فصل الصيف تبدو الطرق عندما تنظر إلى الأفق يبدو الطريق أمامك وكأنه مغطى بالماء أو تتكون صورة منعكسة للأجسام ، تلك البقعة أو تلك الصورة المنعكسة التي تراها ما هي إلا إنعكاس كلي يحث للأشعة القادمة من الشمس عن وصولها بالقرب من سطح الأرض ، فكيف يحدث ذلك ؟



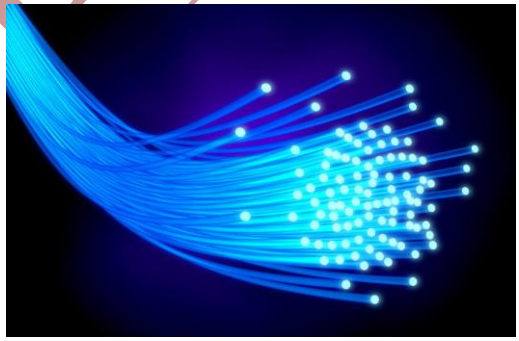

تفسير ذلك هو أنه في وقت الظهيرة تكون درجة حرارة سطح الأرض مرتفعة فتعمل على تسخين طبقات الهواء الملامسة لها فتقل كثافة الهواء عندها وتكون الطبقات التي أعلى منها أقل سخونة وتكون كثافة الهواء أعلى وهكذا كلما ارتفعنا عن سطح الأرض فإن درجة حرارة الهواء تقل وتزداد كثافته وبالتالي سوف يتكون فوق سطح الأرض طبقات من الهواء مختلفة الكثافة بحث تكون الطبقات العليا أكبر كثافة من الطبقات الدنيا , فعندما تنظر إلى جسم بعيد فإن الأشعة القادمة منه سوف تنتقل عبر طبقات الهواء المختلفة في الكثافة من طبقة ذات كثافة أعلى – معامل انكسار مطلق أعلى – إلى طبقة ذات كثافة أقل – معامل انكسار مطلق أقل - فتنكسر مبتعدة عن العمود المقام وكلما انتقل الشعاع الضوئي بين طبقات الهواء كلما تزداد زاوية السقوط وتزداد بالتالي معها زاوية الانكسار إلى أن تصبح زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة بين طبقتي الهواء المختلفة وعندها سيحدث للشعاع الضوئي انعكاس كلي داخلي فينعكس إلى الأعلى ويعاني عدة انكسارات أيضاً عند انتقاله مرةً أخرى بين طبقات الهواء إلا إنه في هذه الحالة سينتقل من طبقة ذات كثافة أقل إلى طبقة ذات كثافة أعلى فينكسر مقترباً من العمود المقام (لا يمكن أن يحدث له انعكاس كلي داخلي) ويستمر في الانتقال إلى أن يصل إلى العين وعندها ستتكون صورة معكوسة للجسم في العين بحيث تبدو وكأنها قادمة من مصدر خلف النقطة التي حدث عندها انعكاس كلي هذه الصورة المتكونة للجسم يطلق عليها السراب كما في الشكل المقابل .




## * الألياف الضوئية :

من أهم التطبيقات العملية التي تعتمد على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي وهي عبارة عن أنبوب رفيع مرن مصنوع من الزجاج أو البلاستيك الشفاف تتكون من ثلاث طبقات وهي :

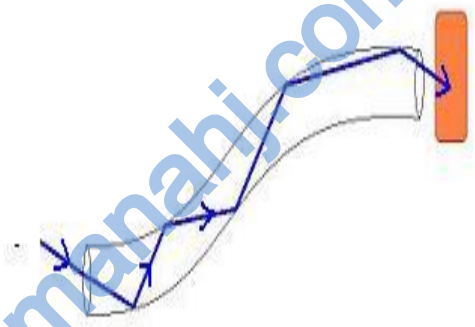
- القلب ومصنوع من الزجاج إو البلاستيك الشفاف (معامل انكساره المطلق كبير) .
- العاكس ومصنوع من الزجاج أو البلاستيك الشفاف (معامل انكساره المطلق أقل بكثير من معامل انكسار القلب) .
- الغلاف الواقي وهو مصنوع من مادة غير شفافة مثل المطاط تقلل من فقد الأشعة الداخلة إلى الألياف الضوئية.



● فكرة العمل :

عندما يدخل الضوء إلى داخل الليفة الضوئية بزاوية مناسبة فإنه سينتقل من القالب إلى العاكس وعندها تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية

almanahj.com/om
Physics Genius



الحرجة بين القالب والعاكس فيحدث له انعكاس كلي داخلي وتتكرر الانعكاسات الكلية الداخلية حتى تصل إلى الطرف الآخر للأنبوب دون فقد في الطاقة الضوئية .

● أهم الاستخدامات :

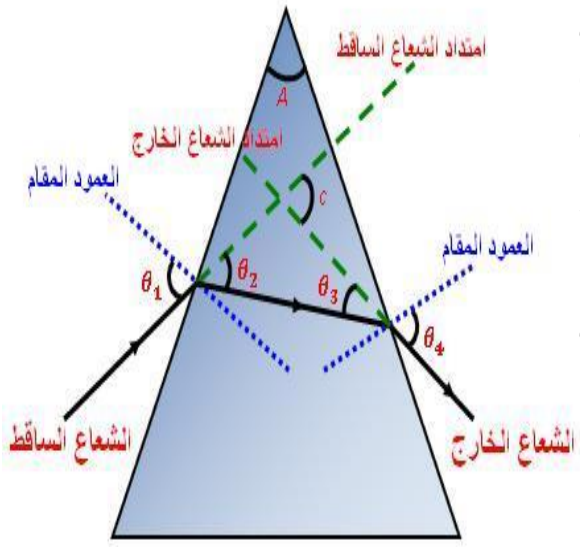
- الاتصالات الهاتفية والانترنت .
- عمليات المنظار والفحص الطبي بالمنظار .
- نقل الإشارات الكهربائية .
- العمليات الجراحية بالليزر .

## ◄ المنشور الرقيق الثلاثي الأوجه :

* تعريف :

هو عبارة عن جسم زجاجي أو بلاستيكي شفاف به قاعدتان مثلثتان وثلاثة أوجه مستطيلة أو مربعة الشكل .

* فكرة عمله :




عند سقوط الشعاع الضوئي على أحد أوجه المنشور فإنه سيعاني انكسار أول ومقترباً من العمود المقام , ثم ينتقل الشعاع الضوئي داخل المنشور ليسقط على الوجه الآخر للمنشور ويعاني انكساراً ثانياً ليخرج إلى خارج المنشور مبتعداً عن العمود المقام , كما في الشكل المقابل .

بتحليل هذا الشكل يمكن أن نستخلص بعض المعلومات التي تهمنا وهي :

♦ $(A)$ ☜ زاوية رأس المنشور وهي الزاوية المحصورة بين وجهي المنشور اللذان يسقط عليها الشعاع الضوئي .

♦ $(c)$ ☜ زاوية الانحراف الكلي وهي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط على المنشور والشعاع الخارج منه .

♦ $(\theta_1$ و $\theta_3)$ زوايا سقوط .

♦ $(\theta_2$ و $\theta_4)$ زوايا انكسار .

♦ يمكن إيجاد زاوية رأس المنشور $(A)$ من العلاقة :

$$A = \theta_2 + \theta_3$$

♦ يمكن إيجاد زاوية الانحراف الكلي $(c)$ من العلاقة :

$$c = (\theta_1 + \theta_4) - A$$

* تحليل الضوء بواسطة المنشور الثلاثي :

نلاحظ من العلاقة الرياضية أن زاوية الانحراف الكلي تعتمد على زاوية رأس المنشور وزاوية الانكسار الثاني (الخروج من المنشور) وبالتالي فإنه عند سقوط ضوء أبيض على أحد أوجه المنشور ، وكما نعلم أن الضوء الأبيض يحتوي على سبعة ألوان ولكل لون طول موجي خاص به ومن العلاقة :

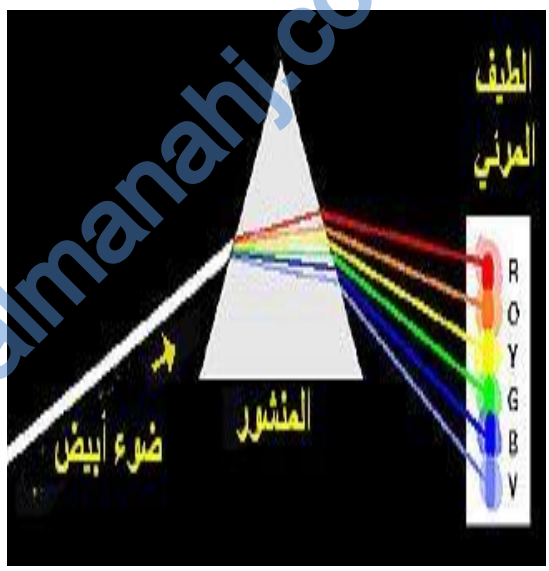
$$\frac{sin\theta_i}{sin\theta_r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

almanahj.com/om
Physics Genius

نجد أن العلاقة بين الطول الموجي للضوء الساقط ($\lambda_1$) يتناسب عكسياً مع زاوية الانكسار ($\theta_r$) ومن هنا فإنه عند دخول الضوء الأبيض إلى داخل المنشور فإن كل لون سوف يكون له زاوية خروج (انكسار) خاصة به واللون الذي له أطول طول موجي سوف يكون له أقل زاوية خروج (انكسار) وبالتالي وحسب العلاقة لزاوية الانحراف الكلي :

$$c = (\theta_1 + \theta_4) - A$$

فإن هذا اللون سوف تكون له أقل زاوية انحراف كلي . ومن هنا ونظراً لأن اللون الأحمر له أطول طول موجي من بين الألوان السبعة واللون البنفسجي له اقل طول موجي فإن اللون الأحمر سوف يكون له أقل زاوية انحراف كلي واللون البنفسجي سوف يكون له أكبر زاوية انحراف كلي ، وبالتالي سوف يعمل المنشور على تحليل الضوء الأبيض إلى الألوان السبعة التي يتكون منها , وسوف نجد أيضاً أثناء تحليل الضوء بواسطة المنشور أن اللون البنفسجي هو أقرب الألوان من قاعدة المنشور وأن اللون الأحمر هو أبعدها كما هو موضح في الشكل المقابل .




كذلك تعمل قطرة الماء عن سقوط المطر في يوم مشمس جزئياً عمل المنشور فتعمل على تحليل ضوء الشمس إلى الألوان السبعة ونشاهد حدوث ظاهرة قوس قزح .

◄ **تطبيقات على ظاهرة الإنعكاس ( المرايا ) :**

تعتبر المرآة من أقدم الأجهزة البصرية تتكون من سطحين يكون أحدهما مطلي بمادة تعمل على عكس الضوء عند سقوطه على الوجه الآخر وتعتمد في عملها مبدأ الانعكاس لتكوين صورة للأجسام ، وهي تقسم إلى نوعين وذلك حسب شكل السطح العاكس لها هما :

- المرآة المستوية
- المرآة الكروية

سنتعرف على النوعين وكيفية تكوين الصورة للأجسام في كل نوع .

*** أولاً : المرآة المستوية :**

سميت بهذا الاسم لأن السطح العاكس لها مستوي كما في الشكل .

☜ **كيف تتكون الصورة للأجسام في العين ؟**

كما نعلم أن الأجسام تعكس الضوء الساقط عليها من الشمس في جميع الاتجاهات وإذا سقطت هذه الأشعة على العين فإنه نتيجة إلتقاء الأشعة مع بعضها داخل العين تتكون صورة لهذا الجسم عند نقطة الإلتقاء ويجب أن يكون بين العين والجسم المنظر خط مستقيم .

☜ **كيف تتكون الصورة للأجسام بواسطة المرايا ؟**

عند سقوط الأشعة المنعكسة عن الجسم في السطح العاكس للمرآة فإنه يعمل على عكس هذه الأشعة حسب قانون الإنعكاس وإذا ما سقطت هذه الأشعة على العين والتقت مع بعضها عند نقطة ما فإنه سوف تتكون صورة

almanahj.com/om
Physics Genius

للجسم عند نقطة الالتقاء ولكنه قد يحدث ولا تتلاقى الأشعة المنعكس مع بعضها هنا نجد أن امتدادات هذه الأشعة سوف تلتقي عند نقطة ما وعندها ستتكون أيضاً صورة للأجسام وإذا ما استقبلت العين هذه الأشعة المنعكسة فإنها سوف تبدو وكأنها تنبعث من نقطة داخل المرآة فتتكون صورة للجسم في العين تبدو وكأنها موجودة بداخل المرآة.

مما سبق نجد أنه حتى تتكون صورة للجسم بواسطة المرآة في العين يجب أن :

– يكون بين العين والجسم المنظور خط مستقيم .

– أن تلتقي الأشعة المنعكسة عن السطح العاكس للمرآة عند نقطة أو أن تلتقي امتداداتها عند نقطة وبالتالي فإن عند نقطة الالتقاء هذه سوف تكون صورة للجسم .

☜ كيف نرسم الصورة المتكونة بواسطة المرايا ؟ وكيف نستنتج خصائص هذه الصورة المتكونة ؟

♦ لرسم الصورة المتكونة بواسطة المرايا فإننا نلجأ إلى الإستراتيجية التالية :

1- استخدام مخطط الأشعة وقانون الانعكاس : يمكن أن نرسم صورة للجسم الذي يقف أمام المرايا باستخدام (مخطط الأشعة) حيث كل نقطة في الجسم تكون مصدراً لعدد لا نهائي من الأشعة التي تنتقل في جميع الاتجاهات وإذا ما سقطت هذه الأشعة على السطح العاكس للمرايا وباستخدام قانون الانعكاس نستطيع تحديد اتجاهات الأشعة المنعكسة .

2- إذا إلتقى شعاعين على الأقل من الأشعة المنعكسة فإن جميع الأشعة المنعكسة بالتالي سوف تلتقي عند نفس النقطة التي إلتقى فيها الشعاعين .

3- نقطة إلتقاء الأشعة المنعكسة تمثل صورة لتلك النقطة التي تبعث الضوء في الجسم .

4- إذا لم تلتقي الأشعة المنعكسة مع بعضها البعض فإننا عندها نلجأ إلى إمتدادات هذه الأشعة وأيضاً نقطة إلتقاء الامتدادات تشكل صورة للجسم أو النقطة التي تبعث الضوء .

♦ خصائص الصورة المتكون بواسطة المرايا :

1- إما حقيقية أو تقديرية :

| حقيقية | تقديرية |
|---|---|
| تتكون بواسطة الأشعة المنعكسة | تتكون بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة |
| يمكن استقبالها على حائل | لا يمكن استقبالها على حائل |

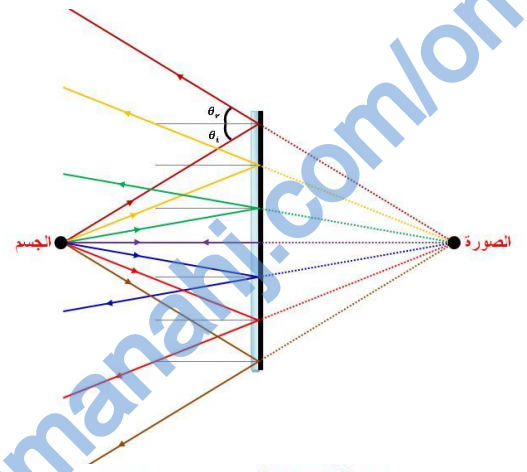
2- إما معتدلة أو مقلوبة :

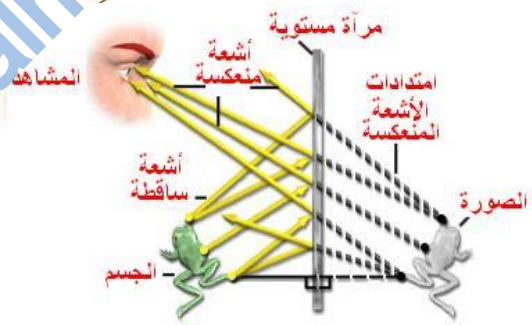
| معتدلة | مقلوبة |
|---|---|
| اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم | اتجاه الصورة في عكس اتجاه الجسم |

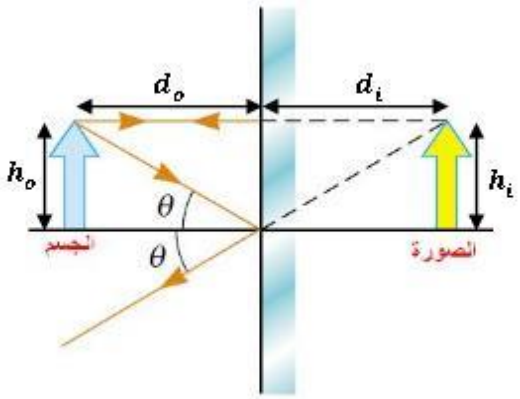
3- مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

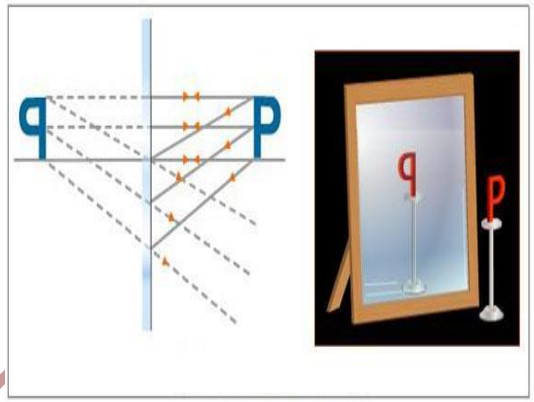
| مصغرة | مكبرة | نفس حجم الجسم |
|---|---|---|
| حجم الصورة أصغر من حجم الجسم | حجم الصورة أكبر من حجم الجسم | حجم الصورة مساوي لحجم الجسم |

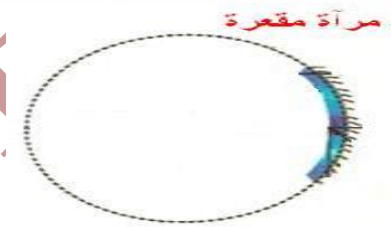
almanahj.com/om
Physics Genius

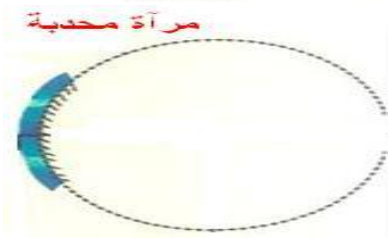



☜ **كيف نرسم الصورة لجسم يقف أمام مرآة مستوية ؟**

نفترض جسم نقطي يقف أمام السطح العاكس لمرآة مستوية , وكما ذكرنا سابقاً يعتبر هذا الجسم وكأنه مصدر للأشعة الضوئية تنتقل في جميع الاتجاهات وبالتالي فإن بعضاً من هذه الأشعة تسقط على السطح العاكس للمرآة كم هو موضح في الشكل .

وباستخدام مخطط الأشعة وبتطبيق قانون الانعكاس على هذه الأشعة بحيث نرسم العمود المقام على نقطة السقوط لكل شعاع يسقط على السطح العاكس وبتحديد زوايا السقوط والانعكاس نستطيع تحديد اتجاه الأشعة المنعكسة كما في الشكل ، ماذا تلاحظ ؟

- نلاحظ أن الأشعة المنعكسة لا يمكن أن تلتقي مع بعضها البعض أي أنها تبتعد عن بعضها.
- نرسم امتدادات هذه الأشعة فنجد أنها تلتقي عند نقطة خلف المرآة
- نقطة إلتقاء الإمتدادات تكون صورة للنقطة التي تبعث الضوء .
- عند سقوط الأشعة المنعكسة على عين المشاهد فإنها ستبدو وكأنها قادمة من تلك النقطة التي إلتقت عندها إمتدادات الأشعة المنعكسة فيشاهد المشاهد تكون صورة للجسم عند تلك النقطة .
- نلاحظ أن صورة الجسم تقع على خط مستقيم من الجسم نفسه .

☜ **خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المستوية :**

مما سبق في الأشكال المقابلة يمكن أن نستنتج الخصائص التالية للصورة المتكونة :

- الصورة تقديرية لأنها تكونت بواسطة إمتدادات الأشعة المنعكسة .
- الصورة معتدلة لأن اتجاهها في نفس اتجاه الجسم .
- حجم الصورة نفس حجم الجسم .
- الصورة معكوسة جانبياً وذلك لأن كل نقطة في الجسم تكون صورة لها في المرآة على خط مستقيم معها .
- إذا افترضنا أن بعد الجسم عن المرآة هو $(d_o)$ وبعد الصورة عن المرآة هو $(d_i)$ فإننا نحصل على :

بعد الصورة عن المرآة = بعد الجسم عن المرآة

$$d_o = d_i$$

- إذا افترضنا أن طول الجسم هو $(h_o)$ وطول الصورة هو $(h_i)$ فإننا نحصل على :

طول الصورة = طول الجسم

$$h_o = h_i$$

*** ثانياً : المرايا الكروية :**

هي نوع آخر من أنواع المرايا وسميت بهذا الاسم لأن سطحها العاكس يكون جزءاً صغيراً من كرة ، وهي تنقسم إلى نوعين :

1- **المرآة المقعرة :** وهي التي يكون سطحها العاكس هو الجزء الداخلي من الكرة التي تعتبر جزءً منها .

2- **المرآة المحدبة :** وهي التي يكون سطحها العاكس هو الجزء الخارجي من المرة التي تعتبر جزءً منها .

almanahj.com/om
Physics Genius

♦ أجزاء المرايا الكـــروية :

تتكون كل من المرآة المقعرة والمرآة المحدبة من نفس الأجزاء والتي يجب علينا معرفتها قبل أن نتعلم كيف نرسم الصورة المتكونة بواسطتها ، وهذه الأجزاء موضحة في الشكل المقابل ، وهي كما يلي :

○ مركز التكور ($C$) : وهو مركز الكرة التي يكون السطح العاكس للمرآة جزءً منها .

○ قطب المرآة أو مركز المرآة ($A$) : وهو نقطة تقع في مركز السطح العاكس للمرآة .

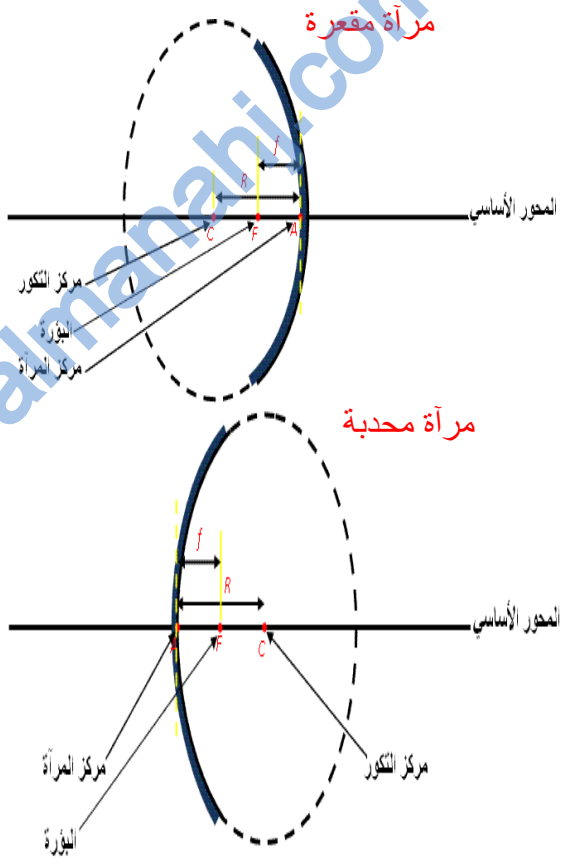
○ المحور الأساسي : وهو خط مستقيم لا نهائي الطول يمر بمركز التكور ($C$) ومركز المرآة ($A$) .

○ البؤرة ($F$) : وهي نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور ($C$) و مركز المرآة ($A$) .

○ نصف قطر التكور ($R$) : وهو نصف قطر الكرة التي يكون السطح العاكس للمرآة جزءً منها .

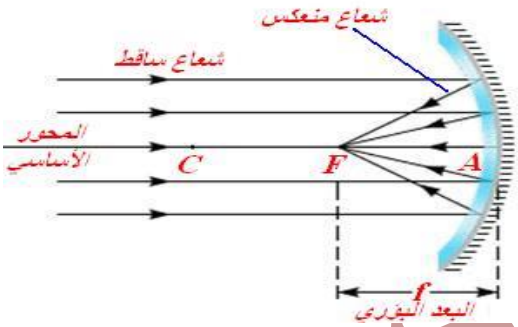
○ البعد البؤري ( $f$ ) : المسافة بين مركز المرآة ($A$) والبؤرة ($F$) وهو يساوي نصف نصف قطر التكور ($R$) ، أي أن :

$$f = \frac{R}{2}$$




♦ البؤرة في المرآة المقعرة :

لنفترض مصدر ضوئي يوجد عن مالا نهاية بالنسبة لمرآة مقعرة مثل الشمس ويبعث ضوء باتجاه المرآة , فإن الأشعة الضوئية ستصل إلى السطح العاكس للمرآة على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية , كما هو موضح في الشكل المقابل , وبتطبيق قانون الانعكاس على كل شعاع من هذه الأشعة فسوف نجد أن كل شعاع سينعكس باتجاه المحور الأساسي ونجد أن كل الأشعة المنعكسة تلتقي ( تتجمع ) مع بعضها عند نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور ($C$) ومركز المرآة($A$) , وتسمى هذه النقطة بالبؤرة .



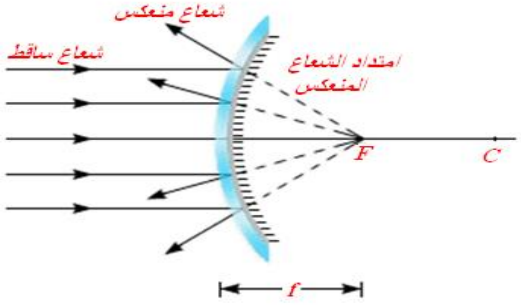

مما سبق نجد أن :

- البؤرة في المرآة المقعرة حقيقية لأنها تكون بواسطة الأشعة المنعكسة .

- المرآة المقعرة هي مرآة مجمعة للأشعة الساقطة عليها .

♦ البؤرة في المرآة المحدبة :

بنفس الطريقة نفترض مصدر ضوئي يوجد عن مالا نهاية بالنسبة لمرآة مقعرة مثل الشمس ويبعث ضوء باتجاه المرآة , فإن الأشعة الضوئية ستصل إلى السطح العاكس للمرآة على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية , كما هو موضح في الشكل المقابل , وبتطبيق قانون الانعكاس على كل شعاع من هذه الأشعة فسوف نجد أن كل شعاع سينعكس مبتعداً عن المحور الأساسي ونجد أن كل الأشعة المنعكسة تبتعد عن بعضها البعض (تتفرق) ولا يمكن أن تلتقي هذه الأشعة مع بعضها البعض ولكن في المقابل إذا رسمنا امتداد هذه الأشعة المنعكسة سنجد أنها سوف تلتقي مع بعضها البعض في نقطة تقع خلف السطح العاكس وتقع بين مركز التكور ومركـــز




almanahi.com/om
Physics Genius

المرآة وتسمى هذه النقطة بالبؤرة .

مما سبق نجد أن :

- البؤرة في المرآة المحدبة تقديرية لأنها تكون بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة .

- المرآة المحدبة هي مرآة مفرقة للأشعة الساقطة عليها .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة:

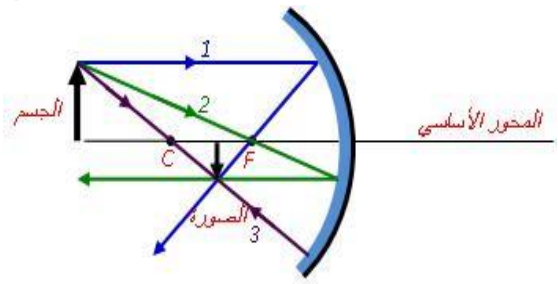
يمكن تحديد موقع الصورة المتكونة لجسم يقف أمام مرآة مقعرة باستخدام مخطط الأشعة وذلك بتحديد نقطة في أعلى الجسم ولتكن الرأس ثم نرسم شعاعين أو ثلاثة أشعة تنطلق من تلك النقطة من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط موازياً على المحور الأساسي فإنه ينعكس ماراً بالبؤرة .

2- الشعاع الساقط ماراً بالبؤرة فإنه ينعكس موازياً للمحور الأساسي .

3- الشعاع الساقط ماراً بمركز التكور فإنه ينعكس على نفسه .

وعند إلتقاء شعاعين على الأقل من هذه الأشعة فإن نقطة التقائها سوف تكون هي صورة النقطة التي تقع في أعلى الجسم ثم نرسم بقية الجسم بحيث ينتهي عند المحور الأساسي .




☜ خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المقعرة أو المحدبة :

1- حقيقية أو تقديرية :

← تكون حقيقية إذا تكونت بواسطة الأشعة المنعكسة أو إذا تكونت أمام المرآة .

← تكون تقديرية إذا تكونت بواسطة امتدادات الأشعة المنعكسة أو إذا تكونت خلف المرآة .

2- تكون مقلوبة أو معتدلة :

← تكون مقلوبة إذا كان اتجاه الصورة عكس اتجاه الجسم أو إذا كانت حقيقية .

← تكون معتدلة إذا كان اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم أو إذا كانت معتدلة .

3- تكون مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

← إذا كان طول الصورة أكبر من طول الجسم تكون مكبرة .

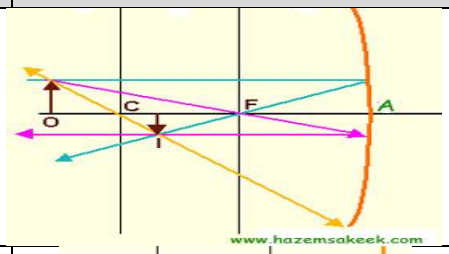
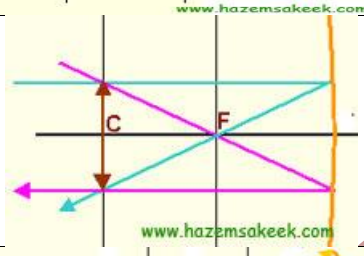
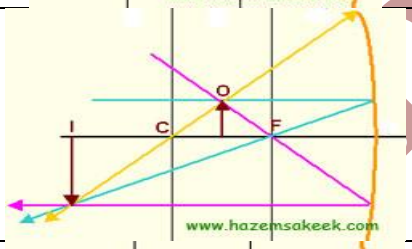
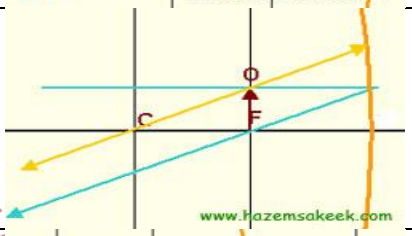
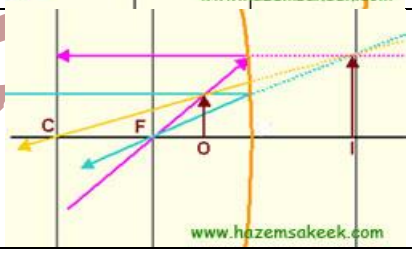
← إذا كان طول الصورة أقل من طول الجسم تكون مصغرة.

← إذا كان طول الصورة يساوي طول الجسم تكون نفس حجم الجسم .

☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة :

الجدول التالي يوضح موقع الجسم بالنسبة للمرآة المقعرة وخصائص الصورة المتكونة :

almanahj.com/om
Physics Genius

| موقع الجسم | مخطط الأشعة | موقع الصورة | خصائص الصورة |
|---|---|---|---|
| أبعد من مركز التكور (أي عند بعد أكبر من 2f) |  | بين مركز التكور والبؤرة | حقيقية<br>مقلوبة<br>مصغرة |
| عند مركز التكور (أي عند بعد يساوي 2f) |  | عند مركز التكور | حقيقية<br>مقلوبة<br>نفس حجم الجسم |
| بين مركز التكور والبؤرة (أي عند بعد أصغر من 2f وأكبر من f ) |  | أبعد عن مركز التكور | حقيقية<br>مقلوبة<br>مكبرة |
| عند البؤرة (أي عند بعد يساوي f ) |  | عند مالانهاية | حقيقية<br>مقلوبة<br>مصغرة جداً |
| بين البؤرة ومركز المرآة (أي عند بعد أقل من f ) |  | خلف المرآة | تقديرية<br>معتدلة<br>مكبرة |

مما سبق نجد أن خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة تتغير بتغير موقع الجسم .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة:

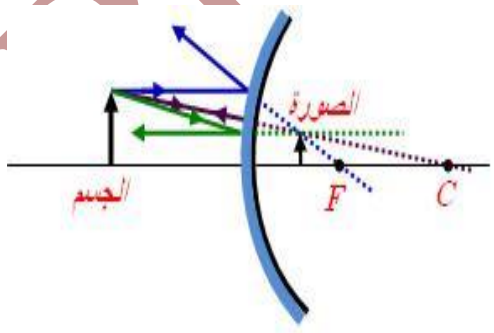
يمكن موقع الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة باستخدام مخطط الأشعة وذلك برسم شعاعين على الأقل من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينعكس بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة .

2- الشعاع الساقط بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة فإنه ينعكس موازياً للمحور الأساسي .

3- الشعاع الساقط بحيث يكون امتداده ماراً بمركز التكور فإنه ينعكس مرتداً على نفسه .

بحيث تتكون الصورة نتيجة إلتقاء امتدادات الأشعة المنعكسة كما في الشكل المقابل .






almanahj.com/om
Physics Genius

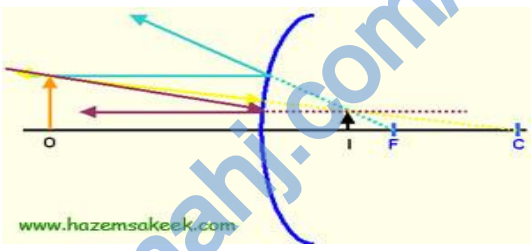
almanahj.com/om

### ☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة :

خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة لا تعتمد على موقع الجسم فهي دائماً تكون :

تقديرية ، معتدلة ، مصغرة

كما في الشكل المقابل ، وهي دائماً تقع بين مركز المرآة والبؤرة .




### ♦ استخدام معادلة المرايا ومعادلة التكبير في تعيين موقع الصورة المتكونة بواسطة المرايا الكروية وخصائصها :

● معادلة المرايا :

إذا اعتبرنا أن بعد الجسم عن المرآة يعبر عنه بالرمز ($d_o$) وبعد الصورة عن المرآة يعبر عنها بالرمز ($d_i$) كما هو موضح في الشكل المقابل ، فإننا يمكن أن نعبر عن العلاقة بينهما باستخدام معادلة المرايا كما يلي :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}$$

ومنها يمكن القول أن :

$$* f=\frac{d_o.d_i}{d_o+d_i}$$

$$* d_o=\frac{d_i.f}{d_i-f}$$

$$* d_i=\frac{d_o.f}{d_o-f}$$

● معادلة التكبير :

نستخدم هذه المعادلة في معرفة حجم الصورة بالنسبة لحجم الجسم ويرمز للتكبير بالرمز ($M$) وبافتراض أن طول الجسم هو ($h_o$) وطول الصورة هو ($h_i$) فإن معادلة التكبير تكتب كما يلي :

$$M=\frac{h_i}{h_o}=-\frac{d_i}{d_o}$$

ومن خلال معادلتي المرايا والتكبير نستطيع معرفة خصائص الصورة المتكونة وتحديد موقعها ، وعند استخدام هذه المعادلات يجب مراعاة قواعد الإشارة التالية :

| البعد / الإشارة | + | - |
|---|---|---|
| البعد البؤري $f$ | إذا كانت المرآة مقعرة | إذا كانت المرآة محدبة |
| بعد الجسم $d_o$ | إذا كان أمام المرآة | إذا كان خلف المرآة |
| بعد الصورة $d_i$ | إذا كانت أمام المرآة | إذا كانت خلف المرآة |
| طول الجسم $h_o$ | إذا كان اتجاه الجسم لأعلى | إذا كان اتجاه الجسم لأسفل |
| طول الصورة $h_i$ | إذا كان اتجاه الصورة لأعلى | إذا كان اتجاه الصورة لأسفل |
| التكبير M | إذا كانت الصورة تقديرية , معتدلة | إذا كانت الصورة حقيقية , مقلوبة . |

Physics Genius

♦ استنتاج :

● من خلال معادلة التكبير نجد أن مقدار التكبير يدل على حجم الصورة فإذا كان :

☜ $M > 1$ فإن الصورة تكون مكبرة .

☜ $M < 1$ فإن الصورة تكون مصغرة .

☜ $M = 1$ فإن حجم الصورة يكون نفس حجم الجسم .

● الإشارة في التكبير تدل على نوع الصورة فإذا كان التكبير:

☜ سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

☜ موجب فإن الصورة تكون تقديرية , معتدلة .

● مثال :

$$M = -3$$

بما أن التكبير سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

وبما أن مقدار التكبير أكبر من 1 فإن الصورة مكبرة

وبالتالي نستطيع استنتاج خصائص الصورة المتكونة وهي :

حقيقية , مقلوبة , مكبرة

◄ تطبيقات على ظاهرة الإنكسار ( العدسات الرقيقة ) :

العدسة عبارة عن جسم زجاجي أو بلاستيكي شفاف به وجهان كل منهما يعتبر جزءً من كرة وتعتمد العدسة في مبدأ عملها على الإنكسار في تكوين صورة للأجسام .

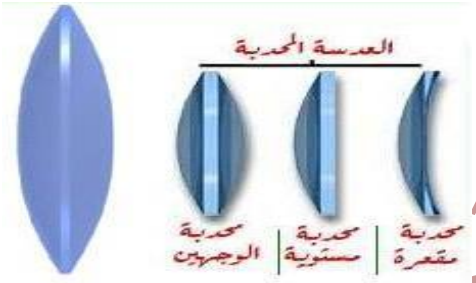
♦ أنواع العدسات :

تقسم العدسات إلى نوعين هما :

1- عدسة محدبة :

وهي التي يكون سمك وسطها أكبر من سمك أطرفها , وهي تصنع بأشكال مختلفة كما يلي :

- عدسة محدبة الوجهين .
- عدسة محدبة مقعرة (محدبة هلالية)
- عدسة محدبة مستوية .




2- عدسة مقعرة :

وهي التي يكون سمك وسطها أقل من سمك أطرافها وهي أيضاً تصنع بأشكال مختلفة كما يلي :

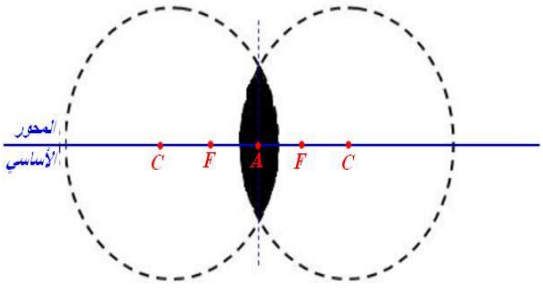
- عدسة مقعرة الوجهين .
- عدسة مقعرة محدبة (مقعرة هلالية) .
- عدسة مقعرة مستوية .

♦ أجزاء العدسة :

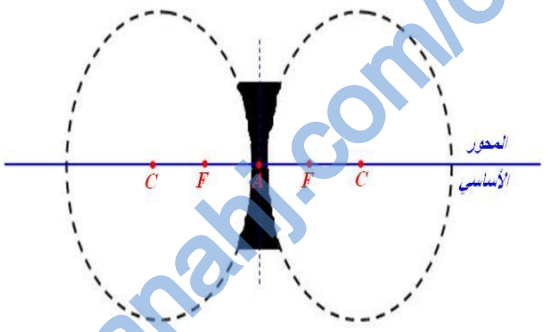
كل من العدسة المحدبة والعدسة المقعرة تتكون من نفس الأجزاء وهي :

○ المركز البصري ($A$) : نقطة تقع في منتصف المسافة بين ومركزي وجهي العدسة .

○ مركز التكور ($C$) : نقطة تقع في مركز الكرة التي يعتبر وجه العدسة جزءً منها .




almanahj.com/om
Physics Genius




○ **المحور الأساسي** : خط لا نهائي الطول يمر بالمركز البصري(*A*) ومركز التكور (*C*) .

○ **البؤرة (*F*)** : وهي نقطة تقع في منتصف المسافة بين مركز التكور (*C*) و المركز البصري (*A*) .

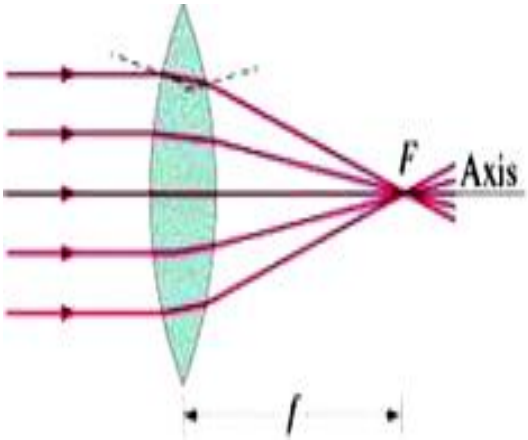
○ **نصف قطر التكور (*R*)** : وهو نصف قطر الكرة التي يكون وجه العدسة جزءً منها .

○ **البعد البؤري ( *f* )** : المسافة بين المركز البصري (*A*) والبؤرة (*F*) وهو يساوي نصف نصف قطر التكور (*R*) ، أي أن :

$$f = \frac{R}{2}$$

♦ **البؤرة في العدسة المحدبة :**

عند سقوط أشعة قادمة من مالا نهاية على أحد وجهي العدسة المحدبة فإنها تكون على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية ، وعند تطبيق قوانين الإنكسار على هذه الأشعة عند دخولها للعدسة وعند خروجها منها فإننا سنجد أن جميع الأشعة تنكسر باتجاه المحور الأساسي وتلتقي (تتجمع) عند نقطة في منتصف المسافة بين المركز البصري (*A*) ومركز التكور (*C*) وتسمى البؤرة .

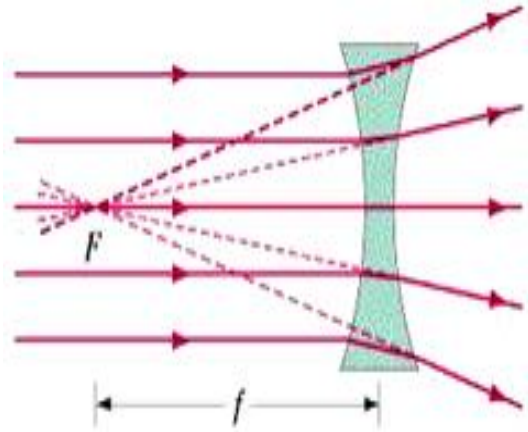



مما سبق نجد أن :

- البؤرة في العدسة المحدبة حقيقية لأنها تكون بواسطة الأشعة المنكسرة .
- العدسة المحدبة هي عدسة مجمعة للأشعة الساقطة عليها.

♦ **البؤرة في العدسة المقعرة :**

بنفس الطريقة المتبعة في العدسة المحدبة فإنه عند سقوط أشعة قادمة من مالا نهاية على أحد وجهي العدسة المقعرة فإنها تكون على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية ، وعند تطبيق قوانين الإنكسار على هذه الأشعة عند دخولها للعدسة وعند خروجها منها فإننا سنجد أن جميع الأشعة تنكسر مبتعدة عن المحور الأساسي وعن بعضها البعض (تتشتت) ولا يمكن أن تلتقي هذه الأشعة مع بعضها البعض وعند اللجوء إلى امتدادات هذه الأشعة نجد أنها تلتقي عند نقطة في منتصف المسافة بين المركز البصري (*A*) ومركز التكور (*C*) وتسمى البؤرة .

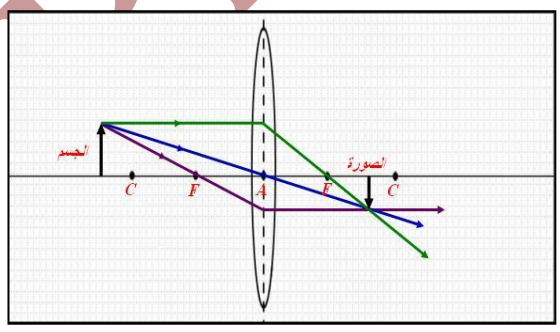



مما سبق نجد أن :

- البؤرة في العدسة المقعرة تقديرية لأنها تكون بواسطة امتدادات الأشعة المنكسرة .
- العدسة المقعرة هي عدسة مفرقة للأشعة الساقطة عليها.

♦ **استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة:**

يمكننا أن نرسم ونستنتج خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة برسم إثنان أو ثلاثة أشعة من الأشعة التالية :




1- الشعاع الساقط ماراً بالمركز البصري (*A*) فإنه يمر دون أن يعاني أي إنكسار .

2- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينكسر ماراً بالبؤرة .

almanahj.com/om
Physics Genius

3- الشعاع الساقط ماراً بالبؤرة فإنه ينكسر موازياً للمحور الأساسي .

ونرسم الصورة عند النقطة التي تلتقي فيها الأشعة المنكسرة أو امتداداتها .

☜ خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرايا المقعرة أو المحدبة :

1- حقيقية أو تقديرية :

← تكون حقيقية إذا تكونت بواسطة الأشعة المنكسرة أو إذا تكونت خلف العدسة .

← تكون تقديرية إذا تكونت بواسطة امتدادات الأشعة المنكسرة أو إذا تكونت أمام العدسة .

2- تكون مقلوبة أو معتدلة :

← تكون مقلوبة إذا كان اتجاه الصورة عكس اتجاه الجسم أو إذا كانت حقيقية .

← تكون معتدلة إذا كان اتجاه الصورة في نفس اتجاه الجسم أو إذا كانت معتدلة .

3- تكون مصغرة أو مكبرة أو نفس حجم الجسم :

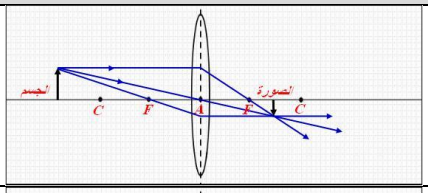
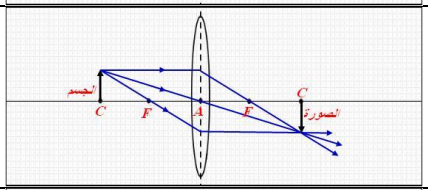
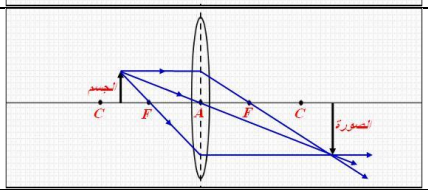
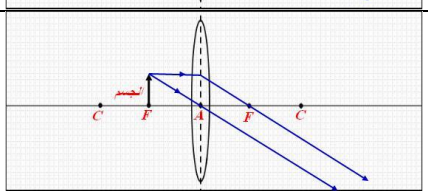
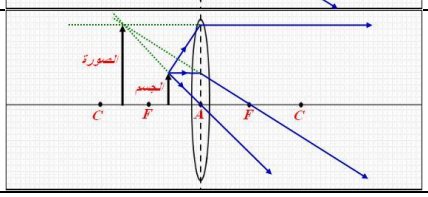
← إذا كان طول الصورة أكبر من طول الجسم تكون مكبرة .

← إذا كان طول الصورة أقل من طول الجسم تكون مصغرة.

← إذا كان طول الصورة يساوي طول الجسم تكون نفس حجم الجسم .

☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المحدبة :

الجدول التالي يوضح موقع الجسم بالنسبة للمرآة المقعرة وخصائص الصورة المتكونة :

| موقع الجسم | مخطط الأشعة | موقع الصورة | خصائص الصورة |
|---|---|---|---|
| أبعد من مركز التكور (أي عند بعد أكبر من $2f$) |  | بين مركز التكور والبؤرة | حقيقية<br>مقلوبة<br>مصغرة |
| عند مركز التكور (أي عند بعد يساوي $2f$) |  | عند مركز التكور | حقيقية<br>مقلوبة<br>نفس حجم الجسم |
| بين مركز التكور والبؤرة (أي عند بعد أصغر من $2f$ وأكبر من $f$) |  | أبعد عن مركز التكور | حقيقية<br>مقلوبة<br>مكبرة |
| عند البؤرة (أي عند بعد يساوي $f$) |  | عند مالانهاية | حقيقية<br>مقلوبة<br>مصغرة جداً |
| بين البؤرة والمركز البصري (أي عند بعد أقل من $f$) |  | بين مركز التكور والبؤرة أمام العدسة | تقديرية<br>معتدلة<br>مكبرة |

almanahj.com/om
Physics Genius

مما سبق نجد أن خصائص الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة تتغير بتغير موقع الجسم .

♦ استخدام مخطط الأشعة في رسم الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة:

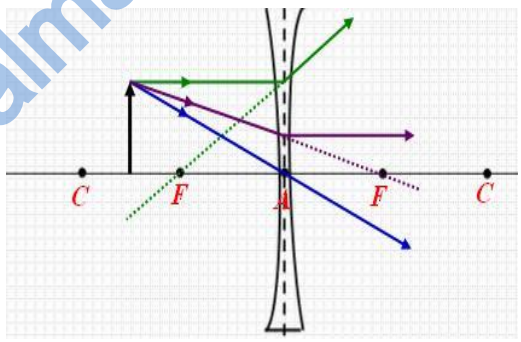
يمكننا أن نرسم ونستنتج خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة برسم إثنان أو ثلاثة أشعة من الأشعة التالية :

1- الشعاع الساقط ماراً بالمركز البصري $(A)$ فإنه يمر دون أن يعاني أي إنكسار .

2- الشعاع الساقط موازياً للمحور الأساسي فإنه ينكسر بحيث يكون امتداده ماراً بالبؤرة .

3- الشعاع الساقط الذي يكون امتداده ماراً بالبؤرة فإنه ينكسر موازياً للمحور الأساسي .

ونرسم الصورة عند النقطة التي تلتقي فيها الأشعة المنكسرة أو امتداداتها .

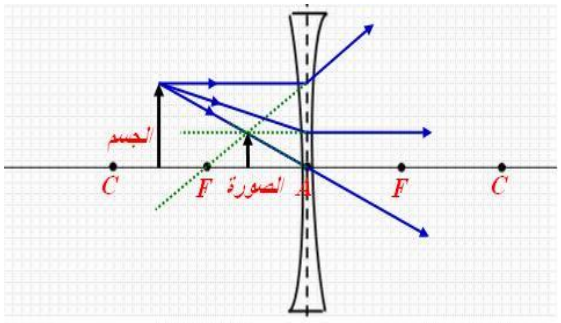



☜ التعرف على خصائص الصورة المتكونة بواسطة العدسة المقعرة :

خصائص الصورة في العدسة المقعرة لا تعتمد على موضع الجسم بالنسبة للعدسة وهي دائماً :

تقديرية , معتدلة , مصغرة

ودائماً تقع أمام العدسة بين المركز البصري والبؤرة كما هو موضح في الشكل المقابل .




♦ استخدام معادلة العدسات ومعادلة التكبير في تعيين موقع الصورة المتكونة بواسطة العدسة الرقيقة وخصائصها :

● معادلة العدسات :

إذا اعتبرنا أن بعد الجسم عن العدسة يعبر عنه بالرمز $(d_o)$ وبعد الصورة عن العدسة يعبر عنها بالرمز $(d_i)$ كما هو موضح في الشكل المقابل ، فإننا يمكن أن نعبر عن العلاقة بينهما باستخدام معادلة العدسات كما يلي :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}$$

ومنها يمكن القول أن :

$$* \ f=\frac{d_o.d_i}{d_o+d_i}$$

$$* \ d_o=\frac{d_i.f}{d_i-f}$$

$$* \ d_i=\frac{d_o.f}{d_o-f}$$

● معادلة التكبير :

نستخدم هذه المعادلة في معرفة حجم الصورة بالنسبة لحجم الجسم ويرمز للتكبير بالرمز $(M)$ وبافتراض أن طول الجسم هو $(h_o)$ وطول الصورة هو $(h_i)$ فإن معادلة التكبير تكتب كما يلي :

$$M=\frac{h_i}{h_o}=-\frac{d_i}{d_o}$$

almanahj.com/om
Physics Genius

ومن خلال معادلتي العدسات والتكبير نستطيع معرفة خصائص الصورة المتكونة وتحديد موقعها ، وعند استخدام هذه المعادلات يجب مراعاة قواعد الإشارة التالية :

| البعد / الإشارة | + | - |
|---|---|---|
| البعد البؤري $f$ | إذا كانت العدسة محدبة | إذا كانت العدسة مقعرة |
| بعد الجسم $d_o$ | إذا كان أمام العدسة | إذا كان خلف العدسة |
| بعد الصورة $d_i$ | إذا كانت خلف العدسة | إذا كانت أمام العدسة |
| طول الجسم $h_o$ | إذا كان اتجاه الجسم لأعلى | إذا كان اتجاه الجسم لأسفل |
| طول الصورة $h_i$ | إذا كان اتجاه الصورة لأعلى | إذا كان اتجاه الصورة لأسفل |
| التكبير M | إذا كانت الصورة تقديرية , معتدلة | إذا كانت الصورة حقيقية , مقلوبة . |

♦ استنتاج :

● من خلال معادلة التكبير نجد أن مقدار التكبير يدل على حجم الصورة فإذا كان :

☜ $M > 1$ فإن الصورة تكون مكبرة .

☜ $M < 1$ فإن الصورة تكون مصغرة .

☜ $M = 1$ فإن حجم الصورة يكون نفس حجم الجسم .

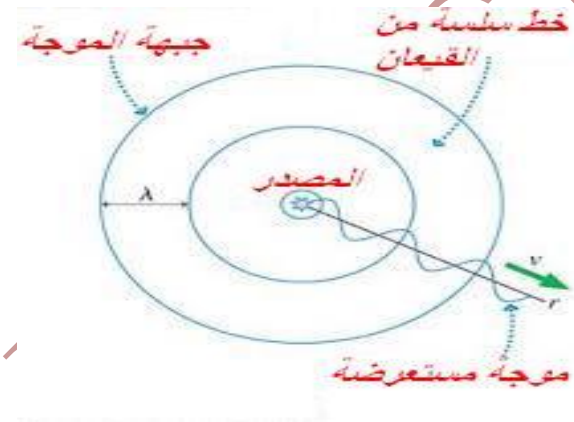
● الإشارة في التكبير تدل على نوع الصورة فإذا كان التكبير:

☜ سالب فإن الصورة تكون حقيقية , مقلوبة .

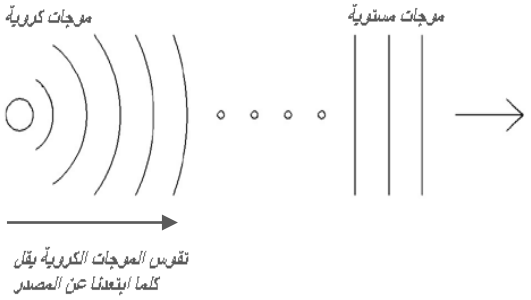
☜ موجب فإن الصورة تكون تقديرية , معتدلة .

◄ مبدأ هيجنز :

♦ الموجات الكروية جبهة الموجة :




عندما تنبعث الموجات الضوئية من مصدر ضوئي ما فإنها تنتشر في جميع الاتجاهات حول هذا المصدر على هيئة موجات مستعرضة (قمم وقيعان) وبالتالي سيحيط بالمصدر على شكل دائري سلسلة من القمم والقيعان وإذا ما أخذنا نقطة عند جميع القمم أو القيعان ووصلنا هذه النقاط ببعضها البعض سوف يتشكل لنا حلقات دائرية متحدة المركز ومركزها هو مصدر الضوء يطلق لكل من هذه الحلقات الدائرية بإسم جبهة الموجة وتسمى الموجات في هذه الحالة بالموجات الكروية كما في الشكل المقابل , وتكون المسافة بين كل جبهتين متتاليتين مساوية للطول الموجي للموجات الضوئية المنبعثة من المصدر .



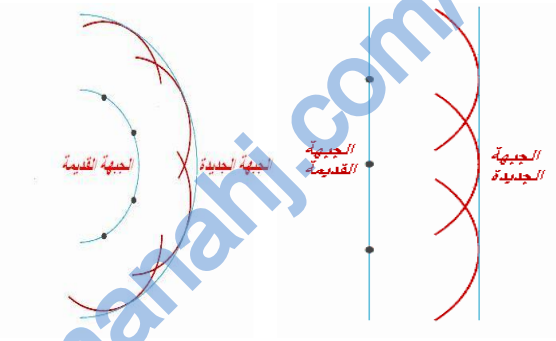

وفي الأوساط المتجانسة تنتشر هذه الجبهات مبتعدة عن المصدر لتصل لمسافات بعيدة بنفس الخصائص الموجية (الطول الموجي , التردد , سرعة الانتشار, ..... إلخ) وكلما ابتعدت كلما قل تقوسها بالنسبة للمشاهد وبالتالي فإنه وعند مسافات بعيدة جداً من المصدر تبدو هذه الجبهات وكأنها خطوط مستقيمة ومتوازية وعندها يطلق عليها بإسم الموجات المستوية .



almanahj.com/om

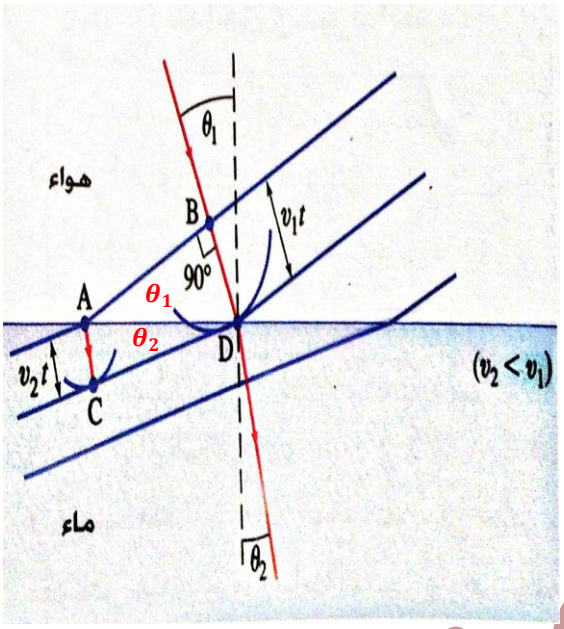
♦ نص مبدأ هيجنز :

((كل جبهة موجة تتكون من عدد لا متناهي من النقاط التي تعمل كمصادر فرعية لجبهات لموجات صغيرة متماثلة تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة تساوي سرعة الضوء في الوسط , وإذا ما أخذنا الخط المماسي لمقدمة كل جبهة من هذه الجبهات الفرعية فإنه سيشكل الجبهة الجديدة التي تلي الجبهة القديمة وهكذا)) , كما يتضح في الشكل المقابل , ويمكن تطبيق هذا المبدأ أيضاً على الموجات المستوية .



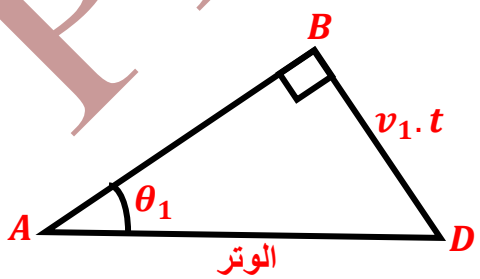

♦ تفسير هيجنز لظاهرة الانكسار :

نفترض سلسلة من الموجات المستوية تنتقل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية (الماء والهواء) وكان معامل الانكسار المطلق للوسط الأول اقل من معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني وعندها سوف تكون سرعة الموجات الضوئية في الوسط الأول أكبر من سرعتها في الوسط الثاني كما في الشكل ، وإذا ما أخذنا النقطتان $A$ و $B$ في جبهة الموجة الأقرب من السطح الفاصل وبتطبيق مبدأ هيجنز على النقطتين فإن كل نقطة سوف تكون مصدر لموجة فرعية جديدة , ولكن نلاحظ أن جبهة الموجة الناتجة من النقطة $B$ تنتشر في الوسط الأول , وجبهة الموجة الناتجة من النقطة $A$ تنتشر في الوسط الثاني , وبالتالي فإن سرعة الموجة الناتجة من النقطة $B$ سوف تكون $v_1$ وسرعة الموجة الناتجة من النقطة $A$ سوف تكون $v_2$ حيث أن $v_1 > v_2$ , وبالتالي فإنه عند فترة زمنية ولتكن $t$ فإن جبهة الموجة الناتجة من $B$ سوف تقطع المسافة $(v_1.t)$ حتى تصل إلى النقطة $D$ عند السطح الفاصل وفي النفس الفترة الزمنية $t$ فإن جبهة الموجة الناتجة من $A$ سوف تقطع مسافة مقدارها $(v_2.t)$ حتى تصل إلى النقطة $C$ وبما أن $v_1 > v_2$ فإن $v_1.t > v_2.t$




أي الجبهة الناتجة من النقطة $B$ سوف تقطع مسافة أكبر من الجبهة الناتجة من النقطة $A$ , وإذا ما أخذنا الخط المماسي بين الجبهتين فإن الجبهة الجديدة سوف تنحرف ويتغير اتجاه الموجة نتيجة لذلك ويحدث انكسار للموجات كما يتضح في الشكل . وبالتالي إذا اعتبرنا أن النقطتين $C$ و $D$ عبارة عن مصادر فرعية في الجبهة الجديدة فإن كل من جبهات الموجتين تنتقل في الوسط الثاني وبالتالي سوف تكون سرعة كل من الجبهتين الجديدتين سوف تكون متساوية وإذا أخذنا الخط المماسي بين الجبهتين سوف تتشكل الجبهة الجديدة في خط يوازي الجبهة القديمة

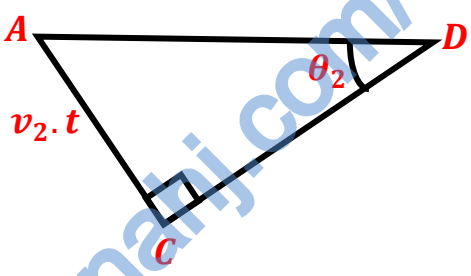
عند تحليل الشكل المقابل , نجد أن جبهة الموجة $AB$ تميل عن السطح الفاصل بزاوية تساوي زاوية السقوط $(\theta_1)$ المحصورة بين اتجاه الموجة والذي يكون عمودياً على الجبهة $AB$ والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل , وكذلك بالنسبة للجبهة $CD$ نجد أنها تميل عن السطح الفاصل بزاوية تساوي زاوية الانكسار $(\theta_2)$ المحصورة بين اتجاه الموجة المنكسرة والذي يكون عمودياً على الجبهة $CD$ والعمود المقام .




ونلاحظ في الشكل أنه يوجد لدينا مثلثان قائما الزاوية ويشتركان في الوتر هما :

☜ المثلث $(ABD)$ قائم الزاوية عند $B$ والوتر هو $\overline{AD}$

almanahj.com/om
Physics Genius




☜ المثلث $(ACD)$ قائم الزاوية عند $C$ والوتر هو $\overline{AD}$

وعند إيجاد الوتر لكل مثلث نحصل على :

بالنسبة للمثلث $(ABD)$ :

$$\overline{AD} = \frac{v_1.t}{sin\theta_1}$$

بالنسبة للمثلث $(ACD)$ :

$$\overline{AD} = \frac{v_2.t}{sin\theta_2}$$

وبمساواة العلاقتين ببعضهما :

$$\frac{v_1.\cancel{t}}{sin\theta_1} = \frac{v_2.\cancel{t}}{sin\theta_2}$$

ومنها نحصل على :

$$\frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \gg 1$$

نعلم أن :

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

ومنها :

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

$$\therefore v_1 = \frac{c}{n_1} \quad و \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

وبالتعويض في المعادلة 1 نحصل على :

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

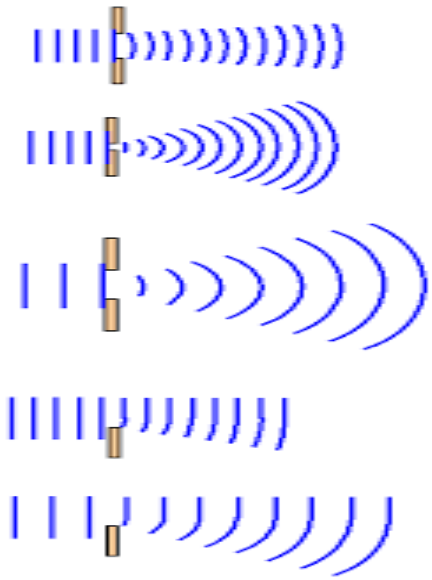
$$\therefore \frac{sin\theta_1}{sin\theta_2} = \frac{\cancel{c}.n_2}{\cancel{c}.n_1}$$

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

ومنها نجد أن :

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

وهي نفس العلاقة أو القانون الذي توصل إليه سنل للانكسار .



♦ تفسير هيجنز لظاهرة حيود الضوء :

تمكن هيجنز أيضاً من تفسير ظاهرة مهمة جداً في الضوء ألا وهي ظاهرة حيود الضوء باستخدام المبدأ الذي وضعه ، حيث تنبأ بأن الموجات الضوئية ستنحني وتنحرف عن مسارها عن مرورها من حافة حاجز أو عبرة فتحة ضيقة في حاجز ، حيث قال أنه عند اصطدام جبهة الموجة الضوئية بالحاجز الذي يحتوي على فتحة ضيقة فإن الفتحة التي تقع على جبهة الموجة ستعمل وكأنها مصدر جديد للموجات لتنتشر بعد ذلك الموجات خلف هذا الحاجز أو الفتحة في جميع الاتجاهات كما في الشكل .

almanahj.com/om
Physics Genius

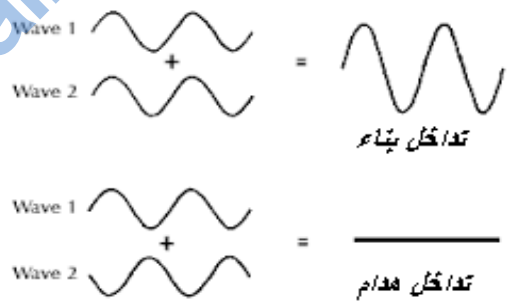
إلا إنه ونظراً لصغر الطول الموجي للموجات الضوئية فإنه من الصعب جداً ملاحظة ظاهرة الحيود التي تحدث للضوء بالعين المجردة مثل الموجات المائية .

## ◄ تداخل الضوء (تجربة شقي يونج) :

### ♦ تعريف التداخل :

هو إلتقاء قطارين من الموجات أو أكثر مع بعضهما في نفس الوسط عند نقطة ما وتراكبهما مما ينتج عنه مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة ومناطق تقل فيها سعة الموجة المحصلة .

### ♦ أنواع التداخل :




1- تداخل بناء : ينتج عنه مناطق تزداد فيها سعة الموجة المحصلة , ويحدث ذلك عند إلتقاء قمة مع قمة أو قاع مع قاع في نفس النقطة , كما في الشكل .

2- تداخل هدام : ينتج عنه مناطق تقل فيها سعة الموجة المحصلة , ويحدث ذلك عند إلتقاء قمة مع قاع في نفس النقطة , كما في الشكل .

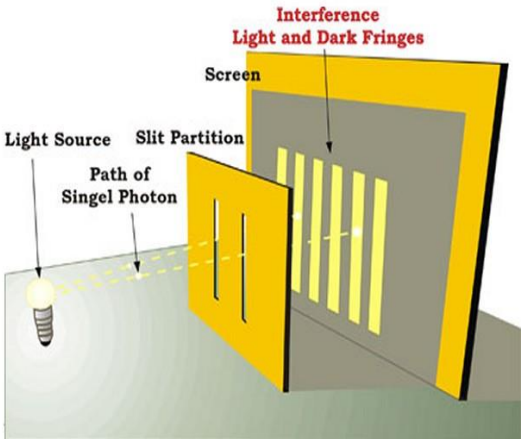
من الممكن أن تحدث هذه ظاهرة التداخل في الموجات الضوئية فينتج عنه مناطق تزداد فيها شدة الإضاءة عند حدوث تداخلات بناءة بين الموجات أو ينتج عنه ظهور مناطق تنعدم فيها الإضاءة عند حدوث تداخلات هدامة بين الموجات الضوئية ولكن وبسبب قصر الطول الموجي للموجات الضوئية فإنه من الصعب جداً ملاحظة هذه الظاهرة إلا إذا توفر الشرطين التاليين :

1- أن يكون المصدرين متماثلين : أي أن الموجات الضوئية المتولدة عنهما لها نفس الخصائص الموجية من الطول الموجي والتردد وسرعة الانتشار والسعة (لهما نفس الطور) .

2- أن يكون المصدرين أحاديي اللون : أي أن الموجات الضوئية الصادرة عنهما تمتلك طول موجي واحد .

في عام 1801م استطاع العالم الانجليزي توماس يونج من تحقيق هذه الشروط في تجربته الشهيرة (شقي يونج) بالاعتماد على مبدأ هيجنز واستطاع من خلال هذه التجربة الحصول على قياسات دقيقة في حساب الأطوال الموجية للموجات الضوئية .

### ♦ تجربة شقي يونج :



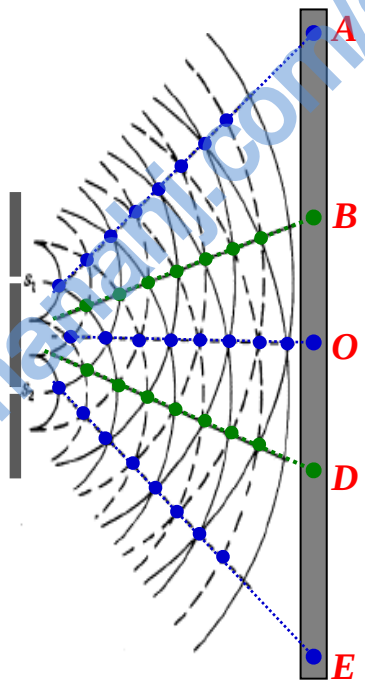

استخدم يونج في هذه التجربة مصدر أحادي اللون ووضع أمامه حاجز غير نفاذ للضوء يحتوي على شقين متجاورين تفصل بينهما مسافة لا تتعدى 1mm يسمحان بنفاذ الضوء من خلالهما ، كما في الشكل ليسقط الضوء على شاشة خلف الحاجز تبعد مسافة عنه لا تقل عن 1m .

● فكرة التجربة :

عند سقوط الموجات الضوئي على الحاجز فإن كلا الشقان وحسب مبدأ هيجنز سوف يعملان كمصدر مستقل للضوء ينتشر في جميع الجهات خلف الحاجز ونظراً لأن الموجات الضوئية تصل إلى الشقين في نفس اللحظة فإن الشقين سوف يعملان كمصدران متماثلان للضوء أحادي اللون ، وبالتالي سوف تلتقي الموجات القادمة من احد الشقين مع الموجات القادمة

almanahj.com/om
Physics Genius

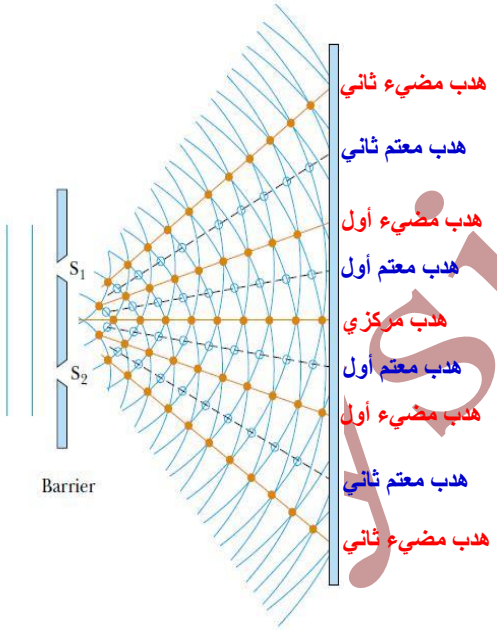
من الشق الآخر ، وعند إلتقاء قمة موجة قادمة من احد الشقين مع قمة موجة قادمة من الشق الآخر في نقطة ما فإنه سيحدث فيما بينها نمط تداخل بناء مما يؤدي إلى زيادة شدة الإضاءة عند هذه النقطة وكذلك الحال إذا إلتقى قاعين مع بعضهما البعض عن نقطة ما أما إذا إلتقت قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قاع موجة قادمة من الشق الآخر فإنه يؤدي إلى حدوث نمط تداخل هدام بينهما وينتج عنه إنعدام في شدة الإضاءة عند هذه النقطة وهكذا.



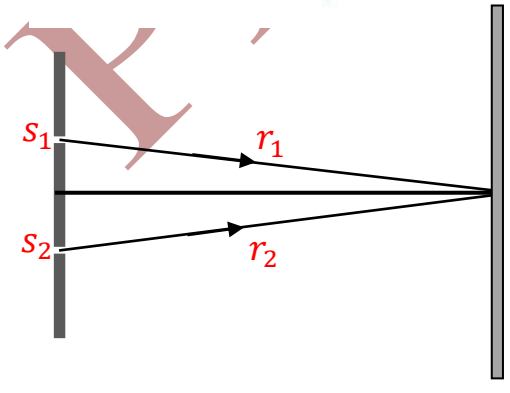

الشكل المقابل يوضح مخطط انتشار الموجات الصادرة من كل من الشقين خلف الحاجز بحيث يمثل الخط المستمر قمم الموجات الصادرة من كلا الشقين والخط المتقطع يمثل قيعان ونجد فيه ما يلي :

- النقاط التي باللون الأزرق تمثل نقطة إلتقاء قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قمة موجة أخرى قادمة من الشق الآخر (خط مستمر مع خط مستمر) أو قاع مع قاع (خط متقطع مع خط متقطع) أي تداخل بناء ينتج عنه زيادة في شدة الإضاءة عند تلك النقطة .
- النقاط التي باللون الأخضر تمثل نقطة إلتقاء قمة موجة قادمة من أحد الشقين مع قاع موجة قادمة من الشق الآخر (خط مستمر مع خط متقطع) أي تداخل هدام يحدث عنده انعدام في الإضاءة عند تلك النقطة .
- نقاط التداخل البناء تقع في خط مستقيم يسمى بخط التداخل البناء .
- نقاط التداخل الهدام تقع في خط مستقيم يسمى خط التداخل الهدام .

وبالتالي فإنه عند وضع شاشة خلف الحاجز فإنه سيتكون على الشاشة عند النقطة ($O$) مثلاً بقعة مضيئة وذلك لأنها تقع على خط التداخل البناء وكذلك بالنسبة للنقطة ($A$) والنقطة ($E$) وهكذا . أما بالنسبة للنقطة ($B$) فإنها تقع على خط تداخل هدام لذلك تظهر على الشاشة بقعة مظلمة سوداء وكذلك بالنسبة للنقطة ($D$) .




- أطلق يونج على هذه النقاط بإسم اهداب التداخل فإذا كان التداخل بناء كان الهدب مضيء وإذا كان التداخل هدام كان الهدب معتم .
- النقطة ($O$) تقع في منتصف المسافة بين الشقين وكذلك تتماثل وتتبادل بين هدب معتم وهدب مضيء أهداب التداخل على جانبي , لذلك أطلق عليها يونج بإسم الهدب المركزي وهو دائماً مضيء .
- نظراً لأن النقطة ($A$) هي أول هدب مضيء يلي الهدب المركزي , فإنها تسمى الهدب المضيء الأول , والهدب الذي يليها بالهدب المضيء الثاني ... وهكذا ، ويطلق عليها رتبة الهدب المضيء ويرمز لها بالرمز ($m$).
- نظراً لأن النقطة ($B$) هي أول هدب معتم يلي الهدب المركزي , فإنها تسمى بالهدب المعتم الأول والذي يليها بالهدب المعتم الثاني ... وهكذا، وأيضاً يطلق عليها رتبة الهدب المعتم ويرمز لها بالرمز ($m$) .




● حساب الطول الموجي للضوء المستخدم :

بافتراض أن المسافة بين الشقين هي ($d$) وأن الشاشة تبعد عن الحاجز مسافة مقدارها ($L$) ، نجد أن :

○ عند الهدب المركزي :

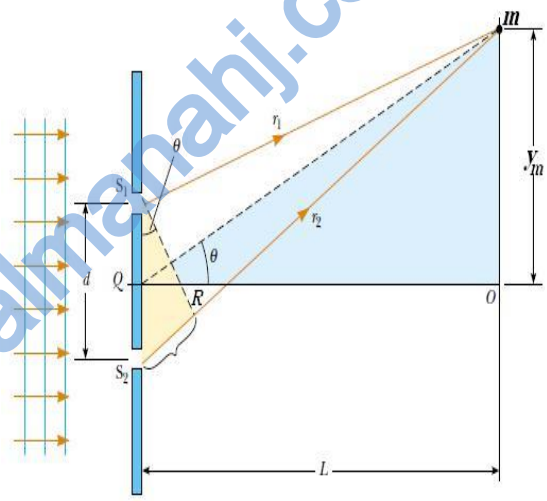
الشعاع الضوئي القادم من المصدر $s_1$ يقطع مسافة مقدارها $r_1$ تسمى المسار .

الشعاع الضوئي القادم من المصدر $s_2$ يقطع مسافة مقدارها $r_2$

ونجد أن الشعاعين يقطعان نفس المسافة ليصلا إلى الهدب المركزي أي أن :

$$r_1 = r_2$$

وبالتالي فإننا نحصل على هدب مركزي في الشاشة إذا كان الشعاعين القادمين من الشقين يقطعان نفس المسافة ونحصل دائماً على هدب مضيء .




○ بافتراض أن $m$ هي رتبة الهدب المتكون على الشاشة , على بعد من الهدب المركزي كما في الشكل نجد أن :

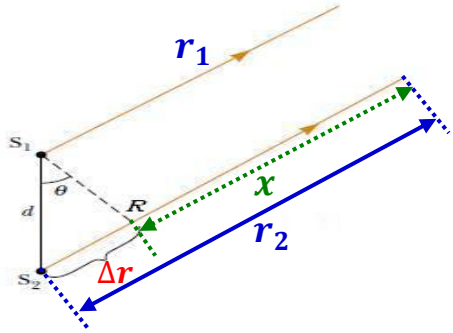
- الشعاع القادم من المصدر $s_1$ يقطع مسافة مقدارها $r_1$ حتى يصل إلى النقطة $m$ ، والشعاع القادم من $s_2$ يقطع مسافة مقدارها $r_2$ حتى يصل إلى النقطة $m$ ونجد أن $r_2 > r_1$

- مقدار ($L$) كبير جداً مقارنة بمقدار (d) :

$$L \gg d$$

وبالتالي يمكن اعتبار أن المسارين $r_1$ و $r_2$ متوازيين , كما في الشكل , وبالتالي فإنه عند إسقاط خط من بداية المسار $r_1$ (المسار الأقصر) وعمودي على المسار $r_2$ (المسار الأطول) فإن المسافة ($x$) من المسار $r_2$ سوف تكون مساوية للمسار $r_1$ :

$$x = r_1$$




والجزء المتبقي من المسار $r_2$ يمثل الفرق في المسار بين المسارين $r_1$ و $r_2$ ويرمز له بالرمز ($\Delta r$) أي أن :

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad \text{(فرق المسار)}$$

- عند رسم خط مستقيم من منتصف المسافة بين الشقين إلى النقطة ($m$) التي تكون عندها الهدب الذي رتبته ($m$) نجد أن الهدب عند هذه النقطة يميل بزاوية مقدارها ($\theta_m$) عن الهدب المركزي , وهي تساوي مقدار الزاوية المحصورة بين العمود المقام على المسار $r_2$ والحاجز .

- من خلال الشكل نجد أن النقاط ($s_1, R, s_2$) تشكل مثلث قائم الزاوية عند ($R$) وزاوية رأس المثلث هي ($\theta$) وبالتالي يمكن القول أن :

$$sin\theta_m = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$$

$$\therefore sin\theta_m = \frac{\Delta r}{d} \gg 1$$

ومنها نجد أن :

$$\Delta r = d.sin\theta_m = r_2 - r_1 \quad \text{(فرق المسار)}$$

● بمعلومية فرق المسار بين الشعاعين الصادرين من الشقين ، يمكن معرفة نوع الهدب المتكون ورتبته ($m$) ، كما يلي :

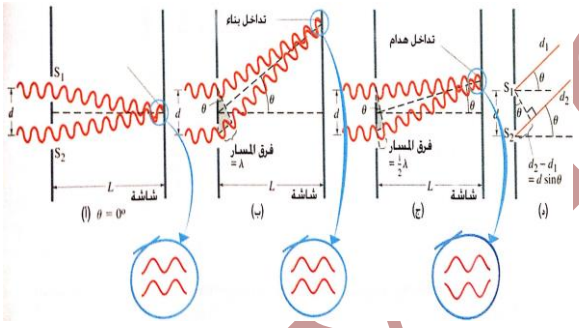
○ يتكون هدب مضيء في الشاشة إذا كان :

$$\Delta r = d.sin\theta_m = \pm m\lambda$$

حيث أن :

- $m$ تمثل رتبة الهدب , وتساوي عدد صحيح :

$$m = 0 , \pm1, \pm2, \pm3, \pm4, \dots\dots, \pm\infty$$




| | |
|---|---|
| $m = 0$ | (الهدب المركزي) |
| $m = \pm1$ | (الهدب المضيء الأول) |
| $m = \pm2$ | (الهدب المضيء الثاني) |
| $m = \pm3$ | (الهدب المضيء الثالث) |
| $m = \pm4$ | (الهدب المضيء الرابع) |
| ..... | و هكذا |

almanahj.com/om
Physics Genius

○ يتكون هدب معتم في الشاشة إذا كان :

$$\Delta r = d.sin\theta = \pm m\frac{\lambda}{2}$$

حيث أن :

- $m$ تمثل رتبة الهدب , وتساوي عدد فردي :

$$m = \pm 1 , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد بعد الهدب الذي رتبته $(m)$ عن الهدب المركزي :

بافتراض أن الهدب $(m)$ يبعد عن الهدب المركزي مسافة مقدارها $(y_m)$ ومن الشكل أعلاه نجد أن النقاط $(O,Q,m)$ تشكل مثلث قائم الزاوية عند $(O)$ وزاوية رأس المثل عند $(Q)$ تساوي $(\theta)$ فإننا يمكن أن نستنتج أن :

$$tan\theta_m = \frac{y_m}{L} \quad \gg 2$$

وبما أن البعد بين الشقين $(d)$ صغير جداً وبما أن $(L \gg d)$ ، فإن مقدار الزاوية $(\theta_m)$ سوف يكون أيضاً صغير جداً, وبالتالي يمكن القول أن :

$$tan\theta_m = sin\theta_m \quad \gg 3$$

وبالتعويض عن المعادلة 1 و 2 في المعادلة 3 نحصل على :

$$\frac{y_m}{L} = \frac{\Delta r}{d}$$

$$\therefore y_m = \frac{\Delta r.L}{d} \quad \gg 4$$

وبالتالي فإنه :

☜ إذا كان الهدب $(m)$ مضيء فإن :

$$\Delta r = m\lambda$$

ومنه يمكن كتابة المعادلة 4 بالصورة :

$$y_m = \frac{m\lambda.L}{d}$$

حيث أن :

$y_m$ ← يمثل بعد الهدب المضيء الذي رتبته $(m)$ عن الهدب المركزي .

$m$ ← يمثل رتبة الهدب $(m = 0 , \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty)$.

☜ إذا كان الهدب $(m)$ معتم فإن :

$$\Delta r = m\frac{\lambda}{2}$$

ومنه يمكن كتابة المعادلة 4 بالصورة :

$$y_m = \frac{m\lambda.L}{2d}$$

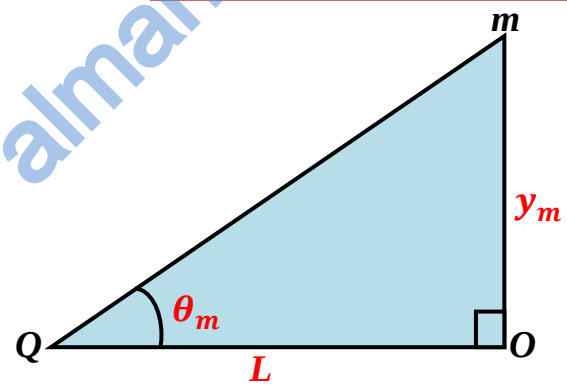
حيث أن :

$y_m$ ← يمثل بعد الهدب المعتم الذي رتبته $(m)$ عن الهدب المركزي .

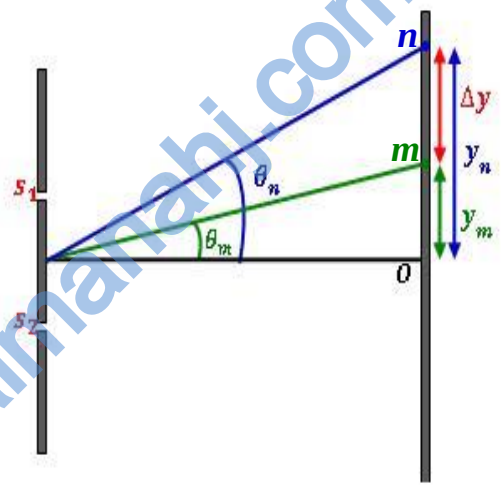
$m$ ← يمثل رتبة الهدب $(m = \pm 1 , \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty)$.

● إيجاد البعد بين هدبين مضيئين $(\Delta y)$ رتبة كل منهما $(m)$و$(n)$ يبعدان عن الهدب المركزي مسافة $(y_m)$ و $(y_n)$ بالترتيب كما في الشكل المقابل , ومن خلال الشكل نجد أن :

$m = \pm 1$ (الهدب المعتم الأول)
$m = \pm 3$ (الهدب المعتم الثاني)
$m = \pm 5$ (الهدب المعتم الثالث)
$m = \pm 7$ (الهدب المعتم الرابع)
$m = \pm 9$ (الهدب المعتم الخامس)
و هكذا ...




almanahj.com/om
Physics Genius




$$\Delta y = y_n - y_m$$

وبالتالي يمكن القول أن :

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{d} - \frac{m\lambda . L}{d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{d} \qquad \gg 5$$

حيث أن :

$$n\,, m = 0\,, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد البعد بين هدبين معتمين $(\Delta y)$ رتبة كل منهما $(m)$و$(n)$ يبعدان عن الهدب المركزي مسافة $(y_m)$ و $(y_n)$ بالترتيب كما في الشكل المقابل , ومن خلال الشكل نجد أن :

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{2d} - \frac{m\lambda . L}{2d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{2d} \qquad \gg 6$$

حيث أن :

$$n\,, m = \pm 1\,, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

●إيجاد البعد بين هدب مضيء وهدب معتم $(\Delta y)$ بالنظر في الشكل المقابل وبافتراض أن الهدب $(m)$ معتم والهدب $(n)$ مضيء فإن:

$$y_n - y_m = \frac{n\lambda . L}{d} - \frac{m\lambda . L}{2d}$$

$$\therefore \quad y_n - y_m = \left(n - \frac{m}{2}\right)\frac{\lambda . L}{d} \qquad \gg 7$$

حيث أن :

$$n\ = 0\,, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$
$$m = \pm 1\,, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \dots\dots, \pm\infty$$

● إيجاد البعد بين هدبين متتاليين ( مضيئين أو معتمين ) :

إذا كان الهدبين المتتاليين معتمين أو مضيئين فإنه في الأهداب المضيئة المتتالية $(n - m = 1)$ وفي الأهداب المعتمة المتتالية $(n - m = 2)$ وبالتعويض في المعادلتين $(5)$ و $(6)$ على الترتيب نحصل على أنه في كلا الحالتين :

$$y_n - y_m = \frac{\lambda . L}{d}$$

● إيجاد البعد بين هدب مضيء وهدب معتم متتاليين :

يمكن إيجاد البعد بين الهدبين المختلفين المتتاليين من العلاقة :

$$y_n - y_m = \frac{\lambda . L}{2d}$$

$$y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{d}$$
$$\therefore \quad y_n - y_m = (1)\frac{\lambda . L}{d} = \frac{\lambda . L}{d}$$

$$y_n - y_m = (n-m)\frac{\lambda . L}{2d}$$
$$\therefore \quad y_n - y_m = (2)\frac{\lambda . L}{2d} = \frac{\lambda . L}{d}$$

almanahj.com/om
PHYSICS Genius

almanahj.com/om

● إيجاد أقصى عدد من الأهداب المضيئة أو المعتمة المتكونة على الشاشة (أو آخر رتبة من الأهداب يمكن الحصول عليها) :

في هذه الحالة نعوض عن مقدار ($\theta_m = 90°$) وعندها تصبح

$$sin\theta_m = 1$$

وبالتعويض في معادلة فرق المسار فإذا كان :

☜ الهدب مضيء فإن :

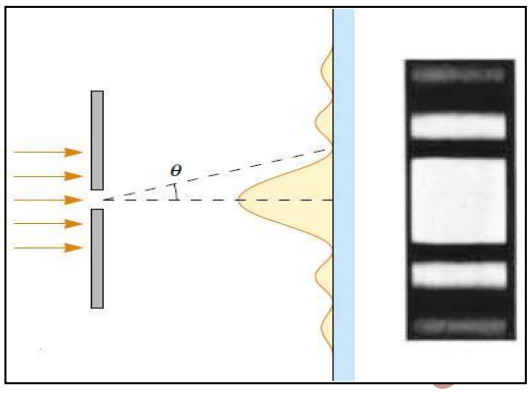
$$m = \frac{d}{\lambda}$$

☜ الهدب معتم فإن :

$$m = \frac{2d}{\lambda}$$

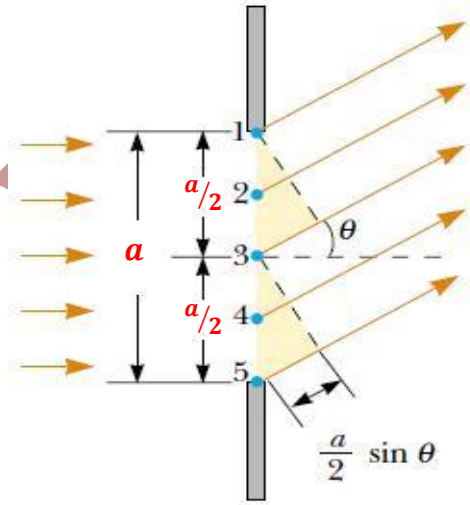
◄ **الحيود بواسطة الشق المفرد :**

تعلمنا فيما سبق ماذا يحدث للضوء في تجربة شقي يونج عندما يصطدم بحاجز به شقان وكيف يعمل الشقان وكأنهما مصادر مستقلة للضوء لتتداخل الموجات الصادرة كل منهما ويتكون أنماط للتداخل على شاشة خلف الحاجز وذلك بتطبيق مبدأ هيجنز على الشقين ، ولكن ماذا يحدث عند استخدام حاجز به شق مفرد ؟



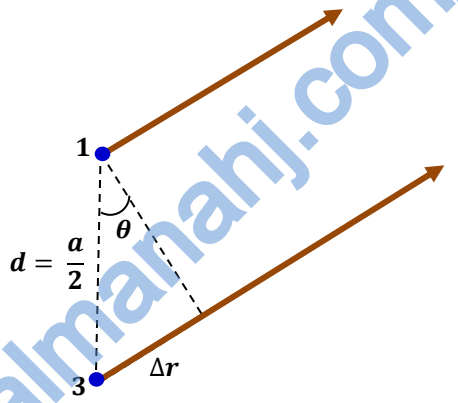

لنفترض الآن أنه يوجد لدينا حاجز به شق مفرد ويسقط عليه ضوء أحادي اللون ويتم استقباله على شاشة تبعد مسافة كبيرة من الحاجز , وعند مشاهدة الأهداب على الشاشة تكونت أهداب التداخل نفسها التي حصل عليها يونج في تجربة الشقين ما اختلاف بسيط كما في الشكل المقابل ، فكيف أمكن حدوث ذلك ؟!

أفضل طريقة لتفسير ذلك هي باعتبار أن الشعاع الضوئي الساقط على الشق قادم من مسافة بعيدة وبالتالي فإن جبهات لموجات مستوية سوف تصطدم بالحاجز ، فإن جميع النقاط في جبهة الموجة عندها سوف تصل إلى الشق في نفس اللحظة ، في تجربة يونج اعتبرنا أن كل شق من الشقين سوف يسلك سلوك مصدر ضوئي مستقل ، أما هنا فالأمر مختلف حيث أنه يتم تقسيم الشق وحسب مبدأ هيجنز إلى مجموعة من النقاط التي ستعمل كمصادر مستقلة ومتماثلة للضوء متفقة الطور وبالتالي فإن كل نقطة في بين حافتي الشق سوف تعمل نفس العمل الذي يقوم به كل شق في تجربة يونج ، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين موجات الضوء القادمة من كل نقطة فإذا كان التداخل بناء فسوف نحصل على بقعة مضيئة في الشاشة أما إذا كان التداخل هدام فسوف نحصل في المقابل على بقعة معتمة في الشاشة .




لتفسير كيفية حدوث ذلك , فإن أسهل طريقة هي تقسيم الشق إلى نصفين متساوين ، فإذا كان عرض الشق هو ($a$) فإن عرض كل نصف سيكون ($\frac{a}{2}$) ، ونفترض أن الشق ($a$) يحتوي على 5 نقاط أي سيكون لدينا 5 مصادر متماثلة ، كما هو موضح في الشكل المقابل .

وباعتبار أن الشاشة تقع على مسافة بعيدة جداً من الحاجز مقارنة بعرض الشق , وبالتالي فإنه وبنفس الطريق التي اعتمدناها في تجربة شقي




يونج ،فإننا سنعتبر أن الأشعة المنبعثة من كل نقطة في الشق سوف تكون متوازية مع بعضها البعض ، وعند إسقاط خط من الشعاع الأقصر منبعث من نقطة في النصف العلوي من الشق عمودي على الشعاع الأطول والمنبعث من نقطة تماثلها في الشعاع السفلي مثل النقطة (1) والنقطة (3) فنجد أن النقطة (1) توجد في أعلى الشق العلوي والنقطة (3) توجد في أعلى الشق السفلي وبالتالي فإن هاتين النقطتين تكونان متماثلتين وكذلك أيضاً بالنسبة للنقطتين (2) و (4) وأيضاً بالنسبة للنقطتين (3) و (5) وهكذا ، فإننا نحصل على فرق في المسار بين هاتين النقطتين كما في الشكل وهو يساوي فرق المسار بين أي نقطتين متماثلتين أخريتين ، يمكن إيجاده بتطبيق معادلة فرق المسار ليونج كما يلي :

$$\Delta r = d.sin\theta$$

حيث أن :

$d$ ← البعد بين النقطتين ونجد أن :

$$d = \frac{a}{2}$$

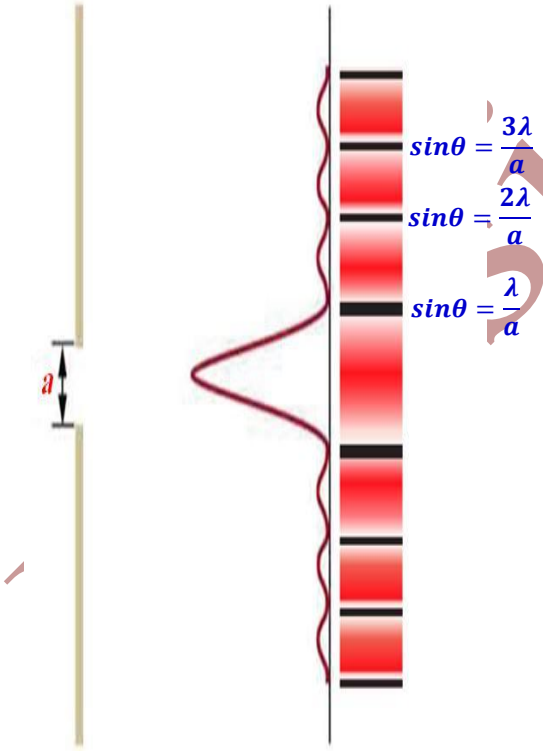
وعندها نحصل على :

$$\Delta r = \frac{a}{2}.sin\theta$$

وبالتالي سوف نحصل على تداخل هدام في الشاشة إذا كان فرق المسار :

$$\frac{a}{2}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$




وإذا قسمنا الشق إلى أربعة أقسام أيضاً فيمكن أن نحصل على تداخل هدام في الشاشة إذا كان :

$$\frac{a}{4}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{2\lambda}{a}$$

وكذلك يمكن الحصول على تداخل هدام في الشاشة إذا قسمنا الشق إلى 6 أسام متساوية وكان :

$$\frac{a}{6}.sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad sin\theta = \frac{3\lambda}{a}$$

وبالتالي نجد أنه يمكن الحصول على تداخلات هدامة في الشاشة إذا كان :

$$sin\theta = \frac{m\lambda}{a}$$

حيث أن $(m)$ تمثل رتبة الهدب المعتم وتساوي :

$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$

كما في الشكل المقابل .

☜ في الشق المفرد يمكن ملاحظة مايلي :

almanahj.com/om
Physics Genius

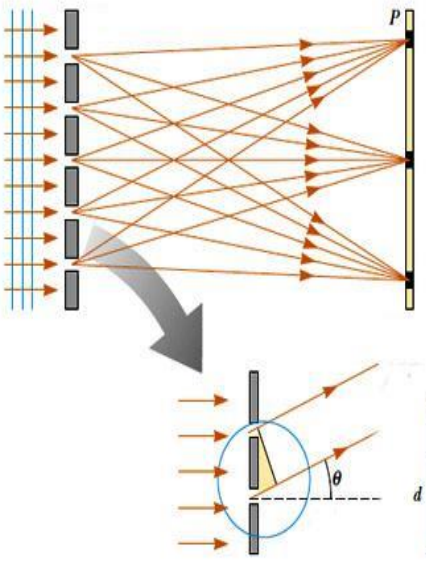
- شدة إضاءة الأهداب المضيئة تقل كلما أبتعدت عن الهدب المركزي .
- الهدب المركزي يكون أكثر الأهداب في شدة الإضاءة .
- سمك الهدب المركزي يساوي ضعف سمك الأهداب المضيئة .

## ◄ محزوز الحيود :

● **تعريف المحزوز :** هو حاجز يحتوي على مجموعة من الشقوق على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية على بعضها البعض ، كما في الشكل .

● **فكرة العمل :**

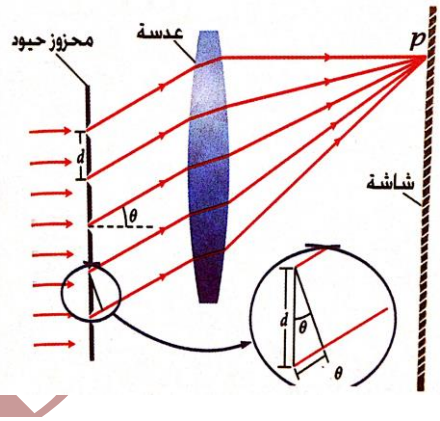
عند سقوط جبهة الموجات المستوية علي سطح المحزوز فإن كل شق في المحزوز وحسب مبدأ هيجنز سوف يؤدي إلى حدوث حيود للموجات الضوئية ويعمل كل شق وكأنه مصدر جديد للضوء بحيث تنتشر الموجات خلف كل شق في جميع الاتجاهات ، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين الموجات القادمة من كل الشقوق عند إلتقاءها مع بعضها البعض في نفس المسار وينتج عنه نمط تداخل بناء ونمط تداخل هدام على شاشة موضوعة خلف الحاجز كما في الشكل .



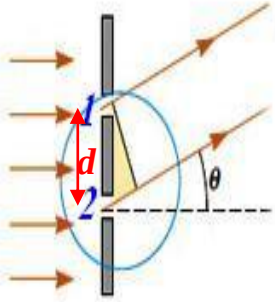

● **التفسير :**

نفترض مصدر ضوئي أحادي اللون موضوع على مسافة بعيدة جداً من المحزوز ويبعث موجات ضوئي باتجاه المحزوز ، وبالتالي فإن جبهات من الموجات المستوية سوف تصل إلى سطح المحزوز لتصطدم الجبهة على جميع الشقوق في نفس اللحظة ، عندها ستعمل الشقوق كمصادر مستقل ومتماثلة للضوء تبعث الضوء خلفها في جميع الاتجاهات لتسقط على شاشة تقع في مسافة بعيدة جداً عنها مقارنة ببعد الشقوق عن بعضها البعض .

نفترض أن الأشعة المنبعثة من الشقوق تسقط على نقطة في منتصف الشاشة ولتكن ($O$) ونظراً لأن الشاشة بعيدة جداً عن المحزوز مقارنة بالبعد بين الشقوق فإنه يمكن اعتبار أن الأشعة المنبعثة من الشقوق متوازية مع بعضها البعض وبالتالي فإنه يمكن استخدام عدسة محدبة لتجميع هذه الأشعة كما في الشكل وعندها نجد أن جميع الأشعة التي تسقط على النقطة ($O$) تقطع نفس المسافة ومنه نجد أن فرق المسار بين جميع النقاط سوف يساوي صفر وبالتالي سوف ينتج عنه نمط تداخل بناء وهدب مضيء عن هذه النقطة ويطلق عليه بالهدب المركزي .




لنفترض الآن أن الأشعة الضوئية تسقط على نقطة بعيدة من الهدب المركزي ولتكن ($P$) وبالتالي فإنه عند هذه النقطة سوف تقطع الأشعة مسافات مختلفة حتى تصل إلى النقطة ($P$) مما يؤدي إلى حدوث فرق في المسار بين هذه الأشعة ، ولو نظرنا إلى الشكل أدناه ، نجد أن الشعاع الصادر من النقطة ($1$) يقطع مسافة أقل من الشعاع الصادر من النقطة ($2$) وبالتالي فإنه عند إسقاط خط عمودي من بداية الشعاع الصادر من النقطة ($1$) على الشعاع الصادر من النقطة ($2$) وإذا كانت المسافة بين الشقين ($1$) و ($2$) هي ($d$) فإن فرق المسار بين الشعاعين الصادرين من كل منهما يساوي :




$$\Delta r = d.sin\theta$$

وإذا كان فرق المسار بينهما يساوي عدد صحيح من الأطول الموجيه أي أن:

almanahj.com/om
Sciences Genius

$$d.sin\theta = m\lambda$$

حيث أن :

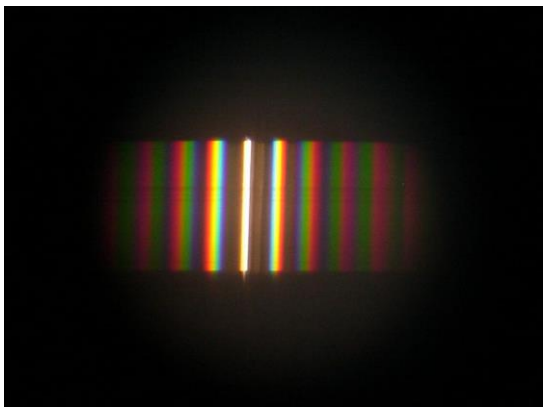
$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots\dots, \pm\infty$$

فإننا سنحصل على تداخل بناء بينهما ، وتتكرر العملية مع كل شقين متجاورين في المحزوز ، أي انه إذا حدث نمط تداخل بناء بين شقين متجاورين في المحزوز فإنه سيحدث نمط تداخل بناء مع جميع الشقوق المتجاورة الأخرى وسنحصل على بقعة مضيئة في الشاشة عند النقطة ($P$) وهكذا .

يمكن إيجاد البعد بين كل شقين متجاورين ($d$) بمعلومية عدد الشقوق في المحزوز حيث أن :

$$d = \frac{1}{n(\text{عدد الشقوق})}$$

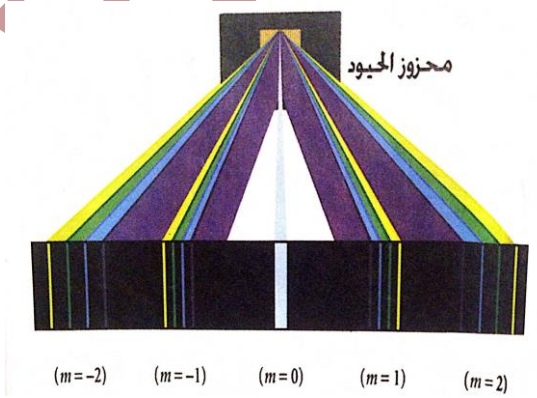
تمتاز أهداب التداخل في محزوز الحيود في أن منطقة الأهداب المعتمة أوسع بكثير من منطقة الأهداب المضيئة وتكون الأهداب المضيئة عبارة عن خطوط متساوية الشدة وعالية الوضوح كما في الشكل ويمكن تمييز أطرافها وبالتالي وبالرغم من نجاح تجربة شقي يونج في حساب الأطوال الموجية إلا أن محزوز الحيود مكن العلماء من الحصول على قياسات بالغة في الدقة للأطوال الموجية المختلفة ، كذلك ونظراً لحدة خطوط التداخل فإنه عند استخدام مصدر ضوئي متعدد الأطوال الموجية فإنه يمكن تمييز أهداب التداخل لكل طول موجي عن الأخر بمعرفة زاوية الهدب المضيء والطول الموجي للموجات الضوئية ، ومن خلال العلاقة أعلاه في حساب فرق المسار نجد أن :



$$\theta \ \alpha \ \lambda$$

وبالتالي فإن الضوء الذي له طول موجي أعلى سوف يكون هدب التداخل له لنفس الرتبة عند زاوية ($\theta$) أكبر ، ومن خلال هذه الخاصة أمكن العلماء من تحليل الضوء بواسطة محزوز الحيود أومكنهم من حساب الطول الموجي لجميع الألوان في الطيف المرئي بدقة عالية جداً .

ونظراً لأن الضوء الأحمر هو أكبر الألوان في الطول الموجي واللون البنفسجي هو أقلها فإن اللون الأحمر سوف يكون له أعلى زاوية بعد عن الهدب المركزي من بين جميع الألوان واللون البنفسجي هو أقلها لذلك عند تحليل الضوء بواسطة المحزوز نجد أن اللون البنفسجي هو أقرب الألوان من الهدب المركزي واللون الأحمر هو أبعدها عند نفس الرتبة كما هو موضح في الشكل المقابل.




يطلق على أول طيف على يمين أو يسار الهدب المركزي بإسم طيف الرتبة الأولى ويكون عنده رتبة الهدب ($m = \pm 1$) والطيف الذي يليه بطيف الرتبة الثانية ($m = \pm 2$) ..... وهكذا .

الهدب المركزي في محزوز الحيود عند تحليل الضوء يكون دائماً مضيء باللون الأبيض وذلك وكما ذكرنا أعلاه تكون جميع الأشعة الصادرة من الشقوق تقطع نفس المسافة إلى أن تصل إلى الهدب المركزي ويكون التداخل بين جميع الأشعة تداخلاً بناءً فتتداخل جميع الألوان مع بعضها عند تلك النقطة وينتج عنها اللون الأبيض عند الهدب المركزي .

almanahj.com/om
Physics Genius

● مميزات محزوز الحيود :

- أهداب التداخل عالية الوضوح يمكن تمييز حدودها بكل سهوله .
- يزداد وضوح أهداب التداخل بزيادة عدد الشقوق في المحزوز أي عند تقليل المسافة الفاصلة بين الشقوق ($d$).
- يزداد سمك الأهداب بزيادة عدد الشقوق .

almanahj.com/om
Physics Genius

almanahj.com/om

# الفصل السادس

# التأثير الكهروضوئي

Physics Genius

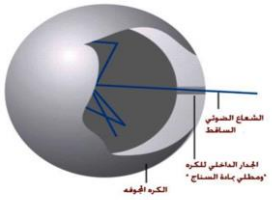
إعداد : عبقري الفيزياء

## ◄ تكميم الطاقة

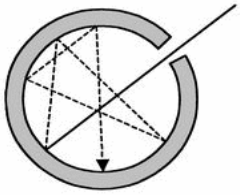
● **منحنى إشعاع الجسم الأسود المثالي :**

عند تسخين قضيب من الحديد فإننا نجد أن الإشعاع المنبعث منه يتغير كلما ارتفعت درجة حراراته , هكذا فإن الأجسام الساخنة تشع موجات كهرومغناطيسية وتختلف شدة الإشعاع المنبعث عنها باختلاف الطول الموجي الذي يتغير بتغير درجة الحرارة .

ويختلف نوع الإشعاع المنبعث من الأجسام المتوهجة على الإشعاع الذي قامت بامتصاصه ' أي أن الجسم المشع يقوم بامتصاص الأشعة الساقطة عليه وإذا ما ارتفعت درجة حرارته فإنه يقوم بإطلاق هذه الأشعة التي قام بامتصاصها , ويطلق على الجسم الذي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه ولا يعكس منها شيئاً وإذا ما تم تسخينه فإنه يطلق جميع هذه الأشعة بالجسم الأسود المثالي ويسمى الإشعاع المنبعث عنه بإشعاع الجسم الأسود.

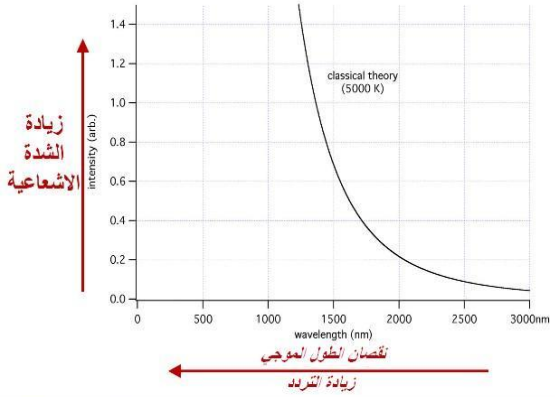



ويمكن تشبيه الجسم الأسود بكره مجوفة بها ثقب صغير يدخل منه الإشعاع وإذا ما نظرنا بداخل هذا التجويف من خلال الثقب فإن كل ما بداخله يبدو أسود , وذلك نتيجة الانعكاسات العديدة للشعاع داخل تجويف الكرة . أما إذا ما سخنت المرة فإن الإشعاعات بكل الأطوال الموجية التي قامت بامتصاصها من خلال الثقب ستنبعث عنه وبالتالي فإن هذه الكرة يطلق عليها جسم ممتص مثالي ومشع مثالي .



وقد قام العلماء بدراسة العلاقة بين شدة إشعاع الجسم الأسود المثالي والطول الموجي لشدة الإشعاع عند درجات حرارة مختلفة وقاموا بتمثيل هذه العلاقة في منحنى يعرف بإسم ( منحنى إشعاع الجسم الأسود ) , وقد كانت توقعات العلماء لهذا المنحنى وذلك بالاعتماد على النظرية الموجية كما يلي :

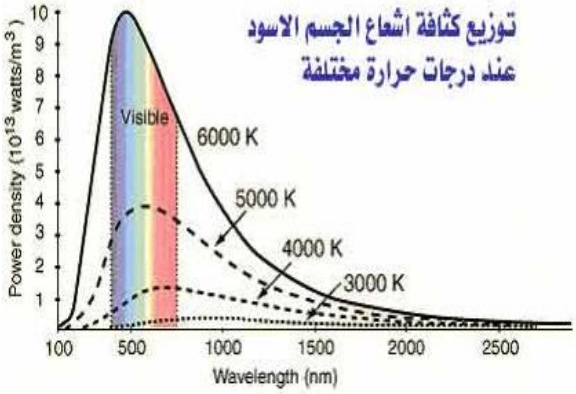
المنحنى حسب توقعات النظرية الموجية




- يعتمد تردد الإشعاع المنبعث على تردد جزيئات الجسم المشع .
- بزيادة درجة حرارة الجسم المشع يزداد تردد الجزيئات وبالتالي يزداد تردد الإشعاع المنبعث منه ويقل الطول الموجي .
- يمكن للجسم المهتز أن يبعث موجات كهرومغناطيسية (إشعاع) عند جميع الترددد والأطوال الموجية الممكنة وبصورة مستمرة .
- كلما اقترب الطول الموجي من الصفر فإن شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن تقترب من ما لانهاية .

* **النتائج التي حصل عليها العلماء :**

الشكل المقابل يوضح النتائج العملية التي حصل عليها العلماء للإشعاع المنبعث من الجسم الساخن عند ثلاثة درجات حرارة مختلفة . ويدرس المنحنى العلاقة بين شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن (المحور الصادي) والطول الموجي لهذا الإشعاع (المحور السيني)

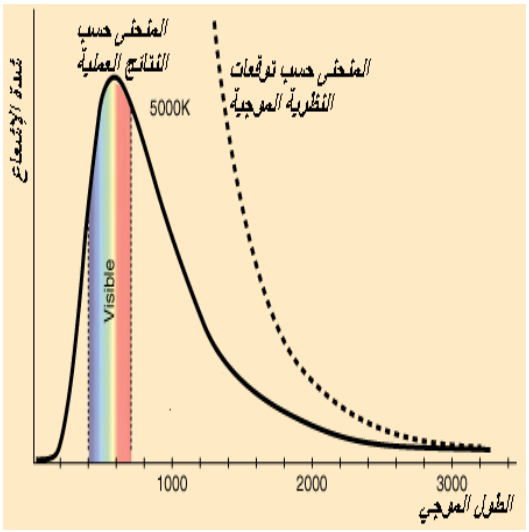



almanahj.com/om
IGCSE Genius

almanahj.com/om

ومن خلال هذا المنحنى نستطيع استخلاص الملاحظات التالية :

- المساحة تحت المنحنى توضح الطاقة الإجمالية المنبعثة بالنسبة لوحدة المساحة .
- كلما زادت درجة الحرارة كلما زادت المساحة تحت المنحنى أي يزداد مقدار الطاقة الإجمالية لوحدة المساحة المنبعثة من الجسم الساخن .
- ينزاح الطول الموجي لقمة المنحنى تدريجياً نحو اليسار (أي باتجاه الطول الموجي الأقل والتردد الأعلى) بزيادة درجة الحرارة.
- كلما اقترب الطول الموجي من الصفر تقترب شدة الإشعاع المنبعث أيضاً من الصفر .




* مقارنة بين توقعات النظرية الموجية والنتائج العلمية لمنحنى إشعاع الجسم الأسود :

من خلال المقارنة نجد أن الجزء الأيمن من المنحنى (عند الأطوال الموجية الكبيرة) يتفق مع توقعات النظرية الموجية حيث نجد إنه كلما قل الطول الموجي (التردد يزداد) كلما زادت شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود , إلا أن الجزء الأيسر من المنحنى (عند الأطوال الموجية القصيرة) لم يتفق مع توقعات النظرية الموجية حيث أننا نجد أنه عندما يقترب الطول الموجي للإشعاع من الصفر تقترب شدة الإشعاع أيضاً من الصفر وقد جاء معاكساً لتوقعات النظرية الموجية حيث كانت تتوقع وكما ذكرنا سابقاً أنه كلما اقترب الطول الموجي للإشعاع م الصفر فإن شدة الإشعاع تقترب من ما لانهاية . وهنا قد وجد الفيزيائيون صعوبة كبيرة في تفسير لماذا كلما أقترب الطول الموجي من الصفر تقترب شدة الإشعاع أيضاً من الصفر ؟!

● نظرية الكـــم :

في أواخر العام (1900م) تمكن العالم الألماني ماكس بلانك من وضع تفسيراً لمنحنى إشعاع الجسم الأسود لم يكن معقولاً ولا مقبولاً في ذلك الوقت , يتناقض تماماً مع الفيزياء الموجية وكان تبريره الوحيد في تقديم هذا التفسير هو إنه يعطي الجواب الصحيح ، فقد افترض بلانك في تفسيره :

☜ الطاقة المنبعثة أو الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود لا تنبعث بصورة مستمرة ولكنها مكماة أي على هيئة كميات محددة من الطاقة يطلق عليها الكمة وتتناسب طاقة الكمة ($E$) مع تردد الإشعاع الصادر ($f$) تناسباً طرديا

$$E \propto f$$

وأقل قيمة لطاقة الكمة تساوي :

$$E = h.f$$

حيث أن :

$h = 6.626 \times 10^{-34}\ J.s$ (ثابت بلانك)

ويمكن أن تمتلك الكمة قيم أعلى للطاقة تساوي مضاعفات صحيحة لأقل قيمة لطاقة الكمة , أي أن :

$$E = n\,h.f$$

**حيث أن :**

$n = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots$ (العدد الكمي أو الحالة الكمية)

○ **وحدة قياس طاقة الكمة هي الجول ($J$) ولكن نظراً لأن هذه الوحدة تعتبر كبيرة مقارنةً بمقدار طاقة الكمة فلقد تم اشتقاق وحدة اخرى تسمى الإلكترون فولت ($eV$) للتعبير عنها , حيث أن :**

$$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

*** تفسير بلانك لمنحنى إشعاع الجسم الأسود :**

**ينبعث الإشعاع من الجسم الأسود نتيجة لاهتزاز ذراته على شكل كميات محددة من الطاقة ' وعند درجة حرارة معينة تهتز الذرات بترددات مختلفة ويقل عدد الذرات المهتزة كلما زاد التردد بينما تهتز معظم الذرات بترددات متوسطة (عند قمة المنحنى) ويكون عدد الذرات المهتزة بترددات منخفضة قليل وهذا ما يفسر نقصان شدة الإشعاع على يمين ويسار المنحنى وارتفاعه عن المنتصف .**

● **تعميم آينشتاين لمبدأ تكميم الطاقة :**

**لم تمض أكثر من خمس سنوات على وضع بلانك لنظريته حتى استطاع آينشتاين أن يوسع من فكرة التكميم لتشمل جميع الموجات الكهرومغناطيسية وكانت كالتالي :**

**- يمكن لذرات الجسم المتذبذب أن تفقد أو تكتسب مقادير قليلة من الطاقة عندما تنتقل من حالة كمية إلى حالة كمية أخرى أعلى أو أقل , وأن مقدار ما تكتسبه أو تفقده من طاقة ($\Delta E$) يساوي الفرق بين الحالتين الكميتين اللتان انتقلت خلالهما ، فإذا كانت الذرة في حالة كمية ($n$) وانتقلت إلى الحالة الكمية ($m$) فإن مقدار ما تفقده أو تكتسبه من طاقة يساوي :**

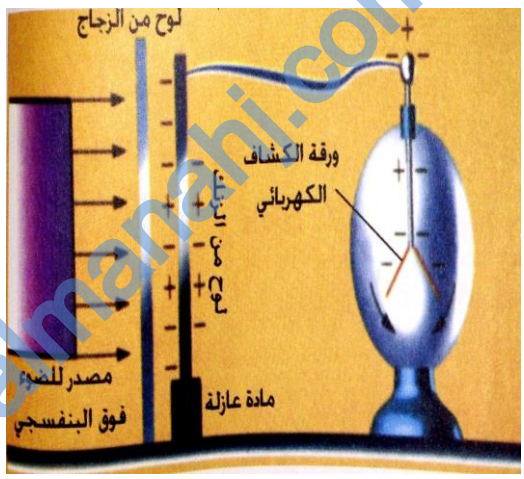
$$\Delta E = mhf - nhf$$

**- الطاقة التي تكتسبها أو تفقدها ذرات الجسم المتذبذب تكون على هيئة موجات كهرومغناطيسية أي أن الإشعاع الكهرومغناطيسي لابد أن يكون على هيئة كمات ويطلق عليها بإسم الفوتونات أي أن طاقة الفوتون لابد أن تساوي :**

$$E = h.f$$

almanahj.com/om
Physics Genius

## ◄ ظاهرة التأثير الكهروضوئي :




جاء اكتشاف ظاهرة التأثير الكهروضوئي على يد العالم هيرتز عام (1887م) عندما كان عاكفاً في تجاربه لمحاولة إثبات النظرية الموجية لماكسويل فقد لاحظ هيرتز أنه عند تسليط ضوء على سطح فلز يتصل بقرص كشاف كهربائي فإنه قادر على اقتلاع الالكترونات من سطحه ، وقد استدل هيرتز على ذلك من خلال انفراج ورقتي الكشاف الكهربائي ، وسميت فيما بعد هذه الظاهرة بإسم (ظاهرة التأثير الكهروضوئي) .

● تعريف التأثير الكهروضوئي :

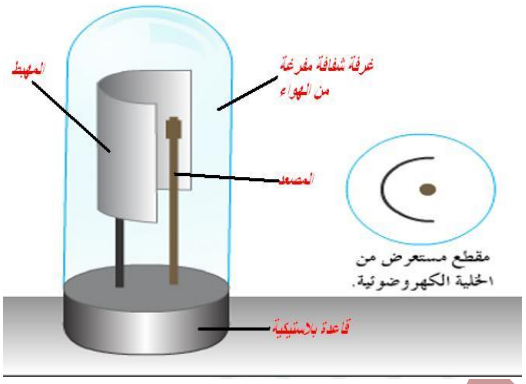
هي ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح الفلزات عند تسليط موجات كهرومغناطيسية مناسبة عليها .

كما ويطلق على الالكترونات المتحررة بفعل هذه الظاهرة بالإلكترونات الضوئية .

● تفسير الظاهرة :

* التجارب :

يوضح الشكل المقابل الجهاز المستخدم في تجارب تفسير الظاهرة وتعرف بإسم (الخلية الكهروضوئية) وهي تتكون من :




- قاعدة بلاستيكية تثبت عليها جميع محتويات الخلية .

- غرفة من الزجاج أو البلاستك الشفاف مفرغة من الهواء ومثبتة على القاعدة البلاستيكية .

- المهبط (الكاثود) : وهو عبارة عن نصف اسطوانة معدنية مطلية بطبقة من السيزيوم أو أحد العناصر الغنية بالالكترونات الحرة .

- المصعد (الآنود) : وهو عبارة عن قضيب أو سلك معدني يتمركز على محور الأسطوانة ويكون على هيئة سلك حتى لا يحجب الضوء عن المهبط وتسقط أكبر كمية ممكنة من الضوء عليه .

* توقعات النظرية الموجية على نتائج التجارب المتعلقة بالظاهرة :

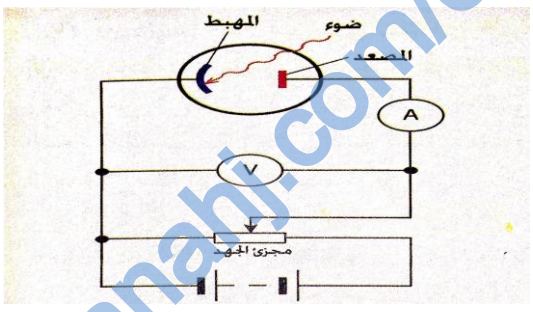
- تعتمد طاقة حركة الإلكترونات المتحررة على مدى تسخين الفلز وذلك يتم عن طريق تعريض سطح الفلز بشدة اضاءة , وبالتالي فإن تحرر الالكترونات يعتمد على شدة الإضاءة المسلطة .

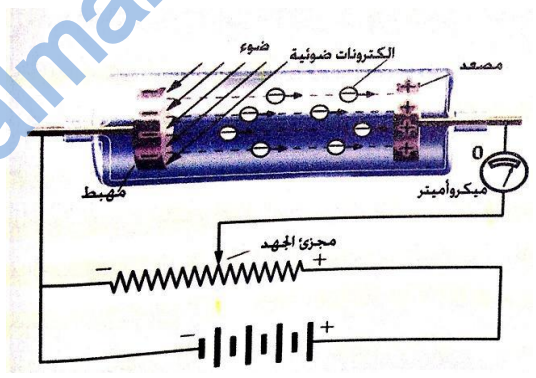
- تتوزع شدة الإضاءة على مساحة سطح الفلز بالتساوي وبالتالي فإنه يمكن لأي شدة إضاءة أن تعمل على تسخين سطح الفلز وبالتالي إكساب الإلكترونات طاقة حركة لتتحرر من سطح الفلز ويعتمد معدل التسخين على مقدار شدة الإضاءة فكلما كانت شدة الإضاءة عالية كلما كان معدل التسخين أعلى والعكس صحيح .

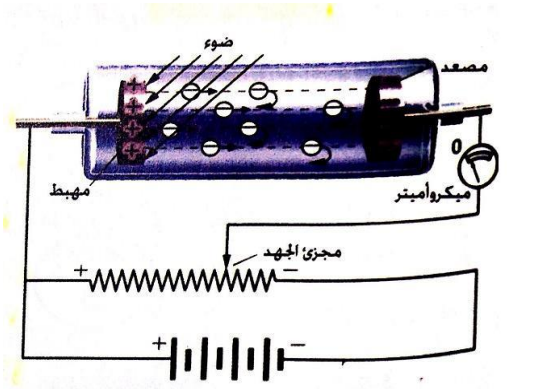
-لا تعتمد طاقة حركة الإلكترونات المتحررة على تردد الضوء الساقط وإنما على شدة الإضاءة المسلطة وفترة تسخين الفلز .

- بزيادة شدة الإضاء المسلطة على سطح الفلز يزداد عدد الإلكترونات المتحررة وكذلك طاقة حركتها .

almanahi.com/om
Physics Genius




☜ التجربة الأولى / تحرير الإلكترونات من سطح الفلز :

فيها يوصل طرفا الخلية الكهروضوئية (المهبط والمصعد) بمصدر للجهد للكهربائي (البطارية) بحيث يوصل المهبط بالطرف السالب للبطارية والمصعد بالطرف الموجب للبطارية , وعند تسليط ضوء مناسب على سطح الفلز (المهبط) فإن الإلكترونات ستتحرر من السطح ويعمل المصعد على جذب الإلكترونات المتحررة إليه وينتج عن ذلك مرور تيار كهربائي في الدائرة نلاحظه في قراءة الأميتر .

♦ الملاحظات :

- الإلكترونات المتحررة لا تمتلك نفس السرعة أثناء الإنبعاث من المهبط إلى المصعد وبالتالي لا تمتلك نفس المقدار من طاقة الحركة .
- بزيادة جهد المصعد تزداد شدة التيار تدريجياً إلى أن تصل إلى قيمة معينة تثبت عندها شدة التيار .

☜ التجربة الثانية / حساب طاقة حركة أسرع الإلكترونات :

نستطيع حساب طاقة حركة أسرعة عن طريق عكس توصيل كلاً من المهبط والمصعد بالنسبة للبطارية , حيث يوصل المصعد بالقطب السالب للبطارية والمهبط بالقطب الموجب للبطارية وبالتالي فإنه عند تسليط ضوء على سطح الفلز وتتحرر الإلكترونات من السطح فإن المصعد سوف يتنافر مع الإلكترونات ويؤثر عليها بجهد عكسي يعمل على ممانعة وصول الإلكترونات إليه وبالتالي فإن معظم الإلكترونات سترتد ولا تصل إلى المصعد إلا عدداً قبل منها والتي تمتلك أعلى طاقة حركة ولكن عند زيادة فرق الجهد تدريجياً فإن هذا الجهد سيمنع هذه الإلكترونات من الوصول إلى المصعد وعندها يسمى الجهد الذي يمنع وصول الإلكترونات التي تمتلك أكبر طاقة حركة من الوصول إلى المصعد بجهد الإيقاف ويرمز له بالرمز $(V_o)$ , ويعرف بأنه :

((أقل جهد سالب يستطيع إيقاف الإلكترونات التي تمتلك أقصى طاقة حركة من الوصول إلى المصعد))

في هذه التجربة نجد أن الإلكترونات عندما تكون على سطح المهبط فإنها تمتلك أعلى طاقة حركة $(KE_{max})$ ومقدارها يساوي :

$$KE_i = KE_{max}$$

في حين أن طاقة وضعها الكهربائية $(PE)$ تسايو :

$$PE_i = 0$$

أقل جهد يستطيع إيقاف أسرع الإلكترونات يمكن الحصول عليه عندما تكون الإلكترونات عند سطح المصعد وعنده تكون طاقة حركة الإلكترونات تساوي:

$$KE_f = 0$$

أما طاقة وضعها الكهربائية فتصبح أكبر ما يمكن وتساوي :

$$PE_f = e.V_o$$

وبتطبيق مبدأ حفظ كالطاقة على النظام نجد أن :

almanahj.com/om
Physics Genius

$$\Delta KE = -\Delta PE$$
$$KE_f - KE_i = -(PE_f - PE_i)$$
$$0 - KE_{max} = -(e.V_o - 0)$$
$$-KE_{max} = -e.V_o$$

ومنها نحصل على :

$$KE_{max} = e.V_o$$

حيث أن :

$e$ شحنة الإلكترون وتساوي $(1.6 \times 10^{-19} C)$

☜ التجربة الثالثة / إعادة التجربة الأولى مع تثبيت شدة الإضاءة وتغيير كلاً من تردد الضوء الساقط ونوع الفلز المستخدم :

في هذه التجربة نعيد توصي كلاً من المهبط بالقطب السالب للبطارية والمصعد بالقطب الموجب للبطارية ونقوم بتسليط الضوء على سطح فلزٍ ما ونقوم بتغيير تردد الضوء الساقط تدريجياً مع ثبات شدة الإضاءة ، ثم نغير نوع الفلز المستخدم ونعيد الكرة من جديد وهكذا .

♦ الملاحظات :

- ليس جميع الترددات لها القدرة على تحرير الإلكترونات الضوئية من سطح الفلز .
- هناك قيمة معينة للتردد يبدأ عندها الإنبعاث الكهروضوئي حيث أنه أقل من هذه القيمة لا يحدث إنبعاث وأعلى من هذه القيمة يحدث الإنبعاث الكهروضوئي .
- تتغير هذه القيمة مع تغير نوع الفلز المستخدم .
- يحدث الإنبعاث الكهروضوئي لحظياً بمجرد سقوط الضوء بتردد أعلى من أقل قيمة للتردد لهذا الفلز مهما كانت شدة الإضاءة .

☜ التجربة الرابعة / نثبت نوع الفلز المستخدم ونغير كلاً من تردد الضوء الساقط وشدة الإضاءة :

♦ الملاحظات :

- كلما زاد تردد الضوء الساقط كلما زادت سرعة الإلكترونات الضوئية أي تزداد طاقة حركتها .
- لا تتغير سرعة الإلكترونات المتحررة بزيادة شدة الإضاءة المسلطة .
- عند زيادة شدة الإضاءة فإن عدد الإلكترونات الضوئية يزداد وتزداد قراءة الأميتر (شدة التيار تزداد).
- عندما يكون تردد الضوء غير مناسب (أقل من أقل قيمة للتردد المناسب للإنبعاث) فإنه مهما كانت شدة الإضاءة المسلطة ومهما كانت الفترة الزمنية فإنه لن يحدث إنبعاث كهروضوئي .

almanahj.com/om
Physics Genius

☜ التجربة الخامسة / إعادة التجربة الثانية مع تغيير كل من تردد الضوء الساقط ونوع الفلز وتثبيت شدة الإضاءة المسلطة :

في هذه التجربة يكون المهبط متصلاً بالقطب الموجب للبطارية والمصعد بالقطب السالب للبطارية أن المصعد يسلط بجهد عكسي على الإلكترونات الضوئية المتحررة.

♦ الملاحظات :

- عند زيادة تردد الضوء الساقط وتثبيت نوع الفلز المستخدم يزداد جهد الإيقاف .
- بتغيير نوع الفلز وتثبيت تردد الضوء الساقط عند تردد معين ومناسب نجد أن جهد الإيقاف يتغير حسب نوع الفلز المستخدم .

* نتائج التجارب :

- الإلكترونات الضوئية لا تمتلك نفس المقدار من طاقة الحركة عند انبعاثها من سطح الفلز .
- طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة لا تعتمد على شدة الإضاءة المسلطة وإنما على تردد الضوء الساقط .
- شدة التيار تعتمد على شدة الإضاءة المسلطة .
- ليس جميع الترددات لها القدرة على تحرير الإلكترونات الضوئية من سطح الفلزات حيث أنها يجب أن تكون أكبر من قيمة معينة من التردد تعتمد على نوع الفلز المستخدم .
- جهد الإيقاف يعتمد على كلاً من :
  1- تردد الضوء المستخدم .
  2- نوع الفلز المستخدم .

وبمقارنة نتائج التجارب مع توقعات النظرية الموجية , نجد أن التجارب جاءت مخالفة تماماً لما كانت تتوقعه النظرية الموجية وبالتالي نجد أنها فشلت في تفسير هذه الظاهرة إلى أن تمكن العالم آينشتاين في عام (1905م) من تقديم تفسير مقبول وناجح لهذه الظاهرية معتمداً فيه على نظرية الكم لبلانك .

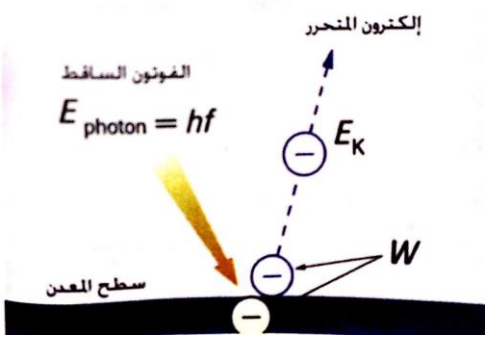
* تفسير آينشتاين لظاهرة التأثير الكهروضوئي :

كان تفسير آينشتاين للظاهرة الكهروضوئية يتضمن النقاط التالية :

- الضوء عبارة عن سيل من الفوتونات ويعتمد عدد الفوتونات على شدة الإضاءة أي أنه كلما زادت شدة الإضاءة كلما زاد عدد الفوتونات والعكس صحيح .
- كل فوتون يحمل طاقة مقدارها :

$$E = h.f$$

تعتمد على تردد الضوء الساقط , وبالتالي فإن عند الضوء أحادي اللون فإن جميع الفوتونات تحمل نفس المقدار من الطاقة مهما كانت شدة الإضاءة .




almanahj.com/om
hysics Genius

almanahj.com/om

- عند سقوط الضوء على سطح الفلز فإن الفوتونات سوف تسلك سلوك الجسيمات ويصطدم كل فوتون بإلكترون واحد فقط على سطح الفلز ، ونتيجة لهذا الإصطدام فغن الإلكترون سوف يمتص جميع الطاقة التي يحملها الفوتون وتصبح طاقة الإلكترون مساوية لطاقة الفوتون الذي قام بامتصاصه .

- يستخدم الإلكترون هذه الطاقة :

♦ أولاً / للتحرر من سطح الفلز ويعتمد مقدار هذه الطاقة على مدى ارتباط الإلكترون بالنواة في الفلز وتسمى هذه الطاقة بدالة الشغل ويرمز لها بالرمز ($W_o$) وتعرف بأنها :

((أقل طاقة للفوتون الساقط تلزم لتحرير الإلكترون من سطح الفلز دون إكسابه طاقة حركة)).

- أقل قيمة لتردد الفوتون الساقط التي تستطيع تحرير الإلكترون من سطح الفلز تسمى بتردد العتبة ويرمز لها بالرمز لها بالرمز ($f_o$)

- ويرتبط مقدار دالة الشغل بتردد العتبة من خلال العلاقة :

$$W_o = h.f_o$$

أي أن دالة الشغل تعتمد على نوع الفلز المستخدم .

♦ ثانياً / يستخدم الإلكترون جميع ما تبقى من الطاقة على هيئة أقصى طاقة حركة للانتقال من المهبط إلى المصعد ($KE_{max}$) .

ومنها يمكن القول أن :

$$E = KE_{max} + W_o \qquad \gg 1$$

وتعرف هذه المعادلة بمعادلة آينشتاين في التأثير الكهروضوئي .

- تختلف سرعة الإلكترونات المتحررة بسبب التصادمات التي تحدث بين الإلكترونات مع بعضها البعض ونتيجة لهذه التصادمات تفقد الإلكترونات جزءاً من طاقتها فتقل سرعتها وبالتالي فإن الإلكترونات التي تمتلك أكبر سرعة هي الإلكترونات التي خرجت بأقل عدد من التصادمات .

- بزيادة شدة الإضاءة فإن عدد الفوتونات تزداد ونظراً لأن كل فوتون يتعامل مع إلكترون واحد فقط فإن عدد الإلكترونات المتحررة سوف يزداد وهذا ما يفسر زيادة شدة التيار بزيادة شدة الإضاءة .

● استنتاجات حول معادلة آينشتاين :

* الاستنتاج الأول :

يمكن كتابة معادلة آينشتاين بالصورة التالية :

$$KE_{max} = E - W_o \qquad \gg 2$$

ومنها يمكن القول أن :

$$KE_{max} = h.f - h.f_o \qquad \gg 3$$

ومن خلال المعادلتين 2 و 3 نستنتج أن :

☜ إذا كان ($f > f_o$) فإن :

$$E > W_o$$

وعندها فإن الفوتون يصبح قادراً على تحرير الإلكترونات بحيث يتبقى جزءاً من الطاقة تستخدمه الإلكترونات على هيئة طاقة حركة قصوى .

☜ إذا كان $(f < f_o)$ فإن :

$$E < W_o$$

وعندها تكون طاقة الفوتون أقل من الطاقة التي يحتاجها الإلكترون حتى يتحرر من سطح الفلز وبالتالي لن يحدث إنبعاث كهروضوئي .

☜ إذا كان $(f = f_o)$ فإن :

$$E = W_o$$

أي أن الطاقة التي يكتسبها الإلكترون من الفوتون تكفي فقط لتحرير الإلكترون من سطح الفلز ولكن دون إكسابه أي طاقة حركة .

* الاستنتاج الثاني :

عند النظر إلى معادلة آينشتاين :

$$KE_{max} = h.f - W_o \quad \gg 4$$

فنجد أنها تشبه معادلة خط مستقيم من الدرجة الأولى كما يلي :

$$y = mx - c$$

حيث أن :

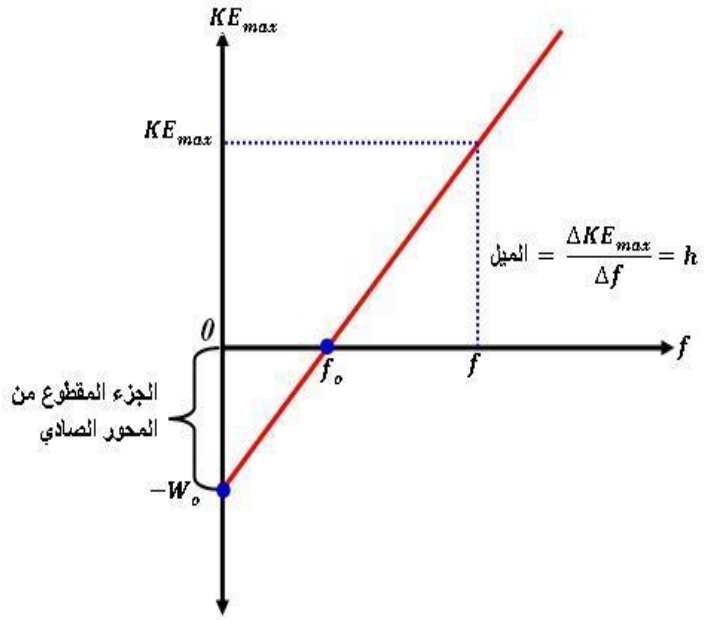
$y \rightarrow KE_{max}$ (المحور الصادي)

$m \rightarrow h$ (الميل)

$x \rightarrow f$ (المحور السيني)

$-c \rightarrow -W_o$ (الجزء المقطوع من محور الصادات)

وبالتالي فإنه يمكن تمثيلها بيانياً كما يلي :




almanahj.com/om
Physics Genius

نعلم أن :

$$c = \lambda . f$$

وبالتالي فإن :

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

ومنه يمكن التعويض عن تردد العتبة كما يلي :

$$f_o = \frac{c}{\lambda_o}$$

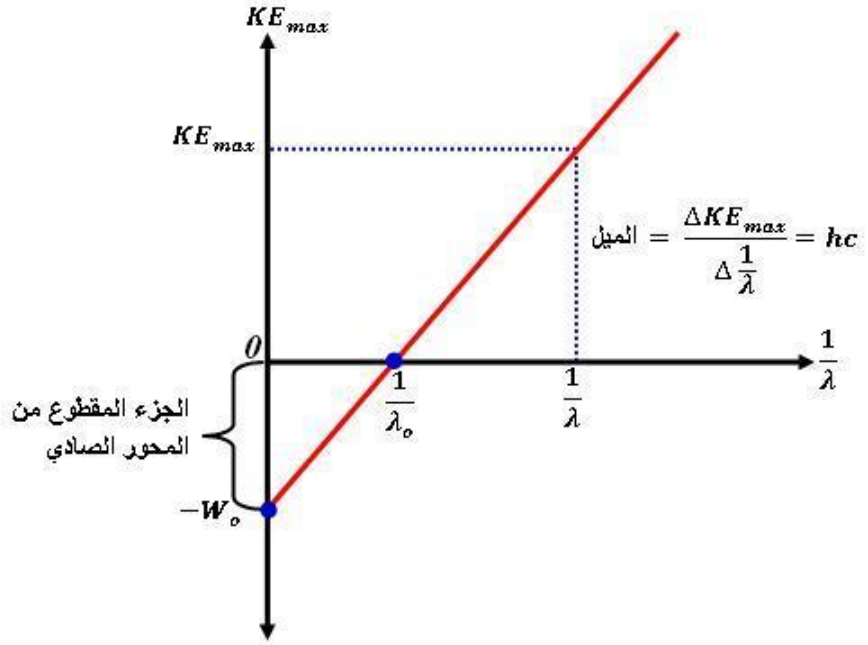
حيث أن :

$\lambda_o$ ← يسمى بالطول الموجي الحرج أو العتبة وهو أبر طول موجي للضوء الساقط يستطيع أن يحرر الإلكترونات من سطح الفلز دون إكسابه طاقة حركة .

وعند التعويض عن مقدار $f$ في المعادلة رقم 4 نحصل على :

$$KE_{max} = h.c\frac{1}{\lambda} - W_o$$

وبالتالي فإنه يمكن تمثيل هذه المعادلة بيانياً كما يلي :




نعلم أيضاً أن :

$$KE_{max} = e.V_o$$

وبالتعويض عن طاقة الحركة القصوى في المعادلة رقم 4 نحصل على :

$$e.V_o = h.f - W_o$$

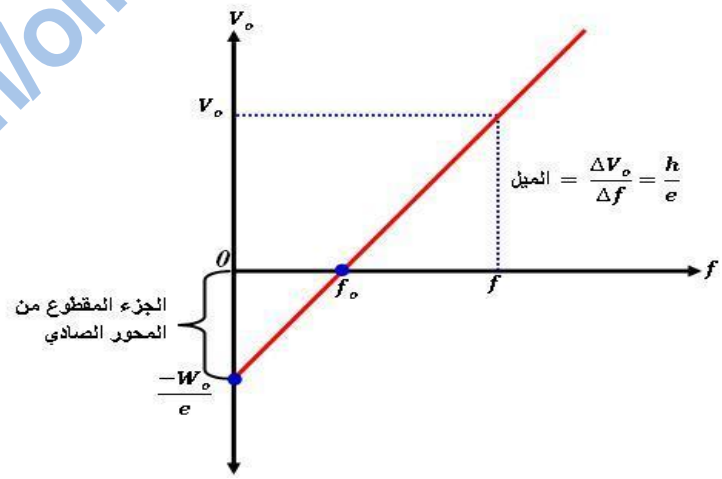
وبقسمة الطرفين على e نحصل على :

$$V_o = \frac{h}{e}.f - \frac{W_o}{e}$$

وبالتالي أيضاً يمكن تمثيل هذه المعادلة بيانياً بحيث يكون جهد الإيقاف في المحور الصادي وتردد الضوء الساقط في المحور السيني كما يلي :

almanahj.com/om
Physicus

almanahj.com/om



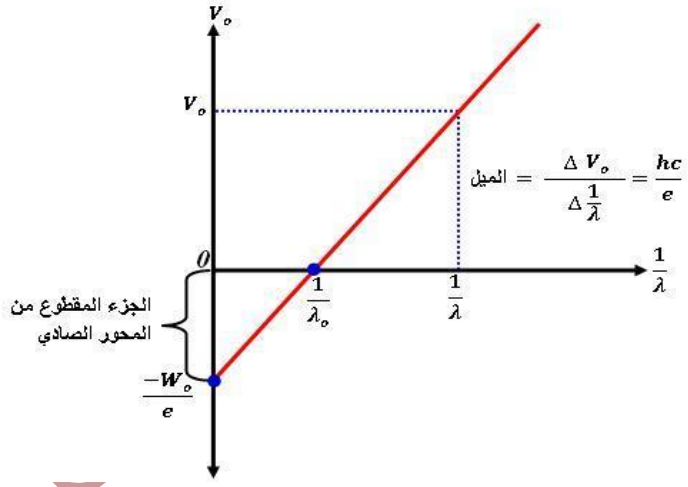

وكذلك عند التعويض عن تردد الضوء الساقط بالمقدار :

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

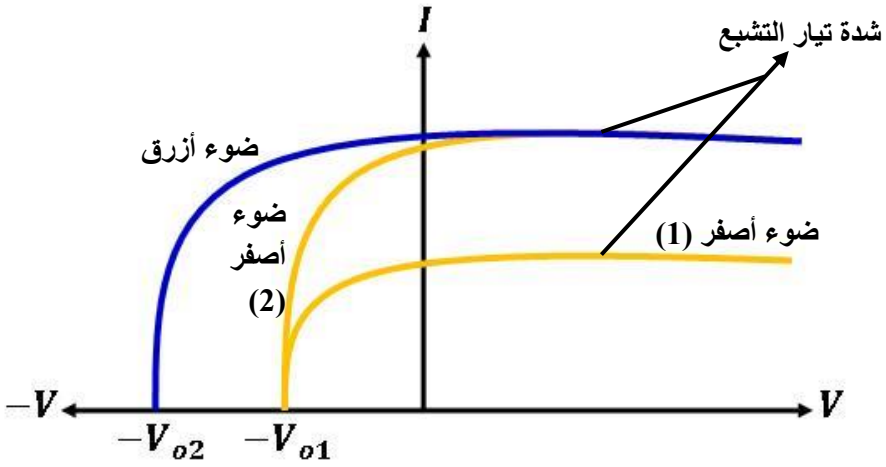
تصبح المعادلة الأخيرة كما يلي :

$$V_o = \frac{hc}{e}.\frac{1}{\lambda} - \frac{W_o}{e}$$

وعند تمثيلها بيانياً نحصل على :




- تمثيل العلاقة بين جهد المصعد وشدة التيار المار في الخلية الكهروضوئية:



من خلال المنحنى نلاحظ ما يلي :

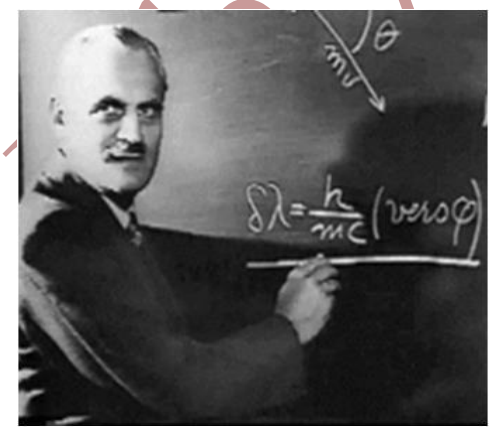
- جهد الإيقاف ($V_{o1}$) للضوء الأصفر (1) هو نفسه للضوء الأصفر (2) وذلك لأن الضوئين لهما نفس التردد (تردد اللون الأصفر) حيث أن جهد الإيقاف يعتمد على تردد الضوء الساقط .
- جهد الإيقاف ($V_{o2}$) للضوء الأزرق أكبر من جهد الإيقاف ($V_{o1}$) للضوء الأصفر , هذا يعني أن تردد الضوء الأزرق أكبر من تردد الضوء الأصفر حيث أنه بزيادة التردد تزداد طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة وبالتالي فإن الجهد اللازم لإيقافها سوف يزداد .
- بزيادة الجهد الموجب للمصعد تزداد شدة التيار المار في الخلية إلى أن تصل إلى مرحلة تثبت عندها شدة التيار وتعرف بشدة تيار التشبع .
- شدة التيار للضوء الأصفر (1) أقل من شدة التيار للضوء الأصفر (2) بالرغم من أنهما يمتلكان نفس التردد والسبب في ذلك أن شدة إضاءة الضوء الأصفر (1) أقل من شدة إضاءة الضوء الأصفر (2) .
- شدة التيار للضوء الأزرق تساوي شدة التيار للضوء الأصفر (2) بالرغم من أن لهما ترددان مختلفان وذلك لأن شدة إضاءة الضوء الأصفر (2) تساوي شدة إضاءة الضوء الأزرق .

## ◄ التطبيقات العملية على ظاهرة التأثير الكهروضوئية :

من أهم الأجهزة التي يعتمد عملها على ظاهرة التأثير الكهروضوئي نذكر منها :

- الوصلة الثنائية الضوئية .
- جهاز التنبيه ضد السرقة .
- البوابات الإلكترونية .
- أجهزة التحكم عن بعد .
- جهاز كاشف الدخان .

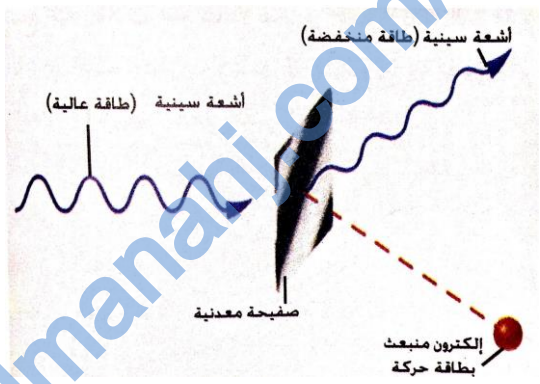
## ◄ تأثير كومبتون :




(إذا كان كلا من الضوء والأشعة السينية (x-ray) عبارة عن موجات كهرومغناطيسية فلابد أن ينطبق مفهوم الفوتون أيضاً عليها) هذا الافتراض الذي افترضه العالم الفيزيائي الأمريكي آرثر كومبتون عند دراسته لتشتت الأشعة السينية بواسطة صفيحة رقيقة من الجرافيت .

فقد لاحظ كومبتون أنه عند سقوط الأشعة السينية ذات الطول الموجي الموحد على سطح صفيحة من الجرافيت فإنها تتشتت وتنحرف عن مسارها الأصلي بزاوية معينة ويرافقها إنطلاق إلكترون بطاقة حركة ، وعند حساب التردد والطول الموجي للأشعة المتشتتة وجد كومبتون أن

almanahj.com/om
Physics Genius

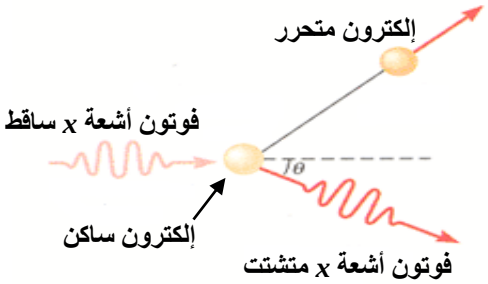



ترددها أقل من تردد الأشعة السينية الساقطة وطولها الموجي أكبر من الطول الموجي للأشعة الساقطة سميت فيما بعد هذه الظاهرة بإسم (تأثير كومبتون).

حاول كومبتون تفسير هذه الظاهرة باستخدام النظرية الموجية ولكنه فشل وذلك لأنه لم يجد التفسير المقبول في الإجابة على التساؤل (لماذا يتغير الطول الموجي للأشعة المتشتتة عند اصطدامها بسطح الصفيحة ؟!)

لجأ بعد ذلك كومبتون إلى نظرية الكم وبها طرح افتراضه وهو إذا كان الضوء والأشعة السينية عبارة عن موجات كهرومغناطيسية وبالتالي فإنه لابد وأن ينطبق مفهوم الفوتون على كل منهما ويمكن للأشعة السينية مثلها مثل الضوء أن تسلك سلوك الجسيمات وأن نوعاً من التصادم المرن يحدث بين فوتونات الأشعة السينية وإلكترونات ذرات الصفيحة مثل تصادم كرات البليارد , ونتيجة لهذا التصادم فإن فوتون الأشعة السينية الساقطة يعطي جزءاً من طاقته وكمية تحركه إلى الإلكترون الذي يستخدمها للتحرر من سطح الصفيحة والانطلاق بأقصى طاقة حركة ممكنة له ، في حين أن الفوتون سيتشتت بزاوية مقدارها ($\theta$) عن المسار الأصلي لفوتون الأشعة السينية الساقطة بطاقة أقل من طاقة الفوتون الساقط وطول موجي أكبر .

ونظراً لذلك فإنه لابد وأن ينطبق مبدأي حفظ الطاقة وحفظ كمية التحرك على هذا التصادم .




● **تطبيق مبدأ حفظ الطاقة :**

ينص قانون حفظ الطاقة في التصادم المرن على أن :

(الطاقة الكلية للنظام قبل التصادم لابد وأن تساوي الطاقة الكلية للنظام بعد التصادم)

النظام لدينا يتكون من فوتون وإلكترون ومنها يمكن القول أن:

$E_{photon}$ ← طاقة فوتون الأشعة السينية قبل التصادم .

$E'_{photon}$ ← طاقة فوتون الأشعة السينية بعد التصادم .

$E_{electron}$ ← طاقة الإلكترون قبل التصادم وبافتراض أنها مهملة بسبب ارتباط الإلكترون بالنواة قبل التصادم فإننا سنعتبرها تساوي صفر .

$E'_{electron}$ ← طاقة الإلكترون بعد التصادم وتكون على هيئة طاقة حركة قصوى($KE_{max}$) .

وعليه فإن :

$$E_{photon} + E_{electron} = E'_{photon} + E'_{electron}$$

$$\therefore E_{photon} + 0 = E'_{photon} + KE_{max}$$

نعلم أن :

$$E = h.f$$

ومنها إذاً :

$$h.f = h.f' + \frac{1}{2} m_e.v_{max}^2$$

almanahj.com/om
Physics Genius

almanahj.com/om

● تطبيق مبدأ حفظ كمية التحرك :

ينص مبدأ حفظ كمية التحرك على أن (كمية التحرك للنظام قبل التصادم لابد وأن تساوي كمية التحرك للنظام بعد التصادم)

ومنها إذا افترضنا أن :

$P_{photon}$ ← كمية تحرك الفوتون قبل التصادم .

$P'_{photon}$ ← كمية تحرك الفوتون بعد التصادم .

$P_{electron}$ ← كمية تحرك الإلكترون قبل التصادم وبافتراض أن الإلكترون قبل التصادم كان في حالة سكون (مرتبط بالنواة) فإن كمية تحركه قبل التصادم ستساوي صفراً .

$P'_{electron}$ ← كمية تحرك الإلكترون بعد التصادم .

وبالتالي يمكن القول أن :

$$P_{photon} + P_{electron} = P'_{photon} + P'_{electron}$$

$$\therefore P_{photon} + 0 = P'_{photon} + P'_{electron}$$

$$\therefore P_{photon} = P'_{photon} + P'_{electron} \quad \gg 1$$

نعلم أن :

$$P = m.v$$

♦ حساب كمية تحرك الفوتون :

نعلم أن الفوتون يتحرك بسرعة الضوء (c) وبالتالي فإن كمية تحركه تساوي :

$$P_{photon} = m_{photon}.c$$

ـ كيف نحسب كتلة الفوتون مع العلم أن الفوتون عبارة عن طاقة وأن كتلته السكونية تساوي صفراً ؟!

استطاع كومبتون من حساب كتلة الفوتون بالتعويض عنها في مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة لآينشتاين كما يلي :

$$E = m.c^2$$

ومنها فإن:

$$E_{photon} = m_{photon}.c^2$$

ومنها نحصل على :

$$m_{photon} = \frac{E_{photon}}{c^2}$$

وبالتعويض في قانون كمية تحرك الفوتون نحصل على :

$$P_{photon} = \frac{E_{photon}}{c^2}.c$$

$$\therefore \quad P_{photon} = \frac{E_{photon}}{c}$$

نعلم أن :

$$E = \frac{h.c}{\lambda}$$

ومنها إذاً :

$$P_{photon} = \frac{h.c}{\lambda.c}$$

$$\therefore \quad P_{photon} = \frac{h}{\lambda}$$

وبالتعويض في المعادلة (1) نحصل على :

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} + m_e.v_{max}$$

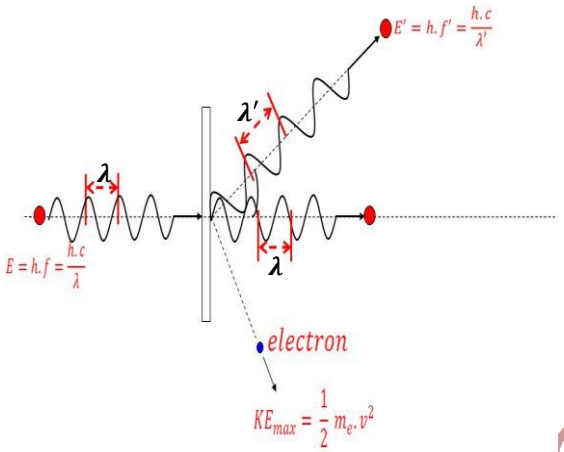
أو :

$$\frac{E}{c} = \frac{E'}{c} + m_e.v_{max}$$

♦ حساب التغير في الطول الموجي للفوتون :

استطاع كومبتون استنتاج أن مقدار التغير في الطول الموجي للفوتون الساقط والمتشتت يعتمد على مقدار زاوية إنحراف الفوتون المتشتت عن المسار الأصلي للفوتون الساقط من خلال العلاقة :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e.c}(1 - cos\theta)$$




حيث أن :

$\frac{h}{m_e.c}$ ← مقدار ثابت ويسمى الطول الموجي لكومبتون ويساوي ($2.43 \times 10^{-12}\ m$)

almanahj.com/om
Physics Genius

almanahj.com/om

# الطاقة النووية

PHYSICS GENIUS

## بعض خصائص النواة :

شهد العام 1896 م مولد ونشأت الفيزياء النووية وذلك على يد العالم الفرنسي هنري بيكريل , الذي اكتشف النشاطية الإشعاعية لعنصر اليورانيوم .

هذا الاكتشاف حفز العلماء لمعرفة حقائق وخفايا النشاطية الإشعاعية ومن بينهم العالم رذرفورد , حيث استطاع من خلال تجاربه العديدة أن يبرهن للعالم أن مصدر هذه الإشعاعات هو النواة .

وأصبح من اليقين الآن انه لفهم ظاهرة النشاطية الإشعاعية بصورة كاملة ودقيقة لابد لنا أولاً أن نتعرف على خصائص النواة .

ومن خلال تجارب رذرفورد أيضاً أصبحنا ندرك أن النواة عبارة عن جسم مركزي صغير جداً يبلغ نصف قطره حوالي $10^{-13}\ cm$ مشحونة بشحنة موجبة وتدور حولها الإلكترونات السالبة الشحنة في مدارات ذات أنصاف أقطار محددة .

almanahi.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ مكونات النواة :

**جميع الأنوية تتكون من نوعين من الجسيمات تعرف بالبروتونات والنيوترونات عدا نواة ذرة الهيدروجين التي تحتوي على بروتون واحد فقط ولا تحتوي على نيوترون .**

### ◙ البروتون :

**-يرمز له بالرمز ( p ) .**

**- جسيم نووي يحمل شحنة كهربائية موجبة مقدارها يساوي تماماً لشحنة الإلكترون وتساوي $1.6x10^{-19}\ C$ .**

**- تبلغ كتلته السكونية : $m_P = 1.673x10^{-27}\ Kg$**

**- كتلته تعادل 1836 مرة كتلة الإلكترون .**

### ◙ النيوترون :

**-يرمز له بالرمز ( n ) .**

**- جسيم نووي لا يحمل شحنة كهربائية فهو متعادل الشحنة .**

**- تبلغ كتلته السكونية : $m_n = 1.675x10^{-27}\ Kg$**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

◙ الإلكترون :

-يرمز له بالرمز ( e ) .

- جسيم نووي يحمل شحنة كهربائية سالبة مقدارها $1.6x10^{-19}\ C$ .

- تبلغ كتلته السكونية : $m_n = 9.11x10^{-31}\ Kg$

◄ وحدة الكتل الذرية ( a.m.u ) :

•يرمز لها اختصاراً بالرمز ( u )

•هي عبارة عن وحدة قياس تستخدم للتعبير عن كتلة الجسيمات الذرية وهي تعادل $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون $C_6^{12}$ حيث أن :

$$1u = 1.6605x10^{-27}\ Kg$$

ومنها يمكن التعبير عن كتلة كل من البروتون والنيوترون والإلكترون بوحدة u كما يلي :

$$m_p = 1.007276\ u$$
$$m_n = 1.008665\ u$$
$$m_e = 0.000548\ u$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ العدد الذري :

- يعبر عن عدد البروتونات داخل النواة وكذلك عن عدد الإلكترونات .
- يرمز له بالرمز ( Z ) .
- عدد البروتونات في أي ذرة لابد وأن يساوي عدد الإلكترونات .
- يختلف العدد الذري باختلاف نوع العنصر وهو يحدد الخصائص الكيميائية للعنصر .

## ◄ العدد الكتلي :

- هو مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات داخل النواة .
- يرمز له بالرمز ( A )
- يرمز لعدد النيوترونات لوحدها داخل النواة بالرمز ( N ) ومنها يمكن القول أن :

$$A = N + Z$$

- يوضح العدد الكتلي للذرة الكتلة التقريبية لها بوحدة u .
- من خلال ما سبق فإن نواة أي عنصر تمثل على هيئة ${}^{A}_{Z}X$ , حيث أن :

X يمثل الرمز الكيميائي للعنصر

A العدد الكتلي للعنصر

Z العدد الذري للعنصر

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

* مثال :

$$^{238}_{92}U$$

- اسم العنصر : اليورانيوم
- العدد الكتلي = 238
- العدد الذري = 92
- عدد البروتونات = 92
- عدد النيوترونات = 238 - 92 = 146
- عدد الإلكترونات = 92

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ النظائر :

- هي ذرات لنفس العنصر تحتوي على نفس العدد الذري وتختلف في العدد الكتلي وعدد النيوترونات .
- لها نفس الخصائص الكيميائية وتختلف في الخصائص الفيزيائية .
- تختلف في نسبة تواجدها في الطبيعة , وبعض النظائر غير موجودة في الطبيعة ويتم انتاجها مخبريا ( صناعياً ) .

* مثال :

$$^{11}_{6}C \; , \; ^{12}_{6}C \; , \; ^{13}_{6}C \; , \; ^{14}_{6}C$$

- من خلال الرمز الكيميائي نجد أن هذه الذرات تمثل نظائر عنصر الكربون .
- نجد أن جميعها تمتلك نفس العدد الذري ( Z ) وتختلف في العدد الكتلي ( A ) وعدد النيوترونات ( N )
- التسميات المميزة : يسمى النظير على حسب عدد الكتلي فمثلا النظير $^{11}_{6}C$ يسمى الكربون11 .... , وهكذا .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ التعبير عن وحدة الكتل الذرية ( a.m.u ) بوحدة الطاقة :

**يمكن أن نعبر عن وحدة الكتل الذرية بما يكافؤها من طاقة وذلك باستخدام مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة لآينشتين :**

$$E = m_{\circ}.c^2$$

**وبمعلومية أن :**

$$1\,u = 1.6605 \times 10^{-27}\,Kg$$

$$c = 3 \times 10^{8}\,m/s$$

**وبالتعويض في معادلة آينشتين عن كلاً منها نجد أن :**

$$E = \left(1.6605 \times 10^{-27}\right) \times \left(3 \times 10^{8}\right)^2$$

$$E = 14.924143 \times 10^{-11}\,J$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

وبتحويل المقدار من ( J ) إلى ( eV ) نحصل على :

$$E = 931.494 \times 10^6 \; eV$$

$$E = 931.494 \; MeV$$

ومنها نستنتج أن :

$$931.494 \; MeV = 1u \; . c^2$$

$$\therefore \quad 1u = \frac{931.494 \; MeV}{c^2}$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ طاقة الربط النووي :

عندما أراد العلماء حساب كتلة النواة , وبمعلومية مكونات النواة وكتلة كل منها بدا لهم الأمر غاية في البساطة , وهو أن :
كتلة النواة = مجموع كتل مكوناتها ( أي كتلة البروتونات مضافاً إليها كتلة النيوترونات ) , كما يلي :

$$M = Zm_p + Nm_n$$

حيث أن :

$M$ تعبر عن كتلة النواة .
$Zm_p$ تعبر عن كتلة البروتونات داخل النواة .
$Nm_n$ تعبر عن كتلة النيوترونات داخل النواة .

فمثلاً لو أردنا أن نوجد كتلة نواة ذرة الهيليوم $^4_2He$ فإن الكتلة المتوقعة هي :

$$M = (2 \times 1.00727) + (2 \times 1.008665)$$
$$= 4.031\,u$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

- ولكن التجارب العملية أثبتت أن الكتلة الفعلية لنواة الهيليوم تساوي **4.003 u** أي أن الكتلة الفعلية لنواة الهيليوم أصغر من كتلة مجموع مكوناتها ( المتوقعة ) بمقدار **0.0279u**
- سمي فيما بعد مقدار الفرق بين كتلة النواة ومجموع كتل مكوناتها بإسم النقص في الكتلة ويرمز له بالرمز ( **Δm** ) وبالتالي يمكن إيجاده من العلاقة :

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_N$$

حيث أن :

$M_N$ يعبر عن الكتلة الفعلية للنواة .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

ومعنى هذا أن مكونات النواة عندما تترابط مع بعضها لتكون النواة فإنها تفقد جزءاً من كتلتها ولكننا نعرف أن المادة لا تفنى ولا تستحدث وبالتالي فأين ذهب هذا النقص في الكتلة ؟!!

نعلم أن النواة تحتوي على عدد من البروتونات الموجبة الشحنة فإنه لابد أن تتولد بينها قوة تنافر كهربائية تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينها , وحيث أن المسافات بين البروتونات في النواة صغيرة جداً فإن قيمة قوى التنافر هذه تكون كبيرة للغاية بحيث أن النواة لا يمكن أن تتكون وإن تكونت فإنها سرعان ما تتفكك , إلا أن بقاء النواة متماسكة يدل على أن هناك قوى أخرى تربط البروتونات مع بعضها أي أنها قوى جذب وهذه القوى أقوى من قوى التنافر الكهربائية وهي التي تحافظ على تماسك واستقرار النواة أطلق عليها بإسم القوى النووية .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## خصائص القوى النووية :

- قوى تجاذب هائلة جداً .
- مداها قصير جداً في حدود من $0.5\times10^{-15}\ m$ إلى $5\times10^{-15}\ m$
- لا تعتمد على ماهية الجسيمات المتجاذبة او شحنتها , أي أنها تؤثر بين بروتون وبروتون , نيوترون وبروتون , نيوترون ونيوترون وهي متساوية إذا تساوت المسافات بينها .
- ليس لها أي تأثير خارج النواة .

ـ نظراً لأن هذه القوى لا تميز بين ماهية الجسيمات المتجاذبة فإنه يمكن اعتبار أن كلاً من البروتون والنيوترون داخل النواة جسماً واحداً ولهذا أطلق على أي منهما إسم النيوكلون ويطلق عليها مجتمعة نيوكلونات .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

من هنا نجد أن النيوكلونات حتى تترابط وتكون النواة فإنها لابد أن تبذل مقداراً من قوى التجاذب النووية مما يؤدي إلى أن هذه النيوكلونات تبذل شغلاً على بعضها البعض مما يجعلها تفقد جزءاً من طاقتها وهذا الفقد في الطاقة وحسب مبدأ آينشتين في تكافؤ الكتلة والطاقة يكون على حساب كتلتها أي أن الكتلة التي نقصت لم تفقد وإنما تحولت إلى طاقة وتسمى بإسم طاقة الربط النووي ويرمز لها بالرمز ( $E_b$ ) , ويمكن إيجاد مقدار الطاقة الناتجة من ترابط النيوكلونات لتكوين النواة وبمعلومية النقص في الكتلة من معادلة آينشتين :

$$E_b = \Delta m . c^2$$

$$E_b = (Zm_p + Nm_n - M_N) . c^2$$

وعند التعبير عن $\Delta m$ بوحدة الكتل الذرية u , يمكن القول أن :

$$E_b = (Zm_p + Nm_n - M_N) u . c^2$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

وبمعلومية أن :

$$1u = \frac{931.494\ MeV}{c^2}$$

وبالتعويض عنها في المعادلة الأخيرة نحصل على :

$$E_b = \left(Zm_p + Nm_n - M_N\right).\frac{931.494\ MeV}{\cancel{c^2}}.\cancel{c^2}$$

$$\therefore \quad E_b = \left(Zm_p + Nm_n - M_N\right)931.494\ MeV$$

مما سبق , نستطيع تعريف طاقة الربط النووي بأنها (( الطاقة اللازمة لربط مكونات النواة مع بعضها البعض أو لتفكيك مكونات النواة ))

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

كما تعرف هذه الطاقة بأنها الطاقة التي تساهم بها جميع النيوكلونات لكي ترتبط مع بعضها البعض وتكون النواة .

ولمعرفة متوسط ما يساهم به كل نيوكلون من طاقة لتكوين النواة فإننا نقسم مقدار طاقة الربط النووي على عدد النيوكلونات في النواة وهو ما يعرف بالعدد الكتلي , أي أن :

$$E_n = \frac{E_b}{A}$$

حيث أن $E_n$ هي متوسط طاقة الربط النووي لكل نيوكلون والتي يساهم بها مع غيره من النيوكلونات لتكوين النواة .

* مثال :

إذا علمت أن كتلة نواة الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي 16u وكتلة البروتون تساوي 1.00727u وكتلة النيوترون تساوي 1.00866u فأوجد مقدار كلاً من :

1- طاقة الربط النووي .

2- متوسط طاقة الربط النووي .

almanahi.com/om
PHYSICS GENIUS

* الحـل :

( 1 )

$$E_b = (Zm_p + Nm_n - M_N)931.494\ MeV$$

$$= [(8 \times 1.00727) + (8 \times 1.00866) - 16] \times 931.494\ MeV$$

$$= 118.71\ MeV$$

---

( 2 )

$$E_n = \frac{E_b}{A}$$

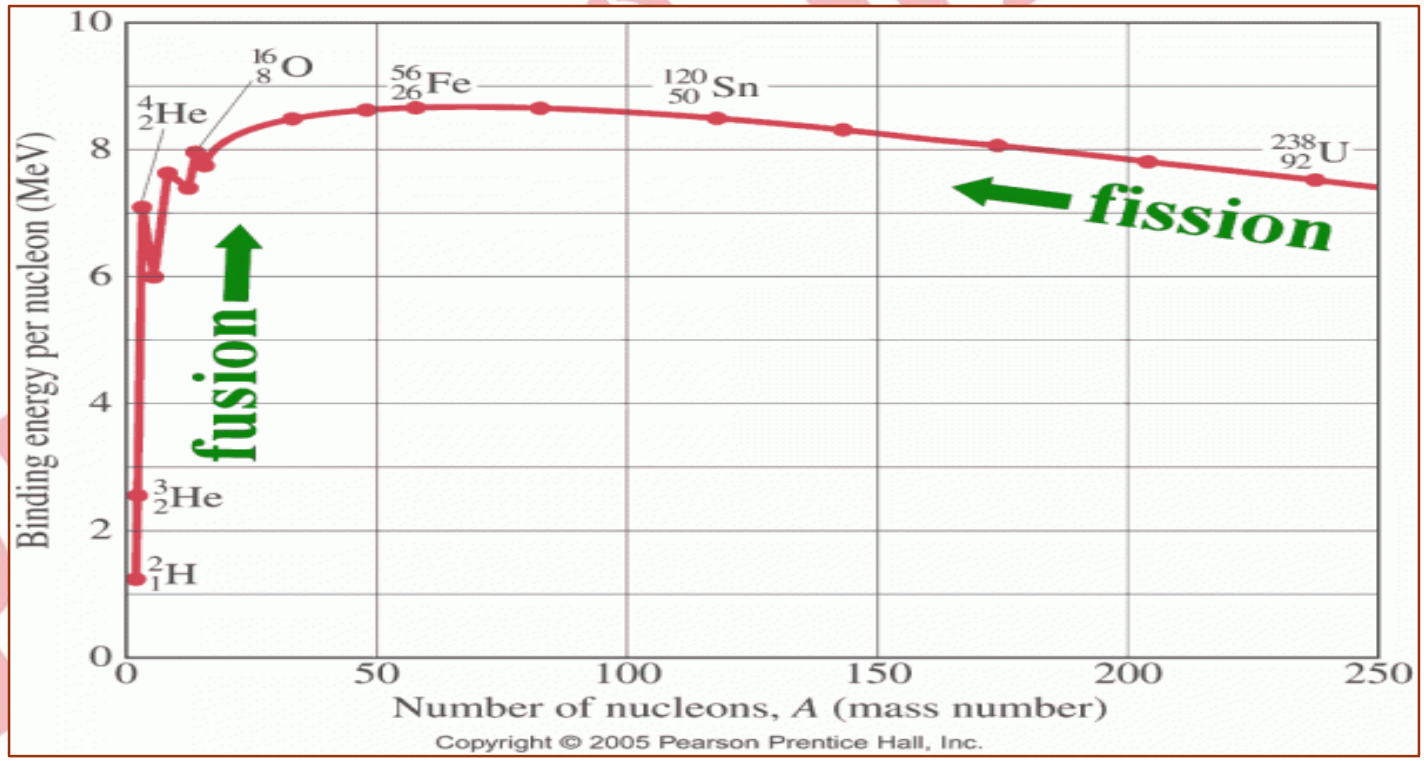
$$= \frac{118.71}{16}$$

$$= 7.419\ MeV$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

إن مقدار ما يساهم به كل نيوكلون من طاقة لتكوين النواة – وهو ما يعرف بمتوسط طاقة الربط النووي لكل نيوكلون $E_n$ – يعتبر مقياس لمدى تماسك واستقرار النواة فكلما زاد هذا المقدار كلما زاد تماسك واستقرار النواة والعكس صحيح .

* قام العلماء بحساب طاقة الربط النووي لكل نيوكلون لنوى عناصر مختلفة ودراسة علاقته مع عدد النيوكلونات في كل نواة ( A ) وتم توضيح العلاقة في منحنى يعرف بمنحنى طاقة الربط النووي لكل نيوكلون وكانت النتائج كما يلي :



## ◙ ملاحظات على المنحنى :

◄ متوسط طاقة الربط النووي لمعظم العناصر هو 8 MeV باستثناء العناصر الخفيفة .

◄ إن أكثر العناصر استقراراً هي تلك التي يزيد متوسط طاقة الربط النووي لكل نيوكلون لديها عن 8 MeV والتي يتراوح عددها الكتلي بين 40 ← 160 .

◄ أكثر العناصر استقراراً هي تلك العناصر التي تقع عند قمة المنحنى والتي يتراوح عددها الكتلي بين 58 ← 72 واكثر العناصر استقراراً هو النيكل الذي يتراوح متوسط طاقة الربط النووي لكل نيوكلون له عند 8.794 MeV ثم يليه الحديد 8.777 MeV

◄ بزيادة العدد الكتلي يزداد يزداد متوسط طاقة الربط النووي ليصل إلى أعلى قيمة له عند العدد الكتلي 62 ثم يبدأ بالتناقص تدريجياً بزيادة العدد الكتلي إلى أن يصل إلى أقل قيمة له وذلك عند عنصر اليورانيوم .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

◄ تعتبر العناصر التي يقل عددها الكتلي عن 20 من العناصر الخفيفة وهي أقل العناصر استقراراً وتقع على يسار المنحنى وبالتالي فإن هذه العناصر حتى تصل إلى الاستقرار فإنها لابد أن تقوم بعملية تعرف بعملية الاندماج النووي بهدف زيادة عددها الكتلي .

◄ تعتبر العناصر التي يزيد عددها الكتلي عن 160 بالعناصر الثقيلة وهي عناصر غير مستقرة وتقع على يمين المنحنى وبالتالي فإنها حتى تصل لحالة الاستقرار فإنها لابد أن تقوم بعملية الانشطار النووي بهدف تقليل عددها الكتلي .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

مما سبق نجد أن :

◄ **العنصر المستقر :** هو العنصر الذي تبقى نواته وحده واحدة عبر الزمن ولا يكون له أي نشاط إشعاعي

◄ **العنصر الغير مستقر :** هو العنصر الذي تنحل نواته عبر الزمن في عملية تعرف بالنشاطية الإشعاعية وهي عبارة عن تحول العنصر الغير مستقر إلى عنصر مستقر أو أكثر استقراراً عبر إشعاع ثلاثة أنواع من الأشعة وهي :

1- ألفا.
2- بيتا .
3- جاما .

amanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◄ خصائص الإشعاعات :

| نوع الإشعاع / الخصائص | ألفـــا $\alpha$ | بيتا $\beta$ | جـــامـــا $\gamma$ |
|---|---|---|---|
| طبيعتها | جسيمات ثقيلة نسبيا عبارة عن نواة ذرة الهيليوم | إلكترونات او بوزيترونات | موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية |
| رمزها الكيميائي | $^{4}_{2}He$ | الإلكترون: $^{0}_{-1}e$<br>البوزيترون: $^{0}_{+1}e$ | $\gamma$ |
| شحنتها | موجبة | الالكترون سالب ( - )<br>البوزيترون موجب ( + ) | غير مشحونة |
| تأثرها بالمجال الكهربائي | تنحرف عن مسارها | تنحرف عن مسارها | لا تتأثر |
| تأثرها بالمجال المغناطيسي | تنحرف عن مسارها | تنحرف عن مسارها | لا تتأثر |
| النفاذية | ضعيفه حيث انها لا تستطيع اختراق صفيحة من الألمنيوم سمكها اكبر من 0.01 mm | اكبر من ألفا ، حيث انها لا تستطيع اختراق صفيحة م الألمنيوم سمكها اكبر من 3mm | يمكنها اختراق صفيحة من الألمنيوم سمكها بضعة سنتيمترات |
| القدرة على تأيين جزيئات الوسط | كبيرة جداً | اقل بكثير من ألفا | أقل بكثير من ألفا وبيتا |
| سرعتها | 10% من سرعة الضوء | 50% من سرعة الضوء | سرعة الضوء |
| معادلة التفاعل | $^{A}_{Z}x \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$ | $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$<br>$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$ | $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$ |

almanahj.com/om

## ◄ انبعاث ألفـا :

-حتى تستطيع نواة العنصر الغير مستقر أن تبعث جسيم ألفا فإنه لابد أن تكون كتلتها أكبر من مجموع كتل الأنوية الناتجة .

- عند انبعاث دقيقة بيتا فإن العدد الكتلي للعنصر يقل بمقدار 4 والعدد الذري يقل بمقدار 2 .

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

- يحدث انبعاث ألفا عادة للأنوية التي يزيد عددها الذري عن 83 وعددها الكتلي عن 207 .

* مثال :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

almanahj.com/om
PHYSICS

## ◄ انبعاث بيتا :

- هي جسيمات تنبعث من النواة وليست الالكترونات الموجودة في المدارات وحتى تستطيع نواة العنصر الغير مستقر أن تبعث جسيم بيتا فإنه لابد أن تكون كتلتها أكبر من كتلة النواة الناتجة .

- انبعاث بيتا ينقسم إلى نوعين :

1- بيتا سالبة وتسمى الالكترونات

2- بيتا موجبة وتسمى البوزيترون وهو مشابه تماماً للالكترون في جميع الخصائص عدا أن شحنته موجبة.

- عندما تنبعث دقيقة بيتا فإن العدد الكتلي للذرة يبقى ثابت والعدد الذري يزداد بمقدار 1 في حالة الإلكترون أما في حالة البوزيترون فإن العدد الذري يقل بمقدار 1 , كما يلي :

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^{-} $$

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} $$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

-طاقة حركة جسيمات بيتا تتراوح بين الصفر وأقصى قيمة لها مما يجعلنا نشك في قانون بقاء الطاقة وكمية التحرك وقد حير هذا الأمر العلماء لفترة من الزمن إلى أن اقترح العالم النمساوي باولي أن جسيما صغيرا آخر ينبعث مع جسيمات بيتا ويشاركها في الطاقة وكمية التحرك وسمي هذا الجسيم بالنيوترينو او النيوترينو المضاد ويرمز له بالرمز ν وهو يعني الجسيم الصغير المتعادل وقد افترض وجود هذا الجسيم حتى يحقق مبدأ حفظ الطاقة وكمية التحرك , وبتجارب معقدة استطاع العلماء فيما بعد من التحقق من وجود هذا الجسيم .

- ينبعث النيوترينو $\nu$ برفقة البوزيترون اما النيوترينو المضاد $\overline{\nu}$ فينبعث برفقة الالكترون .

* مثال :

-انبعاث الإلكترون :

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^{-} + \overline{\nu}$$

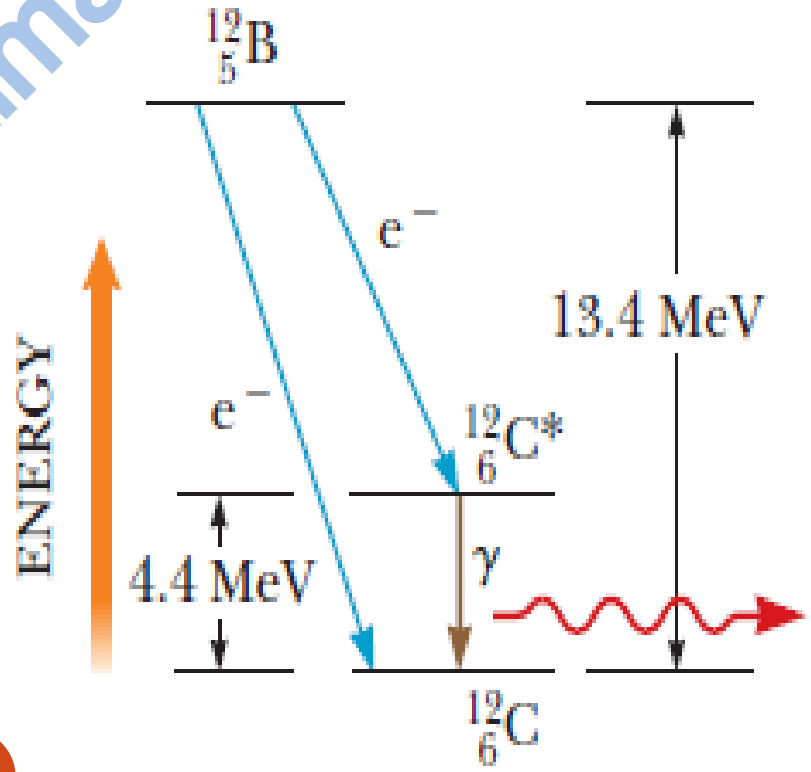
- انبعاث البوزيترون :

$$^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + e^{+} + \nu$$

almanahi.com/ar
PHYSICS GATE

## ◄ انبعاث جاما :

- هي موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية جداً تنبعث عن النواة.
- انبعاث جاما لا يؤثر في أيٍ من العدد الكتلي أو العدد الذري للذرة .
- تنبعث أشعة جاما لتتخلص النواة من الطاقة الزائدة لتصل إلى حالة الخمود.
- عادةً تكون مصاحبة لانبعاث أشعة ألفا أو بيتا .




$$^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

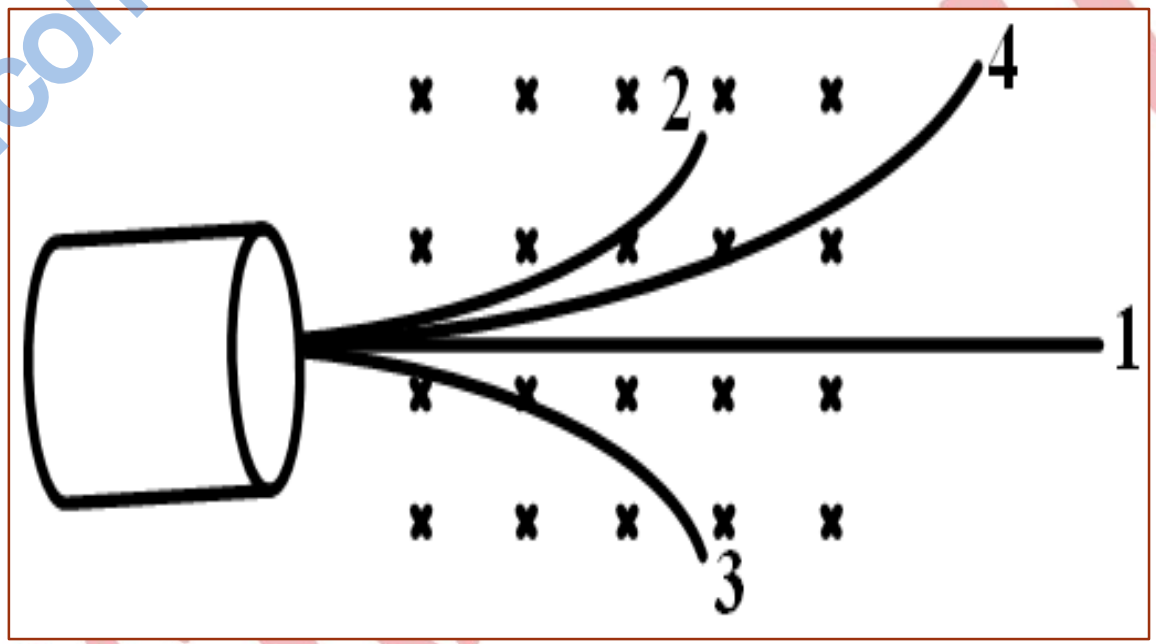
* مثال :

$$^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C^* + e^- + \overline{\nu}$$

$$^{12}_{6}C^* \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma$$

almanahj.com/om

◄ شكل توضيحي يوضح تأثر الإشعاعات بالمجال المغناطيسي والاختلاف بينها :



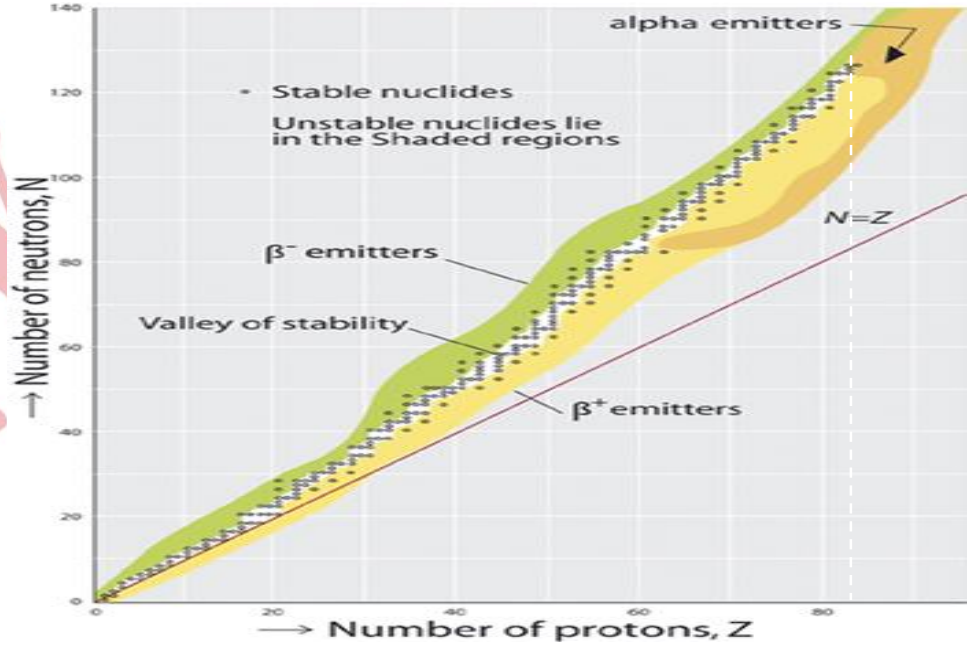

حيث أن :

- المسار رقم 1 يمثل مسار أشعة جاما .
- المسار رقم 2 يمثل مسار دقيقة البوزيترون .
- المسار رقم 3 يمثل مسار دقيقة الإلكترون .
- المسار رقم 4 يمثل مسار دقيقة ألفا .

almanahj.com/om
PHYSICS

## النشاط الإشعاعي:

حاول العلماء معرفة العوامل التي تجعل العنصر يشع ألفا أو بيتا أو جاما حيث قاموا بدراسة العلاقة بين استقرار الأنوية وعلاقتها مع النسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات وقد تبين أن عدم استقرار النواة ناتج من الصراع الدائم بين قوتين هما القوة النووية التي تجذب النيوكلونات بعضها لبعض وقوة كولوم الكهربائية التي تسبب في تنافر البروتونات في النواة ووجود النيوترونات داخل النواة يعمل على تخفيف قوة التنافر بين البروتونات وبالتالي فإن هذه النسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات توضح مدى استقرار النواة وكذلك توضح السبب في عدم استقرارها ويوضح المنحنى التالي العلاقة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات وعلاقتها باستقرار النواة ومنه نجد أن :



♦ النقاط السوداء في المنحنى توضح موقع العناصر المستقرة في المنحنى , وقد وجد انه ما يقارب من 2500 نواة تم ملاحظتها منها تقريبا 300 نواة هي أنوية مستقرة فقط والباقي غير مستقرة .

♦ عند رسم خط مماسي مستقيم بحيث يمر بالنقاط السوداء ( العناصر المستقرة ) ويسمى خط الاستقرار ويكون ميله مساوياً للواحد الصحيح أي أن فيه تكون نسبة عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات N/Z تساوي الواحد وفيه نجد أن أنوية العناصر التي يقل عددها الذري عن 20 هي فقط التي تنطبق على هذا الخط أما أنوية العناصر التي يزيد عددها الذري عن 20 فإن ميلها يزداد تدريجيا كلما زاد العدد الذري ليصبح اكبر من الواحد ويصل إلى أعلى قيمة له عند أنوية العناصر التي عددها الذري 83 لتصبح النسبة N/Z تساوي تقريباً 1.6 .

♦ العناصر التي يكون عددها الذري اقل من 20 هي عناصر خفيفة وحتى تكون مستقرة لابد أن يكون فيها N/Z يساوي 1 .

♦ العناصر التي يكون عددها الذري بين 20 – 83 ليس هناك نسبة ثابته ومحدده لها كما ذكرت أعلاه إلا إنه لابد أن يكون فيها عدد النيوترونات اكبر من عدد البروتونات بحيث تقع على نفس خط استقرار الذي تظهره النقاط السوداء وبالتالي فإنه إذا كانت النسبة N/Z أعلى خط استقرار هذه الأنوية ( المنطقة التي باللون الأخضر ) فإن نواة هذا العنصر تكون غير مستقرة وهذا يدل على أن عدد النيوترونات N أكبر حد الاستقرار وبالتالي فإن العنصر حتى يصل غلى حالة الاستقرار لابد أن يقلل من عدد N



almanahj.com/om

وحتى يحدث ذلك فإن النواة تتخلص من أحد نيوتروناتها عن طريق تحوله إلى بروتون وإلكترون يضل البروتون داخل والنواة ويتم قذف الإلكترون إلى خارج النواة على هيئة إشعاع بيتا سالبة , وبالتالي فإن العدد الكتلي للنواة يبقى ثابت ولكن عدد البروتونات يزداد بمقدار 1 وعدد النيوترونات يقل بمقدار 1 وعندها تقترب النسبة N/Z من حد الاستقرار .

$$ {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + \beta^{-} $$

♦ إذا كانت النسبة N/Z بنواة عنصر ما أسفل خط الاستقرار ( المنطقة التي باللون الأصفر ) فهذا يعني أن عدد البروتونات لهذه النواة أعلى من حد الاستقرار وحتى تصل هذه النواة إلى حد الاستقرار فإنها تقوم بالتخلص من أحد بروتوناتها بتحويله إلى نيوترون وبوزيترون بحيث يضل النيوترون داخل النواة ويتم قذف البوزيترون إلى خارجها على هيئة إشعاع بيتا موجبة وهنا أيضا العدد الكتلي يبقى ثابت ولكن عدد النيوترونات يزداد بمقدار 1 وعدد البروتونات يقل بمقدار 1 وعندها تقترب النسبة N/Z من حد الاستقرار .

$$ {}^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + \beta^{+} $$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

♦ أما أنوية العناصر التي يزيد عددها الذري عن 83 فهي أنوية ثقيلة وغير مستقرة وهي موضحة في المنحنى باللون البني وحتى تصل هذه العناصر إلى حد الإستقرار فإنها تقوم بإبعاث دقيقة ألفا

## الإنحلال الإشعاعي و النشاطية الإشعاعية:

إن عملية إشعاع جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما لأنوية العناصر الغير مستقرة تؤدي كما رأينا سابقاً إلى تغير العدد الذري في جميع الحالات وهذا يعني أن أنوية هذه العناصر تتحول إلى أنوية عناصر أخرى أكثر إستقراراً وبالتالي فإنه لو كان لدينا مادة لعنصر مشع غير مستقر وتحتوي على عدد N من الأنوية فإنه نتيجةً لانبعاث جسيمات ألفا وبيتا وتحولها إلى أنوية لعناصر أخرى نجد أن عدد أنوية مادة هذا العنصر تقل مع الزمن وتعرف هذه العملية التي تؤدي إلى تناقص عدد أنوية عنصر غير مستقر بسبب الإشعاع بعملية الإنحلال الإشعاعي وهي عملية عشوائية لا يمكن التنبؤ بها فقد تحدث الآن أو بعد يوم وقد تحدث بعد سنة أو .....

وتعرف العملية التي تتحول فيها نواة عنصر إلى نواة عنصر آخر نتيجة لفقد جسيمات ألفا أو جسيمات بيتا وعادة يصاحبها انبعاث طاقة على هيئة أشعة جاما لكي تصل فيها نواة العنصر إلى حالة أكثر استقراراً بعملية النشاطية الإشعاعية أو هي معدل ما ينحل من أنوية العنصر نتيجة اشعاع جسيمات ألفا وبيتا .



almanahj.com/om
PHYSICS ONLINE

يمكن حساب النشاطية الإشعاعية لعنصر ما على أسس احتماليه , فلو إفترضنا أنه عند لحظة معينة ولتكن t كان عدد أنوية هذا العنصر N وبعد فترة زمنية $\Delta t$ كان عدد ما ينحل من هذه الأنوية هو $\Delta N$ فإن النشاطية الإشعاعية لهذا العنصر يمكن التعبير عنها بالرمز $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ وقد تبين أنها تتناسب طردياً مع عدد أنوية العنصر المنحل N أي أن :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \alpha\ N$$

وعند التعويض عن علاقة التناسب بعلاقة يساوي تصبح المعادلة :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \text{ثابت التناسب}\ N$$

يسمى ثابت التناسب بإسم ثابت الانحلال ويرمز له بالرمز $\lambda$ وهو يعتمد على نوع العنصر وهو ثابت للعنصر الواحد , وعندها تصبح المعادلة :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

وبما أن عدد الأنوية يتناقص عبر الزمن فإنه تم وضع إشارة سالبة في القانون للدلالة على ذلك , وبالتالي فإن العلاقة الأخيرة تكتب بالصورة :

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

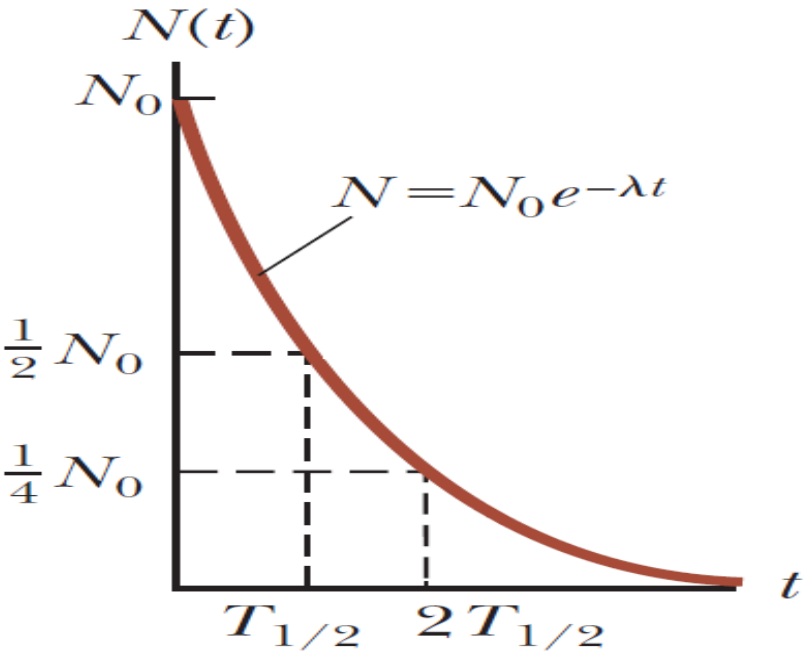
وحدة قياس النشاطية الإشعاعية :

$$1Bq = \frac{1\text{إنحلال}}{1\text{ثانية}} = \frac{1\ decay}{1\ s} = 1\ dps$$

ويمكن أيضا استخدام وحدة الكوري ( Ci ) للتعبير عن النشاطية الإشعاعية وهي أكبر من وحدة البيكريل حيث أن :

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$$
$$1mCi = 3.7 \times 10^{7} Bq$$
$$1\mu Ci = 3.7 \times 10^{4} Bq$$

عند دراسة عدد الأنوية التي تنحل لعينة من عنصر ما خلال زمن t فإننا سنتحصل على المنحنى التالي :




almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

◀ ومن المنحنى يمكننا أن نلاحظ ما يلي :

1- إذا افترضنا أن عينة من عنصر ما تحتوي على عدد من الأنوية مقداره $N_o$ عند زمن t=0 وهو ما يعرف بعدد الأنوية الأصلي فإن عدد الأنوية المتبقية والذي يرمز له بالرمز N يتناقص أسياً مع الزمن t ويمكن التعبير عنه رياضياً بالعلاقة :

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

2- يتناقص عدد أنوية العينة إلى نصف ما كانت عليه في فترات زمنية محدد وثابتة أطلق عليها عمر النصف ويرمز له بالرمز $T_{1/2}$ ويعرف بأنه الزمن اللازم حتى يتناقص عدد أنوية المادة المشعة إلى نصف ماكانت عليه وهو ثابت للعنصر الواحد .

3- يتناقص عدد الأنوية المشعة إلى نصف ما كان عليه كل زمن يساوي عمر النصف فمثلا إذا كان عدد الأنوية عند الزمن ( $t = 0$ ) هو 2000 نواة فإن عدد الأنوية بعد زمن قدره $T_{1/2}$ سيصبح 1000 نواة وبعد زمن $T_{1/2}$ آخر سيصبح عددها 500 نواة وبعد زمن $T_{1/2}$ آخر سيصبح عددها 250 نواة ..... وهكذا إلى نهاية العينة .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

5- يمكن توضيح المنحنى بالمخطط التالي :

$$N_o \xrightarrow{T_{1/2}} \frac{N_o}{2} \xrightarrow{2T_{1/2}} \frac{N_o}{4} \xrightarrow{3T_{1/2}} \frac{N_o}{8} \xrightarrow{4T_{1/2}} \frac{N_o}{16} \xrightarrow{t} \dots\dots$$

ومنه نجد أن :

- يمكن التعبير عن زمن الانحلال t بمعلومية عمر النصف من العلاقة :

$$t = n.T_{\frac{1}{2}}$$

حيث أن n تمثل عدد المرات أو الفترات التي انحلت فيها الأنوية إلى نصف ما كانت عليه خلال زمن يساوي $T_{1/2}$

-يمكن كتابة المخطط أعلاه بهذه الصورة أيضاً :

$$N_o \xrightarrow{T_{1/2}} \frac{N_o}{2^1} \xrightarrow{2T_{1/2}} \frac{N_o}{2^2} \xrightarrow{3T_{1/2}} \frac{N_o}{2^3} \xrightarrow{4T_{1/2}} \frac{N_o}{2^4} \xrightarrow{t} \dots\dots$$

ومنه نجد أنه يمكن إيجاد عدد الأنوية المتبقية عند أي لحظة من العلاقة :

$$N = \frac{N_o}{2^n}$$

$$N = N_o \frac{1}{2^n}$$

$$N = N_o.\left(\frac{1}{2}\right)^n$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

ومنها نحصل على :

$$\frac{N}{N_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

حيث أن المقدار $\frac{N}{N_o}$ يعرف بأنه نسبة المتبقي من العينة الأصلية ومنها نجد أنه بمجرد معرفة عدد فترات عمر النصف فإننا نستطيع إيجاد هذه النسبة .

ويمكن إيجاد أيضاً عدد فترات عمر النصف بمعرفة نسبة المتبقي من العينة الأصلية من العلاقة المشتقة من العلاقة أعلاه وهي :

$$n = \frac{\ln \frac{N}{N_o}}{\ln \frac{1}{2}}$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## ◀ العلاقة بين ثابت الانحلال وعمر النصف :

ذكرت سابقاً أن عدد الأنوية المنحلة يتناقص خلال الزمن بصورة أسية بالعلاقة :

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

ومنه نجد أنه عند فترة زمنية تساوي $t = T_{1/2}$ فإن عدد الأنوية المتبقية سيصبح $N = \frac{N_o}{2}$

وبالتعويض في العلاقة أعلاه نحصل على :

$$\frac{N_o}{2} = N_o . e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

بأخذ مقلوب الطرفين نحصل على :

$$2 = e^{\lambda T_{1/2}}$$

بضرب الطرفين في اللوغاريتم الطبيعي ln:

$$\ln 2 = \ln e^{\lambda T_{1/2}}$$

من قوانين اللوغاريتمات :

$$\ln e^{x} = x$$

وبالتعويض نحصل على :

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

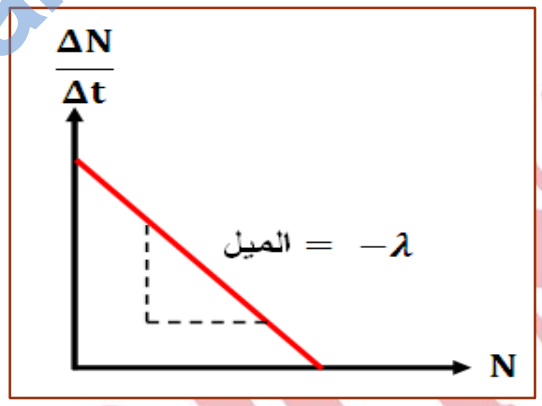
almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

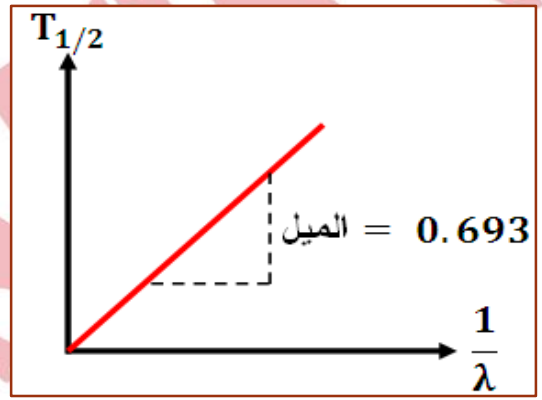
ومنها يمكن القول أن :

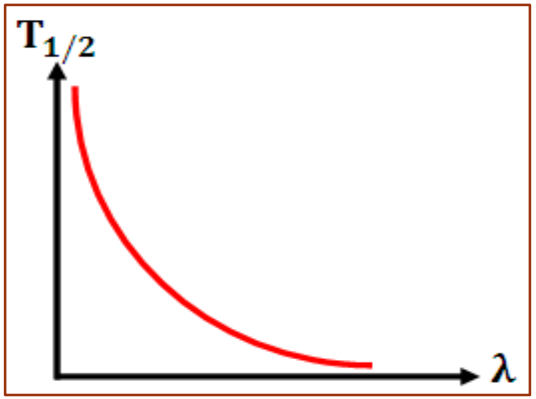
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\therefore \boxed{T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}}$$

◀ بعض العلاقات البيانية المهمة :




almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## *حل اختـــبر فهمك رقم ( 4 ) صفحة 151 :

1- إذا كان عمر النصف لعينة من نظير لعنصر مشع يساوي $1\ year$ ، مالكمية المتبقية من العينة الأصلية في نهاية السنة الثانية؟

**المطلوب:**

الكمية المتبقية من العينة الاصلية: $\frac{N}{N_o}$

**المعطيات:**

$$T_{\frac{1}{2}} = 1\ year$$
$$t = 2\ years$$

**الحـــــــل:**

يمكن ايجاد الكمية المتبقية من العينة الأصلية ( $\frac{N}{N_o}$ ) من خلال العلاقة :

$$\frac{N}{N_o} = \frac{1}{2^n}$$

وبالتالي يجب علينا اولا معرفة عدد الفترات التي تناقص فيها عدد الانوية الى النصف ( $n$ ) من خلال العلاقة:

$$t = n.T_{\frac{1}{2}}$$

ومنها يمكن القول :

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{2\ year}{1\ year} = 2$$

وبالتالي:

$$\frac{N}{N_o} = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

almanahj.com/om

2- إذا كان عمر النصف للبولونيوم هو $140\ days$، كم تستغرق عينة منه لكي تتحل إلى ثمن العينة الأصلية ؟

المطلوب:

$$t = ??$$

المعطيات:

$$T_{\frac{1}{2}} = 140\ days$$

$$\frac{N}{N_o} = \frac{1}{8}$$

الحـــــل:

يمكننا ايجاد الزمن $t$ بمعلومية المعطيات الموجودة لدينا من خلال العلاقة:

$$t = n.T_{\frac{1}{2}}$$

وبالتالي يجب علينا اولا معرفة عدد الفترات التي تناقص فيها عدد الانوية الى النصف ( $n$ ) من خلال العلاقة:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{N_o}{N}\right)}{\ln 2} = \frac{\ln\left(\frac{8}{1}\right)}{\ln(2)} = 3$$

ومنها:

$$t = n.T_{\frac{1}{2}} = 3 \times 140 = 420\ days$$

almanahj.com/om

## سلاسل الإنحلال الإشعاعي:

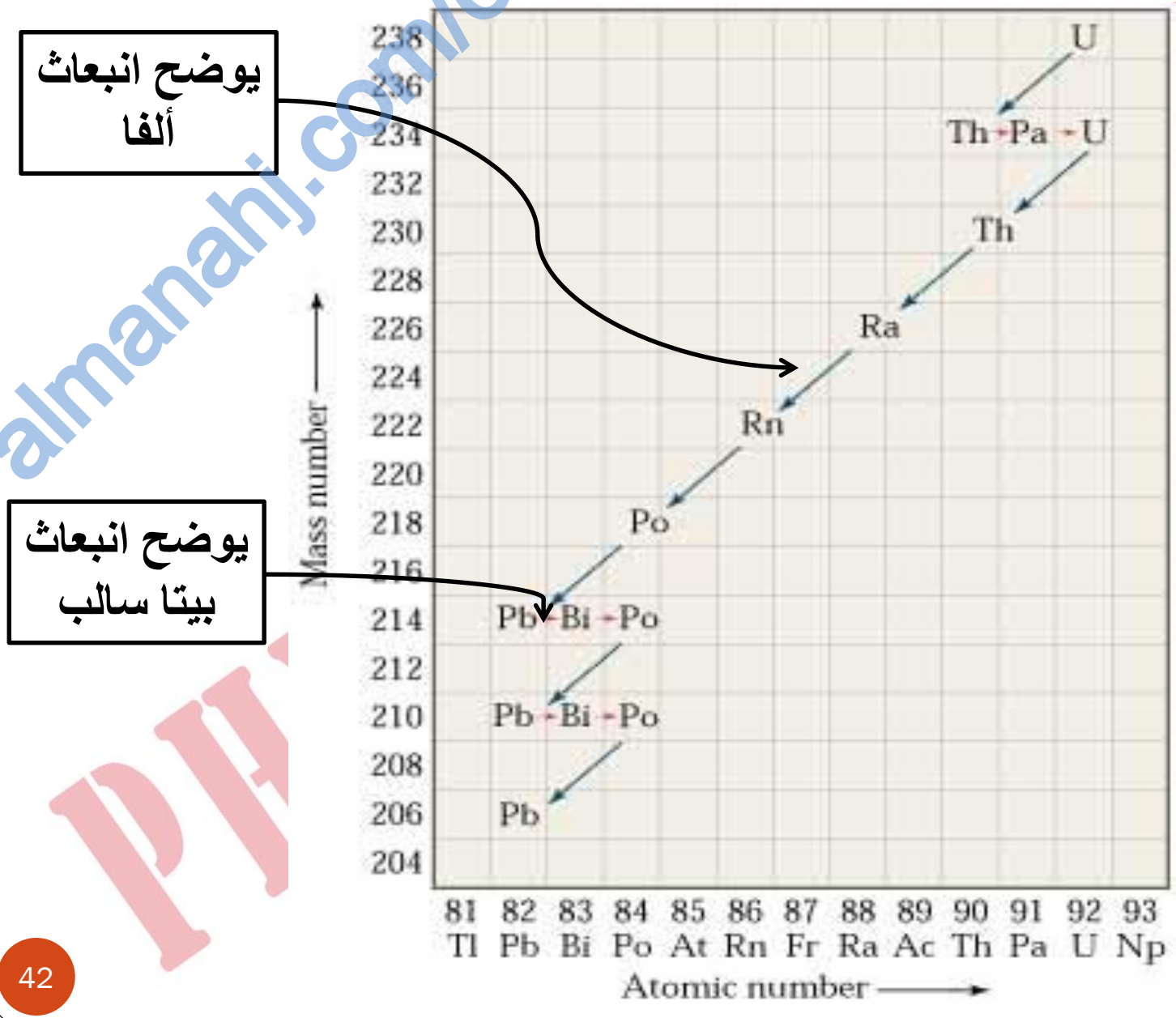
♦ من المعروف أن العناصر غير المستقرة تميل إلى أن تصل إلى حالة الاستقرار من خلال القيام بعملية التحلل الإشعاعي وقد يكون العنصر الجديد الذي تكون هو أيضا غير مستقر فينحل هو الآخر ليكون عنصر آخر أكثر استقرارا فينحل الأخير كذلك ..... وهكذا إلى أن تصل هذه السلسلة من التفاعلات في نهايتها إلى عنصر مستقر وتعرف هذه العملية باسم سلسلة الانحلال

♦ تسمى سلسلة الانحلال على حسب العنصر الذي ابتدأت به ومن أشهر سلاسل الانحلال هي سلسلة انحلال نظير اليورانيوم-238 , ونظير اليورانيوم-235 ( الاكتينيوم ) , ونظير الثوريوم-232

♦ يمكن توضيح هذه السلاسل في منحنى يوضح العلاقة بين العدد الكتلي والعدد الذري للعناصر , كما يلي :

almanahi.com/om
PHYSICS GENIUS

◄ سلسلة إنحلال نظير اليورانيوم – 238 :




almanahj.com/om

◄ كيفية حساب عدد دقائق ألفا ودقائق بيتا المنبعثة من كل سلسلة إنحلال :

**إن عملية انحلال عنصر وتكوين سلسلة انحلال إشعاعي ينتج نتيجة عدداً من دقائق ألفا وعددا من دقائق بيتا , وهنا سوف أقوم بعرض لكم طريقة تستطيعون من خلالها معرفة عدد دقائق ألفا وبيتا التي انبعثت من أي سلسلة انحلال وهي كالتالي:**

**لنفترض أن لدينا عنصر $^{A}_{Z}X$ انحل إلى عنصر مستقر $^{A}_{Z}Y$ ولمعرفة عدد دقائق ألفا وبيتا التي انبعثت من هذا التفاعل نعمل التالي:**

**ـ نكتب معادلة التفاعل التي تبين هذا التفاعل وأي تفاعل متسلسل وهي كالتالي:**

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + x\,{}^{4}_{2}He + y\,{}^{0}_{-1}e$$

**حيث أن :**

**$X$ تمثل عدد دقائق ألفا ($^{A}_{Z}He$)**

**$Y$ تمثل عدد دقائق بيتا ( $^{0}_{-1}e$ )**

**ـ لحساب عدد دقائق ألفا التي انبعثت فإننا نقوم بمساواة العدد الكتلي قبل وبعد التفاعل ومنها نحصل على مقدار $X$**

**ـ لحساب عدد دقائق بيتا فإننا نقوم بمساواة العدد الذري قبل وبعد التفاعل ومنها نحصل على مقدار $Y$**

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

* مثال :

**يتحلل نظير عنصر الثوريوم ($^{232}_{90}Th$) إلى عنصر الرصاص ($^{208}_{82}Pb$) احسب عدد دقائق ألفا وبيتا التي تنطلق خلال عملية التحلل .**

* الحـل :

- اولا نكتب معادلة التفاعل وهي كالتالي:

$$^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{208}_{82}Pb + x\,{}^{4}_{2}He + y\,{}^{0}_{-1}e$$

- نوجد عدد دقائق ألفا وذلك بمساواة العدد الكتلي للمعادلة قبل وبعد التفاعل:

$$232 = 208 + (x \times 4) + (y \times 0)$$
$$232 = 208 + 4x + 0$$
$$4x = 232 - 208$$
$$4x = 24$$
$$x = \frac{24}{4} = 6$$

إذاً تنطلق من هذا التفاعل عدد 6 دقيقة ألفا.

- نوجد عدد دقائق بيتا وذلك بمساواة العدد الذري للمعادلة قبل وبعد التفاعل:

$$90 = 82 + (x \times 2) + (y \times -1)$$
$$90 = 82 + 2x - y$$

بالتعويض عن مقدار $x$ الذي حصلنا عليه ويساوي 12:

$$90 = 82 + (2 \times 6) - y$$
$$90 = 94 - y$$
$$y = 94 - 90 = 4$$

إذاً تنطلق من هذا التفاعل عدد 4 دقيقة بيتا.

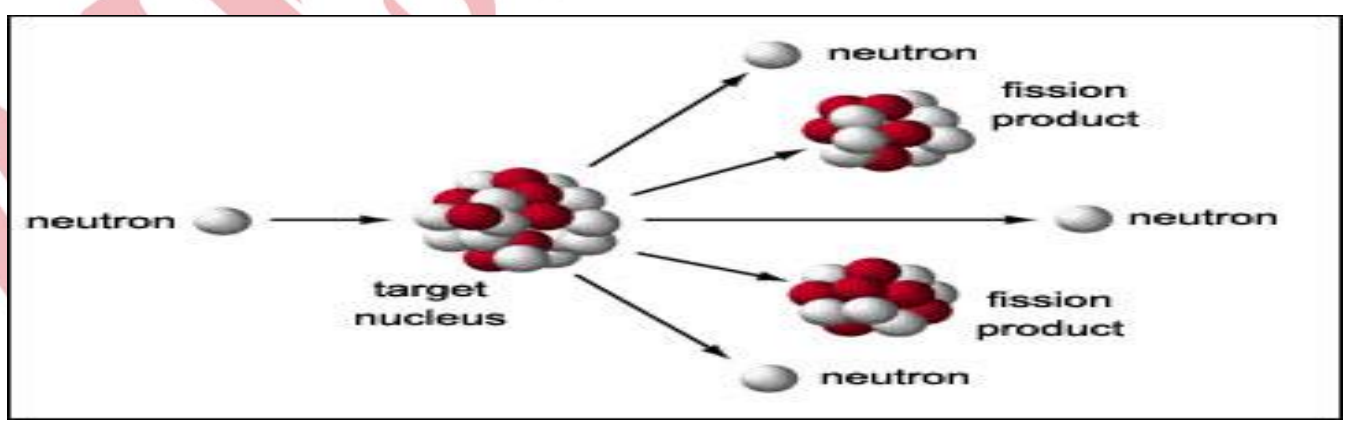
## الإنشطار النووي :

تفاعل نووي يتم فيه انقسام نواة عنصر ثقيل غير مستقرة إلى نواتين متوسطتين متقاربتين في الكتلة ويصاحبهما انبعاث طاقة عالية جداً .

حتى تنشطر نواة ثقيلة فإنه لابد من قذفها بنواة خفيفة نسبيا أو جسيم نووي وأفضل الجسيمات النووية المستخدمة النيوترونات الحرارية البطيئة وذلك لأنها لا تحمل شحنة وذلك لأن القوى الكهربائية ليس لها أي تأثير عليها وتكون بطيئة حتى تستطيع النواة التقاطها بسهولة .

عندما تلتقط النواة النواة الثقيلة النيوترون الحراري يؤدي ذلك إلى إثارة النواة وإكسابها طاقة زائدة وحتى تتخلص النواة من هذه الطاقة الزائدة فإنها تنقسم إلى نواتين متقاربتين في الكتلة في عملية تشبه عملية الانقسام في الخلايا

عملية الانشطار يصاحبها انبعاث من 2-3 نيوترون بمتوسط 2.5 نيوترون لكل تفاعل انشطاري.



التفاعل الانشطاري يكون مصحوباً بانبعاث طاقة هائلة تصل إلى حوالي 200MeV لكل تفاعل انشطاري وتظهر على شكل طاقة حرارية وطاقة حركة لشظايا الانشطار .

من أشهر التفاعلات الانشطارية هي انشطار:

- اليورانيوم-235 $^{235}_{92}U$
- اليورانيوم-233 $^{233}_{92}U$
- البلوتونيوم-239 $^{239}_{94}Pu$

ونأخذ كمثال على التفاعل الانشطاري انشطار اليورانيوم-235 وتكتب معادلة التفاعل كما يلي:

$$^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}^{*} \rightarrow \mathrm{X} + \mathrm{Y} + \text{neutrons}$$

تصل إحتمالية ماهية العنصرين X و Y إلى حوالي 90 احتمال والتي تحقق مبدأ حفظ الطاقة ومبدأ حفظ الشحنة للتفاعل .

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

ومن الاحتمالات الممكنة لنواتج انشطار نظير اليورانيوم-235 كما يلي :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{139}_{54}Xe + ^{95}_{38}Sr + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{141}_{55}Cs + ^{93}_{37}Rb + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U^{*} \rightarrow ^{147}_{57}La + ^{87}_{35}Br + 2\,^{1}_{0}n$$

هناك نواة أخرى مهمة قابلة للانشطار عند قذفها بنيوترون سريع بالإضافة إلى اليورانيوم-235 وهي نواة نظير البلوتونيوم-239 وهي نواة غير موجودة في الطبيعة ويتم الحصول عليها بواسطة قذف نظير اليورانيوم-238 بنيوترون وبدلاً من أن يحدث انشطار فإن نواة اليورانيوم تتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق الانحلال بإشعاع جسيم بيتا سالب فتتحول إلى نظير النبتونيوم 239-Np غير المستقر نسبياً والذي ينحل بإطلاق جسيم بيتا متحولاً إلى نظير البلوتونيوم-239 والتي تنشطر بسهولة عند تعرضها لنيوترون سريع ويتم تمثيل هذه التفاعلات كما يلي :



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U^{*} \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\bar{\nu}$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\bar{\nu}$$

$$^{239}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}Pu^{*} \rightarrow X + Y + (2-3)^{1}_{0}n$$

## التفاعل المتسلسل :

فيما سبق ذكرنا أن أي تفاعل إنشطاري يكون مصحوباً بانطلاق من 2-3 نيوترونات هذه النيوترونات يمكنها آن تصطدم مع أنوية أخرى لنفس النواة التي انشطرت فمثلاً عند انشطار نظير اليورانيوم-235 إلى نواتين متقاربتين في الكتلة فإن هذا الانشطار يكون مصحوبا مثل ما ذكرت سابقاً بنيوترونات هذه النيوترونات يحدث لها وأن تصطدم بأنوية أخرى لنظير اليورانيوم-235 مما يؤدي إلى حدوث عملية انشطار جديدة لهذه الأنوية وهذه العملية أيضاً تؤدي إلى إنبعاث نيوترونات تصطدم الأخيرة بأنوية أخرى للنظير تؤدي إلى إنشطارها وهكذا فإن أي تفاعل إنشطاري يؤدي إلى إحداث تفاعل إنشطاري جديد وتعرف هذه العملية بإسم **التفاعل المتسلسل** .

ينتج عن هذا التفاعل طاقة حرارية هاااائلة جداً تتزايد باستمرار التفاعل مع الاستفادة مع أكبر عدد من النيوترونات الناتجة وهذا ما يحدث في القنبلة الإنشطارية (النووية)

إذا لم يتم التحكم في التفاعل المتسلسل فإن انفجاراً هائلاً سيحدث مصحوباً بانبعاث طاقة حرارية هائلة جداً .

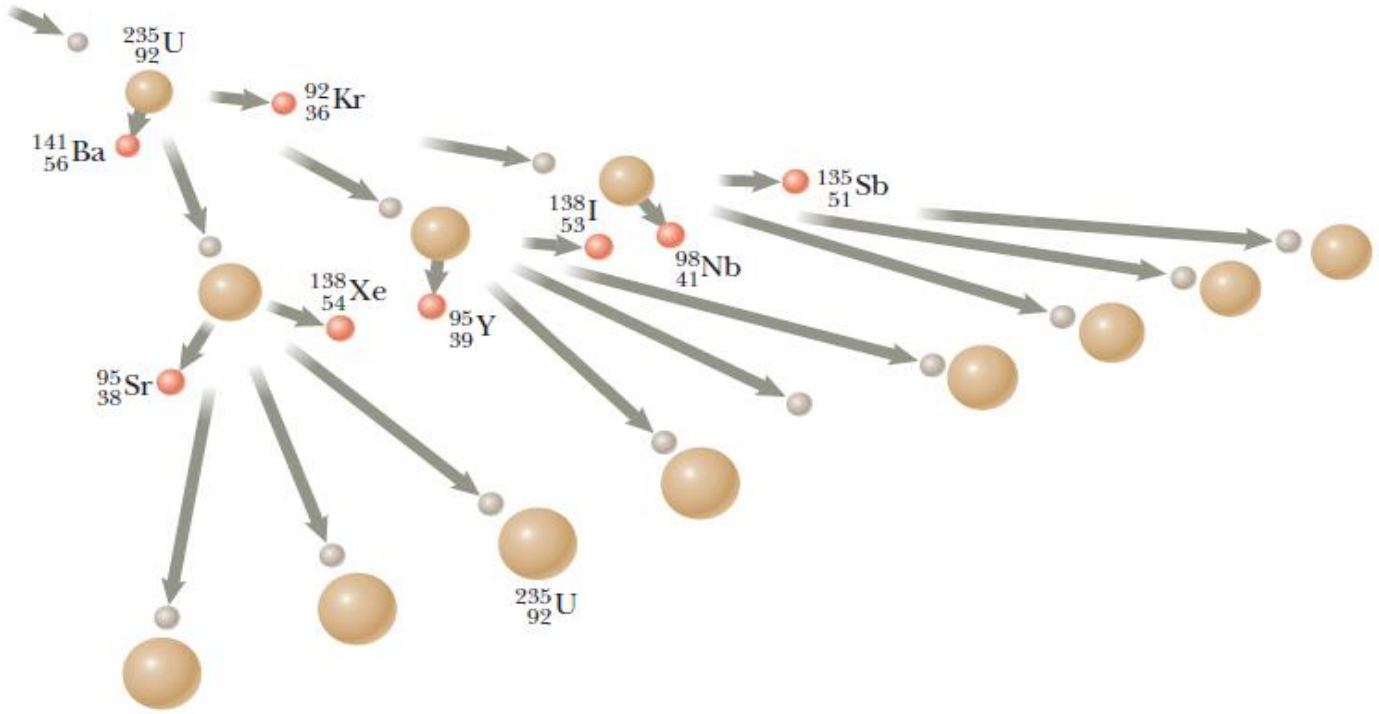


amanahj.com

إذا ما تم التحكم في التفاعل المتسلسل فإن الطاقة الناتجة من هذا التفاعل يمكن استخدامها في استخدامات مفيدة وسلمية مثل :

- إنتاج النظائر المشعة .
- إنتاج الطاقة الكهربائية .
- تحلية مياه البحر .
- البحوث العلمية

ويمكن التحكم والسيطرة على التفاعل المتسلسل إذا تم التحكم في عدد النيوترونات الداخلة في التفاعلات المتسلسلة ويتم ذلك باستخدام المفاعل النووي .



## المفاعل النووي :

هو عبارة منشأة ضخمة الهدف منها السيطرة على التفاعلات المتسلسلة التي تحدث بواسطة التفاعلات الانشطارية , ويقوم مبدأ عملها على التحكم في النيوترونات المنطلقة مع كل تفاعل إنشطاري , وقد بني أول مفاعل نووي في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1942م ولكن كان بهدف تصنيع الأسلحة النووية أما أول مفاعل نووي تم إنشاؤه بهدف سلمي وهو لإنتاج الطاقة الكهربائية كان في عام 1951م وأيضاً في الولايات المتحدة الأمريكية ويسمى مفاعل إيداهو.

◄ مكونات المفاعل النووي :

**1- وحدة التحكم : وتتكون من :**

***الوقود النووي :** وهو عبارة عن مادة ثقيلة غير مستقرة قابلة للانشطار مثل نظير اليورانيوم-235 ونظير البلوتونيوم-239 ويتم حفظها داخل أنابيب اسطوانية معدنية ضيقة مغلقة بإحكام يطلق عليها قضبان الوقود , ويجب أن لا تقل كتلة الوقود النووي عن مقدار معين يعرف بالكتلة الحرجة وهي أقل كتلة للوقود النووي كافية لإحداث سلسلة من التفاعلات الانشطارية وذلك لأنه إذا كانت كتلة الوقود النووي أقل من هذا المقدار فإن النيوترونات السريعة سوف تهرب إلى الخارج أو تمتص بواسطة قضبان التحكم بحيث لا تكفي كتلة الوقود باعتراض هذه النيوترونات وإحداث تفاعلات إنشطارية .



almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

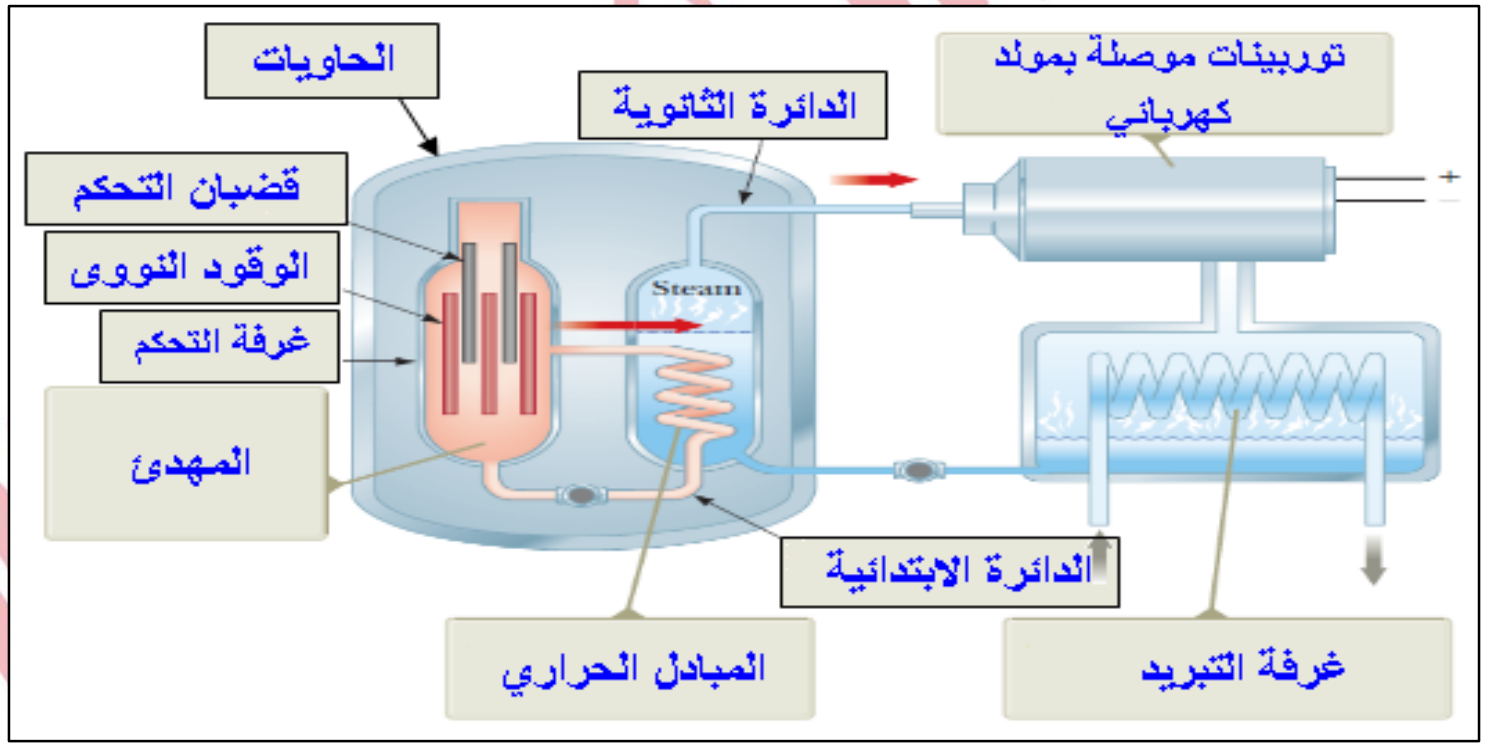
* المهدئ : وهو عبارة عن سائل كتلة ذراته صغيرة نسبياً موضوع تحت ضغط شديد مثل الماء الثقيل أو الجرافيت أو صوديوم منصهر يعمل على اعتراض النيوترونات السريعة وتهدئتها نتيجة التصادمات التي تحدث بين ذرات هذه المادة والنيوترونات السريعة مما يؤدي إلى أن النيوترونات تفقد جزءاً من طاقتها وتقل سرعتها .
كما يقوم المهدئ بنقل الطاقة الحرارية الناتجة من التفاعل الانشطاري المتسلسل إلى المبادلات الحرارية .
*قضبان التحكم : وهي عبارة عن أنابيب اسطوانية مصنوعة من مادة لها قدرة كبيرة على امتصاص النيوترونات مثل مادة الكادميوم أو البورون تمتاز هذه الأنابيب بقابليتها للحركة إلى أعلى وأسفل بهدف التحكم في عدد النيوترونات الداخلة في التفاعلات المتسلسلة .

2- المبادلات الحرارية : وهي عبارة عن غرفة تحتوي على الماء تستقبل الطاقة الحرارية الناتجة من التفاعل المتسلسل التي تعمل على تسخين الماء وتحويله إلى بخار ذو ضغط عالي جداً لينتقل إلى وحدة الاستخدام .

3- الحاويات : جدار إسمنتي يحيط بالمفاعل يعمل على منع تسرب الإشعاعات النووية المركزة والنيوترونات وذلك لحماية العاملين في المفاعل والمشرفين على تشغيله ولحماية البيئة بصورة عامة .

4- وحدة الاستخدام : تعتمد على نوع الاستخدام فإذا كان الهدف من استخدام المفاعل النووي هو إنتاج الطاقة الكهربائية فإنها سوف تحتوي على توربينات قابلة للدوران فعند اصطدام بخار الماء بهذه التوربينات فإنه يعمل على تدويرها وتقوم بدورها بتحريك ملف معدني داخل مجال مغناطيسي مما يؤدي إلى تولد تيار كهربائي في الملف وطاقة كهربائية .

5- وحدة التبريد : تحتوي على الماء البارد جدا يعمل على تكثيف بخار الماء وتحويله إلى سائل يتم نقله بعد ذلك إلى غرفة المبادلات الحرارية ليعيد دورته من جديد .




almanahj.com/om

## الاندماج النووي :

إذا تم رفع درجة حرارة مادة ذرات خفيفة والتي يقل عددها الكتلي عن 20 إلى درجة حرارة مرتفعه جداً تصل إلى أكثر من 1000بليون درجة مطلقة فإن هذه المادة لا تكون في حالتها الطبيعية وتتحول إلى أيونات ذات طاقة حركية عالية جداً وعندما تصطدم هذه الأيونات ببعضها فإنها سوف تندمج مع بعضها مكونة نظائر أثقل للمادة وتعرف عملية اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة نواة أثقل منهما بإسم الاندماج النووي ومن أشهر تفاعلات الاندماج النووي هو اندماج أنوية الهيدروجين-1ويعرف بإسم دورة البروتون والكربون-12 ويعرف بإسم دورة الكربون ويكون هذا التفاعل مصحوباً بانبعاث طاقه حرارية عالية مقدارها يصل إلى حوالي 25 MeV تكون على هيئة طاقة حركية عالية لجسيمات بيتا الموجبة (البوزيترونات) وعلى هيئة أشعة جاما ذات طاقة عالية.

وبالتالي فإن أي تفاعل إندماجي حتى يحدث لابد أن تكون الأنوية الداخلة في التفاعل تحت ضغط وحرارة عاليين جداً وذلك لتعجيلها وإكسابها الطاقة الحركية اللازمة للتغلب على قوى التنافر الكولومية التي تظهر بينها والقنبلة الانشطارية قادرة على توفير هذه الطاقة الحرارية اللازمة لإحداث هذا التفاعل الاندماجي ولذلك يمكن القول أن التفاعل الانشطاري يعد جزءاً من التفاعل الاندماجي .

التفاعل الاندماجي يؤدي في نهايته إلى إنتاج أنوية جديدة للأنوية التي اندمجت وهذه الأنوية تكون قادرة على الإندماج مع بعضها البعض مما يؤدي إلى إحداث تفاعل إندماجي

almanahj.com/om

جديد وهكذا على هيئة تفاعل متسلسل لذلك يعرف بإسم دورة وهذه تعتبر أصعب مشكلات التفاعل الإندماجي لأنه وإلى الآن لم يتم التوصل إلى آلية يمكن من خلالها التحكم والسيطرة على التفاعل الاندماجي .

وهنا سوف نأخذ مثال على أشهر التفاعلات الإندماجية وهي :

◄ دورة البروتون :

1- إندماج بروتون مع بروتون أو كما يسمى هيدروجين مع هيدروجين تحت حرارة عالية جداً وتكوين الديوتيريوم مصحوبا بانبعاث البوزيترون والنيوترينو :

$$_{1}^{1}H + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{0}\mathrm{e} + {}_{0}^{0}\nu$$

2- يندمج الديوتيريوم مع هيدروجين ( بروتون ) آخر ليكون الهيليوم-3 وانبعاث أشعة جاما:

$$_{1}^{2}H + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{3}\mathrm{He} + \gamma$$

3- يندمج نظير الهيليوم-3 مع نظير هيليوم-3 آخر يكون الهيليوم-4 و ذرتي هيدروجين (بروتون) :

$$_{2}^{3}He + {}_{2}^{3}\mathrm{He} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\,{}_{1}^{1}\mathrm{H}$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

4- يندمج البروتونان مع بعضهما ليبدءا دورة جديدة للتفاعل الإندماجي.

♦ يمكن كتابة دورة البروتون في معادلة تفاعل واحدة كما يلي:

$$4\,{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\,{}_{1}^{0}e + 2\,{}_{0}^{0}\nu + 2\gamma$$

◄ دورة الكربون : ( غير مطالبين بها )

$${}_{1}^{1}H + {}_{6}^{12}C \rightarrow {}_{7}^{13}N$$

$${}_{7}^{13}N \rightarrow {}_{6}^{13}C + {}_{1}^{0}e + {}_{0}^{0}\nu$$

$${}_{1}^{1}H + {}_{6}^{13}C \rightarrow {}_{7}^{14}N$$

$${}_{1}^{1}H + {}_{7}^{14}N \rightarrow {}_{8}^{15}O$$

$${}_{8}^{15}O \rightarrow {}_{7}^{15}N + {}_{1}^{0}e + {}_{0}^{0}\nu$$

$${}_{1}^{1}H + {}_{7}^{15}N \rightarrow {}_{6}^{12}C + {}_{2}^{4}He$$

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

◄ مقارنة بين الإنشطار النووي والإندماج النووي:

| وجه المقارنه / نوع التفاعل | الانشطار النووي | الإندماج النووي |
|---|---|---|
| التعريف | إنقسام نواة ثقيلة إلى نواتين أخف متقاربتين في الكتلة للوصول إلى حالة الاستقرار | اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل للوصول إلى حالة الاستقرار |
| شرط الحدوث | يحتاج إلى قذيفة مناسبة لحدوثه وبالتالي لا يمكن أن يحدث تلقائياً | يحدث تلقائياً إذا توفرت له الظروف المناسبة من الحرارة العالية والضغط الشديد |
| التحكم فيه | يمكن التحكم فيه عن طريق المفاعل النووي | لا يمكن التحكم فيه |
| الطاقة الناتجة من كل تفاعل | تقريبا 200 MeV | تقريبا 25 MeV |
| الطاقة الناتجة لكل نيوكلون | تقريباً 0.8 MeV | تقريبا 6 MeV |
| أشهر أنواع التفاعل | إنشطار اليورانيوم-235 | اندماج البروتون |

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

## التأثير البيولوجي للإشعاع :

أي نوع من أنواع الإشعاع سواءً كان جسيمات مشحونة أو غير مشحونة يسبب بطريقة مباشرة أو غير مباشرة تأيناً أو تغيراً كيميائياً في المادة التي يمر بها والكائن الحي يتأثر بالإشعاع وهذا التأثر يعتمد على عدة عوامل :

1- كمية الإشعاع أو الجرعات الإشعاعية التي يمتصها الجسم .
2- نوع الإشعاع الذي تعرض له الجسم .
3- نوع العضو الذي تعرض للإشعاع .
4- عمر الشخص الذي تعرض للإشعاع .
5- طاقة الإشعاع .
6- شدة الإشعاع .
7- زمن التعرض للإشعاع .

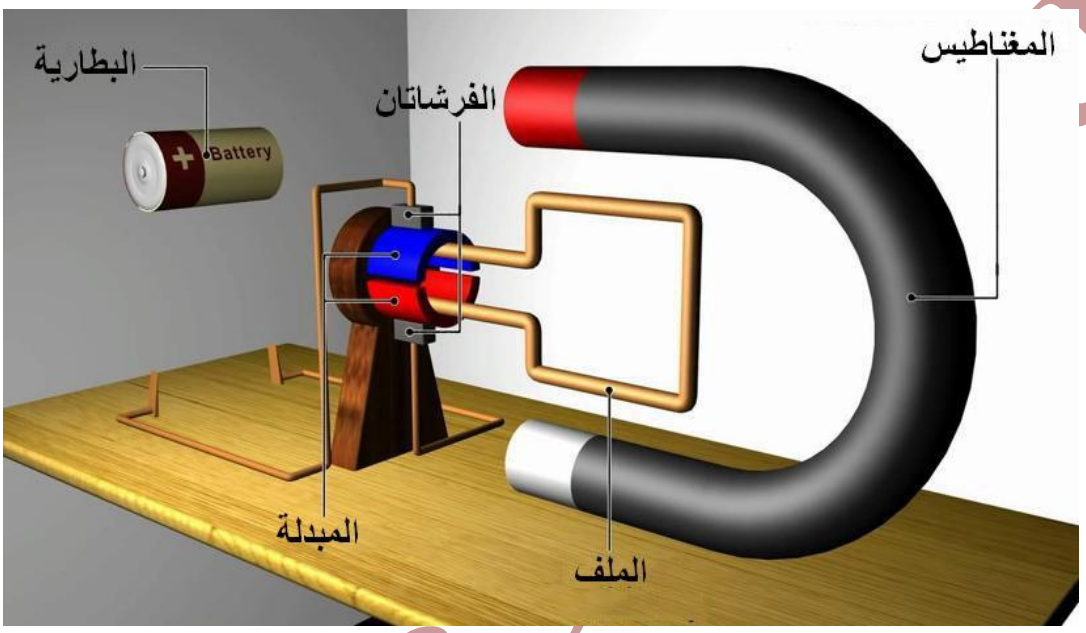
وقد ينتج عنها بما يسمى بالمرض الإشعاعي , ومن الأمراض الناتجة عن التأثير الإشعاعي عديدة منها :

-الأمراض الجلدية.
-أمراض الدم .
-السرطان .
- أمراض الحمل
- العقم

almanahj.com/om
PHYSICS GENIUS

almanahj.com/om

# تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي :
# (( المحرك الكهربائي ))




◄ **مبدأ عمله :**

**مبدأ عمل المحرك الكهربائي يعتمد كالمولد الكهربائي على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي .**

◄ **الغرض منه :**

**يعاكس المحرك الكهربائي المولد الكهربائي في الغرض حيث أنه يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية .**

◄ **تركيبه :**

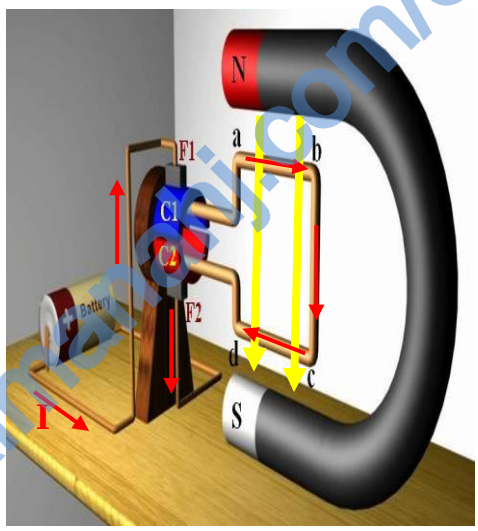
**يشبه تركيبه إلى حدٍ كبير في تركيب المولد الكهربائي حيث أنه يتركب من :**

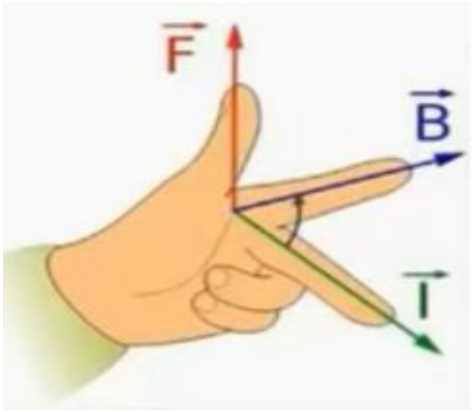
- **مغناطيس دائم على شكل حذوة الفرس**
- **ملف موصل موضوع داخل منطقة المجال المغناطيسي قابل للدوران حول محور متعامد على خطوط المجال المغناطيسي.**
- **المبدلة والتي هي عبارة عن نصفي حلقة معدنية معزولان عن بعضهما ويتصل كل نصف بأحد أطراف الملف .**
- **فرشاتان من الجرافيت أو الكربون .**
- **البطارية وهي مصدر التيار المستمر الذي يمد الملف بالطاقة الكهربائية.**

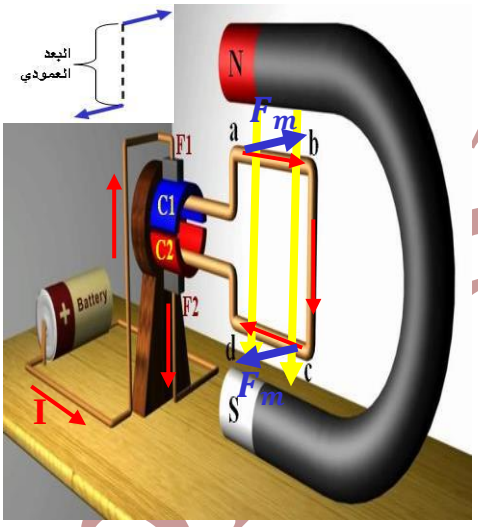
◄ **فكرة العمل:**

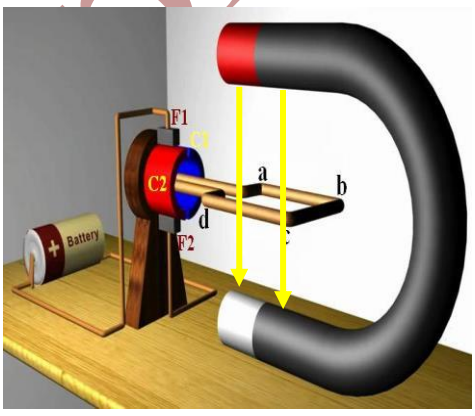
**عند إغلاق الدائرة الكهربائية للمحرك الكهربائي فإنه سوف يمر تيار كهربائي عبر الملف الموجود داخل منطقة المجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تولد قوة مغناطيسية على أطراف الملف تعمل على إدارته مع أو عكس عقارب الساعة وهكذا يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية .**

physics




◄ **طريقة العمل :**

بداية نفترض أن مستوى الملف ( abcd ) موضوع موازياً لخطوط المجال المغناطيسي ، وكان الضلع ( $\overline{ab}$ ) يتصل بنصف الحلقة ( C1 ) والتي تتصل بالفرشاة ( F1 ) ، و الضلع ( $\overline{cd}$ ) يتصل بنصف الحلقة ( C2 ) والتي تتصل بالفرشاة ( F2 ) والشكل المقابل يوضح ذلك ☜

عند إغلاق الدائرة الكهربائية يبدأ التيار الكهربائي بالانتقال في الدائرة الكهربائية كما هو موضح بالشكل المقابل ☜ حينها يدخل التيار إلى الملف عبر الفرشاة ( F1 ) ونصف الحلقة ( C1 ) فينتقل التيار في الملف من a إلى b ثم c إلى d ثم يعود إلى البطارية عبر الفرشاة ( F2 ) المتصلة بنصف الحلقة ( C2 ).

كما نلاحظ أن الملف مستطيل الشكل يتكون من أربعة أضلاع هي ( $\overline{ab}$ ) ، ( $\overline{bc}$ ) ، ( $\overline{cd}$ ) ، ( $\overline{da}$ ) ، وإذا ما تتبعنا حركة التيار على كل ضلع فإن اتجاه التيار عبر الضلعين ( $\overline{bc}$ ) ، ( $\overline{da}$ ) سوف يكون دائماً موازياً لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي لذلك فإن حركة التيار هنا لا تعمل على قطع خطوط المجال المغناطيسي لذلك لن يتولد عليهما أي قوة مغناطيسية ، أما بالنسبة للضلعين ( $\overline{ab}$ ) ، ( $\overline{cd}$ ) هنا تكون حركة التيار متعامدة على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي تؤدي إلى تولد قوة مغناطيسية مقدارها :

$$F_m = B.I.L$$

واتجاهها يعتمد على اتجاه كلاً من التيار الكهربائي وخطوط المجال المغناطيسي ويمكن تحديد اتجاهها باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفليمنج ☜

والتي تنص على : (( عند وضع كلاً من الإبهام والسبابة والوسطى متعامدة على بعضها البعض فإن الإبهام يشير إلى اتجاه القوة المغناطيسية أو الحركة ، والسبابة تشير إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي ، والوسطى تشير إلى اتجاه التيار الكهربائي ))

وعند تطبيق هذه القاعدة على الضلع ( $\overline{ab}$ ) فإنه سوف تؤثر عليه قوة مغناطيسية اتجاهها يكون إلى داخل الصفحة أما بالنسبة للضلع ( $\overline{cd}$ ) ستؤثر عليه قوة مغناطيسية اتجاهها إلى خارج الصفحة كما هو موضح في الشكل ☜

هنا نلاحظ أن القوتين المغناطيسيتين المتولدتين على الضلعين في اتجاهين متعاكسين ولكنهما ليسا على استقامة واحدة لذلك سيتولد عنهما عزم ازدواج يعمل على إدارة الملف مع عقارب الساعة ، يعتمد مقدار عزم الازدواج بين القوتين على البعد العمودي بينهما كما هو موضح في أعلى الشكل المقابل ☜

وكلما زاد البعد العمودي بين القوتين كلما زاد عزم الازدواج بينهما والعكس صحيح .

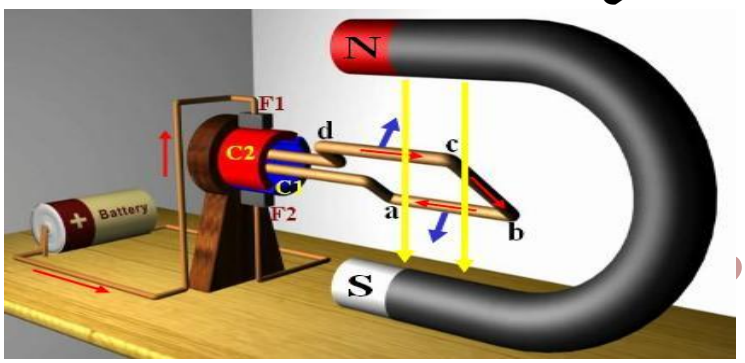
عند هذا الموضع يكون عزم الازدواج بين القوتين اكبر ما يمكن يعمل على تدوير الملف كما ذكرت سابقاً مع عقارب الساعة ، وعند استمرار الملف في الدوران يبدأ البعد العمودي في النقصان تدريجياً ويقل معه عزم الازدواج تدريجيا إلى أن يكمل الملف ربع دورة عندها يكون عزم الازدواج يساوي صفراً ويكون مستوى الملف عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي كما هو موضح في الشكل ☜

ويتكون الفرشاتان تتصلان بالمادة العازلة بين نصفي الحلقة عندها لا يمر تيار في الملف ولا توجد أي قوة تؤثر على الملف في هذا الموضع إلا إنه يستمر في الدوران بسبب القصور الذاتي .

مع الاستمرار في الدوران سيتبدل موضع نصفي الحلقة ويصبح نصف

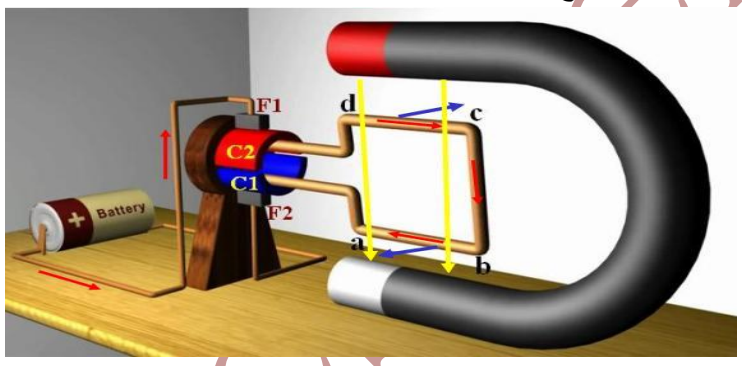
almanahj.com/om

الحلقة ( C1 ) متصلاً بالفرشاة ( F2 ) ويصبح نصف الحلقة ( C2 ) متصلاً بالفرشاة ( F1 ) مما يؤدي إلى انعكاس اتجاه التيار في الملف فيصبح من d إلى c ثم b إلى a مما يؤدي أيضاً إلى انعكاس اتجاه القوة المغناطيسية على كل ضلع من الضلعين ( $\overline{ab}$ ) ، ( $\overline{cd}$ ) كما هو موضح بالشكل ☜

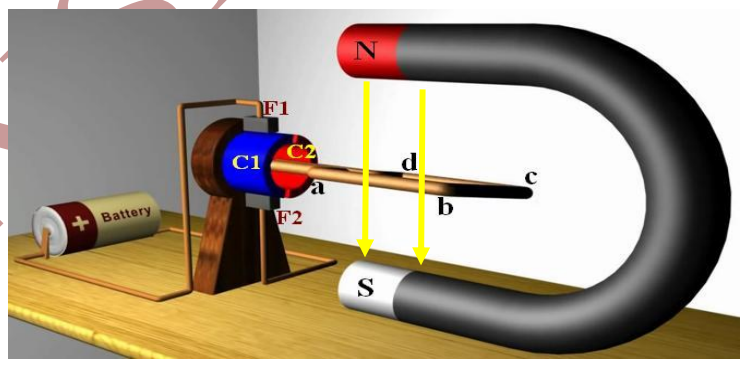


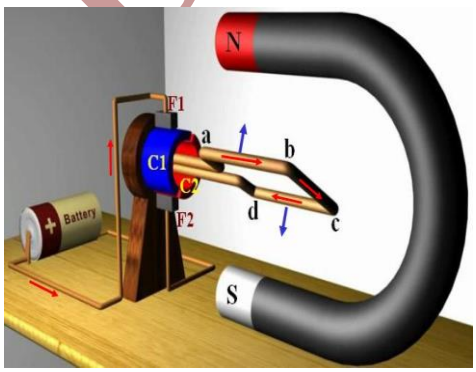

هذا الانعكاس في اتجاه القوة يعمل على استمرار الملف في الدوران في الاتجاه الذي كان عليه .

مع استمرار الملف في الدوران يزداد البعد العمودي تدريجياً بين القوتين مما يؤدي إلى زيادة سرعة دوران الملف تدريجيا إلى أن يكمل الملف نصف دورة ويصبح مستوى الملف موازياً لخطوط المجال كما هو موضح بالشكل ☜




عندها يصبح عزم الازدواج أكبر ما يمكن وتصل سرعة الملف إلى أكبر ما يمكن ومع استمرار الملف في الدوران يقل عزم الازدواج تدريجياً إلى أن يكمل الملف ثلاثة أرباع الدورة ، عندها يكون كل من الفرشاتان تتصلان بالمادة العازلة بين نصفي الحلقة كما هو موضح في الشكل ☜

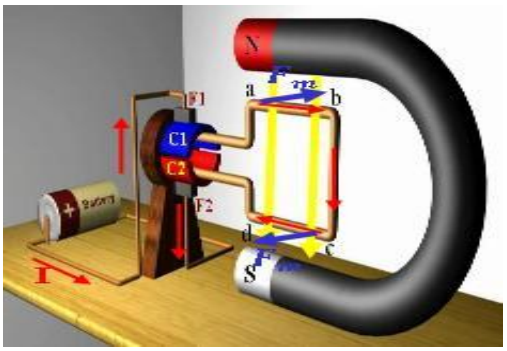



وبالتالي لن يمر تيار إلى الملف ولا توجد أي قوة تؤثر عليه ولكنه كما ذكرت سابقاً وبنفس الطريقة سيستمر في الدوران بفعل القصور الذاتي ، وعندها سيتبادل نصفا الحلقة موضعهما ويصبح نصف الحلقة ( C1 ) متصلاً بالفرشاة ( F1 ) ويصبح نصف الحلقة ( C2 ) متصلاً بالفرشاة ( F2 ) مما يؤدي أيضاً إلى انعكاس التيار في الملف وانعكاس القوة المغناطيسية على الضلعين ( $\overline{ab}$ ) ، ( $\overline{cd}$ ) كما هو موضح في الشكل ☜

almanahj.com/om
physicsgenius

ويستمر الملف في الدوران إلى أن يكمل الدورة الكاملة ويعود للموضع الذي ابتدأ منه ☜

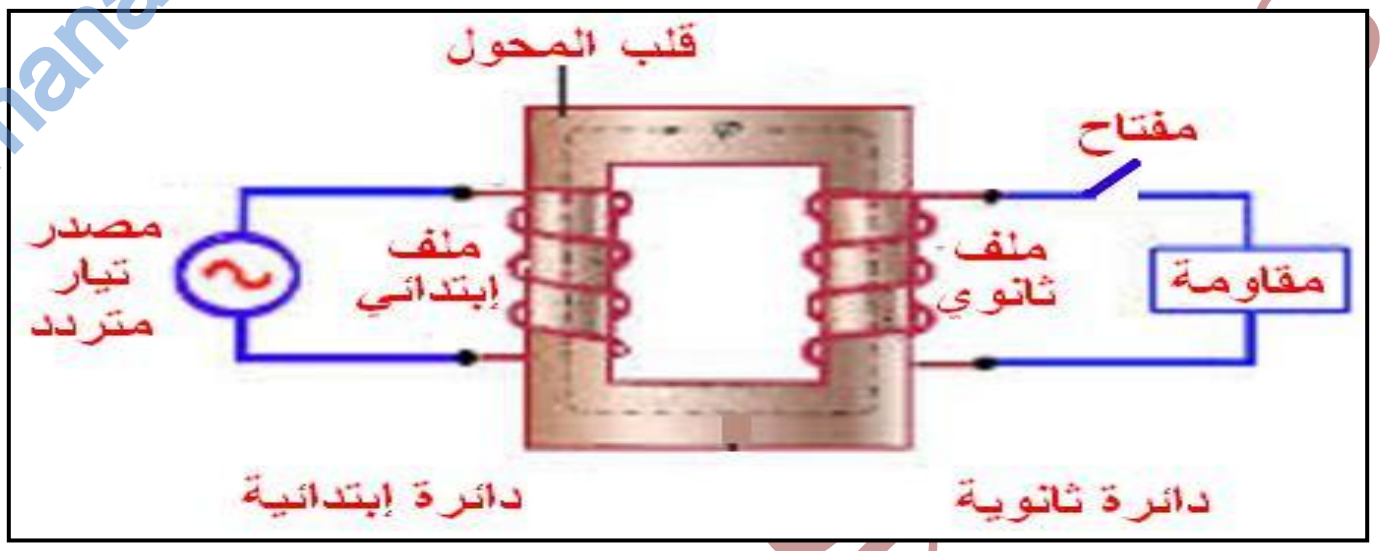



ويعيد حركته من جديد مع استمرار تغذية الملف بالتيار الكهربائي .

almanahj.com/om
physics genius

# تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي:

# (( المحول الكهربائي ))




◄ **مبدأ عمله :**

يعتمد مبدأ عمل المحول الكهربائي على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

◄ **تركيبه :**

يتركب المحول الكهربائي من :

- دائرة ابتدائية تحتوي على :
  - مصدر تيار متردد
  - ملف ابتدائي يحتوي على عدد من اللفات .
- دائرة ثانوية تحتوي على :
  - ملف ثانوي يحتوي على عدد من اللفات .
  - مقاومة الحمل وهي الجهاز المراد إمداده بالطاقة الكهربائية .
- قلب المحول وهو من الحديد المطاوع على هيئة شرائح رقيقة ومعزولة عن بعضها البعض .

◄ **الغرض منه :**

المحول الكهربائي عبارة عن جهاز يقوم بتحويل الجهد الكهربائي المتردد من مرتفع إلى منخفض والعكس صحيح ويستخدم في نقل الطاقة الكهربائية من مناطق التوليد إلى مناطق الاستهلاك .

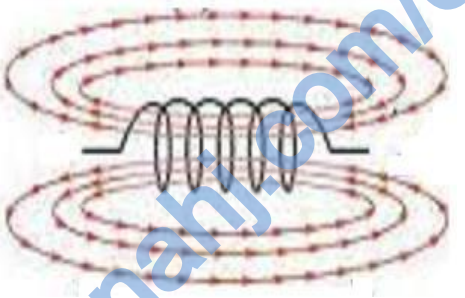
◄ **فكرة العمل :**

تعتمد فكرة عمله على الحث المتبادل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي فعند إغلاق دائرتي الملفين ينشأ مجال مغناطيسي في دائرة الملف الابتدائي بفعل التيار الكهربائي يعمل على توليد تغير في الفيض المغناطيسي للملف الثانوي مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية فيه .

◄ **طريقة العمل :**

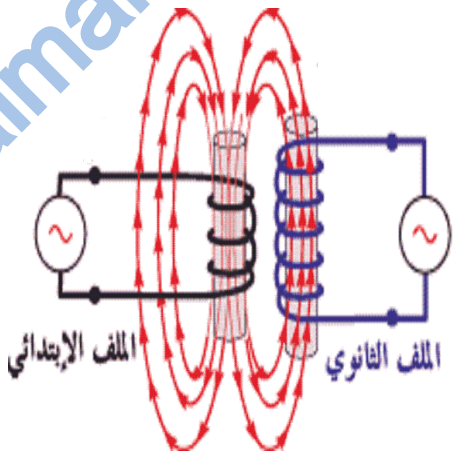
عند توصيل الدائرتين كما هو موضح بالشكل أعلاه ، حيث يوصل الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد ويوصل الملف الثانوي بالجهاز المراد إمداده بالطاقة الكهربائي , وعندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة ودائرة الملف الابتدائي

almanahj.com
physics



مغلقة فإنه لن يمر تيار في أي من الملفين والسبب يعود إلى الحث الذاتي الذي يحدث في الملف الابتدائي حيث أنه عند مرور تيار كهربائي متغير الشدة ومتغير الاتجاه في دائرة الملف الابتدائي فإنه يتولد داخل وخارج الملف الابتدائي مجالاً مغناطيسياً أيضا متغير الشدة ومتغير الاتجاه ☜

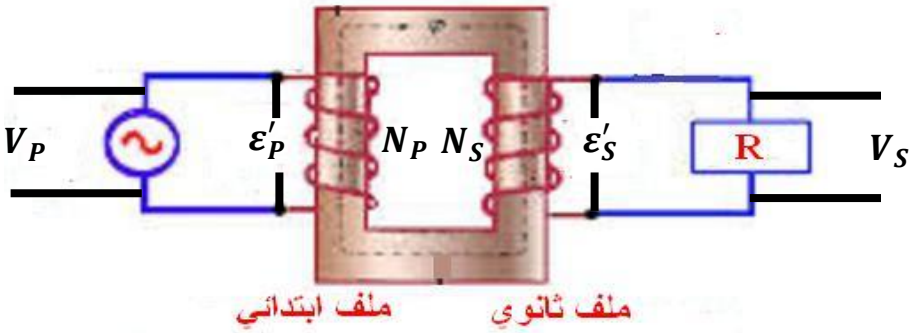
يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية بين طرفي الملف الابتدائي تؤدي إلى توليد تيار كهربائي تأثيري عكسي ( قانون لنز ) يعاكس اتجاه التيار الأصلي في الاتجاه ويساوي له في المقدار مما يؤدي إلى انعدام التيار الكهربائي في دائرة الملف الابتدائي .




وعند إغلاق دائرة الملفين الابتدائي والثانوي وعند مرور التيار الكهربائي المتردد في دائرة الملف الابتدائي يعمل على توليد مجالاً مغناطيسياً متغير الشدة ومتغير الاتجاه يعمل قلب الحديد المطاوع على تجميع خطوط المجال المغناطيسي الناشئ وجعلها تخترق سطح الملف الثانوي مما يؤدي إلى توليد فيض مغناطيسي متغير يخترق سطح الملف الثانوي ويؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية بين طرفي الملف الثانوي تؤدي إلى تولد تيار تأثيري متردد تردده نفس تردد المصدر يمر عبر مقاومة الحمل . ☜

يعمل التيار التأثيري على توليد مجالاً مغناطيسياً داخل وخارج الملف الثانوي يعاكس المجال المغناطيسي المسبب له يؤدي إلى إضعاف الفيض المغناطيسي الذي يخترق سطح الملف الابتدائي يؤدي إلى إضعاف القوة الدافعة التأثيرية المتولدة فيه بفعل الحث الذاتي وبالتالي سيتمكن التيار الأصلي من المرور في الملف الابتدائي طوال فترة إغلاق دائرة الملف الثانوي .

◄ **العلاقة بين القوتين الدافعتين التأثيريتين في ملفي المحول :**




نفترض أن :

- $V_P$ هو فرق الجهد بين طرفي الملف المصدر في الملف الابتدائي .
- $N_P$ هي عدد لفات الملف الابتدائي .
- $\varepsilon'_P$ هي القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في الملف الابتدائي بفعل الحث الذاتي .
- $V_S$ هو فرق الجهد بين طرفي مقاومة الحمل في الملف الثانوي .
- $N_S$ هي عدد لفات الملف الثانوي .
- $\varepsilon'_S$ هي القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في الملف الثانوي بفعل الحث المتبادل بين الملفين .

■ **عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة ودائرة الملف الابتدائي مغلقة :**

بفعل الحث الذاتي يتولد قوة دافعة تأثيرية بين طرفي الملف يمكن حسابها باستخدام قانون فاراداي- لنز كما يلي :

$$\varepsilon'_P = -N_P . \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_P$$

وبما أن الملف يتصل على التوازي مع المصدر المتردد فإنه يمكن القول أن :

$$V_P = \varepsilon'_P$$

almanahj.com/om
physics genius

وبالتالي فإن :

$$V_P = -N_P.\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_P$$

■ عندما تكون دائرة الملف الثانوي مغلقة ودائرة الملف الابتدائي مغلقة :

هنا سيتولد بفعل الحث الكهرمغناطيسي قوة دافعة تأثيرية بين طرفا الملف الثانوي مقدارها :

$$\varepsilon'_S = -N_S.\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_S$$

القوة الدافعة التأثيرية تؤدي إلى تولد تيار تأثيري يمر عبر مقاومة الحمل مما يؤدي إلى تولد فرق في الجهد بين طرفا المقاومة مقداره $V_S$

وبما أن المقاومة تتصل على التوازي مع الملف الثانوي فإنه يمكن القول أن :

$$V_S = \varepsilon'_S$$

وبالتالي فإن :

$$V_S = -N_S.\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_S$$

وإذا افترضنا أن المحول مثالي أي لا يوجد فقد في الطاقة الكهربائية في المحول فإنه لابد أن يكون جميع خطوط المجال المغناطيسي الناشئة من الملف الابتدائي ستخترق سطح الملف الثانوي وحينها يمكن القول أن :

$$\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_P = \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)_S$$

$$-\frac{V_P}{N_P} = -\frac{V_S}{N_S}$$

ومنها نحصل على :

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

وبما أنه أيضاً لا يوجد فقد في الطاقة الكهربائية فإنه يمكن القول أن :

الطاقة الكهربائية المستنفذة في الملف الثانوي = الطاقة الكهربائية المستنفذة في الملف الابتدائي

$$E_P = E_S$$

حيث أن الطاقة الكهربائية = القدرة الكهربائية × الزمن

فإن :

$$E = P.t$$

حيث أن :

$P$ هي القدرة الكهربائية وتساوي ( $V.I$ ) ومنها يمكن القول الطاقة الكهربائية الداخلة إلى المحول :

$$E_P = V_P.I_P.t$$

وبنفس الطريقة نحصل على الطاقة الكهربائية الخارجة من المحول :

$$E_S = V_S.I_S.t$$

وبالتالي فإن :

$$V_P.I_P.t = V_S.I_S.t$$

$$V_P.I_P = V_S.I_S$$

ومنها نحصل على :

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

وأخيراً نحصل على :

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

almanahj.com/om
physics genius

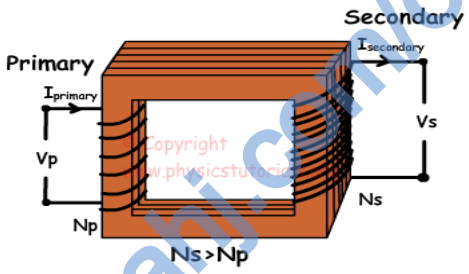
## ◄ أنواع المحول الكهربائي :

عند النظر إلى العلاقة الأخيرة نستنتج أنه إذا كان :

● $N_S > N_P$ فإن : ☜

$$V_S > V_P$$
$$I_S < I_P$$

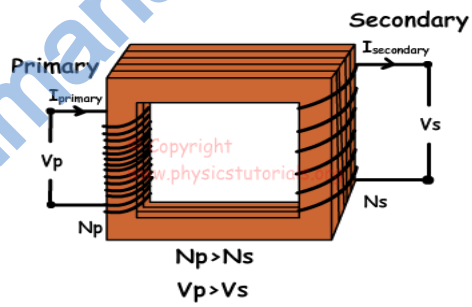
ويسمى المحول في هذه الحالة (( محول رافع للجهد وخافض لشدة التيار الكهربائي )) .




● $N_S < N_P$ فإن : ☜

$$V_S < V_P$$
$$I_S > I_P$$

ويسمى المحول في هذه الحالة (( محول خافض للجهد ورافع لشدة التيار الكهربائي )) .




## ◄ كفاءة المحول الكهربائي :

في الواقع لا يوجد محول مثالي ( كفاءته 100% ) ، وذلك لأن المحول يفقد جزءاً من طاقته الكهربائية لعدة أسباب وهي :

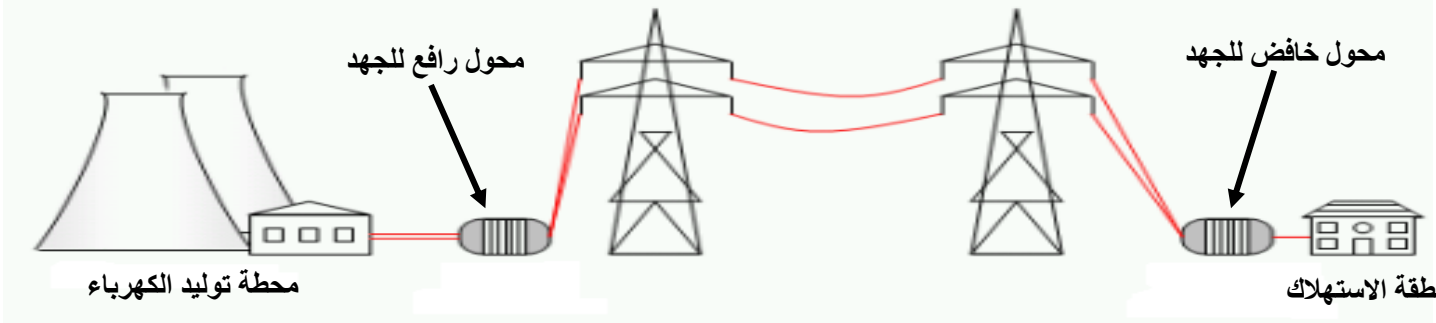
- جزءاً من الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة حرارية في الأسلاك بسبب مقاومتها ولإنقاص هذه الطاقة المفقودة تستخدم أسلاك معدنية سميكة ومقاومتها النوعية صغيرة .
- جزءاً من الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة حرارية في القلب الحديدي بفعل التيارات الدوامية المتكونة فيه ولتفادي هذه التيارات يصنع القلب الحديدي من الحديد المطاوع ومن شرائح رقيقة ومعزولة .
- جزءاً من الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة ميكانيكية تستخدم في تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدي وللحد منها يستخدم الحديد المطاوع في صناعة القلب الحديدي لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية .
- جزءاً من الطاقة يفقد نتيجة تسرب خطوط المجال المغناطيسي إلى خارج لفات الملف الثانوي وللحد من ذلك يستخدم القلب الحديدي بالإضافة إلى ذلك يلف الملف الثانوي حول الملف الابتدائي مع ضرورة عزلهما عن بعضهما.

## ◄ نقل الطاقة الكهربائية :

عند نقل الطاقة الكهربائية من مناطق توليدها ( محطات توليد الكهرباء ) إلى مناطق استهلاكها (المنازل والمصانع ... إلخ)فإن جزءاً من هذه الطاقة يفقد بسبب مقاومة الأسلاك على هيئة طاقة حرارية يمكن إيجادها بالعلاقة :

$$E = I^2 . R$$

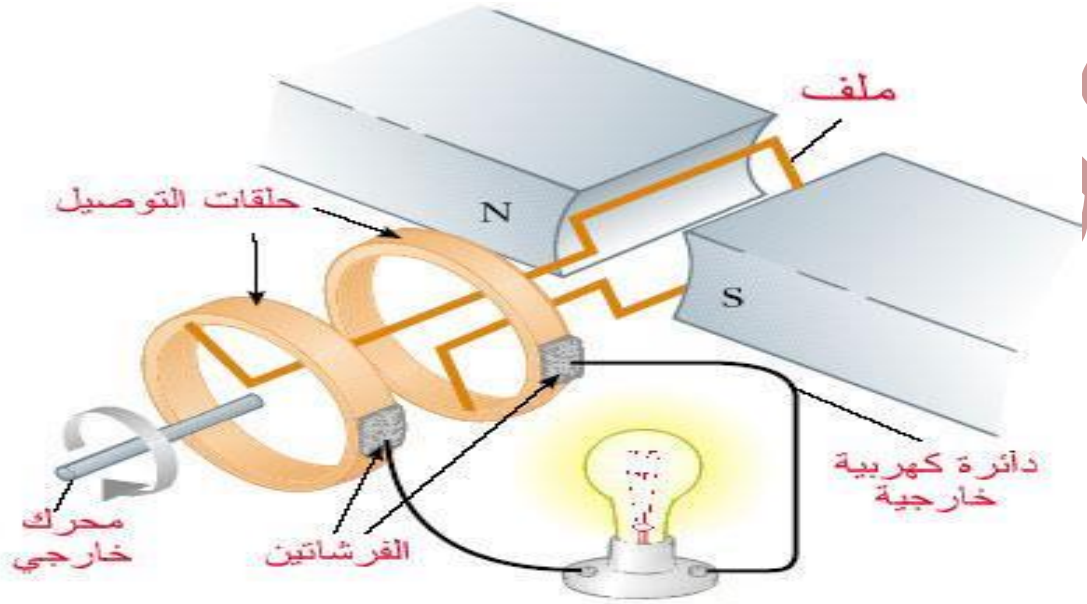
وللتغلب على هذا الفقد في الطاقة الكهربائية المنقولة يتم اتخاذ بعض الإجراءات ومنها استخدام أسلاك غليظة ( سميكة ) ذات مقاومة نوعية صغيرة إلا أن هذه العملية مكلفة مادياً وكذلك يتم تطبيقها ضمن حدود معينة ، إلا إنه حالياً تم التقليل من هذه المشكلة باستخدام المحول الكهربائي حيث يستخدم محول رافع للجهد وخافض لشدة التيار الكهربائي بمقدار صغير جداً بالقرب من محطات توليد الكهرباء وبالتالي يكون مقدار الطاقة المفقودة على شكل حرارة صغير جداً ، أما عند مناطق الاستهلاك فيستخدم محول خافض للجهد ورافع لشدة التيار الكهربائي ، كما هو واضح في الشكل أدناه :




almanahj.com
physics genius

almanahj.com/om

# تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي
# ( المولد الكهربائي )




**◄ الغرض منه :**

**جهاز كهربائي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية ( الحركية ) إلى طاقة كهربائية بواسطة المجال المغناطيسي المنتظم .**

**◄ مبدأ عمله :**

**يعتمد مبدأ عمل المولد الكهربائي على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي .**

**◄ تركيبه :**

**في ابسط تركيب للمولد الكهربائي فهو يتكون من :**

- **مغناطيس دائم على هيئة حذاء الفرس .**
- **ملف يتكون من عدد من اللفات موضوع في منطقة المجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيس وقابل للدوران حول محور موازي لطوله مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة ويسمى عضو الإنتاج الكهربائي .**
- **حلقتين معدنيتين تتصلان بطرفا الملف وقابلتين للدوران بحث تدوران مع دوران الملف .**
- **فراشاتين ثابتتين من الكربون أو الجرافيت تنزلق عليهما الحلقتين تعملان على نقل التيار الكهربائي المتولد في الملف إلى الدائرة الخارجية المراد تشغيلها .**
- **محور دوران الملف يتصل بقوة محركة خارجية يتم إدارته بواسطة توربينات يتم تدويرها بواسطة مساقط شلالات المياه أو طاقة الرياح أو الضغط العالي لبخار الماء ..... إلخ .**

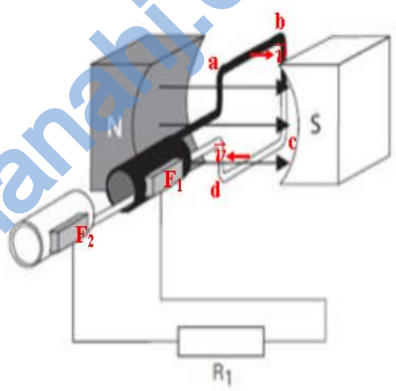
**◄ فكرة العمل :**

**عند دوران الملف داخل منطقة المجال بواسطة محور الدوران فإنه سيقطع خطوط المجال المغناطيسي مما يؤدي إلى إحداث تغير في الفيض المغناطيسي وتولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي إلى تولد تيار تأثيري في الملف ينتقل عبر الحلقتين والفرشاتان إلى الدائرة الخارجية المراد تشغيلها .**

physics & maths

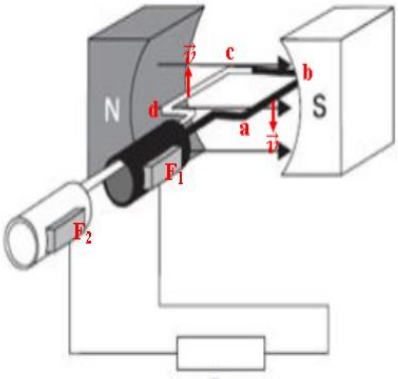
## ◄ طريقة العمل :

نفترض في البداية أن الملف ( abcd ) موضوع بحيث يكون مستواه عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي ويسمى هذا الموضع بموضع الصفر ويكون الضلع ( $\overline{ab}$ ) في الأعلى والضلع ( $\overline{bc}$ ) في الخلف والضلع ( $\overline{cd}$ ) في الأسفل والضلع ( $\overline{da}$ ) في الأمام كما هو موضح في الشكل المقابل ☜



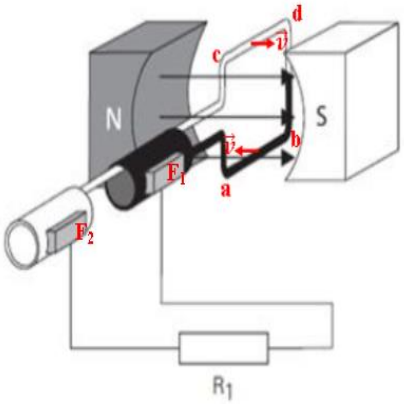

هنا يكون الملف لم يبدأ في الحركة بعد , وإذا افترضنا أن الملف بدأ بالدوران مع عقارب الساعة ، وإذا ما اعتبرنا أن كل ضلع من أضلاع الملف عبارة عن سلك موصل يتحرك داخل منطقة المجال المغناطيسي ، عندها يكون اتجاه حركة الضلعان ( $\overline{ab}$ ) و ( $\overline{cd}$ ) تؤدي إلى إحداث قطع في خطوط المجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية على كل منهما تؤدي إلى تولد تيار تأثيري على السلك أو الضلع يمكن تحديد اتجاهه باستخدام قاعدة اليد اليمنى لفليمنج ، أما بالنسبة للضلعان ( $\overline{bc}$ ) و ( $\overline{da}$ ) فدائماً اتجاه حركتهما يكون موازياً لخطوط المجال المغناطيسي وبالتالي لن يتولد أي قوة دافعة تأثيرية على كل منهما على طول حركتهما داخل منطقة المجال .

عند بداية دوران الملف يبدأ الضلعين ( $\overline{ab}$ ) و ( $\overline{cd}$ ) في قطع خطوط المجال المغناطيسي ويبدأ تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية بين طرفيهما وتولد تيار تأثيري وعند تحديد اتجاه التيار على كل منها باستخدام قاعدة اليد اليمنى لفليمنج نجد أن اتجاه التيار التأثيري على الضلع ( $\overline{ab}$ ) والذي يتحرك إلى الأسفل من b إلى a أما في الضلع ( $\overline{cd}$ ) والذي يتحرك إلى الأعلى يكون اتجاهه من d إلى c وهنا نجد أن التيارين في الملف في نفس الاتجاه أي أن القوتين الدافعتين التأثيريتين المتولدتين في الملف تكونان في نفس الاتجاه وتكون شدة التيار التأثيري الكلي الناتج في الملف هو مجموع التيارين المتولدين فينتقل التيار الكلي عبر الملف من d إلى c ثم إلى b ثم a ويخرج عبر الفرشاة $F_1$ إلى المقاومة الكهربائية الخارجية ثم إلى $F_2$ ( أي أن اتجاه التيار في الدائرة الخارجية يكون مع عقارب الساعة ) .



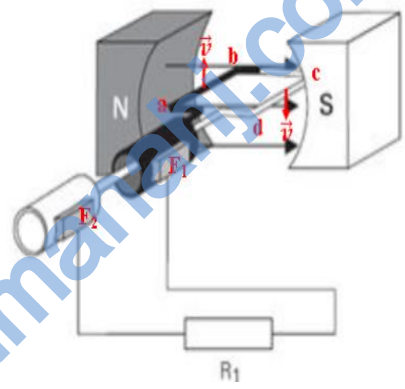

مع استمرار الملف في الدوران يزداد معدل القطع لخطوط المجال المغناطيسي تدريجياً وبالتالي يزداد مقدار القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة في الملف تدريجياً وكذلك بالنسبة لشدة التيار التأثيري ، إلى أن يكمل الملف ربع دورة ويكون مستوى الملف موازي لخطوط المجال المغناطيسي كم هو واضح في الشكل المقابل ☜

عندها يكون مقدار القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري أكبر ما يمكن ، ومع استمرار الملف في الدوران يبدأ معدل القطع في خطوط المجال يتناقص تدريجيا ويتناقص معه مقدار كلاً من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري إلا أن اتجاه التيار المار عبر المقاومة الخارجية يضل كما هو عليه مع عقارب الساعة لأن اتجاه حركة كل من الضلعين ما زال كما هو ، إلى أن يكمل الملف نصف دورة وعندها يكون الضلع ( $\overline{ab}$ ) في الأسفل والضلع ( $\overline{cd}$ ) في الأعلى كما هو واضح في الشكل المقابل ☜

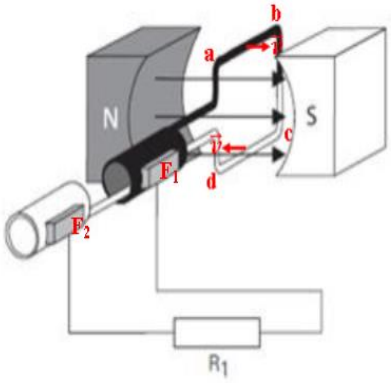



عندها يصبح قيمة كلاً القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري مساوية للصفر وبالتالي لن يمر تيار عبر المقاومة الخارجية ، ومع استمرار الملف في الدوران هنا ينعكس اتجاه حركة الأضلاع فيصبح اتجاه حركة الضلع ( $\overline{ab}$ ) إلى الأعلى أما الضلع ( $\overline{cd}$ ) إلى الأسفل وينعكس معه اتجاه القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري المتولدين على كل منهما وبنفس الطريقة وباستخدام قاعدة اليد اليمنى لفليمنج نستطيع تحديد اتجاه التيار التأثيري المتولد على الضلعين ، فيصبح اتجاهه بالنسبة للضلع ( $\overline{ab}$ ) الآن من a إلى b أما بالنسبة

almanahj.com/om




للضلع ( $\overline{cd}$ ) فيصبح اتجاه التيار فيه من d إلى c وعندها فإن التيار التأثيري سيخرج من الملف عبر الفرشاة $F_2$ مروراً بالمقاومة الخارجية إلى الفرشاة $F_1$ أي أن التيار التأثيري يصبح اتجاهه الآن في الدائرة الخارجية في عكس عقارب الساعة ( أي أن التيار الكهربائي المار عبر المقاومة الخارجية قد عكس اتجاهه في النصف الثاني من دورة الملف داخل منطقة المجال المغناطيسي ) ، ومع استمرار الملف في الدوران يزداد معدل القطع في خطوط المجال المغناطيسي تدريجياً ما يؤدي إلى زيادة مقدار كلاً من القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية وشدة التيار الكهربائي التأثيري تدريجياً إلى أن يصلا لأكبر قيمة لهما عندما يكمل الملف ثلاثة أرباع الدورة ويصبح في الوضع المقابل ( مستوى الملف موازياً لخطوط المجال ) ☜

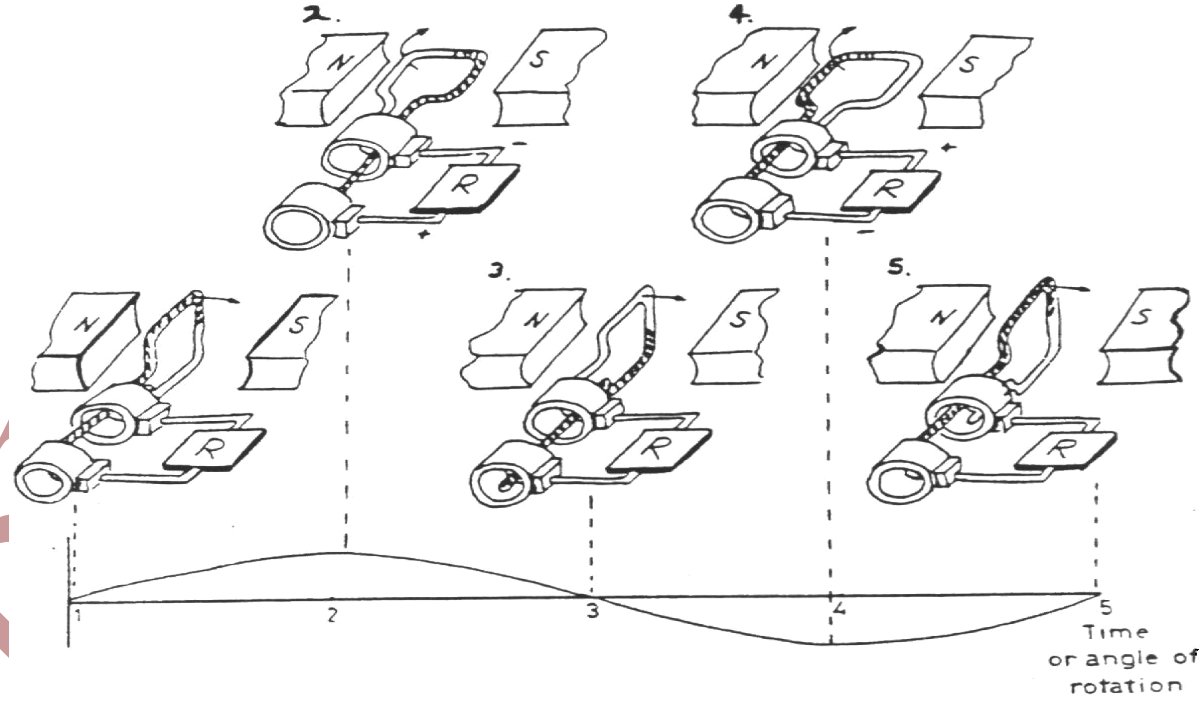



ومع استمرار الملف في الدوران مرة أخرى يبدأ معدل القطع في خطوط المجال يتناقص تدريجيا ويتناقص معه مقدار كلا من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري إلا أن اتجاه التيار المار عبر المقاومة الخارجية يضل كما هو عليه عكس عقارب الساعة لأن اتجاه حركة كل من الضلعين ما زال كما هو ، إلى أن يكمل الملف دورة كاملة وعندها يعود الضلعان ($\overline{ab}$ ) و ( $\overline{cd}$ ) إلى الموضع الذي ابتدءا منه عند بداية دوران الملف ، كما هو واضح في الشكل المقابل ☜

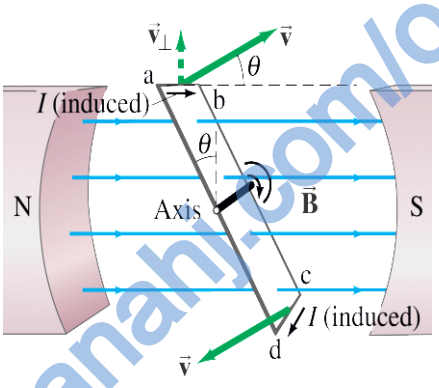
ويصبح مقدار كلاً من القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية وشدة التيار التأثيري مساوياً للصفر .

من هنا نستنتج أن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية والتيار الكهربائي المتولد عنها متغيران في الشدة والاتجاه ويطلق على كل منهما القوة الدافعة التأثيرية المترددة والتيار التأثيري المتردد ويسمى المولد في هذه الحالة بالمولد الكهربائي المتردد .

والشكل أدناه يوضح تغير مقدار كلاً من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري خلال دورة كاملة لملف المولد الكهربائى :




almanahj.com/om




## ◄ حساب القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في ملف المولد الكهربائي :

نفترض أن الملف يدور مع عقارب الساعة ، وعند لحظة معينه اصبح في الموضع الموضح في الشكل المقابل ☜

إذا كان الملف مستطيل الشكل ويدور حول محور موازي لطوله فإن:

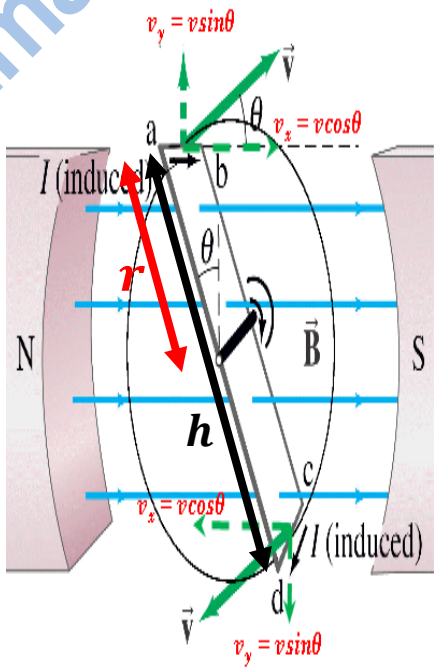
$l$ ( طول الملف ) = طول الضلع ( $\overline{ab}$ ) والضلع ( $\overline{cd}$ ) .

$h$ ( عرض الملف ) = طول الضلع ( $\overline{bc}$ ) والضلع ( $\overline{da}$ ) .

كما ذكرنا سابقاً أثناء شرح طريقة عمل المولد أن الضلعان ( $\overline{bc}$ ) و ( $\overline{da}$ ) اثناء حركتهما لا يقطعان خطوط الفيض المغناطيسي وبالتالي فإن القوة الدافعة التأثيرية المتولدة على كل منهما تساوي صفر

أما الضلعان ( $\overline{ab}$ ) و ( $\overline{cd}$ ) فيعملان على قطع خطوط الفيض ويمكن مقدار القوة الدافعة المتولدة على كل منهما من العلاقة :

$$\varepsilon' = \vec{B}.\vec{v}.l$$




عند تحليل متجه السرعة إلى مركبتين أفقية ( $v_x$ ) ورأسية ( $v_y$ ) كما هو واضح في الشكل المقابل ☜

نجد أن المركبة الأفقية ( $v_x = v\cos\theta$ ) دائماً تكون موازية لخطوط المجال المغناطيسي أما المركبة الرأسية ( $v_y = v\sin\theta$ ) فتكون عمودية لخطوط المجال وبالتالي فإن حركة الضلع في المحور الأفقي لا تؤدي إلى إحداث قطع في خطوط المجال المغناطيسي وبالتالي لن يتولد عن هذه الحركة قوة دافعة تأثيرية أما الحركة الرأسية للضلع فتؤدي إلى إحداث قطع في خطوط المجال وبالتالي فإن القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في هذا الضلع تكون ناتجة فقط من الحركة الرأسية للضلع وعندها يمكن القول أن :

$$\varepsilon' = B.l.v_y$$

وبالتالي فإن القوة الدافعة المتولدة على الضلع ( $\overline{ab}$ ) تساوي :

$$\varepsilon'_{\overline{ab}} = B.l.v\sin\theta$$

والقوة الدافعة المتولدة على الضلع ( $\overline{cd}$ ) تساوي :

$$\varepsilon'_{\overline{cd}} = B.l.v\sin\theta$$

وبما أن القوتين الدافعتين في نفس الاتجاه في الملف فإن القوة الدافعة الكلية المتولدة في الملف تساوي :

$$\varepsilon' = \varepsilon'_{\overline{ab}} + \varepsilon'_{\overline{cd}}$$

$$\varepsilon' = B.l.v\sin\theta + B.l.v\sin\theta$$

$$\therefore \varepsilon' = 2B.l.v\sin\theta$$

إذا افترضنا أن الملف يتكون من ( $N$ ) لفة ، عندها يصبح مقدار القوة الدافعة :

$$\boxed{\varepsilon' = 2NB.l.v\sin\theta} \quad \boxed{1}$$

كما نلاحظ في الشكل نجد أن الملف أثناء دورانه فإن الضلعان ( $\overline{ab}$ ) و ( $\overline{cd}$ ) يتحركان في مسار دائري نصف قطره ( $r$ ) ويساوي :

$$r = \frac{h}{2}$$

حيث أن ( $h$ ) يمثل عرض الملف .

almanahj.com/om
physics genius

وبما أن الضلعان يتحركان في مسار دائري فسوف يكون لها سرعتان :

- سرعة خطية ( $v$ ) .
- سرعة زاوية ( $\omega$ ) .

وترتبطان ببعضهما بالعلاقة :

$$v = \omega . r$$

وبالتعويض عن مقدار ( $r = \frac{h}{2}$ ) ، نحصل على :

$$v = \frac{\omega . h}{2}$$

وبالتعويض عن ( $v$ ) في العلاقة رقم ( 1 ) نحصل على :

$$\varepsilon' = 2NB.l.\frac{\omega . h}{2} \sin\theta$$

وأيضا نجد في العلاقة أن المقدار ( $l.h$ ) يمثل مساحة الملف ( $A$ ) حيث أن :

$$A = l.h$$

ومنها نحصل على :

$$\varepsilon' = NB.A.\omega \sin(\theta)$$

كما يمكن إيجاد مقدار الزاوية ( $\theta$ ) من العلاقة :

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \rightarrow \quad \theta = \omega . t$$

وبالتالي تصبح العلاقة الأخيرة كما يلي :

$$\varepsilon' = NB.A.\omega \sin(\omega . t)$$

حيث أن :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \qquad (rad/s)$$

حيث أن :

$$(\text{التردد}) f = \frac{n(\text{عدد الدورات})}{t(\text{الزمن})} \qquad (Hz)$$

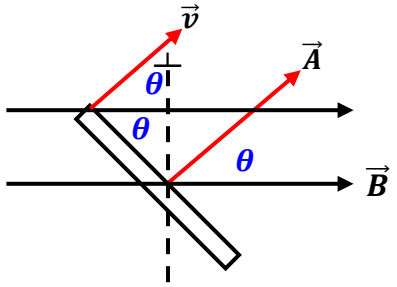
$$(\text{الزمن الدوري}) T = \frac{t}{n} \qquad (s)$$

$$\pi = 3.1415$$

☜ ملاحظة :

الزاوية ( $\theta$ ) هي الزاوية :

- المحصورة بين اتجاه السرعة ($\vec{v}$) وخطوط المجال المغناطيسي .
- المحصورة بين اتجاه العمودي على مستوى الملف ($\vec{A}$) وخطوط المجال المغناطيسي .
- المحصورة بين مستوى الملف والعمودي على خطوط المجال المغناطيسي($\perp$) .



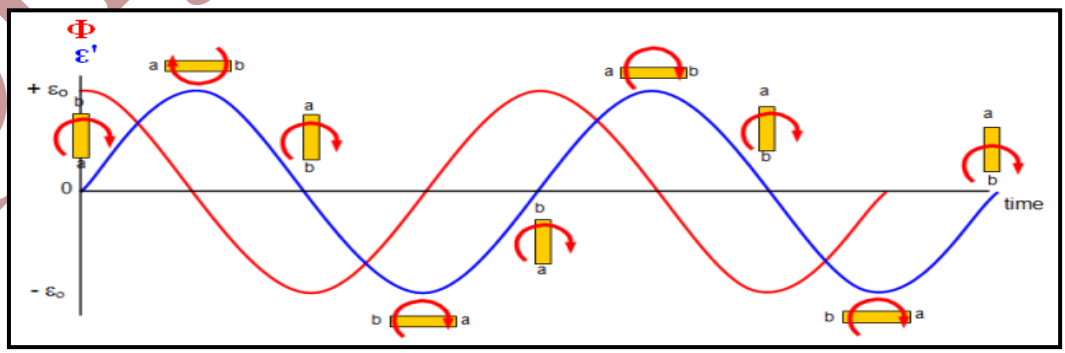

◄ ملاحظة :

- يجب الانتباه عند استخدام المعادلة ( $\varepsilon' = NB.A.\omega \sin(\omega . t)$ ) أن يكون نظام الآلة الحاسبة بنظام الراديان ( rad ).

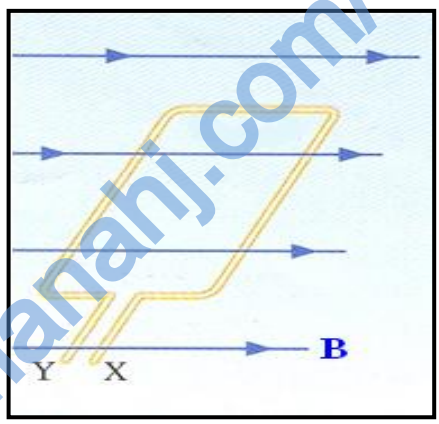
أو يمكن جعله بنظام الدرجة على أن تكون المعادلة كما يلي :

$$\varepsilon' = NB.A.\omega \sin\left(\omega . t \times \frac{180}{\pi}\right)$$

- مقدار القوة الدافعة التأثيرية في المولد يعاكس مقدار الفيض المغناطيسي ، فعندما تكون القوة الدافعة التأثيرية أكبر ما يمكن يكون مقدار الفيض مساوياً للصفر والعكس صحيح ، والمنحنى البياني التالي يوضح ذلك :




almanahj.com/om
physics genius




◄ **حساب اقصى قيمة للقوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري :**

كما ذكرنا سابقاً في أثناء شرح طريقة عمل المولد الكهربائي أن أقصى مقدار للقوة الدافعة التأثيرية ( $\varepsilon'$ ) يتولد عندما يكون مستوى الملف داخل منطقة المجال المغناطيسي موازياً لخطوط المجال المخناطيسي وعندها يكون مستوى الملف يصنع زاوية مقدارها ( صفر ) مع خطوط المجال كما هو موضح في الشكل المقابل ☜

وتكون الزاوية ( $\theta$ ) بين العمودي على مستوى الملف وخطوط المجال مقارها ( $90°$ ) وعندها نحصل على :

$$sin\ 90° = 1$$

وبالتعويض في المعادلة :

$$\varepsilon' = NB.A.\omega\ sin(\theta) \qquad \gg 1$$

نحصل على :

$$\varepsilon' = NB.A.\omega\ sin(90)$$

$$\varepsilon' = N.B.A.\omega$$

بما أن المقادير $N.B.A.\omega$ هي مقادير ثابتة في ملف المولد ، والذي يتغير فقط هو مقدار ( $\theta$ ) خلال دوران الملف

نستنتج أن مقدار ( $\varepsilon'$ ) يعتمد على ( $sin\,\theta$ ) فقط وبما أن أكبر مقدار لـ( $sin\,\theta$ ) هو الواحد فإنه عندئذ سنحصل على أكبر مقدار لـ ( $\varepsilon'$ ) وبالتالي فإن :

$$\varepsilon'_{max} = N.B.A.\omega$$

وعند التعويض في المعادلة ( □ ) عن مقدار ( $\varepsilon'_{max}$ ) سنحصل على :

$$\varepsilon' = \varepsilon'_{max}\ sin(\theta)$$

وبنفس الطريقة يمكن القول أن :

$$\varepsilon' = \varepsilon'_{max}\ sin(\omega t)$$

إذا افترضنا أن التيار الكهربائي التأثيري يمر عبر مقاومة مقدارها ( $R$ ) فإن أقصى قيمة لشدة التيار المار ( $I'_{max}$ ) حسب قانون أوم سوف تكون :

$$I'_{max} = \frac{\varepsilon'_{max}}{R}$$

وقيمة شدة التيار عند أي لحظة خلال دوران ملف المولد سوف تكون :

$$I' = I'_{max}.sin\,\theta$$

أو

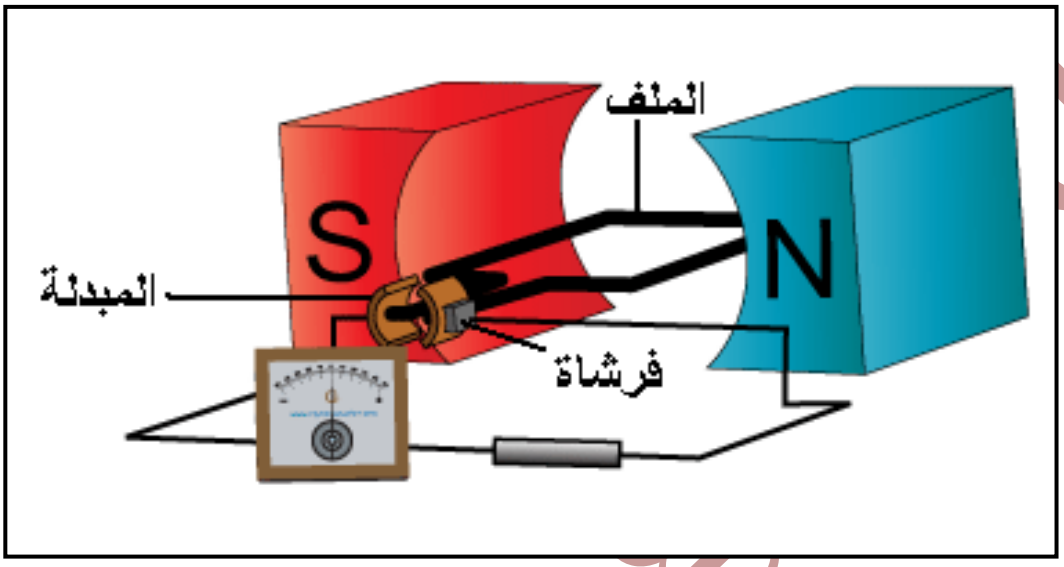
$$I' = I'_{max}.sin(\omega t)$$

almanahj.com/om
physics genius

## ◄ تقويم التيار المتردد :

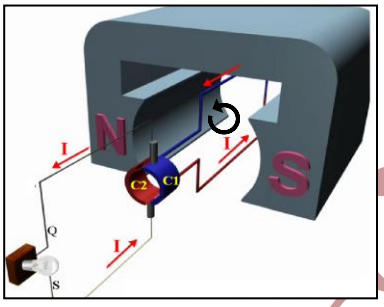
كما لاحظنا سابقاً أن التيار الناتج بواسطة المولد الكهربائي تيار متغير الشدة ومتغير الاتجاه وهذا النوع من التيارات قد لا تعمل معه العديد من الأجهزة الكهربائية مما يؤدي إلى تلفها , وهنا نلجأ إلى عملية تقويم التيار المتردد ويقصد بها تحويل التيار من متغير الإتجاه إلى تيار ثابت الإتجاه.

تتم عملية تقويم التيار المتردد عن طريق عمل تعديل بسيط في تركيب المولد الكهربائي وهو استبدال الحلقتين المعدنيتين بنصفي حلقة يطلق عليهما بإسم ( المبدلة ) بحيث يتصل كل نصف منهما بأحد أطراف المولد ويكون مستواهما متعامد مع مستوى ملف المولد ، وقابلان للدوران مع دوران الملف ، ويوضح الشكل أدناه تركيب مبسط للمولد بعد استبدال الحلقتين بالمبدلة :

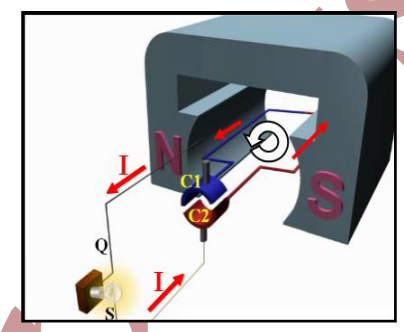



## ◄ طريقة العمل :

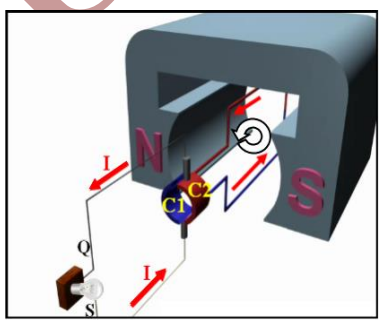
لنفترض في البداية أن الملف موضوع عند موضع الصفر ( مستوى الملف عمودياً على خطوط المجال ) ويتم تدوير الملف بواسطة محور الدوران في اتجاه عكس عقارب الساعة ، كما هو موضح في الشكل المقابل ☜




عند بداية الدوران يكون الضلع الأزرق للملف في الأعلى والذي يكون اتجاه حركته إلى الاسفل ويكون الضلع الأحمر للملف في الأسفل واتجاه حركته إلى الأعلى ، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى لفليمنج نجد أن التيار يتحرك في الملف في الاتجاه الموضح بالشكل ، هنا أيضاً نجد أن الضلع الأزرق يتصل بنصف الحلقة ( C1 ) والتي بدورها تكون متصلة بالفرشاة العلوية للدائرة الخارجية ، وكذلك يكون الضلع الأحمر متصلاً بنصف الحلقة ( C2 ) والتي تكون متصلة بالفرشاة السفلية للدائرة الخارجية ، وبالتالي فإن التيار المتكون في الملف سوف ينتقل من الملف إلى الدائرة الخارجية بحيث يدخل من الفرشاة العلوية مرورا بالطرف ( Q ) للمصباح إلى الطرف ( S ) ويخرج من الفرشاة السفلية ( أي أن التيار يتحرك داخل الدائرة الخارجية في اتجاه عكس عقارب الساعة )

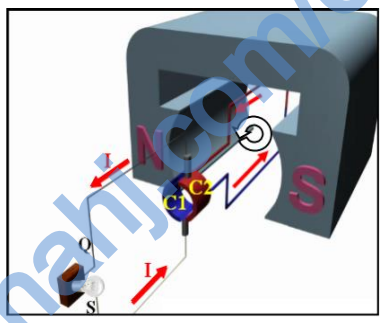


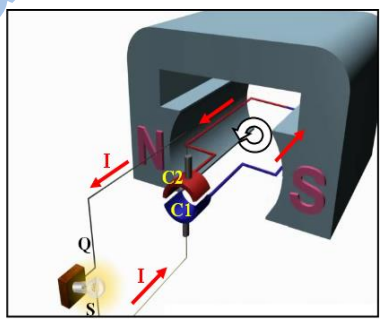

مع استمرار الملف في الدوران يزداد مقدار القوة الدافعة الكهربائية في الملف وتزداد شدة التيار التأثير المتولد فيه وبالتالي تزداد شدة التيار المار عبر المصباح ، إلى أن يكمل الملف ربع دورة ويصبح مستواه موازياً لخطوط المجال المغناطيسي ، كما هو موضح في الشكل المقابل ☜




عندها يكون مقدار كلاً من القوة الدافعة الكهربائية والتيار التأثيري أكبر ما يمكن , ومع استمرار الملف في الدوران يبدأ مقدار كلا من القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية والتيار التأثيري في الملف بالتناقص تدريجيا إلى أن يكمل الملف نصف دورة عندها يكون مقدار القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري مساوياً للصفر وتكون الفرشاتان تتصلان بالمادة العازلة بين نصفي الحلقة وبالتالي لن يمر تيار عبر الدائرة الخارجية ، وكذلك يصبح الضلع الأزرق للملف في الأسفل والضلع الأحمر في الأعلى ، كما هو موضح في الشكل المقابل ☜

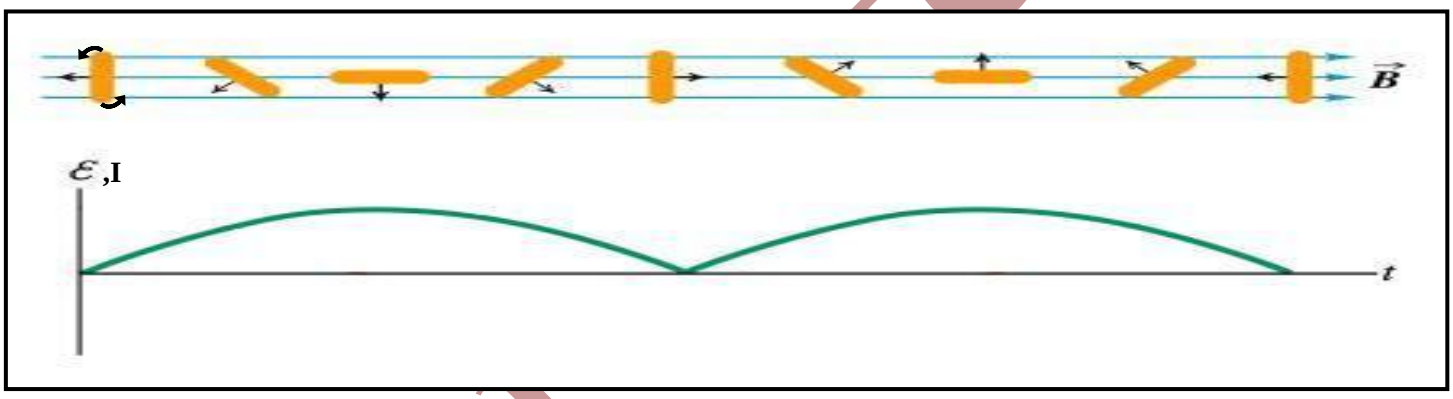
almanahj.com/om




عند استمرار الملف في الدوران سوف يتحرك الضلع الأزرق في هذه الحالة إلى الأعلى والضلع الأحمر إلى الأسفل ( أي أن الضلعين سيعكسان اتجاه حركتيهما في النصف الثاني ) وبالتالي سينعكس اتجاه التيار التأثيري على كل منهما ويصبح اتجاهه على كل منهما كما هو موضح في الشكل المقابل ☜
وكذلك أيضا نجد أن نصف الحلقة ( C1 ) سيصبح متصلاً بالفرشاة السفلية ونصف الحلقة ( C2 ) سيصبح متصلاً بالفرشاة العلوية ( أي أن نصفي الحلقة قد استبدلا موضعها خلال النصف الدورة لذلك يطلق عليها بالمبدلة ) ، وعند متابعة اتجاه التيار في الملف سنجد أن التيار سيخرج إلى الدائرة الخارجية عبر نصف الحلقة ( C2 ) إلى الفرشاة العلوية ثم يمر عبر المصباح من النقطة ( Q ) إلى النقطة ( S ) أي أن التيار لم يعكس اتجاهه في الدائرة الخارجية ويضل اتجاهه مع عقارب الساعة وهنا نجد أن التيار قد حافظ على اتجاهه في النصفين .
ومع استمرار الملف في الدوران يبدأ مقدار كلاً من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري بالزيادة تدريجياً إلى أن يكمل الملف ثلاثة أرباع الدورة وعندها يكون مستوى الملف موازياً لخطوط المجال المغناطيسي ومقدار القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري أكبر ما يمكن ، كما هو موضح في الشكل المقابل ☜
ومع الاستمرار في الدوران يبدأ مقدار كلاً من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري يقل تدريجيا إلى أن يكمل الملف دورة كاملة ويعود الملف إلى الوضع الذي ابتدأ منه (موضع الصفر) عندها يصبح مقدار كلاً من القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري مساوياً للصفر .

والشكل أدناه يوضح منحنى تغير القوة الدافعة التأثيرية والتيار التأثيري مع الزمن في الدائرة الخارجية خلال دورة كاملة :

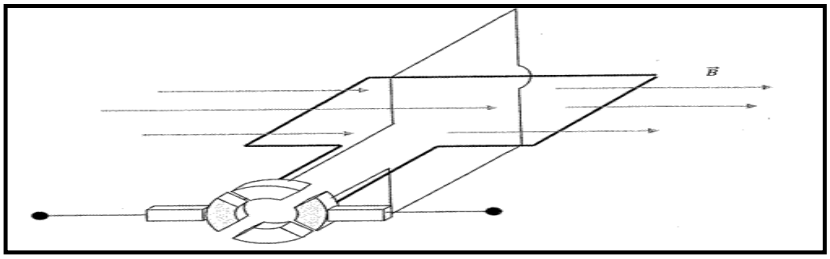



## ◄ تنعيم التيار :

نلاحظ مما سبق في عملية تقويم التيار المتردد أن التيار الناتج عن المولد يكون متغير الشدة وثابت الاتجاه وتصل شدته إلى الصفر كل نصف دورة مما يسبب هذا النوع من التيارات التلف لمعظم الأجهزة الكهربائية لذا وجب جعل شدة التيار لا تصل إلى الصفر ( أي تحويل التيار من متغير الشدة إلى تيار ثابت الشدة وتعرف هذه العملية بالتنعيم ) ويتم ذلك عن طريق استخدام أكثر من ملف بدلاً من ملف واحد في المولد بشرط أن :

- تفصل بين أوجه الملفات المتقابلة زوايا متساويه ويمكن معرفة مقدار الزاوية بين الملفات عن طريق تقسيم 180 درجة على عدد الملفات المستخدمة ( $\frac{180}{\text{عدد الملفات}}$ ) فمثلاً إذا كنا نستخدم ملفين فإن الزاوية الفاصلة بين كل وجهين متقابلين تساوي $\frac{180}{2}$ أي 90 درجة أما إذا كانت ثلاثة ملفات فإن الزاوية سوف تصبح 60 درجة ... وهكذا.
- أن تكون جميع الملفات متماثلة ولكل ملف مبدلة خاصة به وتكون جميع المبدلات تنزلق على نفس الفرشاتين .
- أن تدور جميع الملفات على نفس محور الدوران

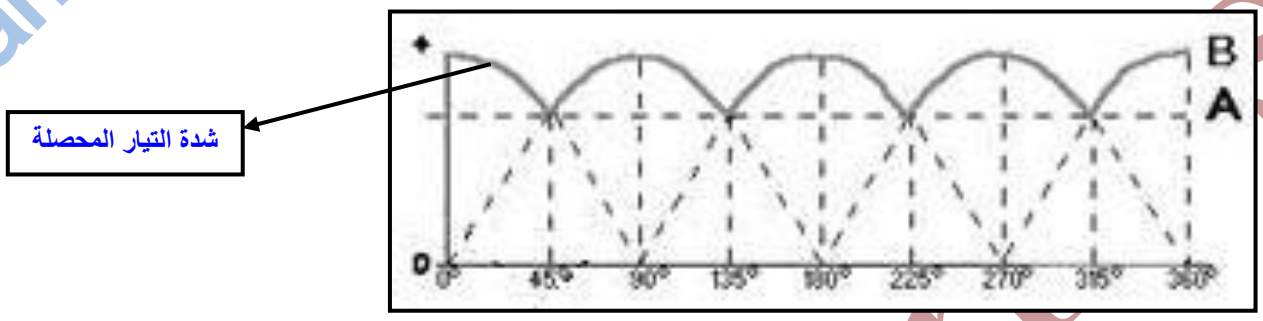
الشكل أدناه يوضح مولد كهربائي يحتوي على ملفين :



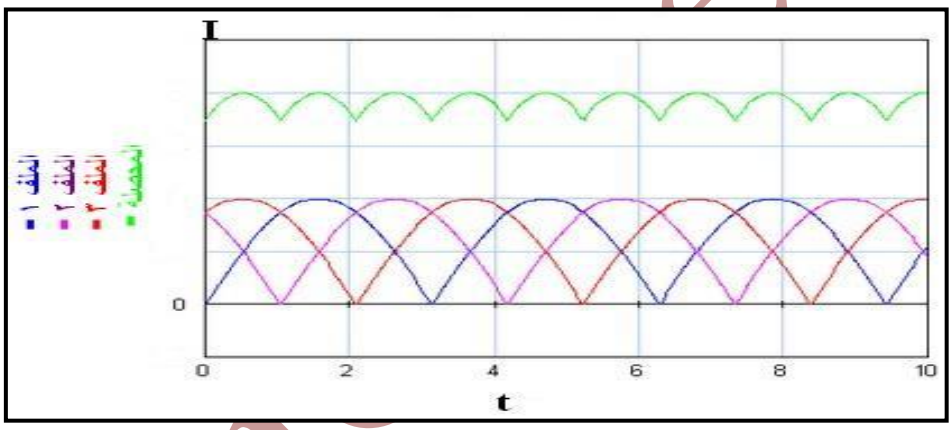

almanahj.com/om
physics-ems

♦ فكرة العمل :

لنفترض أن المولد يحتوي على ملفين وأننا بدأنا من موضع الصفر لأحد ملف عندها يكون أحد الملفين عموديا على خطوط المجال والملف الآخر يكون موازياً لخطوط المجال عندها تكون شدة التيار الناتج عن الملف الأول ( العمودي على خطوط المجال ) تبدأ من صفر وعند الاستمرار في الدوران تتغير شدة التيار الناتجة عنه لتصل إلى أعلى قيمة ثم تبدأ بالتناقص إلى أن تصل إلى الصفر ويتكرر هذا كل نصف دورة ( ارجع إلى عملية تقويم التيار المتردد ) أما بالنسبة للملف الثاني ( الموازي لخطوط المجال ) فإن شدة التيار التأثيري الناتجة عنه تصل إلى الصفر بتأخر عن الملف الأول مقداره ربع دوره وهكذا فإنه عندما تكون شدة التيار الناتجة عن أحد الملفين مساوية للصفر فإن شدة التيار الناتجة عن الملف الآخر تكون قيمة عظمى وهنا فإن محصلة شدة التيار الناتجة عن المولد لن تصل إلى الصفر لان كل ملف من الملفين سوف يعوض النقص في شدة التيار الناتجة عن الملف الآخر ، ويمكن توضيح محصلة شدة التيار الناتج عن هذا المولد بيانياً كما يلي :




ولجعل الشدة التيار أكثر ثباتاً نقوم بزيادة عدد الملفات ، فكلما زادت عدد الملفات كلما زاد ثبات شدة التيار التأثيري المتولد ، والشكل أدناه يوضح شدة التيار المتولد عن مولد كهربائي يحتوي على ثلاثة ملفات :




almanahj.com/om
physics