



جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

الطبيعيات

الصف الثالث

الفرع الصناعي – فرع الحاسوب وتقنية المعلومات

تأليف

د. محمد سعيد وحيد	د. شهاب احمد زيدان الجبوري
هدى صلاح كريم	د. مفيد عبد اللطيف الربيعي
نكرى محمد علي خليل	سميرة خالد عبد الرحمن
انغام خاجيك تكلان	حسين حسن حمزة العجياوي

مقدمة

إن الفيزياء علم ومكون اساسي في الثقافة الانسانية وتعبير عن ابداع العقل البشري في نشاطات تأملية عظيمة وتذوق جمالي فعال، له بريق مبهر يستهوي الأفئدة.

فالفيزياء مادة مشوقة تميل النفس الى دراستها والبحث فيها . وهذا الكتاب يشكل دعامة من دعائم المنهج المطور في الفيزياء والكيمياء والذي يعمل على تحقيق اهداف علمية وعملية تواكب التطور العلمي في تكنولوجيا المعلومات كما يحقق هذا الكتاب ربط للحقائق والمفاهيم التي يدرسها الطالب بواقع حياته اليومية المجتمعية وهذا المنهج يهدف الى ضرورة توضيح العلاقة بين العلم والتكنولوجيا في مجال العلوم وتأثيرها على التنمية وربطها بالحياة العملية وكذلك اكساب الطالب منهجية التفكير العملي الممتزج بالمتعة والتشويق ومحاولة تدريب الطلبة على الاستكشاف من خلال تنمية مهارات حياتية وقدرات علمية تطبيقية .

إن هذا الكتاب يضم موضوعات مهمة في الفيزياء والكيمياء تتضمن (الباب الاول - الفيزياء) و(الباب الثاني - الكيمياء).

نتقدم بالشكر للسادة الاختصاصيين التربويين في مديرتنا لمساهماتهم العلمية وملاحظاتهم القيمة في اخراج هذا الكتاب، ونخص بالذكر كل من الست ماجدة صخيل محمد والسيد عبد الله سلمان برهان والسيد كريم ابراهيم صالح، كما نقدم الشكر والتقدير للسادة المقومين العلميين الاستاذ الدكتور حازم لويس منصور والاستاذ الدكتور نادر فاضل حبوبي والمقيم اللغوي عبد العباس عبد الجاسم احمد لمراجعتهم العلمية واللغوية للكتاب.

نسأل الله عز وجل أن تعم الفائدة من خلال هذا الكتاب وندعوه سبحانه وتعالى أن يكون ذلك اساس عملنا والذي يصب في حب وطننا والانتماء اليه والله ولي التوفيق ...

المؤلفون

فهرست الكتاب

3	مقدمة
	الباب الاول - الفيزياء
20-5	الفصل الاول الحركة الدائرية والدورانية
34-21	الفصل الثاني الظواهر الموجية للضوء
48-35	الفصل الثالث الحث الكهرومغناطيسي
67-49	الفصل الرابع دوائر التيار المتناوب
83-68	الفصل الخامس المواد شبه الموصلة والاجهزة الالكترونية
101-84	الفصل السادس الليزر والبلازما
	الباب الثاني - الكيمياء
109-102	الفصل السابع النفط الخام
120-110	الفصل الثامن الفلزات والسبائك

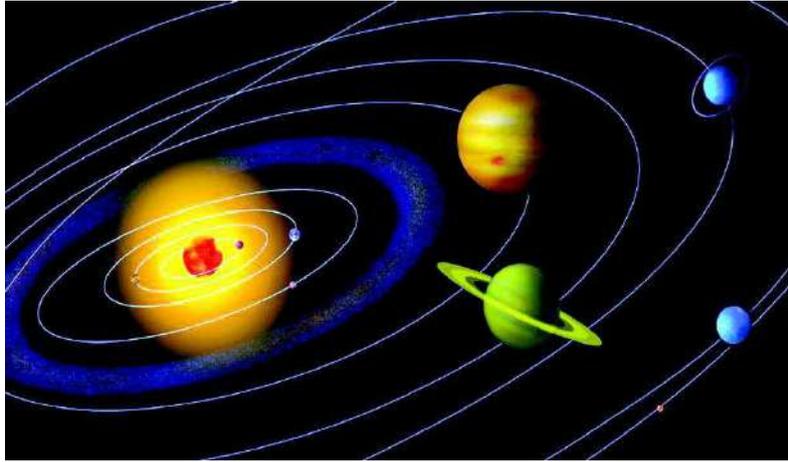
الفصل الاول الحركة الدائرية والدورانية

مفردات الفصل:-

- 1-1 تمهيد
 - 2-1 الحركة الدائرية
 - 3-1 القوة المركزية
 - 4-1 مدارات الاقمار الاصناعية وقوانين كبلر
 - 5-1 الحركة الدورانية
 - 6-1 الطاقة في الحركة الدورانية
 - 7-1 الشغل والقدرة في الحركة الدورانية
 - 8-1 الزخم الزاوي والدفع الزاوي
- اسئلة ومسائل الفصل

الاهداف السلوكية:-

- بعد إكمال هذا الفصل سيكون الطالب قادراً على الاتي:-
- 1- معرفة الحركة الدائرية وقوانين كبلر ومن أمثلتها حركة الاقمار الصناعية، والقوة المركزية.
 - 2- معرفة الحركة الدورانية وأستيعاب المفاهيم الآتية وأستخراج قيمتها بإستعمال المعادلات الرياضية.
- الحركة الدورانية والسرعة الزاوية والتعجيل الزاوي
 - عزم القصور الذاتي
 - الطاقة والقدرة والشغل في الحركة الدورانية



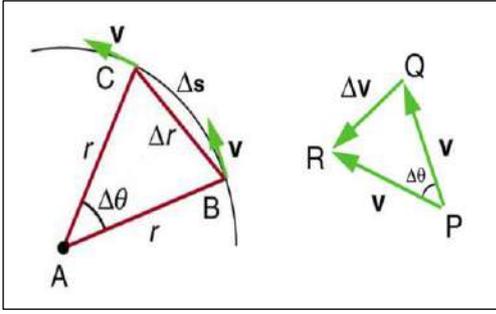
1-1 تمهيد:

درسنا في مراحل سابقة السرعة والتعجيل في الحركة الانتقالية الخطية، ولكن إذا تأملنا الحركات المألوفة في حياتنا اليومية وجدنا ان الحركة التي يدور فيها الجسم حول محور ثابت أو متغير أكثر شيوعاً من الحركة على خط مستقيم، فحركة المخرطة والمروحة الكهربائية وعجلات السيارة وعقارب الساعة كلها امثلة على الحركة الدورانية. ولدراسة الحركة الدورانية نبدأ **بعرض للحركة الدائرية وهي الحركة التي يدور فيها جسم حول محيط دائرة وبانطلاق ثابت او متغير.**

الحركة الدائرية (Circular motion):

تعدّ حركة القمر حول الارض وحركة الإلكترون حول النواة في الذرة من الأمثلة المهمة على الحركة الدائرية في مستوي واحد، حيث يبقى مقدار السرعة ثابتاً ولكن اتجاهها يتغير باستمرار من نقطة الى أخرى مع بقاء الجسم الدائر في نفس المستوى، راسماً بذلك دائرة تكون فيها الارض المركز في حالة دوران القمر حول الارض والبروتون في حالة دوران الإلكترون في ذرة الهيدروجين لذلك يمكن القول أن الحركة الدائرية تمثل حركة جسم على مسار دائري كما في الأمثلة السابقة.

1-2-1 التعجيل المركزي (a_c):



هو المعدل الزمني لتغير اتجاه سرعة الجسم الذي يتحرك حركة دائرية ويتجه نحو مركز الدائرة ويكون عمودي على قيمة السرعة، الشكل (1-1).

ومن مميزات هذا التعجيل أنه ثابت المقدار ومتغير في الاتجاه إذا كانت الحركة الدائرية منتظمة كما في حركة الجسم المربوط بخيط، وعندما يتحرك أفقياً وكان متغير في المقدار والاتجاه كانت الحركة الدائرية غير

منتظمة وفي كلتا الحالتين يتجه نحو مركز الدوران لذا سمي بالتعجيل المركزي ويعتمد هذا التعجيل على عاملين هما مربع أنطلاق الجسم ونصف قطر الدوران المتحرك به، ويعطى بالعلاقة:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \dots \dots (1)$$

إذ إن:

v أنطلاق الجسم

r نصف قطر مساره الدائري

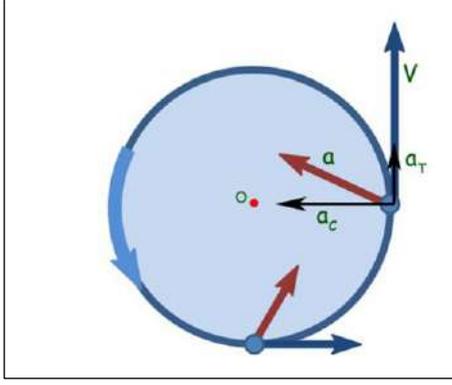
هل تعلم:

يمكن إعطاء المعادلة (1) بدلالة السرعة الزاوية $a_c = \frac{(\omega r)^2}{r} = \omega^2 r$

مثال (1): قمر صناعي يدور حول الارض بسرعة خطية (4000 m/s) ، أحسب تعجيله المركزي إذا كانت المسافة بين الارض والقمر هي (5000 km) ؟
الجواب:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(4000 \text{ m/s})^2}{(5000 \times 1000 \text{ m})}$$
$$a_c = 3.2 \text{ m/s}^2$$

محصلة التعجيل في الحركة الدائرية:



شكل 2-1 التعجيل في الحركة الدائرية.

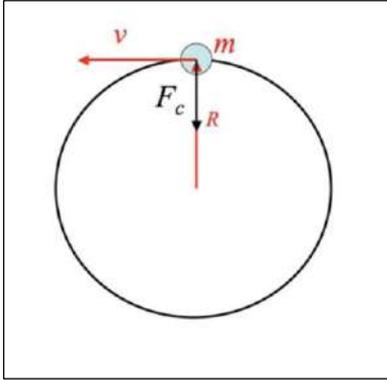
مما سبق لاحظنا أن الجسم المتحرك في مسار دائري له تعجيلان، الأول يوازي السرعة الخطية ويأتي من تغير قيمتها ويدعى بالتعجيل المماسي $(\vec{a}_T = \frac{\Delta v}{\Delta t})$ والآخر عمودي على السرعة الخطية ويأتي من تغير اتجاهها فقط ويدعى بالتعجيل المركزي $(\vec{a}_c = \frac{v^2}{r})$ كما هو موضح بالشكل (2-1). وبما ان هذين التعجيلين متعامدان فإن المحصلة الاتجاهية للتعجيل تكون:

$$\vec{a} = \vec{a}_T + \vec{a}_c$$

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_c^2} \dots \dots \dots (2)$$

وعددياً يحسب من العلاقة:

3-1 القوة المركزية:



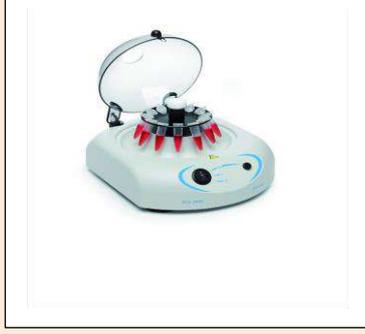
شكل 3-1 القوة المركزية

بالرغم من ثبوت مقدار السرعة الخطية المماسية الا ان تغير الاتجاه سيؤدي الى حصول تعجيل مركزي في الحركة على المسار الدائري، وبما أن الحركة هي بتعجيل اذن لا بد ان تكون محصلة القوى لا تساوي صفرأ (حسب قانون نيوتن الثاني في الحركة)، هذا يعني وجود قوة باتجاه التعجيل المركزي تدعى القوة المركزية (F_c) ، شكل (3-1)، تتجه نحو مركز الدائرة، والتي تعرف بأنها قوة عمودية على اتجاه السرعة الانية وتعمل على تغير اتجاه السرعة وتحول المسار المستقيم الى دائري وتقاس بوحدة نيوتن (N)، ومن تطبيق قانون نيوتن الثاني:

$$\sum \vec{F} = ma \Rightarrow \vec{F}_c = m \vec{a}_c \Rightarrow \vec{F}_c = m \frac{v^2}{r} \dots \dots \dots (3)$$

ان جميع الاجسام المتحركة في مسار دائري تكون مرتبطة بقوة مركزية تحاول إبقاء الاجسام متحركة في مسار دائري، فمثلاً أن جزيئات الماء الملتصقة بالملابس عندما تدور في مجفف الغسالة مرتبطة بقوة التصاق مع الملابس وهذه القوة هي قوة مركزية بحيث عند زيادة سرعة الدوران في أثناء التنشيف فإن هذه القوة غير كافية لإبقاء جزيئات الماء ملتصقة بالملابس، لذلك تنطلق باتجاه المماس لمحيط دائرة الدوران وتنفصل عن الملابس، ومن تطبيقات القوة المركزية تصميم مخارج الطرق السريعة وسباق السيارات بشكل مائل لتمكين السيارات من الانعطاف دون الاعتماد على قوة الاحتكاك.

تعتبر القوة المركزية محصلة مجموعة قوى غير متعادلة حيث تكسب الجسم المتحرك دائرياً تعجيلاً مركزياً تكون عمودية على اتجاه السرعة الانية للجسم فلا تنجز شغلاً بالمعنى الفيزيائي ولا تقوم بسحب الجسم باتجاهها ولا يكون الجسم متزناً تحت تأثيرها حيث تعمل على تغيير المسار المستقيم المعتاد للجسم الى مسار دائري.



هل تعلم؟

أن اساس عمل اجهزة الطرد المركزي Centrifuge يعتمد على تغير القوة المركزية بالاعتماد على كتلة المادة وبالتالي يمكن فصل المواد المختلفة في الكتلة او الكثافة عن بعضها بعضاً. يحتوي الجهاز على حاوية توضع داخلها العينات المختلفة في الكتلة ومثبتة على محرك يدور بسرعات متعددة. ويستعمل في الطب (فصل مكونات الدم)، وأجهزة متقدمة اخرى تستعمل في تخصيب اليورانيوم أي فصل اليورانيوم 235 عن اليورانيوم 238.

مثال (2): أحسب أقصى سرعة (بوحدة km/h) تستطيع أن تدور بها سيارة حول منحنى نصف قطره (25 m) على طريق مستو دون الانزلاق، إذا كان معامل الاحتكاك الحركي السكوني بين الاطارات والطريق يساوي 0.8 ؟

الجواب:

القوة المركزية اللازمة لإبقاء السيارة في مسارها المنحني دون الانزلاق (القوة المركزية) تنشأ عن قوة احتكاك الاطارات مع الطريق. فإذا كانت كتلة السيارة (m) فإن قوة الاحتكاك القصوى:

$$f_{s(max)} = \mu_s N$$

حيث (μ_s) معامل الاحتكاك الحركي، (N) قوة رد فعل الطريق على السيارة ويساوي وزن السيارة ($m \times g$). وبمساواة قوة الاحتكاك مع القوة المركزية نحصل على:

$$F_C = F_s \Rightarrow m \frac{v^2}{r} = \mu_s (m \times g)$$

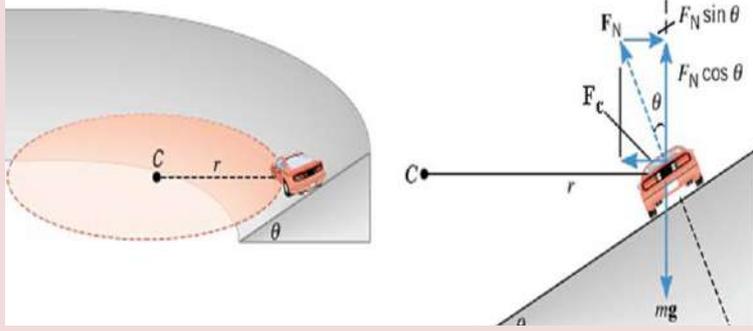
$$\therefore v = \sqrt{\mu_s \times r \times g} = \sqrt{0.8 \times 25 \times 9.8} = 14 \text{ m/s}$$

وبوحدة km/h :

$$14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{km}}{\text{m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 50.4 \text{ km/h}$$

هل تعلم؟

أن تصميم مخارج الطرق السريعة ومضمار سباق السيارات يتم بشكل مائل قليلاً وذلك لزيادة القوة المركزية الجاذبة، حيث يصبح رد فعل الطريق على السيارة مائلاً ويتحلل الى مركبتين أحدهما عمودية على الطريق وتعادل وزن الجسم والآخرى تكون باتجاه المركز تسهم مع قوة الاحتكاك في زيادة القوة المركزية الجاذبة وتمنع انزلاق السيارة.



4-1 مدارات الاقمار الاصطناعية وقوانين كبلر:

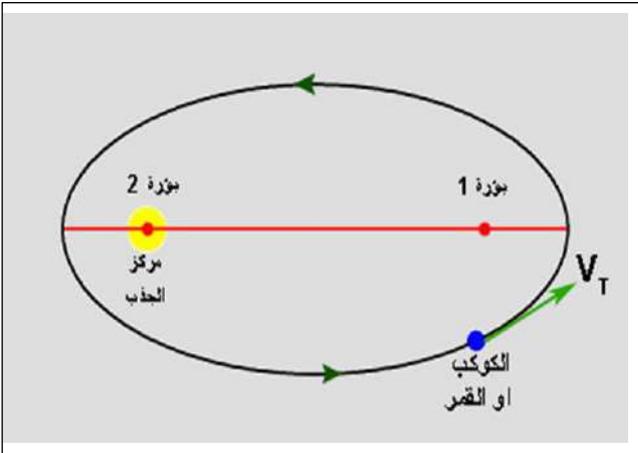
تخضع حركة الاقمار الصناعية حول الكرة الرضية الى قوانين كبلر والتي تحدد حركة الكواكب السيارة وحركة النجوم في المجرات، شكل (4-1)، وهي كما يلي:



شكل 4-1 قمر صناعي يمثل الحركة الدائرية

القانون الاول (قانون المسارات):

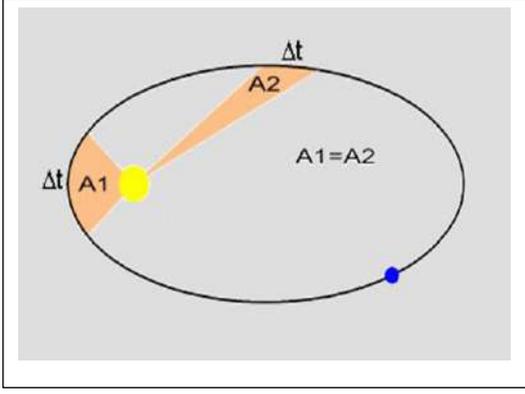
تتحرك الكواكب (أو الاقمار) في مسارات بيضوية حول مركز جاذبها الذي يقع عند أحد البؤرتين، كما هو في الشكل (5-1).
(ملاحظة: تُعدّ الشمس مركز الجذب في حالة دوران كواكب المجموعة الشمسية حولها، وتُعدّ الارض مركز الجذب في حالة دوران الاقمار الاصطناعية حولها.))



شكل 5-1 قانون كبلر الاول.

القانون الثاني (قانون المساحات):

يمسح الخط الواصل بين مركز الجذب الى الكوكب (أو القمر) مساحات متساوية في أزمان متساوية، كما في الشكل (6-1).



شكل 6-1 قانون كبلر الثاني

القانون الثالث (قانون التناسب): يتناسب مربع الزمن الدوري لحركة الكواكب (أو القمر) طردياً مع مكعب نصف القطر الكبير لمساره. فإذا كان الزمن الدوري t ونصف القطر الكبير r فإن:

$$t^2 \propto r^3 \dots\dots (4)$$

تذكر:

أن اي كتلتين في الكون تجذب أحدهما الاخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتلتين (M, m) وعكسياً مع مربع المسافة بينهما (r)، وهذا ما يطلق عليه بقانون الجذب العام لنيوتن، ورياضياً:

$$F_G = G \frac{Mm}{r^2}$$

حيث G ثابت الجذب العام ومقداره: $6.67 \times 10^{-11} \frac{N.m^2}{kg^2}$

5-1 الحركة الدورانية:

إن معظم أنواع الحركة في حياتنا اليومية تتألف من انتقال الجسم ودورانه حول محور معين في نفس الوقت لذلك تعرف بأنها حركة الجسم ذو أبعاد حول محور معين يمر داخل الجسم وتكون منتظمة إذا كان محور الدوران والمعدل الزمني للحركة ثابتان وتكون غير منتظمة إذا كان محور الدوران أو المعدل الزمني للحركة غير ثابتان أو كليهما، مثل دوران الارض حول محورها دورة واحدة كل 24 ساعة، وتدور الارض دورة واحدة حول الشمس كل 365 يوماً. كذلك حركة عجلة السيارة التي تشتمل على الحركتين الدورانية والانتقالية.

توصف الحركة الدورانية بدلالة الازاحة الزاوية (θ) والسرعة الزاوية (ω) والتعجيل الزاوي (α). وفي جميع الحالات يمكن تعويض المقادير الفيزيائية في الحركة الدورانية بدلا من المقادير الفيزيائية في الحركة الخطية ولجميع القوانين كما هو في الجدول (1-1).

جدول 1-1 المقادير الفيزيائية للحركة الخطية والحركة الدورانية

المقدار الفيزيائي	الحركة الخطية	الحركة الدورانية
الكتلة	m	نعوض بدل الكتلة بعزم القصور الذاتي I
الازاحة	S	θ
السرعة	v	ω
التعجيل	a	α
القوة	F	نعوض بدل القوة بالعزم المدور τ

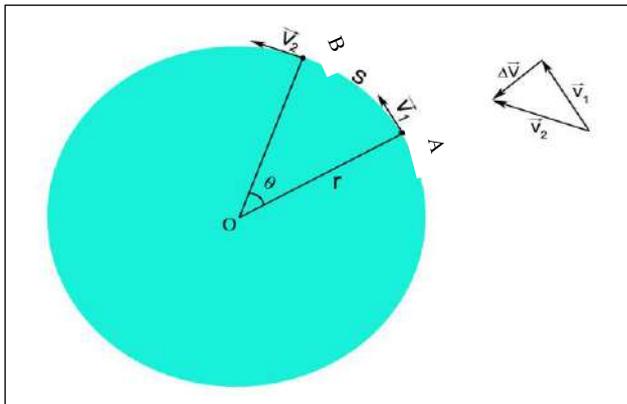
1-5-1 الإزاحة الزاوية :

هي الزاوية المركزية التي يقطعها الجسم المتحرك دورانياً حيث إذا تحرك جسم على مسار دائري نصف قطره (r) وانتقل من النقطة (A) الى النقطة (B) قاطعاً قوساً طوله (S) على محيط الدائرة، كما في الشكل (7-1)، فالزاوية المقابلة للقوس تدعى بالإزاحة الزاوية ويرمز لها بالرمز (θ) ويكون اتجاهها موجب اذا كانت عكس اتجاه عقارب الساعة وسالب اذا كان اتجاهها مع اتجاه عقارب الساعة، وتقاس بوحدات نصف القطرية (rad)، لذلك:

$$\frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}} = \theta_{\text{rad}} = \frac{S}{r} \dots \dots (5)$$

ومن هذه العلاقة نستنتج أن الازاحة الخطية (S) لها علاقة بالازاحة الزاوية حيث أن:

$$S = r \theta \dots \dots (6)$$



شكل 7-1 حركة جسم على منحنى دائرة.

وانت تعلم عزيزي الطالب أن الازاحة الخطية (S) تقاس بالمتراً أو اجزائه أو أكبر منه ووحدات الازاحة الزاوية ليست فقط الزاوية النصف قطرية ويرمز لها (نقية) (Radian) وإنما يمكن تقدير الازاحة الزاوية بالدرجات الستينية أو بعدد الدورات، لذا فإن الدورة الكاملة تعادل (360°) بالمقياس الستيني وتقابل (2π) بالمقياس نصف قطري، أي أن:

$$1 \text{ revolution} = 2\pi(\text{rad}) = 360^\circ$$

$$\frac{\theta}{2\pi} = \text{أي أن عدد الدورات}$$

1-5-2 السرعة الزاوية:

تعرف على أنها المعدل الزمني للازاحة الزاوية المقطوعة وتقاس بوحدة rad/s

نلاحظ أيضاً أن (S) تتغير مع تغير (θ) وبثبوت نصف قطر الدائرة، وعليه:

$$\Delta S = r\Delta\theta \dots\dots\dots (7)$$

بقسمة (Δt) على طرفي المعادلة (7) نحصل على:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = r \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \dots\dots\dots (8)$$

تمثل $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ السرعة الخطية المماسية لمحيط الدائرة ويرمز لها بالرمز v_T ، أي: إن:

$$v_T = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots\dots\dots (9)$$

أما $\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)$ فإنها تمثل التغير في الزاوية نصف القطرية مع الزمن، وتدعى بالسرعة الزاوية ويرمز لها بالرمز (ω) وتقاس بوحدة (rad/s)، أي: إن:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \dots\dots\dots (10)$$



وتعدّ السرعة الزاوية من المقادير الفيزيائية الاتجاهية، ويكون اتجاهها عمودياً على المستوي الذي يحتوي (r) و (v_T)، ويتم تحديدها باستعمال قاعدة اليد اليمنى، شكل (8-1).

وبتعويض العلاقة (9) و (10) في (8) نحصل على:

$$v_T = \omega r \dots\dots\dots (11)$$

وعند دوران الجسم دورة كاملة فإن مقدار الازاحة الزاوية تساوي (2π) ، فتصبح السرعة الزاوية بعد التعويض بالمعادلة (11)

$$\omega = \frac{2\pi}{t}$$

$$\omega = \frac{N \times 2\pi}{t}$$

لمجموعة من الدورات

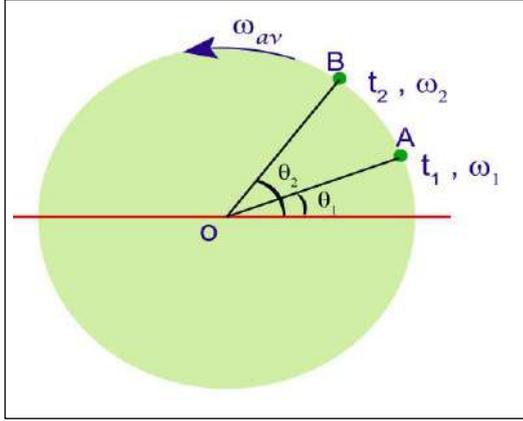
N: عدد الدورات

t: يمثل زمن الدورة الكاملة، ومقلوب هذا الزمن يدعى بالتردد ويرمز له بالرمز f ويقاس بالوحدات (دورة/ثانية) أو الهيرتز (Hz)، فتصبح الزاوية بدلالة التردد:

$$\omega = 2\pi f$$

ويسمى هنا بالتردد الزاوي





شكل 9-1

لنفرض أن جسماً يدور في مسار دائري نصف قطره (r) كما في الشكل (9-1)، فإن موضعه الزاوي يتحدد في أي لحظة بمقدار الإزاحة الزاوية (θ)، فإذا كان موضع الجسم (θ_1) في الزمن (t_1) ثم سار عند موضع (θ_2) في الزمن (t_2)، لذلك نجد أنه قد دار إزاحة زاوية مقدارها:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

خلال فترة زمنية:

وعليه يعرف متوسط السرعة الزاوية:

$$\omega_{av} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (12)$$

مثال (3): مروحة تدور بمعدل (900 rpm) (أي 900 دورة/دقيقة). (a) احسب السرعة الزاوية لأي نقطة على إحدى ريش المروحة. (b) احسب السرعة المماسية لحافة الريشة إذا كانت المسافة من المركز إلى الحافة (20 cm).
الجواب:

$$\omega = \frac{N \times 2\pi}{t}$$

a- السرعة الزاوية

حيث أن N عدد الدورات

$$\omega = \left(900 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}\right) = 30 \pi \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$v = \omega r = 30 \pi \times \frac{20}{100}$$

b- السرعة المماسية:

$$v = 30 \times 3.14 \times 0.2 = 18.84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3-5-1-1 التعجيل الزاوي (α):

إذا افترضنا أن تغيراً يحصل في السرعة الخطية (Δv_T) عند الحركة على المنحنى (S) وعليه ستتغير السرعة الزاوية بثبات نصف قطر الدائرة (r)، وهذا يعني أن الحركة ستكون بتعجيل، فتصبح المعادلة (12):

$$\Delta v_T = r \Delta\omega \dots \dots \dots (13)$$

وبقسمة طرفي المعادلة (13) على (Δt)، نحصل على الآتي:

$$\frac{\Delta v_T}{\Delta t} = r \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \dots \dots \dots (14)$$

$$a_T = \frac{\Delta v_T}{\Delta t}$$

الكمية $\frac{\Delta v_T}{\Delta t}$ تمثل التعجيل المماسي (a_T) ، أي: إن:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

أما الكمية $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ فتمثل التعجيل الزاوي ويرمز لها بالرمز (α)، أي أن:

وأن اتجاه هذا التعجيل الزاوي يكون باتجاه السرعة الزاوية عند زيادتها مع الزمن (في حالة تسارع) ويكون بالاتجاه المعاكس للسرعة الزاوية في حالة نقصانها مع الزمن (في حالة تباطؤ) وبتعويض a_T و α في المعادلة (14)، نحصل على الآتي:

$$a_T = r \alpha \dots \dots \dots (15)$$

نلاحظ من المعادلة (15)، ان التعجيل الزاوي مرتبط بالتعجيل الخطي، وهذا يعني ان التعجيل الزاوي يحصل نتيجة تغير السرعة الخطية أو السرعة الزاوية ويصبح صفراً إذا كانت سرعة الجسم الخطية على محيط الدائرة ثابتة المقدار.

4-5-1 التعجيل الزاوي المنتظم:

يتحرك الجسم بتعجيل زاوي (α) إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة عليه لا تساوي صفراً، فإذا كانت السرعة الزاوية لجسم يتحرك على مسار دائري في النقطة (A) هي (ω_1) وفي النقطة (B) هي (ω_2) كما هو موضح بالشكل (9-1). فيكون متوسط السرعة الزاوية اللحظية:

$$\omega_{av} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

ولذلك يعرف معدل التعجيل الزاوي بأنه **معدل تغير السرعة الزاوية لوحد الزمن ويقاس بوحدة $\frac{rad}{s^2}$** ، ويعطى بالعلاقة:

$$\alpha_{av} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (16)$$

وببساطة يمكن التوصل الى قوانين الحركة الدورانية ذات التعجيل الزاوي المنتظم بشكل مشابه الى قوانين الحركة الخطية ذات التعجيل المنتظم بعد الاستعاضة عن الازاحة الخطية (x) بالازاحة الزاوية (θ) والسرعة الخطية (v) بالسرعة الزاوية (ω) والتعجيل الخطي (a) بالتعجيل الزاوي (α)، لتكون معادلات الحركة الدورانية كما يأتي:

$$\omega_2 = \omega_1 + \alpha \cdot t \dots \dots \dots (17)$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 \dots \dots \dots (18)$$

$$\omega_2^2 = \omega_1^2 + 2 \alpha (\theta_2 - \theta_1) \dots \dots \dots (19)$$

حيث (θ_1, ω_1) تمثل السرعة الزاوية والازاحة الزاوية الابتدائية. أما العلاقة بين المقادير الفيزيائية في الحركة الدورانية والخطية فهي:

$$s = \theta r$$

$$v = \omega r$$

ويمكن إيجاد العلاقة بين التعجيل الزاوي للجسم (α)

وتعجيله المماسي يكون:

$$\Delta v = r \Delta \omega$$

$$a_T = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a_T = \frac{r \Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \therefore$$

وفي حالة ثبوت نصف القطر في الحركة الدائرية:

$$a_T = \alpha r \dots \dots \dots (20)$$

لذا يمكن أن نبين قوانين الحركة الخطية ذات تعجيل خطي منتظم وقوانين الحركة الدورانية ذات التعجيل الزاوي المنتظم كما في الجدول الآتي:

قوانين الحركة الدورانية	قوانين الحركة الخطية
$\omega_2 = \omega_1 + at$	$v_2 = v_1 + at$
$\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2} at^2$	$s = v_1 t + \frac{1}{2} at^2$
$\omega_2^2 = \omega_1^2 + 2a\theta$	$v_2^2 = v_1^2 + 2as$

- إذا بدأت الحركة من السكون يجب التعويض عن (ω_1) بصفر.
- عند التباطؤ يسبق التعجيل الزاوي إشارة سالبة.

مثال (4): عجلة نصف قطرها 40 cm تدور على محور ثابت، وتزيد سرعتها بانتظام من السكون حتى تصل إلى 600 rpm في زمن 20 s . أوجد: (a) التعجيل الزاوي، (b) التعجيل المماسي لنقطة على حافة العجلة.

الجواب:

$$\omega = \frac{N \times 2\pi}{t}$$

$$\omega = (600 \frac{\text{rev}}{\text{min}}) \times (\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) \times (\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}) \quad \text{نحول السرعة الزاوية إلى وحدات (rad/s):}$$

$$\therefore \omega = 62.8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

a- التعجيل الزاوي:

الجسم يبدأ بالحركة من السكون، $t_1=0$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{(62.8 - 0) \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{20 \text{ s}} = 3.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$a_T = r \alpha = (40 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}) (3.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$$

b- التعجيل المماسي:

$$a_T = 1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 1.3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

مثال (5): بدأ محرك كهربائي دورانه من السكون وبلغت سرعته الزاوية (1200 rev/min) بعد مرور زمن مقداره (10 s)، ما مقدار تعجيله الزاوي والازاحة الزاوية التي قطعها وعدد الدورات الكلية؟

الجواب:

من معادلة السرعة الزاوية:

بما ان المحرك الكهربائي بدأ دورانه من السكون فإن $\omega_0 = 0$

$$\omega_2 = \omega_1 + \alpha t \rightarrow \omega_2 = \alpha t$$

$$\omega_2 = \frac{N \times 2\pi}{t}$$

$$\omega = \frac{1200 (\text{rev/min}) \times 2\pi (\text{rad/rev})}{60 (\text{s/min})} = 40 \pi \text{ rad/s}$$

$$\therefore \omega_2 = 0 + \alpha t \Rightarrow 40\pi \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = \alpha (10 \text{ s}) \rightarrow \alpha = 4\pi \text{ rad/s}^2$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad \text{أما الازاحة الزاوية فهي:}$$

$$\theta_1 = 0, \omega_1 = 0 \Rightarrow \theta_2 - 0 = 0 + \frac{1}{2} (4\pi \text{ rad/s}^2) (10 \text{ s})^2$$

$$\therefore \theta_2 = 0 + \frac{1}{2} 4\pi \times (10)^2 \rightarrow \therefore \theta_2 = 200\pi \text{ rad}$$

أما عدد الدورات الكلية التي دارها المحرك خلال 10 s فهي:
في الدورة الواحدة، لدينا :

$$1 \text{ rev} = 2\pi \text{ rad}$$

$$\therefore \text{عدد الدورات} = \frac{\theta}{2\pi} (200 \pi \text{ rad}) \times \left(\frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}}\right) = \frac{200\pi}{2\pi} = 100 \text{ rev}$$

5-5-1 عزم القصور الذاتي (I):

يعبر عن عزم القصور الذاتي لجسم يدور حول محور يمر بمركز الدائرة بأنه حاصل ضرب الكتلة في مربع نصف قطر الدوران ويرمز له بالرمز I حيث أنه يمثل المقاومة التي يبديها الجسم ضد أي تغيير في سرعته الدورانية وتعتمد على نمط توزيع الكتلة وشكل الجسم وكتلته:

$$I = mr^2 \dots \dots \dots (21)$$

ووحدة عزم القصور الذاتي (kg.m²).

6-5-1 العزم المدور (τ):

هو تأثير قوة بأحداث دوران جسم حول محور معين وينتج من حاصل ضرب القوة (F) في الازاحة العمودية (r) على خط فعل القوة عن محور الدوران وتقاس بوحدة (N.m). ويعبر عن قانون نيوتن بحاصل ضرب الكتلة في التعجيل أي ان:-

$$\tau = F \times r$$

$$F = ma \dots \dots \dots (22)$$

$$\tau = m \times r \times r \times \alpha = mr^2 \alpha$$

$$a = \alpha \times r \quad \text{ولكن}$$

$$\therefore I = mr^2$$

وفي الحركة الدورانية تصبح المعادلة (22):

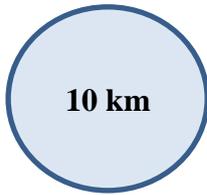
$$\tau = I\alpha \dots \dots \dots (23)$$

قانون العزم المدور للحركة الدورانية

هذه المعادلة تمثل قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية، حيث حل العزم τ محل القوة F وعزم القصور الذاتي (I) محل الكتلة (m) والتعجيل الزاوي (α) محل التعجيل الخطي (a).

مثال (6): احسب عزم القصور الذاتي لكرة صلبة تدور حول احد أقطارها، شكل (10-1) كتلتها (10 kg) وأن نصف قطرها (50 cm)؟

الجواب:



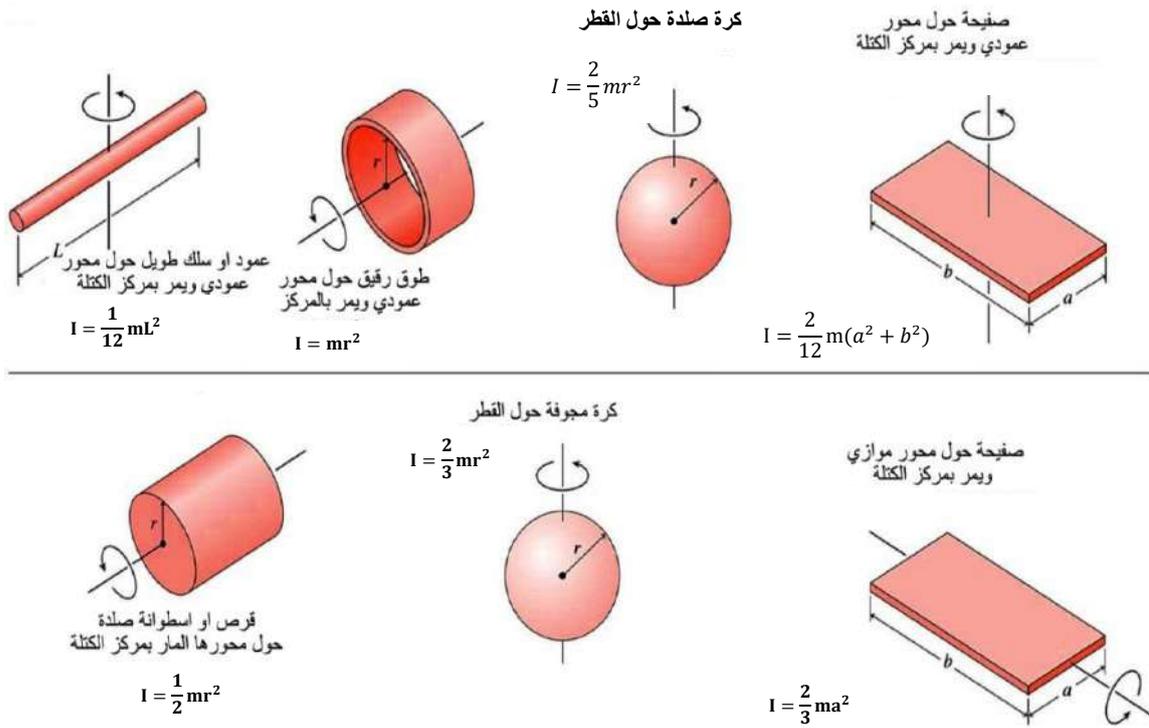
شكل (10-1)

$$I = \frac{2}{5} mr^2$$

$$I = \frac{2}{5} \times 10 \times (0.5)^2$$

$$I = 1 \text{ kg.m}^2$$





شكل 11-1 يمثل بعض الصيغ الخاصة لحساب عزم القصور الذاتي لبعض الانظمة

6-1 الطاقة في الحركة الدورانية:

بما ان الطاقة الحركية في الحركة الخطية الانتقالية E_k توصف بالعلاقة:

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

إذ أن

m : كتلة الجسم

v : سرعة الجسم

وعند التعويض بدل السرعة الخطية بالسرعة الزاوية ($v = \omega \cdot r$)، وبدل الكتلة نعوض عزم القصور الذاتي ($I = m \cdot r^2$)، فإننا نحصل على:

$$E_r = \frac{1}{2} I \omega^2 \dots \dots \dots (24)$$

يمثل I عزم القصور الذاتي للجسم الصلب حول محور دوران معين.

7-1 الشغل والقدرة في الحركة الدورانية:

لنفرض قوة مقدارها F أثرت على جسم وحركته على مسار دائري نصف قطره (r) بإزاحة خطية مقدارها (Δs) وإزاحة زاوية ($\Delta \theta$)، فيكون الشغل في الحركة الخطية عبارة عن حاصل ضرب القوة في الإزاحة الخطية:

$$\Delta W = F \Delta s \dots \dots \dots (25)$$

وإذا ما تم التعويض عن الإزاحة الخطية (Δs) بالإزاحة الزاوية $\Delta \theta$ والقوة F بالعزم τ نحصل على الآتي:

الشغل المنجز في الحركة الدورانية:

$$\Delta W = \tau \Delta \theta = \tau(\theta_2 - \theta_1) \dots \dots (26)$$

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

أما القدرة (P)، فإنها تعرف بالشغل المنجز لوحدة الزمن

$$P = \frac{\tau \Delta \theta}{\Delta t} \Rightarrow P = \tau \omega \dots \dots \dots (27)$$

وفي الحركة الدورانية:

8-1 الزخم الزاوي:

يعرف الزخم الخطي لجسم كتلته (m) يتحرك على مسار خطي بأنه حاصل ضرب الكتلة في السرعة الخطية وإذا ما استبدلت الكتلة بعزم القصور الذاتي والسرعة الخطية بالسرعة الزاوية فإننا نحصل على العلاقة الرياضية للزخم الزاوي:

$$mv = \text{الزخم الخطي}$$

بالتعويض نحصل على:

$$L = I \omega \dots \dots \dots (28) \text{ الزخم الزاوي}$$

يمثل الزخم الزاوي ووحداته $(\frac{\text{kg.m}^2}{\text{s}})$.

$$\Delta L = I\omega_f - I\omega_i = I(\omega_f - \omega_i)$$

حيث: ω_i, ω_f تمثل السرعة الزاوية النهائية والابتدائية .

أما التغير في الزخم الزاوي فيدعى بالدفع الزاوي والذي يساوي حاصل ضرب العزم المدور في الزمن تأثيره:

$$\text{الدفع الزاوي} = \Delta L = (L_2 - L_1) = \tau t$$

مثال (7): قرص عزم قصوره الذاتي (2 kg.m^2) يدور حول محوره بزخم زاوي منتظم مقداره $(50 \text{ kg.m}^2/\text{s})$ فما مقدار-1- سرعته الزاوية. -2- طاقته الحركية الدورانية. -3- الدفع الزاوي. -4- الشغل الزاوي.

الجواب:

$$1- \because L = I\omega$$

$$\therefore \omega = \frac{L}{I}$$

$$\omega = \frac{50}{2} = 25 \text{ rad/s}$$

$$2- \because E_r = \frac{1}{2} I\omega^2$$

$$\therefore E_r = \frac{1}{2} \times 2 \times (25)^2$$

$$E_r = 625 \text{ J}$$

3- الدفع الزاوي يساوي صفرأ وذلك لعدم وجود تغير في الزخم الزاوي.

4- الشغل الزاوي يساوي صفرأ وذلك لعدم وجود تغير في الطاقة.

هل تعلم:

تصنع العجلة وأغلب كتلتها في أطارها لجعل عزم قصورها الذاتي كبير وذلك للحفاظ على اتزانها أثناء الحركة.

أسئلة الفصل الأول

س1/ أختار الاجابة الصحيحة:

- 1- في الحركة الدائرية المنتظمة تكون السرعة المماسية للجسم:
 - a- ثابتة المقدار والاتجاه
 - b- ثابتة المقدار ومتغيرة الاتجاه
 - c- متغيرة المقدار والاتجاه
 - d- متغيرة المقدار وثابتة الاتجاه.
 - 2- قوة الجاذبية المركزية في الحركة الدائرية تتناسب تناسباً:
 - a- طردياً مع نصف قطر المسار
 - b- عكسياً مع مربع نصف قطر المسار
 - c- طردياً مع مربع نصف قطر المسار
 - d- عكسياً مع نصف قطر المسار.
 - 3- عندما تدور مروحة بسرعة زاوية مقدارها 60π (rad/s) فان زمنها الدوري بالثانية يساوي:
 - a- 30
 - b- $\frac{1}{60}$
 - c- $\frac{1}{30}$
 - d- $\frac{1}{20}$
 - 4- ربط حجر بطرف خيط طوله 0.4 m وأدير في وضع أفقي فكان زمنه الدوري 0.2 s فإن تعجيله المركزي بوحدات (m/s^2) يساوي:
 - a- 20π
 - b- 40π
 - c- $20\pi^2$
 - d- $40\pi^2$
 - 5- كرتان إحداها صلدة والاخرى مجوفة لهما نفس الكتلة ونصف القطر ولكن كثافتهما مختلفة، فيكون عزم القصور الذاتي حول محور يمر بمركز الكتلة كلاًتي:
 - a- الكرة المصمتة أكبر من المجوفة
 - b- الكرة المجوفة أكبر من المصمتة
 - c- متساو لكليهما
 - d- مساو للصفر لكليهما.
 - 6- واحدة من الوحدات التالية لا تمثل وحدات الزخم الزاوي:
 - a- N.s
 - b- $(kg.m^2)/s$
 - c- $(J.s)/m$
 - d- $(kg.m)/s$
 - 7- يستغرق راكب في دولاب الهواء نصف ساعة لاكمال دورة واحدة، فإن السرعة الزاوية للدولاب بوحدات (rad/s):
 - a- $\pi/15$
 - b- $\pi/30$
 - c- 30π
 - d- 15π
 - 8- السرعة الخطية القصوى الامنة لسيارة متحركة على منعطف دائري مائل تتوقف على الآتي:
 - a- نصف قطر المنعطف وكتلة الجسم
 - b- نصف قطر المنعطف وزاوية ميل المنعطف
 - c- زاوية ميل المنعطف وكتلة الجسم
 - d- زاوية ميل المنعطف فقط.
- س2/ علل مايلي (اذكر السبب):
- 1- يمتلك الجسم الذي يتحرك حركة دائرية منتظمة تعجيلاً منتظماً.
 - 2- يميل راكب الدراجة نحو المركز عندما يتحرك حول مسار دائري.
 - 3- لا تبذل قوة الجاذبية المركزية شغلاً على جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة.
 - 4- يكور السابح جسمة عندما يقفز من على منصة القفز.
 - 5- تصميم مخارج الطرق ومضمار سباق السيارات بشكل مائل.
 - 6- يمكن فصل المواد المختلفة في الكتلة والكثافة بأستعمال أجهزة الطرد المركزي.
- س3/ ما عزم القصور الذاتي وعلى ماذا يعتمد؟

المسائل

س 1/ جسم كتلته (2 kg) مربوط بخيط طوله (0.5 m) ويتحرك بسرعة (5 m/s). أحسب؟ -1-
التعجيل المركزي. -2- القوة المركزية (قوة شد الخيط).

(الجواب: $100 \text{ N}, 50 \text{ m/s}^2$)

س 2/ يدور المجفف في غسالة الملابس بمعدل (900 rpm)، ثم يتباطأ الى (300 rpm) خلال دورانه (50) دورة، احسب: a- التعجيل الزاوي. b- الزمن اللازم ليدور هذه الدورات الخمسين.

(الجواب: $5 \text{ s}, -4\pi \text{ rad/s}^2$)

س 3/ حبل طوله (2 m)، أقصى قوة شد يتحملها (5 kN)، أحسب أقصى سرعة زاوية (بوحدة rpm) يمكن ان يدور بها جسم كتلته (10 kg) مثبت من أحد طرفيه.

(الجواب: $151 \text{ rpm} \approx 150.9 \text{ rpm}$)

س 4/ محرك يدور بسرعة (20 rev/s) فيعطى عزمًا قدره (75 N.m)، ما هي قيمة القدرة التي يعطيها المحرك مقدرة بالواط والقدرة الحصانية؟ علماً أن (1 hp=746 Watt).

(الجواب: $12.62 \text{ hp}, 9420 \text{ Watt}$)

س 5/ أحسب عزم القصور الذاتي لكرة صلدة تدور حول أحد أقطارها حيث كانت كتلتها (20 kg)، وقطرها (50 cm)؟

(الجواب: 0.5 kg.m^2)

س 6/ عجلة نصف قطرها (0.5 m) وكتلتها (20 kg) تؤثر بها قوة مماسية مقدارها (5 N) فأذا كان عزم القصور الذاتي للعجلة (5 kg.m^3)، جد التعجيل الزاوي الذي تتحرك به العجلة؟

(الجواب: 0.5 rad/s^2)

س 7/ مشغل قرص CD يدور بمعدل (360 rpm) ليقوم شعاع الليزر بقراءة المعلومات المثبتة على القرص، أحسب -1- السرعة الزاوية لأي نقطة على القرص -2- السرعة المماسية لآخر قراءة موجودة على حافة القرص والذي نصف قطره (6 cm)؟

(الجواب: $2.2608 \text{ m/s}, 12\pi \text{ rad/s}$)

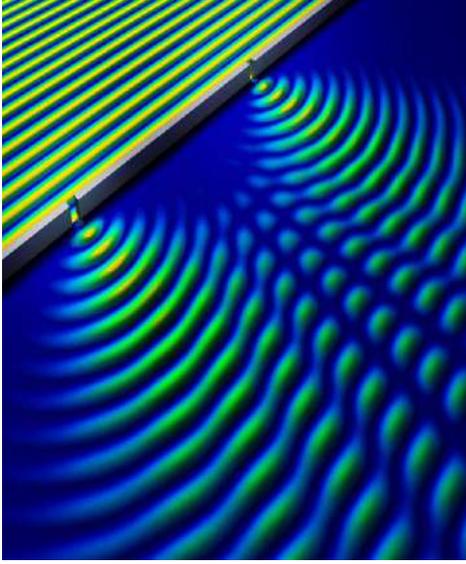
الفصل الثاني

الظواهر الموجية للضوء

التداخل والاستقطاب والحيود والاستطارة

مفردات الفصل:-

- 1-2 المقدمة
- 2-2 التشاكه
- 3-2 التداخل
- 4-2 تجربة يونك
- 5-2 التداخل في الاغشية الرقيقة
- 6-2 حيود في الضوء
- 7-2 ظاهرة التداخل والحيود للضوء
- 8-2 الاستقطاب
- 9-2 استطارة الضوء
- اسئلة ومساائل الفصل



الاهداف السلوكية:-

- بعد اكمال هذا الفصل سيكون الطالب قادراً على أن:-
- 1- يعرف التداخل، التشاكه، وشروط حدوث التداخل في الاغشية الرقيقة.
- 2- يفهم تجربة يونك لتكون هدب التداخل بالضوء الساقط.
- 3- يعرف مفهوم الحيود واستيعاب بعض الظواهر.
- 4- يعرف مفهوم الاستقطاب وكيف يمكن التمييز بين الضوء العادي والضوء المستقطب.
- 5- يعرف مفهوم ظاهرة الاستطارة في الضوء.

1-2 المقدمة:

لقد تعرفت عزيزي الطالب في دراستك السابقة في المرحلة الاولى والثانية ماهو الضوء؟ وما طبيعته؟ ودرست ظواهر الانعكاس والانكسار وقوانينها وفي هذا الفصل سوف نتعرف على ظواهر اخرى للضوء والتي تثبت طبيعته الموجية كالتداخل والحيود والاستقطاب والاستطارة.

2-2 التشاكه: Coherence:

معناه إن أي موجتين أو مصدرين للتموج ذات صفات متماثلة من حيث الطول والاتجاه والطاقة فأنها تكون متشاكهة ويحدث بينها تداخلاً بناءً مستديماً. حيث يقال أن الموجتين متشاكهتين اذا كانتا متساويتين بالتردد ومتقاربتين بالسعة وكان فرق الطور بينهما ثابت المقدار، ومن مصادر التشاكه التي يمكن الحصول فيها على موجتين متشاكهتين:-

1- الليزر.

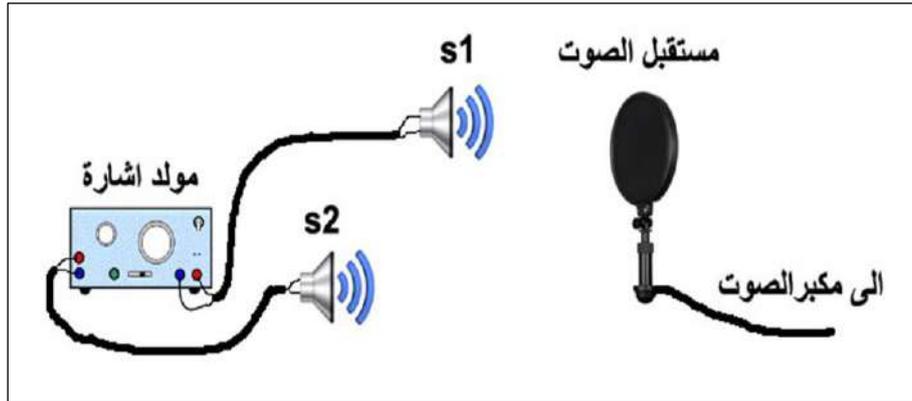
2- تجزئة الطاقة وتتم بطريقتين:

a- تقسيم جبهة الموجة: كما في تجربة يونك (الحاجز ذو شقين)، الموشور، المزدوج في مرآة فرينيل مرآة لويد.

b- تقسيم سعة الموجة: كما في الانعكاس الجزئي والانكسار الجزئي الذي يحدث في الاغشية الرقيقة ومقياس مايلكسن.

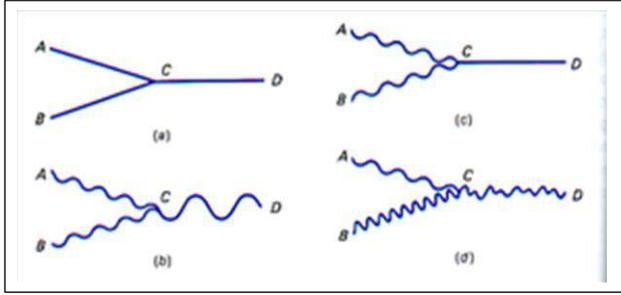
حيث هنا يمثل التشاكه الموجي الترابط بين موجات الحزمة الضوئية الواحدة ويعمل في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة وقدرة عالية. وليس فقط في الموجات الضوئية وإنما يمكن الحصول على التشاكه الموجي في الموجات الصوتية.

فلو أخذنا مصدران للصوت مثل (S_1, S_2) فعندما يتحرك (S_1) الى الاعلى و (S_2) للأسفل مثل عصاتين تضربان طبلاً ففي هذه الحالة يكون فرق الطورين (S_1, S_2) يساوي (180°) فتسمع الصوتين منفردين أما اذا كانت الحركة نفسها في الوقت نفسه لـ (S_1, S_2) فسوف تسمع صوتاً مدوياً قوياً، لاحظ الشكل (1-2).



الشكل 1-2 مصدران للصوت S_1 و S_2 ربطا بشكل منفصل لمولد إشارة

3-2 التداخل Interference:



يعرف التداخل أنه من الصفات العامة للموجات ويحدث التداخل إذا تراكبت أو اندمجت موجتين أو أكثر من الموجات المنتشرة في وسط ما. لاحظ الشكل (2-2).

وهناك شرطان لحدوث التداخل هما ان الموجتين متشابهتان واهتزازهما بمستوى واحد وفي وسط واحد تتجهان نحو نقطة واحدة في نفس الوقت.

الشكل 2-2 التداخل (a) موجات تبدأ على طول حبل مشدود AC و BC سوف تتداخل عند C. (b) تداخل بناء. (c) تداخل اتلافي. (d) تداخل مختلط

وكمثال لذلك دعنا نأخذ سلكين ونعمل على تحريكهما ونضعهما في حوض فيه ماء إذ يلامس السلكان المتزانان سطح الحوض سوف تلاحظ عزيزي الطالب تراكب موجات الماء الناتجة عن اهتزاز السلكين المتمثلتين ومن ملاحظتنا للتداخل الحاصل للموجات على سطح الماء الحوض يتضح لنا وجود نوعين من التداخل هما:-

1- التداخل البناء ويحصل عندما تكون الموجتين بالطور نفسه والسعة نفسها عند نقطة معينة أو أن يكون فرق المسار البصري بينهما صفرًا أو أعداد صحيحة من الطول الموجي ($\Delta r = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots$) وتكون الطاقة الناتجة عن التداخل مساوية لمجموع طاقتي الموجتين المتداخلتين أي حدوث تقوية في طاقة الموجة.

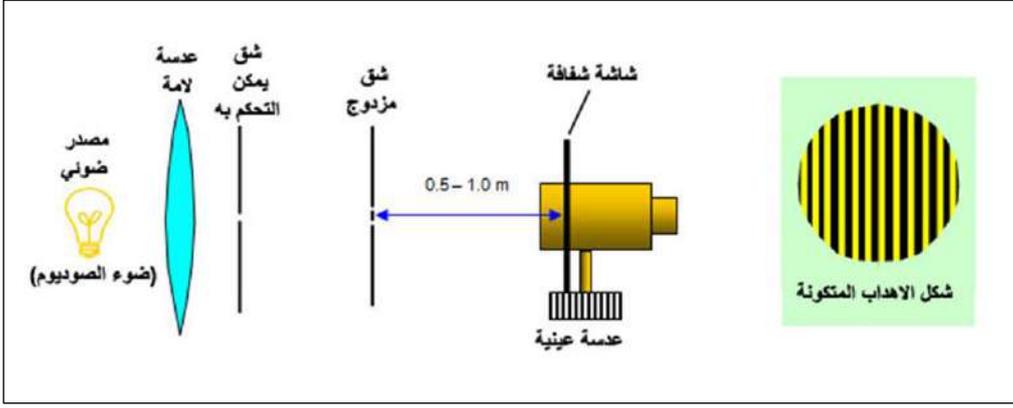
2- التداخل الاتلافي ويحصل عندما تكون الموجتين بطورين متعاكسين وسعتين متساويتين أو أن يكون فرق المسار البصري بينهما يساوي اعداد فردية في نصف طول الموجة ($\Delta r = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$).

هل تعلم؟

ان التداخل الاتلافي يوفر وسيلة تقليل أو إلغاء الضوضاء، و الفكرة تأتي من استخدام أداة إلكترونية لتحليل الضوضاء و عند ذلك تنتج مرآة للموجات الصوتية التي تلغي الموجات غير المرغوبة. و هذه التقنية تستعمل من أجل حجب الضوضاء في مقصورة الطائرة او أي مكان يفضل فيه عزل الموجات غير المرغوبة من مجموع الموجات الواصلة الى الأذن.

4-2 تجربة يونك Young's Experiment:

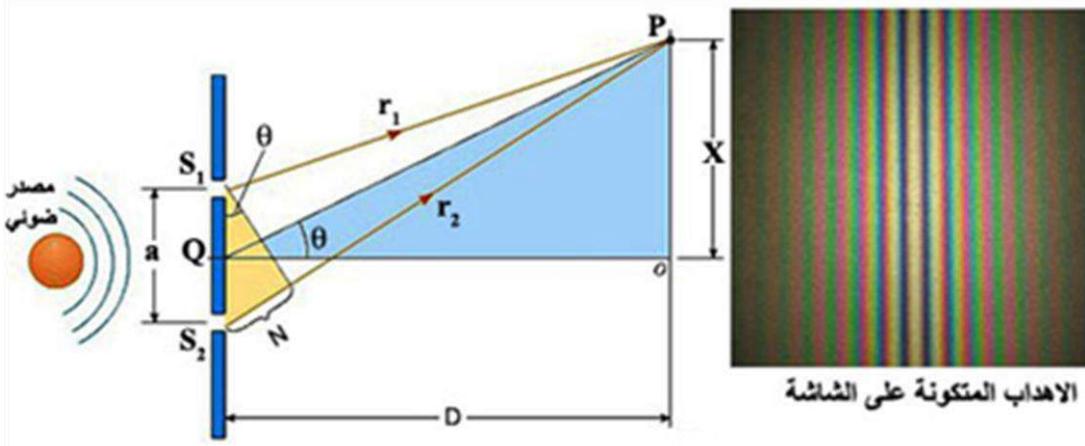
يوناك عالم بريطاني عاش للفترة (1773 – 1829) و هو أول من أنجز تجربة تراكب موجتين ضوئيتين. ولأجل توضيح الفكرة الاساسية وإعادة ما قام به يوناك لابد لنا من تجهيز الاتي: قطعة من صفيحة الالمنيوم وقطعة من سلك النحاس. نسحب قطعة سلك النحاس حتى ينكسر ونعمل ثقبين صغيرين في صفيحة الالمنيوم قريبين من بعضهما. بعدها نرفع الصفيحة الى الاعلى مقابل إحدى العينين و نراقب مصباحا صغيرا يبعد بمسافة. وحتى نجري التجربة وإجراء القياسات نوفر الترتيب الآتي كما هو في الشكل (2-3).



الشكل 2-3 ترتيب اجهزة تجربة يونك

فإذا كان المصدر صغيراً، ويمكن التحكم به فإن S_1 و S_2 يكونان مصدرين متشاكهين، ولأجل الحصول على نموذج تداخل محدد من المهم أولاً أن يكون S_1 و S_2 شقين صغيرين متساويين بالعرض وثانياً المصدر الضوئي ينتج ضوءاً بطول موجي ذا مدى قصير كمثل مصباح الصوديوم. وثالثاً أن S_1 و S_2 جميعاً متوازيين ورابعاً أن الشاشة لا تكون قريبة جداً من الشقين الثنائيين، مع الأخذ بنظر الاعتبار ان الشكل يظهر مسافة بين (S_1 و S_2) والحقيقة انهما متقاربان جداً، والعرض المثالي (d) لكل شق (S_1 و S_2) هو قرابة (0.1 mm) والمسافة الفاصلة ($a = S_1S_2$) ربما (1 mm) ($a \cong 10d$).

ان نموذج التداخل يحوي خطوطاً مضيئة و مظلمة موازية للشقين. هذه الخطوط تسمى أهداب يونك (young's fringes) و من الشكل الموضح و بدءاً من اليسار الى اليمين يمكن تقدير أن نموذج التداخل يغطي 1 cm من الشاشة، لنلاحظ الشكل (2-4).



الشكل 2-4 نموذج التداخل في تجربة يونك

أن فرق المسار البصري يساوي عدداً صحيحاً من الاطوال الموجة، لكي يحصل التداخل البناء وهو الخط المضيء. فإذا كانت (a) البعد بين الشقين و (D) بعد الشاشة عن الشقين ($D > a$) لذلك يكون (S_2P, S_1P) متوازيين تقريباً وان (λ) طول الموجة.

$$\lambda = \frac{aX}{nD}$$

X تمثل المسافة بين صورة الهدب الى صورة الهدب المركزي وتقاس بالمتري (m).

a البعد بين الشقين وتقاس بالمتري (m).

D المسافة بين الشقين والشاشة وتقاس بالمتري (m).

n مرتبة الهدب.

λ الطول الموجي وتقاس بالمتري (m).

مثال (1): في تجربة يونك التي يستعمل فيها مصباح الصوديوم والذي طوله الموجي (590 mm) والذي يبعد عن الشاشة (0.96 m) وكانت المسافة بين الهدب الرابع والهدب المركزي (3.2 mm). أحسب المسافة الفاصلة بين الشقين؟
الجواب:

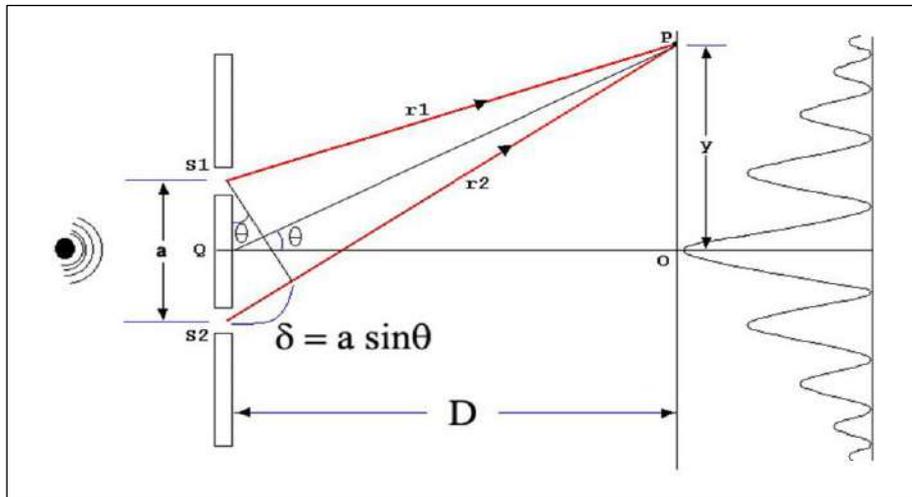
$$\lambda = \frac{aX}{nD} \rightarrow a = \frac{\lambda n D}{X}$$
$$a = \frac{590 \times 10^{-9} \times 4 \times 0.96}{3.2 \times 10^{-3}}$$
$$\therefore a = 0.0071 \text{ m} = 0.71 \text{ mm}$$

هل تعلم؟

من المستحيل الحصول على هدبات التداخل في تجربة يونك عندما يكون البعد بين الشقين أقل من الطول الموجي للضوء الساقط عليهما.

تستعمل تجربة يونك في:-

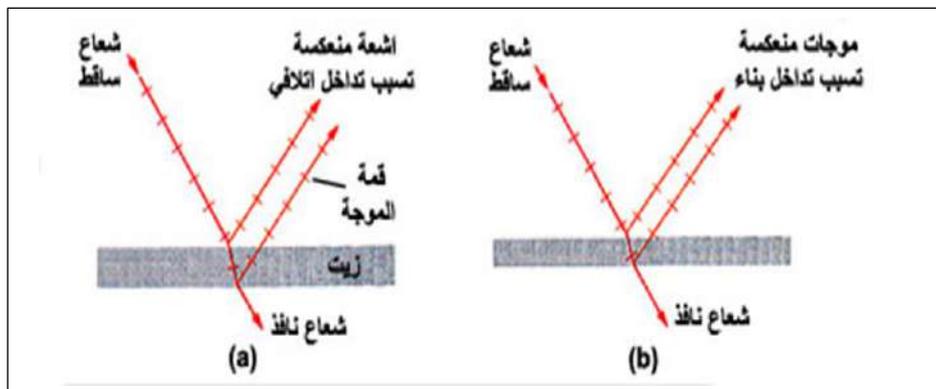
- 1- دراسة ظاهرة التداخل في الضوء.
 - 2- تعيين الطول الموجي لضوء احادي اللون.
 - 3- تعيين المسافة بين هديين متتاليين من نفس النوع.
 - 4- البحث في طبيعة الضوء وأثبتت طبيعة الموجة.
 - 5- أثبات وجود خاصية موجة لجميع الجسيمات مثل الالكترونات وغيرها.
- أن نمط أهداب التداخل البناء والالتافي يعتمد على فرق المسار البصري بين الموجتين المتداخلتين فإذا كان فرق المسار البصري يمثل أعداد صحيحة من الطول الموجي (λ) فإن التداخل يكون بناءاً أما إذا كان فرق المسار البصري (S_1, S_2) أعداد فردية من أنصاف الطول الموجي ($\frac{1}{2}\lambda$) فيكون التداخل ألتافياً كما ذكرنا سابقاً، الشكل (2-5).



الشكل 2-5 مخطط لتجربة يونك شعاعيا

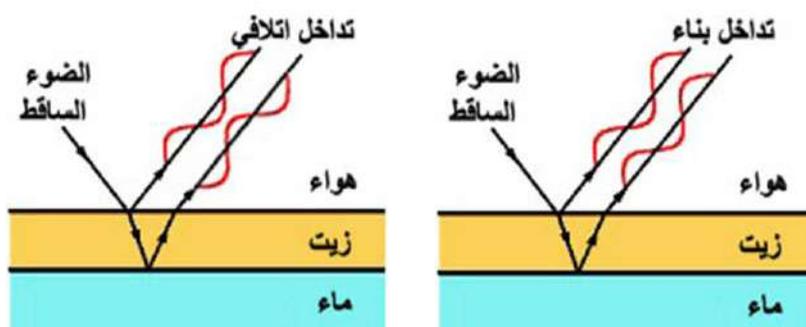
5-2 التداخل في الأغشية الرقيقة:

كلنا يلاحظ الألوان البراقة التي تظهر في فقاعات الصابون والأغشية الرقيقة للزيوت. هذه الظاهرة يمكن أن تعزى إلى الترابط بين انعكاس وتداخل الضوء. عندما يسقط ضوء أحادي (بطول موجي محدد) وله لون معين على غشاء رقيق من الزيت، كما هو في الشكل (6-2).

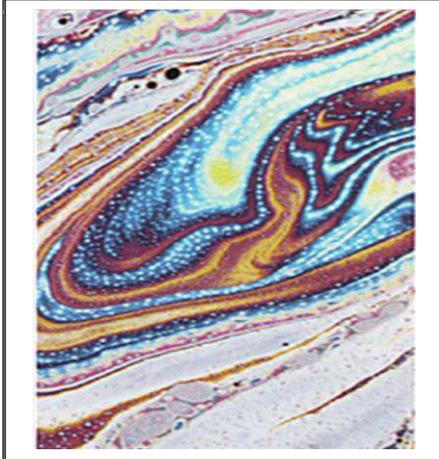


الشكل 6-2 تداخل بنائي وإتلافي في غشاء رقيق

فإن قسماً من الضوء ينعكس من السطح الأعلى، وقسماً آخر يمر من خلال الغشاء ثم ينعكس من السطح الأسفل. الموجتان المنعكستان سوف يحصل فيهما تغير في الطور وأذا ما تم جمعهما فإن تداخلاً بناءً وإتلافيًا سيحصل بينهما بالاعتماد على فرق الطور مكوناً حزمة من الأهداب المضيئة والمظلمة. يُعدّ سمك الغشاء عامل مهم في ظهور الأهداب المضيئة والمظلمة، وهو أحد العوامل التي يتوقف عليهما التداخل بالأغشية الرقيقة إذ أن الموجات المنعكسة تقطع مساراً إضافياً من السطح الخلفي للغشاء يساوي ضعف سمكه وأما العامل الآخر الذي يؤثر على التداخل في الأغشية الرقيقة هو انقلاب الطور الذي يحصل للموجات المنعكسة على السطح الامامي والذي مقداره (π) أو (180°) ، وهذا يمثل التداخل البناء ويكون الغشاء في هذا الجزء عاكساً جيداً ويظهر برقاً. ويمكن توضيح حالة التداخل بين الموجات في حالة طفو طبقة من الزيت على سطح الماء بالشكل (7-2).



شكل 7-2 تداخل الموجات المنعكسة من طبقة زيت طافية على سطح الماء



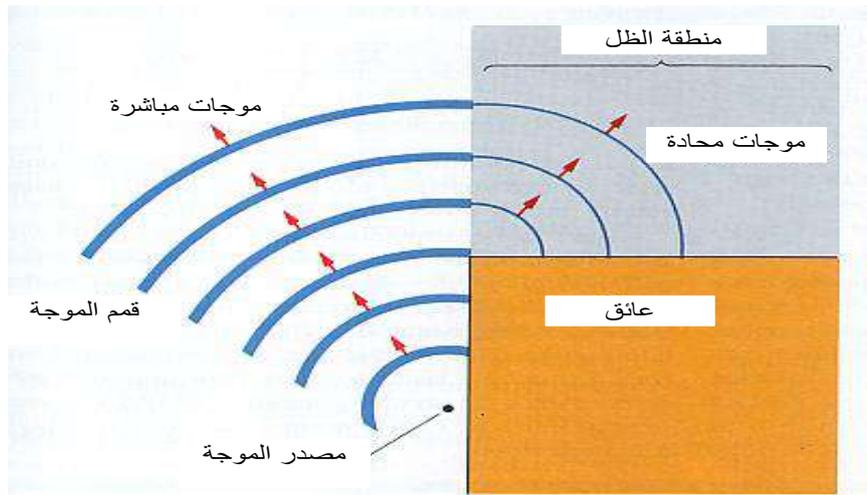
الشكل 2-8 نموذج ملون يحصل بسبب طفو بقعة زيت على الماء

ان اشراق الضوء للون معين على غشاء الزيت الرقيق يعطي مساحات مضيئة وأخرى مظلمة ونموذجها (pattern). وأن الهدبات الملونة التي تراها في أغشية الزيت أو الصابون تعتمد على عاملين هما فرق الطور وسمك الغشاء وإن هذا السمك عادةً ما يكون مقارباً أو أقل من الأطوال الموجية للضوء المرئي ولذلك إذا أضيئ ب ضوء أبيض فأن التداخل البناء قد يحدث لأحد الأطوال الموجية فقط دون باقي الأطوال الموجية الصادرة عن المصدر لذلك يمكن أن يُرى الغشاء بوساطة الضوء المنعكس ملوناً، كما في الشكل (2-8).

2-6 الحيود في الضوء Light of Diffraction:

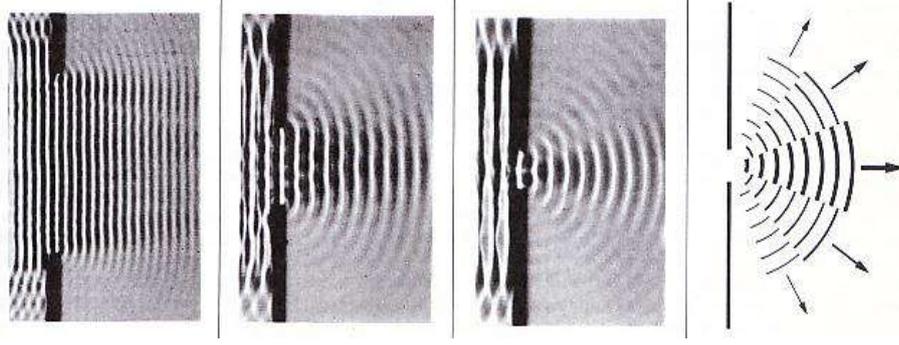
هو من الصفات العامة للموجات ومن الظواهر التي تثبت أنتشار الضوء بخطوط مستقيمة في الاوساط المتجانسة وهي ظاهرة تكوّن الظلال، وتكوّن الصورة المقلوبة بوساطة الثقوب الصغيرة، وقانون التريبع العكسي لشدة الاستضاءة. ولكن الموجات الضوئية تحيد عند عبورها عوائق صغيرة بالنسبة لأطوالها الموجية ويمكن تعريف حيود الضوء (هو أنتشار الضوء وأنبساطه على المنطقة التي تقع خلف العائق الذي يقف في طريقه والعائق هنا يكون شقاً ضيقاً أو سلكاً رفيعاً أو جسيماً ذا حافة حادة).

فسرّ العالم فرنيل عام (1815 م) ظاهرة حيود الضوء عندما ارجعها الى الطبيعة الموجية للضوء (أن كل نقطة في جبهة الموجة تعتبر مصدراً لموجات ثانوية تنتشر خلف العائق وعند تداخلها تظهر المناطق المضيئة والمظلمة والتي تسمى (هُدُب الحيود)). تكون ظاهرة الحيود أكثر وضوحاً في الموجات الطويلة حول الحافات كالموجات المائية والموجات الصوتية، أما الموجات الضوئية فيكون حيودها قليلاً جداً لقصر الطول الموجي لها، كما هو في الشكل (2-9).



الشكل 2-9 الحيود بسبب انحناء الموجات حول زاوية العقبة التي تعترض مسار الموجات

ويمكن ملاحظة حيود الموجات المائية عند فجوة معينة من الشكل (10-2).



الشكل 10-2 صورة توضح حيود موجة ماء مستوية عند حافة الفجوة

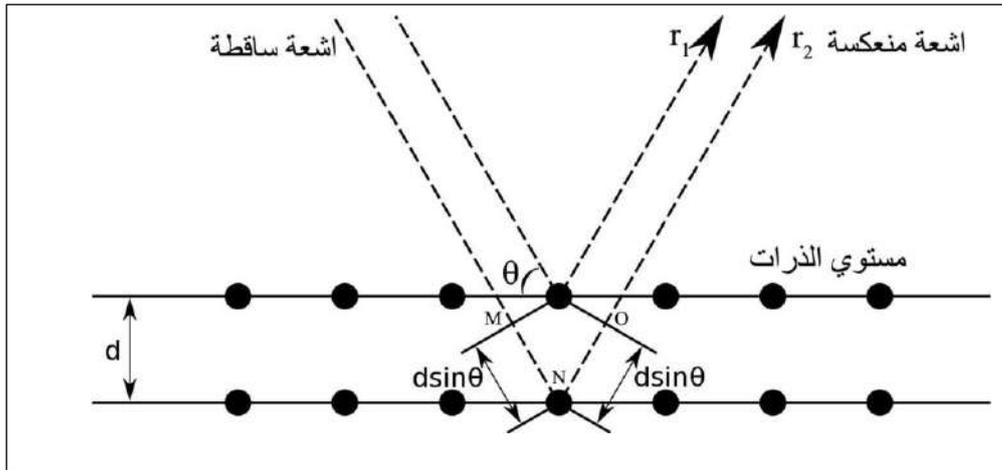
عند حدوث التداخل بعد الحيود يلاحظ نموذج لهذاب التداخل البناء والهداب التداخل الإلثافي (الخطوط المظلمة).

بما أن أطوال موجات الأشعاع الضوئي صغيرة جداً لذلك لا يمكن مشاهدة الحيود في الضوء الا على مسافة كبيرة من الحاجز. وأن ظاهرة الحيود هي انعطاف الضوء وانحناءه يكون شديد الوضوح للموجات حول عوائق صغيرة وانتشارها خلال الفتحات الصغيرة.

تحدث هذه الظاهرة للجسيمات الأولية مثل الالكترن والنيوترون كذلك يحدث الحيود مع المادة ويدرس طبقاً لميكانيك الكم في الدراسات الحديثة.

تشاهد ظاهرة الحيود كثيراً مع أنظمة البلورات ويمكن بدراستها تعيين الشكل البلوري للمعادن فمنها ذو بلورة مكعبة منها بلورة مسدسة أو مستطيلة وغيرها.

ويستعمل الحيود لاختبار معرفة ما اذا كانت الاشياء المختلفة موجات أم لا، فمثلاً حيود الاشعة السينية (X-ray) بوساطة البلورات لذا اثبت أن هذه الاشعة هي عبارة عن موجات، كما في الشكل (11-2).



الشكل 11-2 انعكاس الاشعة السينية من طبقة منفردة من الذرات

7-2 ظاهرة التداخل والحيود للضوء:

عزيزي الطالب لقد علمت أن الضوء هو أحد صور الطاقة التي لا يمكن للانسان الاستغناء عنها والذي هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات طبيعة موجية ودقاتية تنتشر بالفراغ بسرعة ثابتة (3 × 10⁸ m/s) لذلك فإن تفسير ظاهرة التداخل والتي تمثل التقاء موجتين وتراكبها معاً مما ينتج

مناطق تزايد فيها شدة الموجات (تداخل بناء) وأخرى تنقص فيها الشدة (تداخل اتلافي) ضمن النظرية الموجية ولا يمكن تفسيرها حسب نظرية نيوتن، اما ظاهرة الحيود في الضوء والتي تنص على أن الموجات الضوئية تنحرف وتنتشر حول حاجز ضيق أو فتحة صغيرة وأنه كلما كان حجم الحاجز أو الفتحة صغيرة بالمقارنة بطول الموجة كلما كانت ظاهرة الحيود أكثر وضوحاً ومن الأمثلة على ظاهرة الحيود هو قوس المطر (rainbow) والهالات المتكونة حول القمر وفي بعض التطبيقات التقنية فهو يضع حدوداً أساسية لدرجة نقاء صور الكاميرا والتلسكوب والمكروسكوب وله دور في الطب كما في ظاهرة حيود الأشعة (X-ray)، ومن التطبيقات الحيود في الأشعة السينية:

1- تشخيص الطبيعة البلورية للمادة.

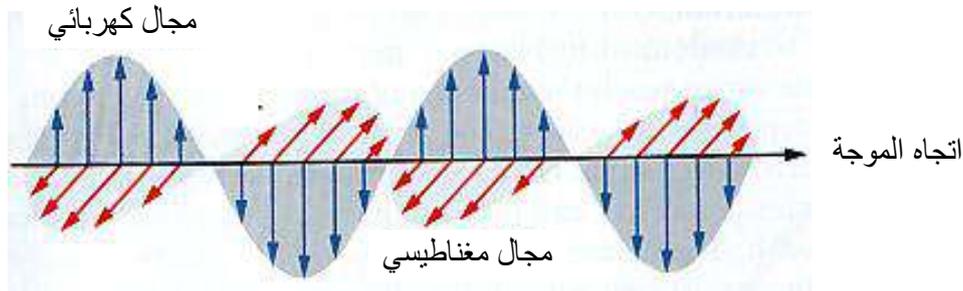
2- تشخيص التركيب الكيميائي لبعض العناصر.

3- تشخيص الخواص الفيزيائية للمواد ذات الطبقات الرقيقة من خلال حساب زاوية السقوط وزاوية التشتت والاستقطاب وطول الموجة وطاقة الإشعاع.

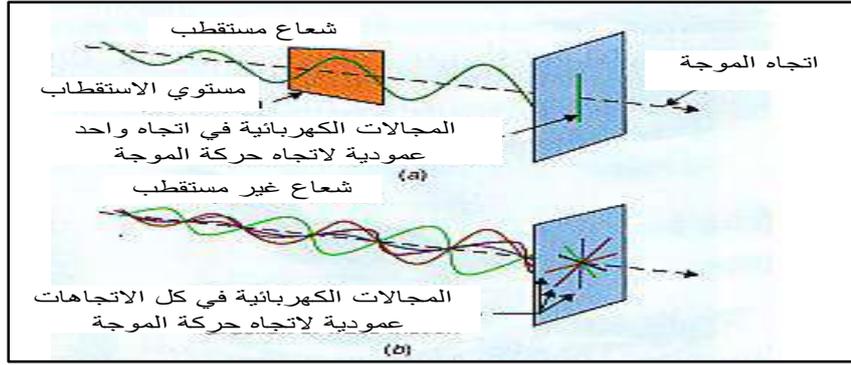
8-2 الاستقطاب Polarization:

بما ان موجات الضوء هي موجات كهرومغناطيسية وتعاني تداخلاً وحيوداً كما مر سابقاً ولكن هاتين الظاهرتين تحدث في كل من الموجات المستعرضة والطولية أما إذا كانت الموجات مستعرضة فأن ظاهرة الاستقطاب تبين أن موجة المجال الكهربائي للضوء يهتز عمودياً في مستوى واحد فقط على المجال المغناطيسي. أو يمكننا تصور الاستقطاب كما يلي: إذا تخيلنا أن موجات مستعرضة انشأت في حبل مهتز فسوف تتخذ هذه الموجات عدة اتجاهات مختلفة، تسمى هذه الموجات بالموجات غير مستقطبة ولكن أفترض أن هذا الحبل المهتز سوف يمر خلال شق رأسي (عمودياً) فسوف يوقف هذا الشق جميع المركبات الأفقية ويسمح فقط للمركبات الرأسية بالمرور من خلاله فأن هذه الموجة الناتجة تسمى بالموجة المستقطبة لذلك يمكن تعريف موجة الضوء المستقطب هي الموجة التي يكون فيها اهتزاز المجال الكهربائي عمودياً بمستوى واحد فقط على خط أنتشارها وأن اللوح الذي يسبب في أستقطاب الضوء عند سقوطه عليه يسمى باللوح القطبي، كما هو في الشكل (2-12)، والشكل (2-13).

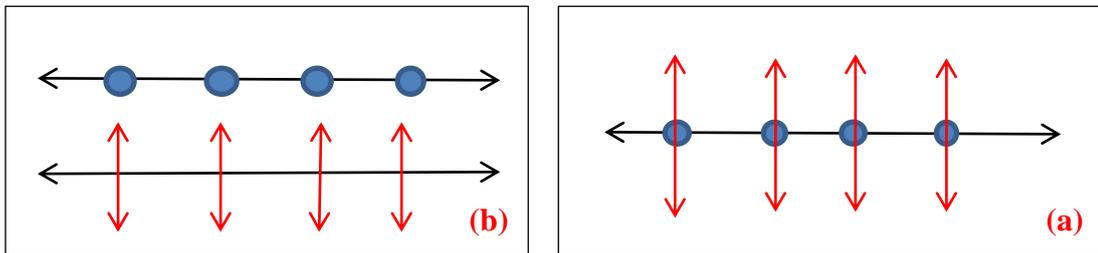
ولإثبات أن موجة ما مستعرضة فكل ماتحتاجه هو بيان أنها قابلة للاستقطاب. فالموجة الطولية مثل موجات الصوت والتي تكون جزيئاتها تتذبذب في نفس خط أنتشار الموجة فأنها لاتستقطب.



الشكل 2-12 قيم المجالات الكهربائية والمغناطيسية في موجة كهرومغناطيسية يتغيران سوية



الشكل 13-2 (a) ضوء مستقطب. (b) موجات كهرومغناطيسية غير مستقطبة



الشكل 14-2 مخطط يوضح (a) ضوء اعتيادي غير مستقطب (b) ضوء مستقطب

وبملاحظة الشكل (13-2) (a) و (b) حيث (a) يلاحظ الضوء المستقطب و (b) يمثل الضوء غير المستقطب.

وللحصول على الضوء المستقطب نستعمل احدى الطرائق الآتية:

- 1- **الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي:** مثل استعمال بلورة التورمالين التي لها خاصية الامتصاص الانتقائي لاحدى المركبتين المتعامدتين للموجة الضوئية.
- 2- **الاستقطاب بالانعكاس:** يكون الضوء المنعكس من سطح صقيل مثل الزجاج او المايكا مستقطب جزئياً.
- 3- **الاستقطاب بالانكسار المضاعف:** عند سقوط حزمة ضوئية على بلورة الكالسايت (CaCO_3) تنشطر الحزمة داخل البلورة الى حزمتين وهاتان الحزمتان لا تتداخلان بالرغم من أنهما متشاكهتان وهذا يثبت أن الضوء موجة مستعرضة لان مستوى استقطاب إحدى الحزمتين يعامد الأخرى.

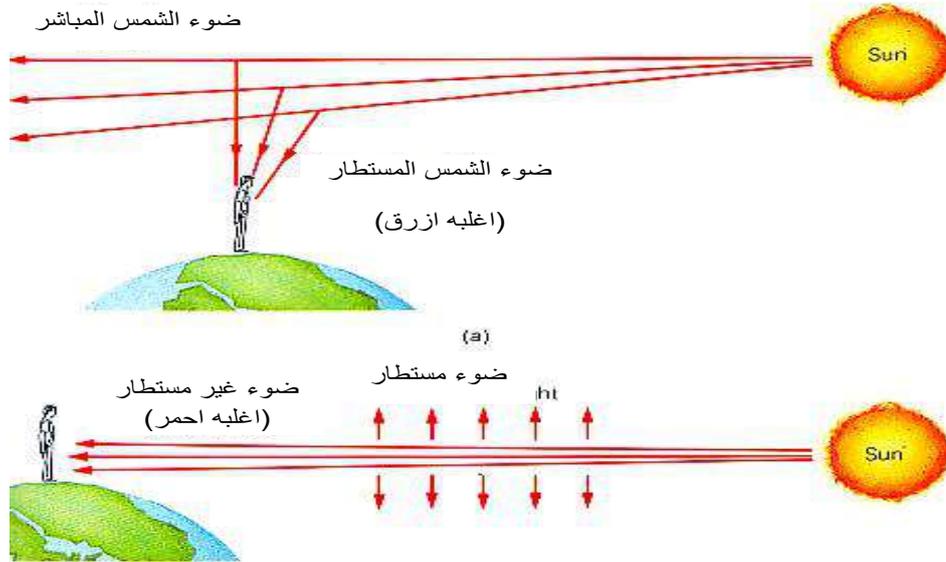
ومن التطبيقات العملية لظاهرة الاستقطاب:

- 1- النظارات الشمسية (لتقليل نفاذ ضوء أشعة الشمس).
- 2- في دراسة الظواهر الفلكية.
- 3- في دراسة علم الاحياء.
- 4- في دراسة الخواص البلورية لبعض المواد.
- 5- دراسة تركيب كثير من المواد الشفافة بأستعمال مرشحات الاستقطاب.
- 6- في الكشف عن مواقع الاجهاد (نقاط الضعف) في بعض المواد مثل عدسات النظارات والادوات العملية.



9-2 استطارة الضوء Light Scattering:

أن ظاهرة الاستطارة تعتبر حالة خاصة من الحيود وذلك عند أمرار حزمة من الضوء الابيض خلال وسط يحوي جسيمات أقطارها تقارب معدل الطول الموجي للضوء الابيض فإن جسيمات هذا الوسط تسبب تشتت كبير للموجات القصيرة في الضوء المرئي فينبعث ضوء لونه مائل للزرقة. إن اللون الازرق للسماء يعزى الى استطارة ضوء الشمس بعد اصطدام الاشعة الضوئية بجزيئات وجسيمات الغبار في الجو. إن الضوء الازرق يستطير بكفاءة أعلى من بقية الالوان ومن الاحمر مثلاً. عندما ننظر الى السماء ما نلاحظه هو اللون الازرق والقادم من الشمس والذي يستطير بعيداً عن الشعاع المباشر وظهوره باللون الازرق، كما في الشكل (2-15).



الشكل 2-15 بسبب استطارة اللون الازرق من جزيئات الجو تحصل زرقة السماء و المتبقي من الضوء يكون احمر و هذا يجعل لون الشمس عند الغروب و الشروق بلون احمر.

تجربة الاستطارة: يمكن تحقيق أصل زرقة السماء و ذلك بإضافة عدة قطرات من الحليب الى زجاجة ماء ثم تمرير ضوء خلال المزيج من مصدر ضوئي. لو ننظر الى الزجاجة من جانب عمودياً على شعاع الضوء الذي يستطير بواسطة قطرات الحليب يظهر بلون ازرق و اذا نظرنا الى الزجاجة عكس اتجاه الشعاع الضوئي سيكون اللون برتقالياً خفيفاً.

ومن الظواهر الطبيعية التي تبين لنا ظاهرة الاستطارة التي تحدث في الضوء هي زرقة السماء واللون الاحمر لقرص الشمس عند الشروق والغروب، فعندما تكون جزيئات الهواء وبعض الدقائق العالقة في الجو اقطارها تقارب معدل الطول الموجي للضوء الابيض تحدث ظاهرة الاستطارة بنسب تعتمد على اطوالها الموجية فعند الشروق أو الغروب تقطع اشعة الشمس مساراً أطول خلال طبقة الهواء فيصل الى العين الضوء الغير مستطار وهو اللون الاحمر.

مثلاً الشمس ربما تكون حمراء. فوق جو الارض تكون السماء سوداء والقمر والنجوم والكواكب تكون مرئية بالنسبة إلى رائد الفضاء في وقت النهار. إن مقدار الاستطارة يتناسب عكسياً مع الاس الرابع للطول الموجي للضوء المعين λ^{-4} و نظراً لان الطول الموجي للون الاحمر ضعف الطول الموجي للون الازرق، لهذا اللون الازرق يستطير بمقدار 16 مرة عن اللون الاحمر. وقد أستعملت ظاهرة الاستطارة بشكل واسع في كثير من المجالات فمثلاً استعمل الضوء الاحمر كأشارة للخطر أو التنبيه في الابراج العالية وفي المطارات على جانبي المدرج وكذلك في السيارات الاسعاف وسيارات المطافي وأضوية المرور بسبب أن اللون الاحمر يكون طوله الموجي طويل وشدة أستطارته قليلة فيمكن مشاهدته عن بعد. وكذلك أستعمل اللون الازرق في الطلاء المصابيح الامامية ونوافذ المنازل أيام الحرب والغازات الجوية لان اللون الازرق يكون طوله الموجي قصير وشدة أستطارته كبيرة فلا يشاهد عن بعد.

هل تعلم؟

أن تلون ريش بعض الطيور بألوان زاهية هو نتيجة ظاهرة أستطارة الضوء.

أسئلة الفصل الثاني

س1/ اختر الاجابة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

- 1- أن سبب ظهور اللون في الاغشية الرقيقة للزيت وفقاعة الصابون هو حدوث ظاهرة:
a- الإستطارة b- التداخل c- الحيود d- ظاهرة دوبلر
- 2- زرقة السماء تعزى الى الآتي:
a- جزيئات الهواء زرقاء
b- لون عدسات العين زرقاء
c- استطارة الضوء أكثر كفاءة عند الموجات القصيرة
d- استطارة الضوء أكثر كفاءة عند الموجات الطويلة
- 3- الحيود يعزى الى الآتي:
a- انشطار حزمة الضوء الأبيض الى مركبات ملونة
b- تداخل الضوء ينتج الواناً براقة في أغشية الزيت الرقيقة
c- انحناء الموجات حول حافة العائق
d- زيادة التردد بسبب حركة مصدر الموجة الى المراقب.
- 4- عندما تقابل قمة من موجة قمة أخرى يحصل:
a- تداخل تقوية b- تداخل إتلافي c- حيود d- انعكاس
- 5- الأشعة السينية المستعملة في فحص المواد تكون ذات أطوال موجية
a- طويلة b- قصيرة c- ذات تردد متوسط d- تقع ضمن اللون الأحمر
- 6- تتناسب قدرة استطارة الضوء مع الآتي:
a- طردياً مع الطول الموجي b- طردياً مع التردد
c- طردياً مع السعة الموجة d- عكسياً مع الأس الرابع للطول الموجي
- 7- أي من الظواهر التي تثبت أن الضوء موجة مستعرضة:
a- التداخل b- الحيود
c- الاستطارة d- الاستقطاب
- 8- فوق جو الأرض تظهر السماء
a- زرقاء b- سوداء c- بعدة الوان d- باللون البرتقالي
- 9- يحصل التداخل البناء متى ما كان فرق المسار البصري بين الموجتين المتداخلتين
a- عدد صحيح من أطوال الموجة b- نصف طول الموجة
c- ثلث طول الموجة d- ربع طول الموجة
- 10- حزمة الضوء المستقطبة يكون فيها ما يأتي:
a- المجالات الكهربائية والمغناطيسية ذات اتجاهات عشوائية
b- المجال الكهربائي يهتز بمستوى واحد
c- المجالات الكهربائية ذات اتجاهات عشوائية
d- المجال الكهربائي يهتز في بعض الاتجاهات أكثر من الاتجاهات الأخرى
- 11- الموجات الطولية لاتحدث فيها ظاهرة:
a- الانكسار b- الانعكاس c- الاستقطاب d- الحيود

س/2 الظاهرة التي تحدث في تجربة يونك هل هي ظاهرة الحيود أم التداخل أم الاثنين معاً؟ فسر ذلك.

س/3 أي الموجات قابلة للاستقطاب موجات الاشعة تحت الحمراء أم موجات الصوت؟ لماذا؟

س/4 ماذا تسمى الموجات الضوئية التي يكون فيها المجال الكهربائي مهتز عمودياً على خط أنتشارها بمستوى واحد؟

س/5 مالمقصود بكل مما يأتي:

1- التداخل البناء.

2- الاستطارة.

3- الحيود.

مسائل الفصل الثاني

س/1 أستعمل ضوء أحادي لأضاءة شقين ضيقين متوازيين. المسافة بينهما ($a = 0.8 \text{ mm}$). فظهر التداخل على شاشة تبعد (50 cm) عنهما. فإذا كانت المسافة بين كل هديين مضيئين متتاليين (0.304 mm). احسب طول موجة الضوء المستعمل.

ج: **الطول الموجي (486 nm)**

س/2 شقان ضيقان متوازيان البعد بينهما (0.1 mm) أضيئنا بضوء احادي اللون طولهُ الموجي (600 nm) فظهرت أهداب التداخل على شاشة تبعد (40 cm). ما بعد الهدب المضيء الثالث عن الهدب المركزي للحزمة المضيئة المرتبة ($n = 3$)

ج: **(0.72 cm)**

س/3 أستعمل ضوء أحادي اللون طولهُ الموجي (432 nm) في تجربة شقي يونك فوجد أن البعد بين أول هذب مضيء عن الهدب المركزي على بعد (0.2 mm) فإذا كان الضوء يبعد (6 m). عن الشاشة التي تظهر الهدب فما البعد بين الشقين؟

ج: **(1.296 mm)**

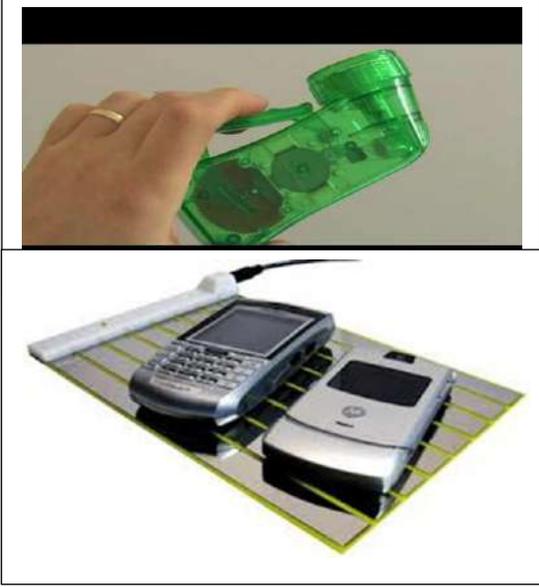
س/4 عند أضاءة شقي يونك بضوء طولهُ الموجي (500 nm) وكان البعد بين الشقين (0.5 mm). ما بعد الشاشة التي تظهر عليها أهداب التداخل إذا كان البعد المركزي بين هديين مضيئين متتاليين (2 mm)؟

ج: **(2 m)**

س/5 أستعمل ضوء أحادي اللون في تجربة يونك البعد بين الشقين (1 mm) فتكونت صور للمصدر على الشاشة التي تبعد (1 m) عن الحاجز ذي الشقين فإذا كان البعد بين أي هديين مضيئين متتاليين (0.2 mm)، أحسب -1- الطول الموجي للضوء الساقط. -2- بعد الهدب الثالث عن الهدب المركزي.

ج: **($0.2 \times 10^{-6} \text{ m}$), 2 - ($0.6 \times 10^{-3} \text{ m}$)**

الفصل الثالث الحث الكهرومغناطيسي



- مفردات الفصل
- 1-3 تمهيد
 - 2-3 قانون فردي
 - 3-3 قانون لينز
 - 4-3 التيارات الدوامة
 - 5-3 الحث الذاتي
 - 6-3 المولد الكهربائي
 - 1-6-3 مولد التيار المتناوب
 - 2-6-3 مولد التيار المستمر
 - 7-3 المحرك
 - 1-7-3 قاعدة المحرك
 - 2-7-3 كيف يتولد العزم المدور للمحرك
 - الاسئلة والمسائل

الاعراض السلوكية :-

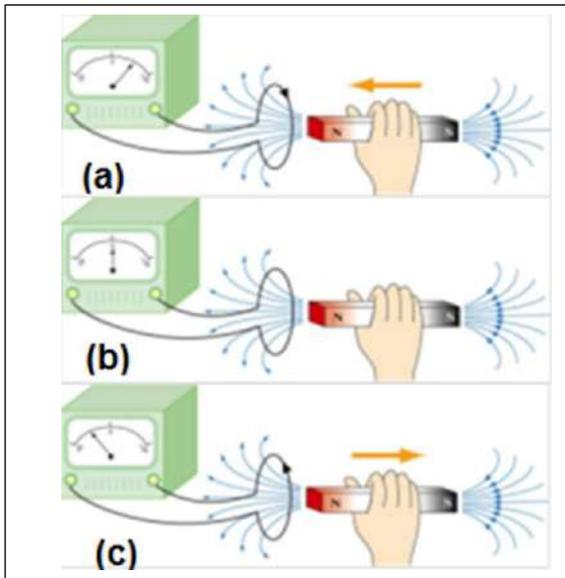
بعد إكمال هذا الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادراً على الآتي:

- 1- أن يفهم القوة الدافعة الكهربائية المحتثة.
- 2- أن يفهم قانون فردي واجراء تطبيقات رياضية عليه.
- 3- أن يعرف المجال الكهربائي المحتث واسباب حدوثه مع الرسم وحل المسائل والامثلة عليه وكيفية حدوث الطاقة بالحث.
- 4- أن يفهم قانون لينز وتفسيره.
- 5- أن يفهم عمل المولد والمحرك وأجزائهما والتميز بينهما ومعرفة كيفية توليد العزم المدور للمحرك وفهم أسباب حدوث القوة الدافعة المضادة للمحرك وفهم قاعدة المحرك وحل أمثلة نظرية وعملية.
- 6- أن يفهم حدوث التيارات الدوامة مع الرسوم وفهم حدوث ظاهرة الحث الذاتي للملف.

1-3 تمهيد:

درسنا في العام الماضي أن التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية وهو واحد من ثلاثة إنجازات علمية رئيسة قامت على أساسها الثورة الصناعية في العالم منذ أكثر من مئة عام. وقد كان هذا الإنجاز على يدي العالم أورستد. والسؤال الذي يتبادر إلى الأذهان الآن هو إذا كانت المجالات المغناطيسية تولدها تيارات كهربائية، فهل يمكن للمجالات المغناطيسية أن تولد تيارات كهربائية؟ استطاع العالم مايكل فاراداي (1791-1867) في إنكلترا والعالم جوزيف هنري (1797-1878) بالولايات المتحدة الأمريكية وبشكل مستقل عن بعضهما من الإجابة التأكيدية عن هذا السؤال عام 1831، وسوف يتم شرح تجربة تبين ذلك التأثير بشكل واضح. دائرة كهربائية تتكون من ملف متصل على التوالي مع جهاز كلفانوميتر ولاتحوي أي مصدر كهربائي كما هو في الشكل (1-3).

عندما تدفع الساق المغناطيسية باليد باتجاه قلب الملف نلاحظ انحراف مؤشر الكلفانوميتر إلى أحد اتجاهي مقياسه كما هو في الشكل (a-1-3) إشارة إلى تولد تيار كهربائي نتيجة تقاطع خطوط الفيض المغناطيسي معه. وعندما يقف المغناطيس عن الحركة فلن يكون هناك قطع لخطوط المجال المغناطيس، أي لا يوجد تغير في الفيض المغناطيسي، فلا يمر تيار في الملف ويعود مؤشر الكلفانوميتر إلى الصفر كما هو في شكل (b-1-3).



شكل 1-3

أما لو سحبنا الساق المغناطيسية بالاتجاه المعاكس بعيداً عن الملف فإن الفيض يأخذ بالتناقص، وسينحرف مؤشر الكلفانوميتر إلى الاتجاه المعاكس دلالة على أن التيار عكس اتجاه كما هو في الشكل (c-1-3).

يعرف التيار المتولد بهذه الطريقة بالتيار المحتث (Induced Current) ويرمز له (I_{ind}) وتعرف العملية بالحث الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Induction).

نستنتج من هذه التجربة (وهي أحد تجارب فاراداي) ما يأتي:

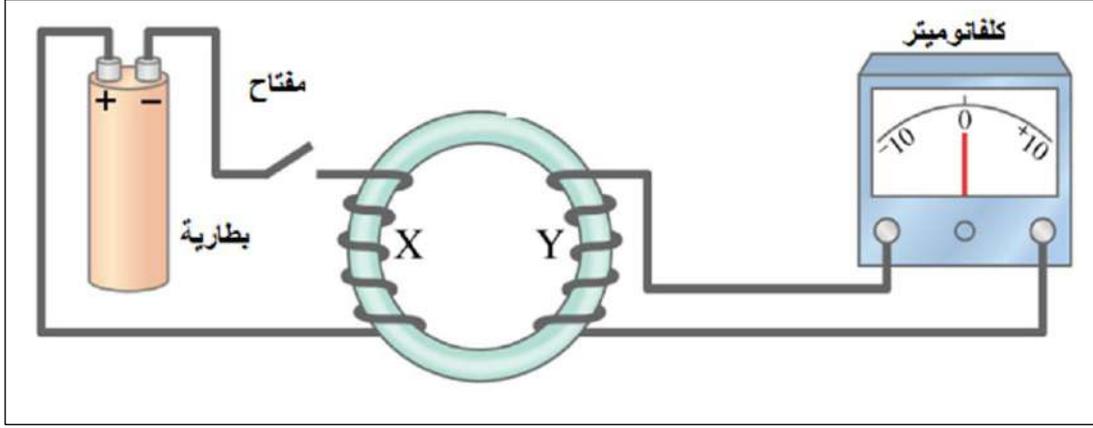
1- إذا تغير الفيض المغناطيسي (تناقص أو تزايد) الذي يقطع دائرة مغلقة، تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في تلك الدائرة.

2- التغير في الفيض المغناطيسي ($\Delta\Phi$) لوحدة الزمن هو العامل الأساس لتولد التيار المحتث في الدائرة المغلقة.

2-3 قانون فاراداي Faraday's law

يمكن تفسير قانون فاراداي في التجربة الآتية:

نستعمل ملفين يتألفان من سلكين ملفوفين حول قرص موصل من الحديد المطاوع. يربط أحد الملفين مع بطارية ومفتاح (الدائرة (X) التي في جهة اليسار) وتسمى بدائرة الملف الابتدائي. بينما يربط الملف الثاني على التوالي مع كلفانوميتر ويسمى بدائرة الملف الثانوي (الدائرة (Y) إلى اليمين)، كما هو موضح في الشكل (23-3).



شكل 2-3 يبين تجربة فاراداي

عند اغلاق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي سوف يؤدي الى انحراف مؤشر الكلفانوميتر الى احد جانبي الصفر ثم رجوعه تدريجيا الى الصفر. ان انحراف مؤشر الكلفانوميتر دليل على سريان تيار في الملف الثانوي وهو تيار الحث وسببه. ان دائرة الملف الابتدائي ولدت مجالا مغناطيسيا في الساق الحديدية مما تقاطع فيضه مع اسلاك الملف الثانوي فأحدث قوة دافعة كهربائية محتثة. أما عودة مؤشر الكلفانوميتر الى الصفر فهو دليل على توقف سريان التيار في الملف الثانوي نتيجة عدم حدوث تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t})$.

كما لاحظ فاراداي بأن مؤشر الكلفانوميتر سينحرف مرة أخرى لحظة فتح المفتاح ولكن بالاتجاه المعاكس، ومن ثم يعود إلى الصفر.

ومن ذلك نستنتج ان هناك قوة دافعة كهربائية محتثة ستولد في حلقة مغلقة و نتيجة لحصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن والمسبب لنشوء تيار الحث (ولاي سبب كان). **وتعرف القوة الدافعة الكهربائية المحتثة بأنها فرق الجهد على طرفي الموصل والنتاج من أنجاز شغل لتحريك الشحنة الكهربائية داخل الموصل.**

ان قانون فاراداي للحث يعد قانوناً تجريبياً وينص على الآتي:

" القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في دائرة مغلقة تتناسب طردياً مع التغير الحاصل مع الفيض المغناطيسي الذي يقطع الدائرة في وحدة الزمن"

الصيغة الرياضية لقانون فاراداي هي

$$\epsilon_{\text{ind}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \dots \dots \dots (1)$$

ويعد قانون فاراداي من أكثر مبادئ الكهرباء والمغناطيسية أهمية، بل ويعتبر اساساً لعمل المولدات والمحركات وعدد كبير من الاجهزة المهمة. وإذا كان لدينا ملف سلكي عدد لفاته $(-N)$ فان قانون فاراداي يصبح:

$$\epsilon_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \dots \dots \dots (2)$$

الإشارة السالبة في القانون وضعت للدلالة على أن اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المحتثة يعاكس التغير في الفيض المغناطيسي الذي سبب حثاً في الملف والتي منها يحدد اتجاه التيار المحتث في الدائرة.

مثال (1): ملف يتكون من 40 لفة فإذا تحرك هذا الملف بصورة عمودية خلال فيض مقداره $(3 \times 10^{-5} \text{ weber})$ خلال فترة زمنية (0.02 s) فما مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ϵ_{ind} ؟

الحل:

حسب قانون فاراداي فان

$$\epsilon_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\epsilon_{\text{ind}} = -40 \frac{3 \times 10^{-5}}{0.02 \text{ s}} = -0.06 \text{ V}$$

مثال (2): ملف عدد لفاته 100 ومساحة اللفة الواحدة (10 cm^2) . إن كثافة فيضه المغناطيسي التي تخترق الملف تتغير من (0.0 T) إلى (1.0 T) خلال زمن (0.2 s) احسب

- 1- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ϵ_{ind} الناشئة في الملف.
- 2- التيار المناسب في الدائرة الكهربائية علماً ان المقاومة للدائرة الكلية (100Ω) .

الحل

1- حسب قانون فاراداي فان:

$$\epsilon_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta \Phi = A \Delta B$$

حيث $B =$ كثافة الفيض و $A =$ مساحة اللفة فيصبح قانون فاراداي كما يأتي

$$\epsilon_{\text{ind}} = -N \frac{A \Delta B}{\Delta t}$$

$$\epsilon_{\text{ind}} = - \frac{100 \times (10 \times 10^{-4}) \times (1.0 \text{ T} - 0.0 \text{ T})}{0.2 \text{ s}} = -0.5 \text{ V}$$

-2

$$I = \frac{\epsilon_{\text{ind}}}{R} = \frac{0.5}{100} = 5 \times 10^{-3} \text{ A}$$

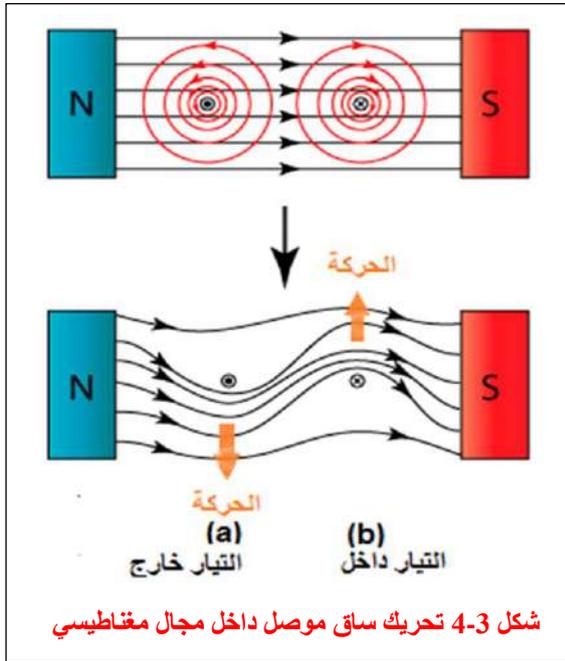
3-3 قانون لينز Lenz's law



إن مرور تيار كهربائي في موصل يؤدي إلى توليد مجال مغناطيسي حول الموصل لتحديد اتجاه التيار المحتث يتم أستعمال قاعدة اليد اليمنى والتي تعرف بقاعدة المولد أو قاعدة أمبير. إذ يتم وضع أصابع اليد اليمنى (الإبهام والسبابة والوسطى) بشكل متعامد مع بعضها. تشير السبابة إلى اتجاه المجال المغناطيسي ويشير الإبهام إلى اتجاه حركة الموصل أما الوسطى فتشير إلى اتجاه التيار المحتث وكما هو في الشكل (3-3).

كذلك الحال عند سريان التيارات المحتثة في الموصل تنتج مجالاً مغناطيسياً محتثاً خاصاً بها. يبين الشكل (3-4) تحريك ساق موصل داخل مجال مغناطيسي اتجاه خطوطه من اليسار إلى اليمين يكون كالآتي:

عند تحريك الموصل إلى الأسفل شكل (3-4-أ) فسوف يتولد تيار محتث يكون اتجاهه حسب قاعدة أمبير لليد اليمنى يكون اتجاهه عمودياً على المجال المغناطيسي وخارج من الكتاب ويشار له بالعلامة (●) المؤشرة في مقطع السلك. أما اتجاه المجال المغناطيسي المحتث الذي ولده التيار المحتث يكون باتجاه عكس عقارب الساعة وحسب قانون أمبير.



فيكون مع اتجاه المجال المغناطيسي الأصلي في أسفل الموصل والذي يؤدي إلى زيادة كثافة الفيض ويقوي المجال. أما في أعلى الموصل فيكون المجالان متعاكسين فنقل كثافة الفيض ويضعف المجال مما يؤدي إلى نشوء قوة عمودية على كل من المجال والتيار ويكون اتجاهها نحو الأعلى أي يعكس اتجاه حركة الموصل أي إن هذه القوة تحاول عرقلة حركة الموصل.

عند تحريك الموصل نحو الأعلى في نفس المجال المذكور شكل (3-4-ب) فإن اتجاه التيار المحتث في الموصل سيكون باتجاه عمودي على الورقة مبتعداً عن القارئ (عكس الحالة (1)) ويشار له بالعلامة (X) فيولد مجالاً مغناطيسياً محتثاً باتجاه عقارب الساعة.

المجال المغناطيسي الأصلي سوف يقوي من الأعلى ويضعف من الأسفل، مما يؤدي إلى نشوء قوة عمودية نحو الأسفل يعكس اتجاه حركة الموصل.

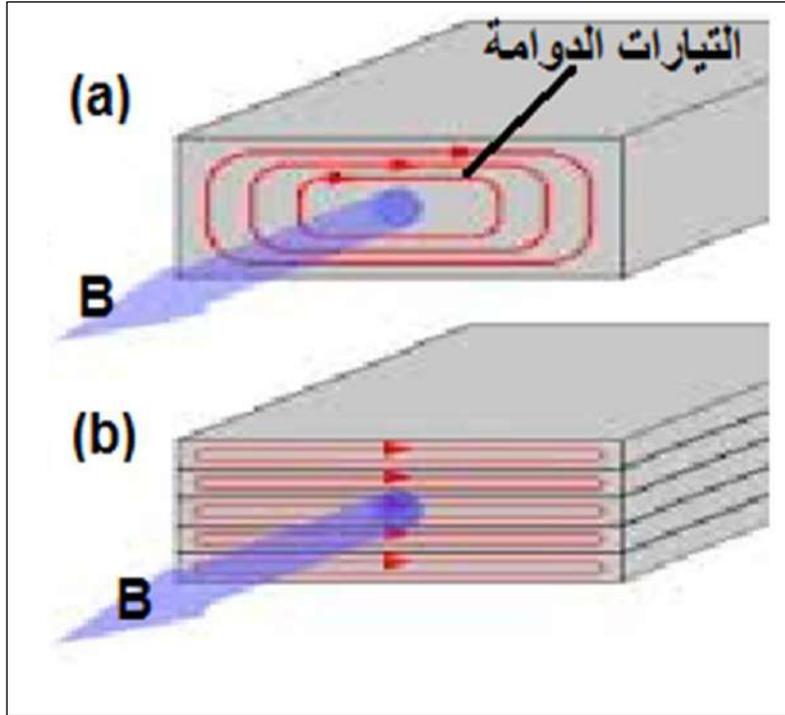
ومما سبق فإن قانون لينز ينص على ما يأتي: "يولد التيار المحتث في الدائرة الكهربائية المغلقة مجالاً مغناطيسياً معاكساً بتأثيره للتغير بالمجال المغناطيسي الخارجي المسبب لتوليد هذا التيار". ومن قانون لينز يمكن استنتاج ما يأتي:

1- **يحقق مبدأ حفظ الطاقة:** فالمجال المغناطيسي المحتث الناتج عن التيار المحتث يولد قوة معاكسة للمجال المؤثر.

2- **يجب انجاز شغل للتغلب على القوة المعاكسة:** هذا الشغل المنجز سيتحول الى طاقة كامنة للإلكترونات في الجزء الموصل الذي يتحرك داخل المجال اذا كان ضمن دائرة مفتوحة. اما اذا كان ضمن دائرة مغلقة فان الطاقة الكامنة ستصرف بشكل تيار محتث في حمل الدائرة الخارجي ومن الممكن ان يولد حرارة او ان ينجز شغلا ميكانيكيا أو كيميائيا.

3-4 التيارات الدوامة:

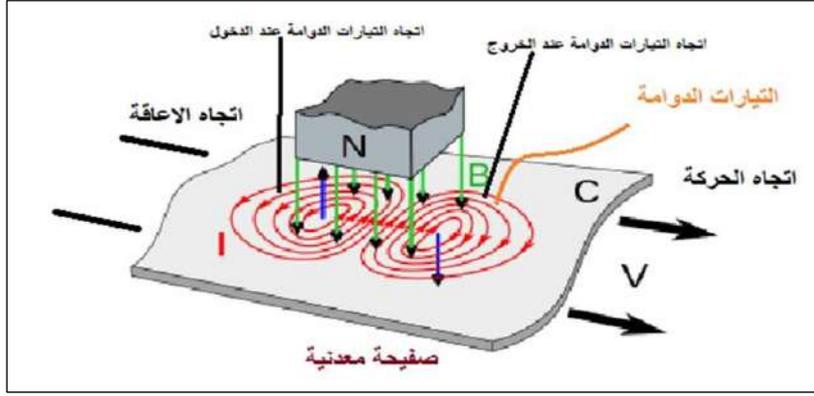
في الكثير من الاجهزة الكهربائية (مثل أجهزة القياس والمحركات والمركبات وكاشف المعادن ومكابح بعض العجلات الثقيلة) نجد جسما معدنيا يتحرك في مجال مغناطيسي متغير مع الزمن. وطبقا لقانون فاراداي للحث فان الفيض المغناطيسي المتغير يولد تيارات محتثة في الجسم المعدني في اتجاه عمودي على ذلك الفيض المغناطيسي كما هو في شكل (3-5-a). تسمى هذه التيارات المحتثة بالتيارات الدوامة. لانها تدور مكونة مسارات مغلقة داخل الجسم الموصل تشبه التيارات التي تتولد في الماء على شكل دوائر متحدة المركز. إن مثل هذه التيارات المحتثة تسبب فقداً حرارياً حسب قانون جول فتسخن الاجهزة الكهربائية وهذه إحدى مضر التيارات الدوامة.



شكل 3-5

(a) صفيحة معدنية متكون فيها تيارات دوامة
(b) صفائح معدنية معزولة ومكبوسة مع بعض متكون في داخلها تيارات دوامة

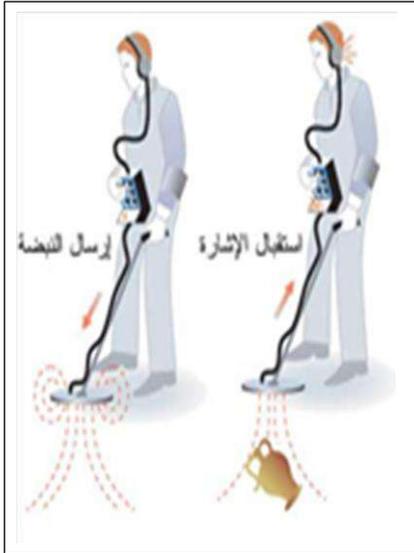
ولتقليل الحرارة المتولدة بسبب هذه التيارات الدوامة يصنع الجسم المعدني على شكل صفائح معدنية رقيقة ومعزولة بعضها عن بعضها الاخر كما هو في المحولات والموضحة في شكل (3-5-b).



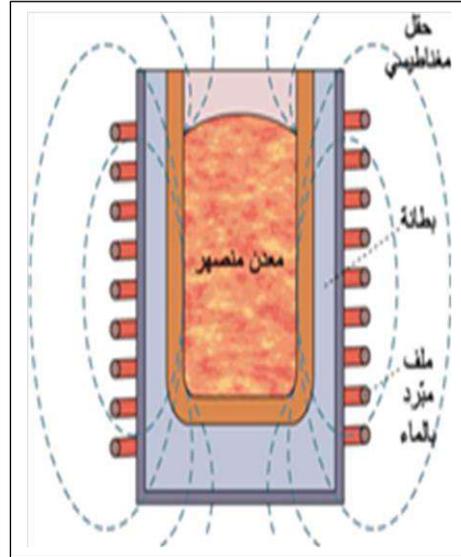
شكل 3-6 يوضح التيارات الدوامية

ومن التطبيقات العملية للتيارات الدوامية:-

- 1- أفران صهر المعادن (أفران الحث).
- 2- أجهزة كشف المعادن.



شكل 3-8 أجهزة كشف المعادن



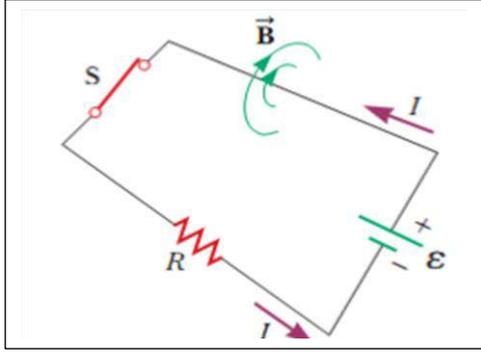
شكل 3-7 أفران صهر المعادن

3-5 الحث الذاتي:

ينص قانون فاراداي ان اي تغير في الفيض المغناطيسي خلال ملف ما يستحث عنه قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف تؤدي الى سريان تيار محتث فيه والذي بدوره يولد مجالاً مغناطيسياً معاكساً. وعليه فان تغير التيار المار في الملف يؤدي الى تغير الفيض المار خلاله. وكلما طرأ تغير على التيار في الملف فان القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تستحث ذاتياً في الملف طالما كان التغير مستمراً. يبين الشكل (3-9) دائرة كهربائية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربائي. فعند غلق المفتاح في

الدائرة الكهربائية يحدث ما يأتي:

- 1- يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
- 2- يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لزيادة التيار.
- 3- يؤدي الفيض المتزايد الى توليد قوة دافعة كهربائية في الدائرة ليعكس الزيادة في الفيض المغناطيسي (حسب قانون لينز).



هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الدائرة تعمل على عكس اتجاه التيار الأصلي وهذا ناتج عن الزيادة في الفيض المغناطيسي نتيجة زيادة التيار عند غلق المفتاح. ويعرف هذا التأثير في الدائرة باسم الحث الذاتي. ان معدل تغير الفيض المغناطيسي خلال الملف يتناسب مع معدل تغير التيار في الملف. فاذا كان $(\Delta I/\Delta t)$ هو معدل تغير التيار خلال الملف فان القوة الدافعة الكهربائية تكون:

شكل 9-3 يبين تغير الفيض المغناطيسي

$$\varepsilon_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث (L) ثابت التناسب ويسمى معامل الحث الذاتي، وتعتمد على شكل الملف ومادة قلب الملف وطوله ومساحة اللفة الواحدة وعدد لفاته ووحداته (H) الهنري. وإن قيمة معامل الحث الذاتي تعطى بالعلاقة

$$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$$

مثال (3): ملف يتألف من (800) لفة متقاربة جداً، يمر فيه تيار شدته (6m A). جد معامل الحث الذاتي للملف إذا كان الفيض المخترق له بسبب التيار يساوي $(3 \times 10^{-8} \text{ weber})$.

الجواب: معامل الحث الذاتي هو:

$$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$$

$$L = 800 \times \frac{3 \times 10^{-8}}{6 \times 10^{-3}} = 4 \times 10^{-3} \text{ H}$$

مثال (4): ملف عدد لفاته (1000) لفة ومعامل حثه الذاتي (5 mH) أنساب فيه تيار مستمر مقداره (4 A). أحسب : 1- الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف. 2- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة إذا تغير التيار من (4 A) الى (0 A) خلال (0.2s).

الجواب:

$$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$$

$$5 \times 10^{-3} = \frac{1000 \times \Delta \Phi}{4}$$

$$\Delta \Phi = \frac{20 \times 10^{-3}}{1000} = 2 \times 10^{-5} \text{ webr}$$

$$\varepsilon_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{\text{ind}} = \frac{-1000 \times 2 \times 10^{-5}}{0.2} = -0.1 \text{ V}$$

$$\varepsilon_{\text{ind}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{-5 \times 10^{-3} \times 4}{0.2} = -0.1 \text{ V}$$

ويحل بطريقة أخرى

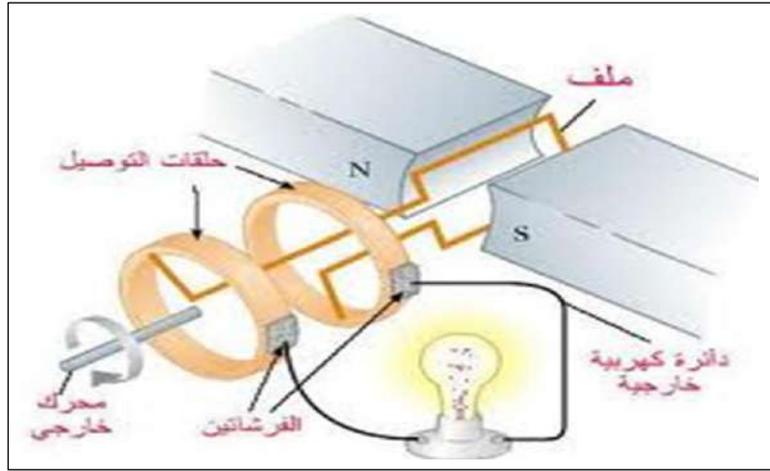
3-6 المولد الكهربائي:

جهاز يحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية مستمرة او متناوبة. وينتج هذا عن طريق تغير الفيض المغناطيسي خلال الملف مستحثا بذلك قوة دافعة كهربائية محتثة بين طرفي الملف. نظريا فان الفيض يمكن تغييره اما من خلال تحريك المغناطيس بالنسبة الى الملف او تحريك الملف بالنسبة للمغناطيس وتحقيق العملية الثانية اسهل من الناحية التطبيقية وهي ما تستعمل عادة.

3-6-1 مولد التيار المتناوب

يتكون مولد التيار المتناوب من الاجزاء الرئيسية التالية وكما هو موضح في الشكل (3-10):

- 1- **النواة** : تتألف من ملف معزول يدور حول محور في مجال مغناطيسي منتظم.
- 2- **مغناطيس**: يمكن ان يكون مغناطيساً ثابتاً او مغناطيساً كهربائياً يحيط بالنواة.
- 3- **حلقتا الزلق**: هما حلقتان تدوران مع الملف كوحدة واحدة، وكل واحدة منهما متصلة باحدى نهايتي الملف.
- 4- **الفرشتان**: عبارة عن قطعة من الكربون (يطلق عليها عمليا بالفحمتان في بعض الاحيان)، تقومان بالتوصيل بين حلقتي الزلق والدائرة الخارجية.

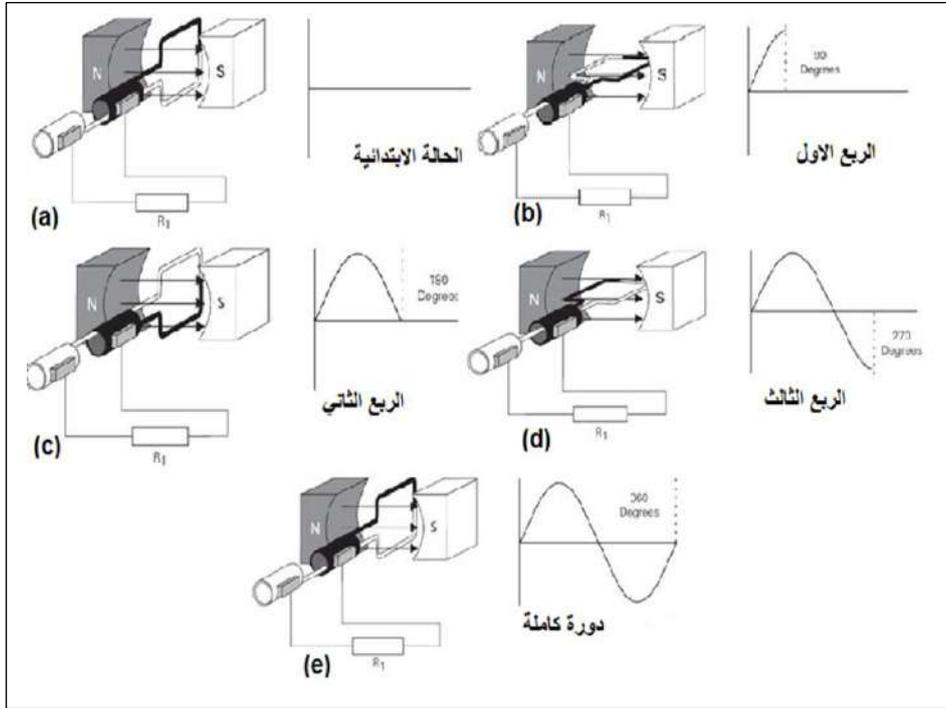


شكل 3-10 مولد التيار المتناوب

لغرض الوقوف على اساسيات عمل مولد التيار المتناوب البسيط عند دوران الملف داخل المجال المغناطيسي يحدث ما يأتي:

- 1- في الوضع الابتدائي حيث يكون مستوى الملف عمودياً على الفيض المغناطيسي شكل (3-11-a) أي إن الملف يكون بموازية الفيض المغناطيسي. في هذه اللحظة لا يحدث تغير في المعدل الزمني للفيض ($\Delta\Phi = 0$) ولهذا فان كلاً من القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث يكونان صفراً ($\epsilon_{ind} = 0, I_{ind} = 0$).
- 2- ومع دوران الملف يزداد المعدل الزمني لتغير الفيض نتيجة تقاطع الملف مع الفيض المغناطيسي، حتى يصبح مستوي الملف موازياً للفيض المغناطيسي شكل (3-12-b) فيقطع الفيض بصورة عمودية (90°) وعندها تزداد كل من القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث وصولاً الى أعظم قيمة لهما عند ربع الدورة الاولى.
- 3- وعند استمرار دوران الملف متجاوزاً ربع الدورة الاول يبدأ المعدل الزمني لتغير الفيض المغناطيسي بالتناقص حتى يصبح صفراً ($\Delta\Phi = 0$) في نهاية الربع الثاني (180°). فيعود مستوى

الملف عموديا على الفيض شكل (c-11-3) ويتحرك الملف موازيا للفيض عند هذه اللحظة. فتتناقص قيمة كل من القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث وصولا الى الصفر في نهاية الربع الثاني.

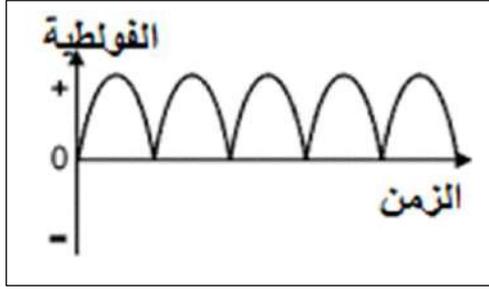


شكل 11-3 يبين عمل التيار المتناوب البسيط عند دوران الملف داخل المجال المغناطيسي

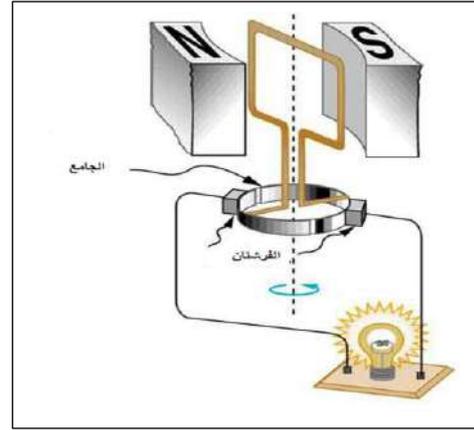
4- مع استمرار دوران الملف وتخطي (180°) فان اتجاه الحركة النسبية بين جانبي الملف والمجال المغناطيسي ستتغير، وعندها يتغير اتجاه كل من القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث. ويزداد المعدل الزمني لتغير الفيض المتقاطع مما يسبب زيادة في القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث حتى تصل الى القيمة العظمى مرة اخرى (لكن باتجاه معاكس عن الاتجاه الاول) عند نهاية الربع الثالث للدورة (270°) شكل (d-11-3) ثم يتناقص كل من المعدل الزمني لتغير الفيض المتقاطع و القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحتث حتى يصبح صفرا في نهاية الربع الرابع للدورة (360°) كما هو في الشكل (e-11-3) ثم ينعكس اتجاه التيار وتكرر العملية. فمن هنا نستطيع القول ان التيار يغير اتجاهه ومقداره على التناوب، لذلك يطلق عليه التيار المتناوب ويكون عبارة عن دالة جيبية متى ما كان انطلاق النواة ثابتا ويكون المجال المغناطيس منتظما.

3-6-2 مولد التيار المستمر

لكي نجعل التيار المار في الملف يحافظ على اتجاهه (يكون باتجاه ثابت) دون ان يتناوب، علينا ان نبذل الحلقتين يحلقة معدنية واحدة منشقة الى نصفين معزولين عن بعضهما كهربائيا يطلق عليها الجامع (المبدل)، كما هو في الشكل (3-12) ويجب ان يثبت النصفان في تماس مع الفرشتين بحيث تتحول احدى الفرشتين في اثناء دوران الملف الى احدى الحلقتين في اللحظة التي يحاول فيها التيار المار في الملف ان يعكس اتجاهه في نفس الوقت الذي تعكس الفولطية المتولدة اتجاهها في الملف. ويظهر التيار المتولد على شكل نبضات مستمرة في الدائرة الخارجية. ان التيار المستمر المأخوذ من بطارية يكون ثابت القيمة والاتجاه، كما هو في الشكل (3-13) وذلك لكونه معدلاً بواسطة جامع المولد.

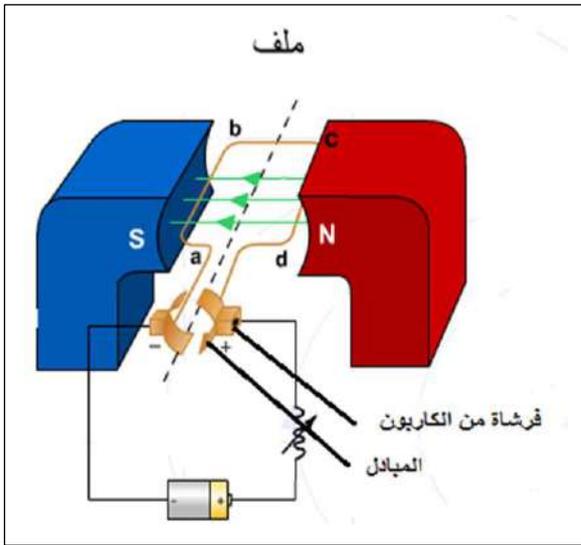


شكل 3-13 يظهر التيار المتولد على شكل نبضات مستمرة في الدائرة الخارجية



شكل 3-12 مولد التيار المستمر

7-3 المحرك الكهربائي للتيار المستمر:

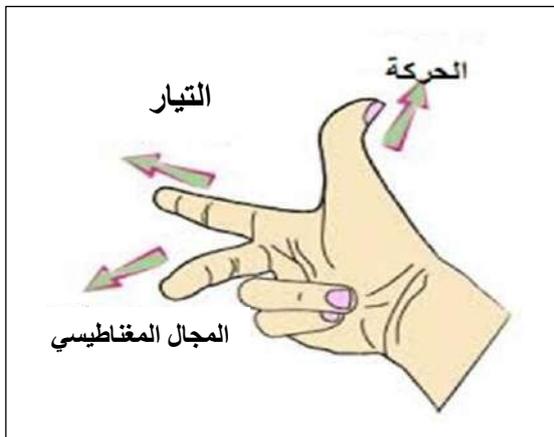


شكل 3-15 رسماً تخطيطياً لمحرك بسيط

المحرك الكهربائي جهاز يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية بوجود مجال مغناطيسي (أي أن المحرك يتكون من نفس الاجزاء التي يتكون منها مولد التيار المستمر ولكن يعمل عكس عمله)، ويوضح الشكل (3-14) رسماً تخطيطياً لمحرك بسيط اذ يبعث مصدر القوة الدافعة الكهربائية (البطارية في هذه الحالة) التيار خلال الملف الذي يقع جزء منه في المجال المغناطيسي الذي يوفر مغناطيساً دائماً وهذا المغناطيس الخارجي الذي يجعل النواة تتعرض لعزم دوراني بادرارة النواة حول محورها (يمكنك عزيزي الطالب الادراك بان النواة تدور في الاتجاه المبين ادناه اذا طبقت قاعدة اليد اليمنى) وهكذا فالطاقة التي تقدمها البطارية للمحرك تجعل المحور يدور، اي تجعلها تبذل شغلاً خارجياً.

1-7-3 قاعدة المحرك:

عمل المحرك هو عكس عمل المولد حيث اذا مر تياراً في قطعة موصل موضوعة في مجال مغناطيسي، فان هذا الموصل سوف يتحرك داخل المجال. ولتحديد اتجاه حركة الموصل نستعمل قاعدة اليد اليمنى والتي تعرف بقاعدة المحرك كما هو في الشكل (3-15).



شكل 3-15 قاعدة المحرك

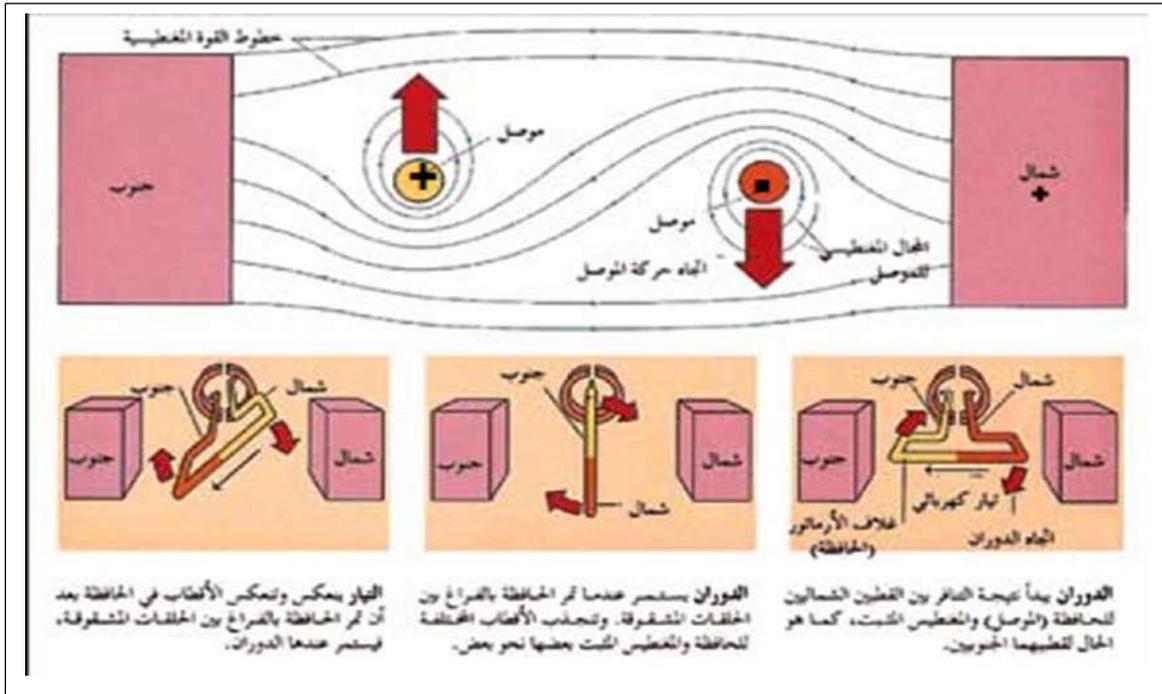
3-7-2 كيف يتولد العزم المدور للمحرك:

يستند عمل المحرك انه اذا مر تيار في موصل موضوع في مجال مغناطيسي يتولد مجال مغناطيسي لذلك التيار يشوه المجال الاصلي وهذا يسبب تولد قوتين متوازيتين تحاولان تدوير الموصل داخل المجال. احدى القوتين تكون متجه نحو الاسفل في الجزء الذي يدخل فيه التيار ونحو الاعلى في الجزء الذي يخرج منه التيار كما موضح في الشكل (3-16) هاتان القوتان تكونان متسايتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه مشكلاً بذلك مزدوجاً يولد عزم يعمل على تدوير الملف حول محوره.

تذكر!

أن العزم المدور للمحرك يعتمد على:

- 1- كثافة الفيض.
- 2- عدد اللفات.
- 3- مساحة اللفة الواحدة.
- 4- التيار المناسب.
- 5- الزاوية المحصورة بين مستوى النواة وخطوط المجال المغناطيسي.



شكل 3-16 يبين كيفية توليد العزم المدور للمحرك

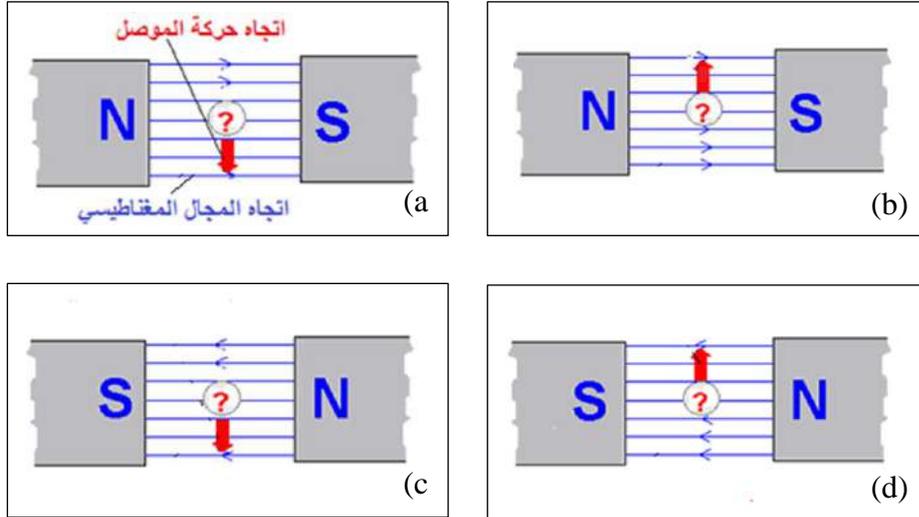
هل تعلم؟

المحرك يشابه الى حد كبير مولد التيار المستمر فالملف الذي يدور داخل المجال المغناطيسي في المحرك تتولد بداخله قوة دافعة كهربائية حسب قانون فراداي وهذه القوة تكون باتجاه معاكس للقوة الدافعة الكهربائية التي تعمل على دوران المحرك (فولتية المصدر) حسب قانون لينز. تسمى هذه القوة المعاكسة بالقوة الدافعة الكهربائية المضادة للمحرك.

اسئلة الفصل الثالث

- س1/ أختَر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:
- 1- عند دوران ملف داخل مجال مغناطيسي منتظم وبسرعة زاوية ثابتة تحصل فولتية محتثة:
 - a- ثابتة المقدار.
 - b- ثابتة الاتجاه.
 - c- متناوبة جيبيية.
 - d- نبضية.
 - 2- أساس عمل أجهزة كشف المعادن:
 - a- قانون لينز.
 - b- التيارات الدوامية.
 - c- ظاهرة فراداي.
 - d- ظاهرة الحث الذاتي.
 - 3- يحتوي مولد التيار المستمر على:
 - a- ملف حث.
 - b- حلقتا الزلق.
 - c- الجامع (المبدل).
 - d- ليس اي مما سبق.
 - 4- المحرك يحول الطاقة الكهربائية الى طاقة:
 - a- ميكانيكية.
 - b- حرارية.
 - c- ضوئية.
 - d- كيميائية.
 - 5- يعتمد معامل الحث الذاتي في الملف على:
 - a- شكل الملف.
 - b- طول الملف ومساحة اللفة الواحدة.
 - c- عدد لفات الملف.
 - d- كل مما سبق.

- س2/ عدد أجزاء مولد التيار المتناوب مع الرسم؟
 س3/ بين اتجاه مرور التيار المار في سلك موصل يتحرك في مجال مغناطيس للحالات التالية:



- س4/ هل يحقق قانون لينز مبدأ حفظ الطاقة؟ وضح ذلك.
 س5/ وضح طريقة لتحديد اتجاه التيار في نواة المولد الكهربائي؟
 س6/ كيف يمكن تغيير مولد التيار المتناوب ليولد تيارا مستمرا؟

المسائل

س1/ ملف عدد لفاته 6 ومساحته (10 cm^2) موضوع في مجال مغناطيسي كثافة فيضه (0.1 T) تغير المجال خلال فترة زمنية مقدارها ($1 \times 10^{-3} \text{ s}$). جد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة عن الملف اذا كان المجال المغناطيسي يؤثر بصورة عمودية على سطح الملف؟

الجواب: ($\epsilon_{\text{ind}} = -0.6 \text{ V}$)

س2/ ملف عدد لفاته 100 ومساحته (5 cm^2) موجود في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (0.25 T) يؤثر باتجاه عمودي على السطح. سحب الملف بسرعة فاصبح خلال (0.01 s) خارج المجال المغناطيسي جد (1) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (2) الشحنة الكهربائية المارة خلال الملف. علما ان مقاومة الملف تساوي (20Ω)؟

الجواب: 1- ($\epsilon_{\text{ind}} = 1.25 \text{ V}$), 2- ($q = 0.000625 \text{ C}$)

س3/ ما عدد اللفات الواجب توفرها لتوليد قوة دافعة كهربائية مقدارها (10 V) في ملف متحرك داخل فيض مغناطيسي بمعدل ($5 \times 10^{-3} \text{ weber/s}$)؟

الجواب: (لفة $N = 2000$)

س4/ ملف عدد لفاته (600) لفة تولد فيه فيضاً مغناطيسياً مقداره ($3 \times 10^{-4} \text{ weber}$) بواسطة تيار متغير من (0 A) الى (3 A) خلال ($3 \times 10^{-3} \text{ s}$) جد: 1- معامل الحث الذاتي للملف. 2- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة؟

الجواب: 1- ($L = 0.06 \text{ H}$), 2- ($\epsilon_{\text{ind}} = -60 \text{ V}$)



الفصل الرابع دوائر التيار المتناوب

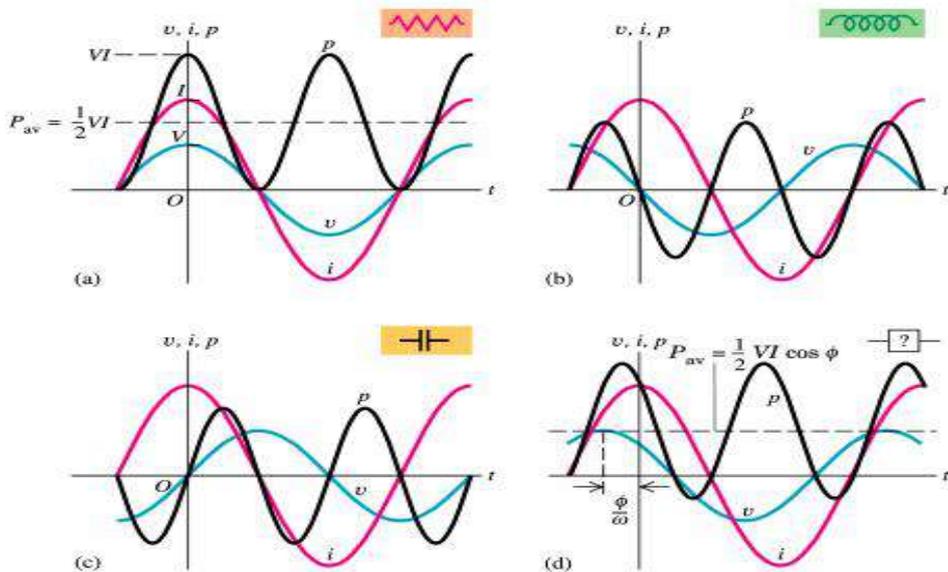
المفردات:

- 1-4 تمهيد
 - 2-4 تعريف التيار المتناوب
 - 3-4 المقدار المؤثر للتيار المتناوب
 - 4-4 المقاومة الخالصة في دائرة التيار المتناوب
 - 5-4 المحث في دائرة التيار المتناوب
 - 6-4 المتسعة في دائرة التيار المتناوب
 - 7-4 ربط مقاومة ومحث خالص على التوالي
 - 8-4 ربط مقاومة ومتسعة على التوالي
 - 9-4 ربط مقاومة ومحث ومتسعة على التوالي
 - 10-4 المحولة الكهربائية
- اسئلة ومسائل

الاهداف السلوكية:

بعد دراسة هذا الفصل سيكون الطالب قادراً على ان يعرف:

- 1- التيار المتناوب.
- 2- المقدار المؤثر للتيار
- 3- قوانين دائرة المقاومة الخالصة.
- 4- قوانين المحث الخالص في دائرة التيار المتناوب.
- 5- عامل القدرة.
- 6- قوانين المتسعة وعملها في دائرة التيار المتناوب.
- 7- جهاز المحولة الكهربائية وقوانينها وانواعها.

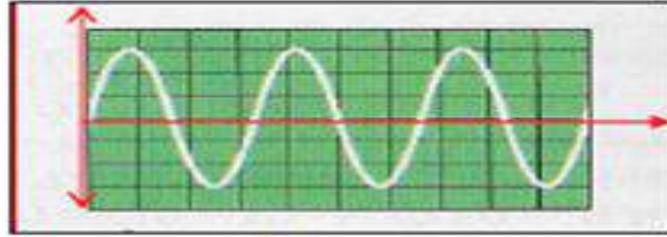


1-4 تمهيد:

كما علمت عزيزي الطالب في دراستك السابقة أن هناك نوعين من التيار هما التيار المستمر (D.C) (Dirct Currnt) والتيار المتناوب (A.C) (Alternating Currnt) .
وهنا في هذا الفصل سوف نتطلع على كل ما يتعلق بالتيار المتناوب، قيمته وكيفية الحصول عليه وعلى بعض دوائره الكهربائية المهمة.

2-4 تعريف التيار المتناوب:

حيث يمكن تعريف التيار المتناوب (A.C) بأنه التيار المتغير الشدة والاتجاه بمرور الزمن وشكل موجته موجة جيبية مستعرضة كما هو في الشكل (1-4).



شكل 1-4 موجة التيار المتناوب

يمكن الحصول على هذا التيار من دوران ملف داخل مجال مغناطيسي (ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي لفرادي) وكما هو في مولدات التيار المتناوب، لذلك يمكن نقل هذا التيار لمسافات بعيدة والتحكم في مقداره.
إن فرق الجهد المتناوب الذي نحصل عليه بوساطة المولدات ذات الملف الدوار يعطى بالعلاقة:

$$V_{\text{الآنية}} = V_m \sin \theta$$

حيث ($V_{\text{الآنية}}$) تمثل قيمة الفولطية الآنية.

(V_m) تمثل قيمة الفولطية العظمى.

وعند تطبيق قانون أوم فإن التيار

$$I = \frac{V_m \sin \theta}{R}$$

فإن التيار المتناوب في دائرة التيار المتناوب يعطى بالعلاقة

$$I_{\text{الآني}} = I_m \sin \theta$$

وهو دالة جيبية أيضاً حيث إن

($I_{\text{الآني}}$) التيار الآني

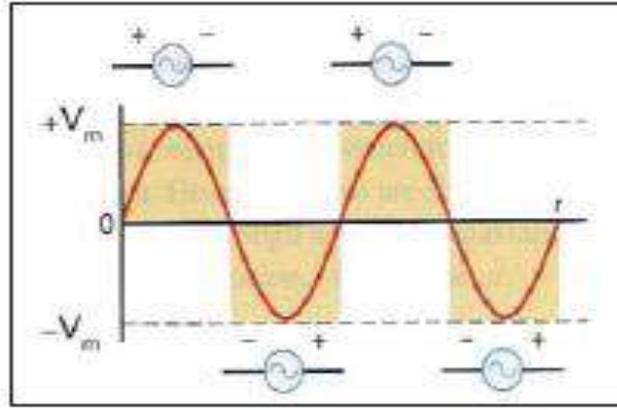
(I_m) التيار الاعظم

إن هذه القيم لكل من الفولطية والتيار يعتمد على تردد الدائرة الزاوي (ω) والذي يساوي

$$\omega = 2\pi f$$

حيث (f) يمثل التردد الخطي

ملاحظة:- أن (ω) عزيزي الطالب تمثل أيضاً السرعة الزاوية كما درستها في الفصل الاول من الكتاب.



شكل 4-2 الموجة الجيبية للفولطية

إن تصرف الفولطية المتناوبة والتيار المتناوب يعتمد على نوع الحمل الذي يوضع بالدائرة الكهربائية .

3-4 المقدار المؤثر للتيار المتناوب والفولتية المتناوبة Effective Value for V.C and A.C :

عندما يمر تيار كهربائي متناوب في سلك ذي مقاومة (R) فإن السلك يسخن نتيجة مرور التيار فيه ويستهلك قدرًا من الطاقة تمامًا كالتيار المستمر الذي يؤدي مروره في أسلاك المقاومة إلى رفع درجة حرارتها (t)، ولما كانت الطاقة الكهربائية المستهلكة (E) يمكن حسابها من قانون جول ($E=I^2Rt$) فإن إمكانية حساب الطاقة المستهلكة في حالة التيار المتناوب بتطبيق قانون جول تبدو متغيرة، نظراً لتغير شدة التيار من لحظة إلى أخرى. وبناءً على ذلك كان من المفيد اتخاذ قيمة للتيار المتناوب المؤثر والتي تولد كمية من الحرارة في مقاومة بنفس المعدل الزمني مقارنة لتوليدها في تيار مستمر.

إن، يمكن الاستنتاج من هذا أن الصفة المميزة للقيمة المؤثرة للتيار المتناوب هو التأثير الحراري ومن العلاقات الحسابية لكل من القدرة الانية والتيار الانية والاعظم نستنتج العلاقة الآتية والتي تمثل القيمة المؤثرة لهذا التيار الناتج.

$$I_e = 0.707 I_m$$

حيث إن

(I_e) القيمة المؤثرة للتيار

(I_m) القيمة العظمى للتيار

$$V_e = 0.707 V_m$$

وكذلك

حيث إن

(V_e) القيمة المؤثرة للفولطية

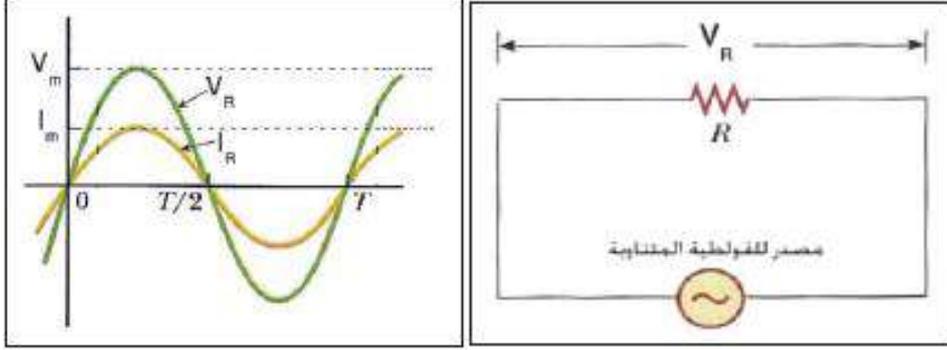
(V_m) القيمة العظمى للفولطية

هل تعلم :

أن القيم التي يسجلها مقياس التيار والفولطية في بيتك هي القيم الفعالة المؤثرة والتي تشغل الدائرة الكهربائية.

4-4 المقاومة الأومية الخالصة (صرف) ا في دائرة التيار المتناوب:

يقصد بالمقاومة الخالصة (المقاومة النقية الاومية او مقاومة الصرف) هي كل مقاومة لا تأثير للحث الذاتي لها، كما هو في الشكل (3-4) وعندما يمر بها تيار فإن الطاقة الكهربائية تتحول فيها الى حرارة فقط. إن هذا النوع من الاحمال لا يعتمد على تردد الدائرة للتيار المتناوب (أي بمعنى أنه لا تتغير قيمة المقاومة بتغير تردد التيار). وعندما يسري تيار متناوب في دائرة تحتوي على مقاومة خالصة نجد أن الفولطية والتيار يتغيران بالكيفية نفسها حيث يبلغان القيمة العظمى معاً (الموجبة والسالبة) أي: إنها بنفس الطور حيث تكون زاوية فرق الطور بينهما تساوي صفراً، كما هو في الشكل (4-4).



شكل 4-4 موجة الفولتية والتيار

شكل 3-4 دائرة مقاومة صرفة

القدرة في دائرة تحتوي على مقاومة اومية خالصة:
نعلم أن القدرة في الدائرة التي يمر بها تيار مستمر تساوي

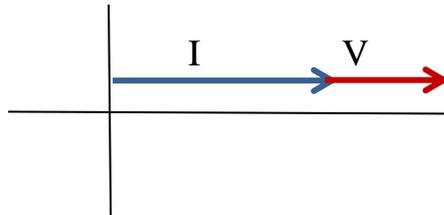
$$P = IV$$

$$P_{\text{انية}} = I_{\text{انية}} \times V_{\text{انية}}$$

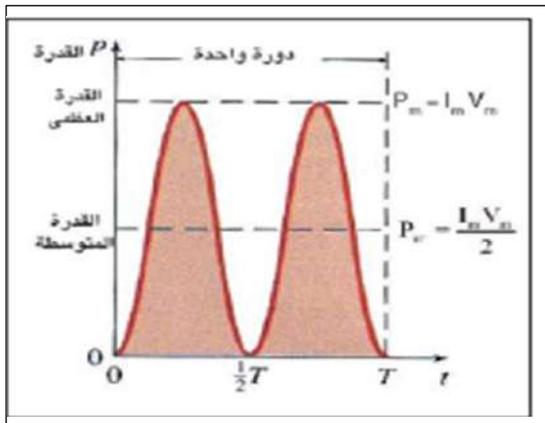
$$P_{\text{انية}} = I_m \sin \theta \times V_m \sin \theta$$

$$P_{\text{انية}} = I_m V_m \sin^2 \theta$$

بينما القدرة في دائرة التيار المتناوب



مخطط طور للفولتية والتيار



شكل 5-4 منحنى القدرة في مقاومة أومية خالصة

نلاحظ في الشكل (5-4) ان منحنى القدرة يتغير من الصفر الى القيمة العظمى الموجبة ولا يوجد منحنى سالب للقدرة (لأن الفولتية والتيار بطور واحد - أي فرق الطور يساوي صفر - أي أنها موجبان معاً، وسالباً معاً). لذا فإن معدل القدرة يساوي نصف حاصل ضرب القيمة العظمى لكل من الفولطية والتيار وهي قدرة حقيقية مستهلكة في المقاومة تكون على شكل حرارة وان تردد منحنى القدرة يساوي ضعف منحنى تردد التيار.

مثال (1): مولد تيار متناوب يمرر تيار من خلال مقاومة اومية خالصة مقدارها (10Ω) التيار معطى حسب العلاقة ($I=4\sin \theta$) أحسب فيهما: 1- القيمة العظمى للتيار والقيمة العظمى للفولطية. 2- القيمة المؤثرة لكل من الفولطية والتيار. 3- الطاقة الحرارية التي يولدها في المقاومة خلال (0.8 s)؟

الحل :

من العلاقة المعطاة

1-

$$I=4 \sin \theta$$

$$I_{\text{الانبي}}=I_m \sin \theta$$

$$I_m = 4 \text{ A}$$

$$V_m = I_m \cdot R$$

$$V_m = 4 \times 10$$

$$V_m = 40 \text{ Volt}$$

وبالمقارنة بالعلاقة الآتية

القيمة العظمى للتيار

قانون أوم

القيمة العظمى للفولطية

2-

$$I_e = 0.707 I_m$$

$$I_e = 0.707 \times 4$$

$$I_e = 2.8 \text{ A}$$

$$V_e = 0.707 \times V_m$$

$$V_e = 0.707 \times 40$$

$$V_e = 28.2 \text{ Volt}$$

القيمة المؤثرة للتيار

القيمة المؤثرة للفولطية

3-

$$E = I^2 R t$$

$$E = (2.8)^2 \times 10 \times 0.8$$

$$E = 62.72 \text{ Joule}$$

الطاقة الحرارية

5-4 المحث في دائرة التيار المتناوب:

يسمى الملف بالمحث اذا كانت مقاومته الاومية تساوي صفرأ، وهي حالة مثالية لان المقاومة الاومية لاتتعدم في الموصلات الفلزية، وهي صفة ملازمة لها الا في درجات الحرارة المنخفضة جداً (القريبة من الصفر المطلق). إن الفولطية المطبقة المتناوبة هي الفولطية الحثية (V_L) هي التي تسبب في

توليد Σ_{indfL}

$$\Sigma_{\text{indfL}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وإن هذه الفولطية المحتثة هي أساس المعاكسة التي يبديها المحث نحو التغير بالتيار والتي تسمى بالرداءة الحثية (X_L) وتقاس بالاهوم وتطبق عليها الصيغة الرياضية الخاصة بقانون أوم، كما هو في الشكل (4-6).

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$



شكل 4-6 دائرة محث خالص

لا تعتبر الرادة الحثية مقاومة وذلك لأنها لا تستهلك (قدرة) ولا تخضع لقانون جول الحراري. لقد وجد نظرياً من التجارب العلمية ان الرادة الحثية تتغير طردياً مع كل من تردد التيار المتناوب (f) عند ثبوت الحث الذاتي المحث (L) ومع الحث الذاتي عند ثبوت التردد.

$$X_c \propto f \quad \text{عند ثبوت } L$$

$$X_L \propto L \quad \text{عند ثبوت } f$$

$$X_L = 2\pi fL$$

حيث (L) معامل الحث للمحث ويقاس بالهنري (Henry) (H)

$$\omega = 2\pi f$$

$$X_c = \omega L \text{ rad/s}$$

وكذلك

حيث أن

(f) يمثل تردد الفولتية وتقاس بالهرتز (Hz).

(ω) يمثل التردد الزاوي للدائرة الكهربائية.

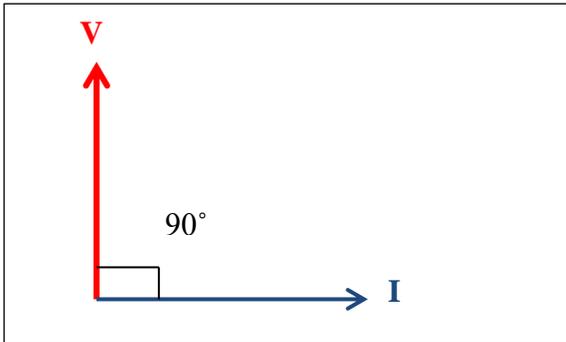
هل تعلم؟

إن الملف يسلك سلوك مقاومة في دائرة التيار المستمر:

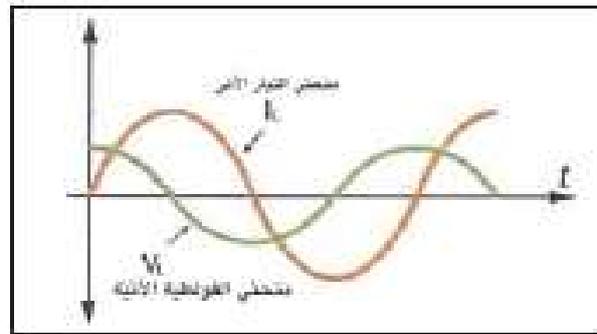
$$\text{لأن } f=0 \quad \text{فإن } X_L = 0$$

مميزات هذه الدائرة :

1- ان فولتية الحث (V_L) تتقدم على التيار الحثي (I_L) بزاوية فرق طور مقدارها 90° ، كما هو في الشكل (a-8-4).



مخطط الفولتية والتيار بالمتجهات الطورية

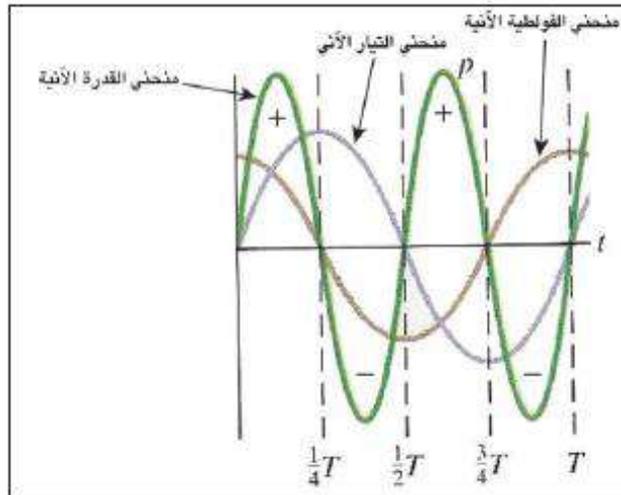


شكل 4-7-a موجة الفولتية والتيار في دائرة المحث

2- لا يوجد استهلاك قدرة حقيقية في هذه الدائرة لان الجزء الموجب يعاكسه الجزء السالب في منحنى القدرة لدورة كاملة.

3- ان الرادة الحثية (X_L) (**المعاكسة التي يبديها الملف للتغير بالتيار**) للتيارات الواطئة التردد اقل مما هي للتيارات العالية التردد، لذلك يستعمل المحث لفصل الذبذبات المنخفضة والعالية التردد في اجهزة الاستقبال الاذاعي.

4- المنحني الموجب للقدرة في المحث الخالص يمثل الطاقة المنقولة من المصدر الى المحث والتي تكون على شكل مجال مغناطيسي ويحصل ذلك عندما ينمو التيار. اما المنحني السالب للقدرة فيمثل الطاقة المنقولة من المحث والى المصدر ويحصل عند تلاشي التيار، كما هو في الشكل (b-7-4).



شكل b-7-4 منحنى القدرة في محث خالص

مثال (2): محث معامل حثه الذاتي (0.2 H) وتردد الدائرة ($\frac{50}{\pi}$ Hz) وكانت أعظم فولتية في المصدر

الذي ربط معه بالعلاقة $V_m = 200\sqrt{2}$ احسب :

1- الرادة الحثية (X_L).

2- التيار المار بالدائرة (I_L).

الحل :

$$1- X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi \times \frac{50}{\pi} \times 0.2$$

$$X_L = 20\Omega$$

$$2- V_e = 0.707 V_m$$

$$V_e = 0.707 \times 200\sqrt{2}$$

$$V_e = 200 \text{ Volt}$$

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$

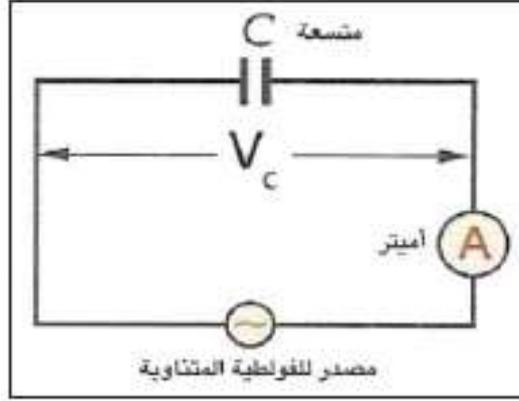
$$\therefore I_L = \frac{V_L}{X_L}$$

$$I_L = \frac{200}{20}$$

$$I_L = 10 \text{ A}$$

6-4 المتسعة في دائرة التيار المتناوب:

إن عمل المتسعة ذات سعة خالصة في دائرة التيار المستمر كعمل المفتاح المفتوح وذلك لأنه بعد فترة قصيرة نلاحظ مؤشر الاميتر لا ينحرف، دلالة على عدم مرور تيار كهربائي حيث تم شحن المتسعة بالكامل وأصبح فرق الجهد عبر لوحها مساوياً لفرق الجهد للمصدر. أما عملها في دائرة التيار المتناوب فتعمل عمل المفتاح المغلق لأن الاميتر ينحرف مسجلاً مرور تيار على الرغم من وجود العازل بين لوحَي المتسعة حيث تتم بالتعاقب عملية شحن وتفريغ كل ربع دورة من دورة مرور التيار وبصورة دورية، وكما هو في الشكل (8-4).

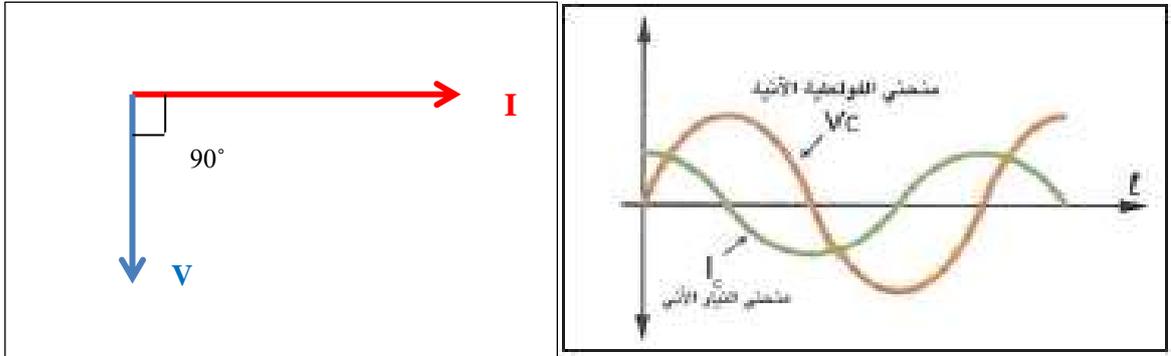


شكل 8-4 المتسعة في دائرة تيار متناوب

إن المتسعة تبدي معاكسة لتغير التيار الكهربائي المار في الدائرة تسمى الرادة السعوية (X_c) وتقاس بالاووم ويطبق عليها الصيغة الرياضية لقانون أوم

$$X_c = \frac{V_c}{I_c}$$

ولا تعتبر هذه المعاكسة مقاومة أومية لعدم استهلاكها قدرة حقيقية ولا تخضع لقانون جول الحراري. عندما تكون الفولطية الانية (V_c) صفراً فإن شحنة لوحَي المتسعة في هذه اللحظة تكون صفراً أيضاً فيكون (I_c) عند مقداره الاعظم (الموجب) ثم يأخذ بالهبوط عند ازدياد (V_c) وعندما تصل شحنة المتسعة مقدارها الاعظم يصبح (I_c) صفراً وتصبح (V_c) في مقدارها الاعظم وهذا يدل على أن التيار يسبق الفولتية بزوايتي فرق طور (90°)، كما هو في الشكل (9-4) والذي يمثل منحنى القدرة.

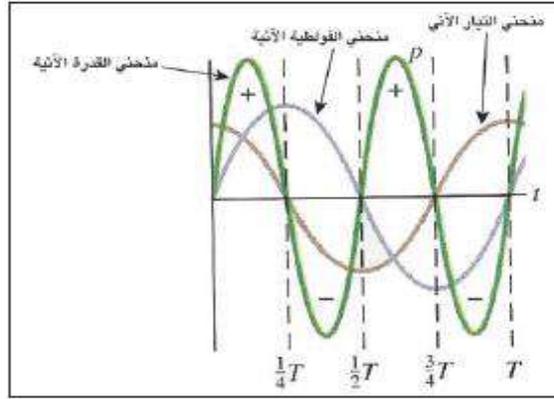


مخطط يوضح الفولتية والتيار بالمتجهات الطورية

شكل 9-4 موجة الفولطية والتيار في دائرة المتسعة

نستنتج من هذا:

1- أن (V_c) تتخلف عن تيار المتسعة I_c بزاوية فرق طور (90°) ، كما هو في الشكل (4-10).



شكل 4-10 يمثل منحني القدرة

2- لقد وجد أن الرادة السعوية تتناسب عكسياً مع تردد الدائرة (f) عند ثبوت سعة المتسعة (C) وعكسياً مع السعة عند ثبوت التردد

$$X_c \propto \frac{1}{f}$$

$$X_c \propto \frac{1}{C}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\therefore \omega = 2\pi f$$

$$\therefore X_c = \frac{1}{\omega C}$$

عند ثبوت C

عند ثبوت f



حيث ω هو التردد الزاوي.

3 - يتغير منحنى القدرة بين القيمة العظمى الموجبة والقيمة العظمى السالبة لذلك فإن القدرة الآتية لدورة كاملة يساوي صفراً وتردد منحنى القدرة ضعف تردد منحنى التيار.

4- ليس هناك قدرة حقيقية تستهلك في السعة الخالصة لدورة كاملة.

5- المنحنى الموجب يمثل الطاقة الكهربائية المخزونة في المتسعة (عملية شحن) عند تلاشي التيار.

6- المنحنى السالب يمثل الطاقة التي تعود لتتفرغ بالمصدر (عملية تفريغ) ويحصل عند نمو التيار.

مثال (3): ربطت متسعة سعتها $(400 \mu f)$ لمصدر متناوب فولتيته (100 Volt) وتردد $(2 \frac{50}{\pi} \text{ Hz})$

أحسب:

1- الرادة السعوية (X_c) . 2- شدة التيار المار بالدائرة (I_c) .

الحل:

$$1 : X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

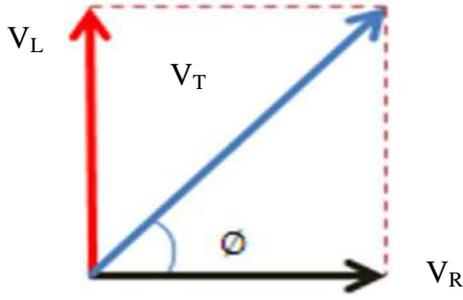
$$X_c = \frac{1}{2\pi \times \frac{50}{\pi} \times 400 \times 10^{-6}}$$

$$X_c = 25 \Omega$$

$$2 : I_c = \frac{V_c}{X_c}$$

$$I_c = \frac{100}{25} = 4 \text{ A} \quad \text{تيار الدائرة}$$

7-4 ربط مقاومة ومحث خالص صرف على التوالي:



علمت عزيزي الطالب أن الفولطية عبر المقاومة تكون في طور واحد مع التيار، أما الفولطية خلال المحث فإنها تتقدم على التيار بزاوية فرق طور (90°) لذلك فإن الفولطية الكلية تتقدم على التيار بزاوية فرق طور (θ) فإذا رسمنا المخطط الطوري لها سيكون كما هو في الشكل (11-4).

شكل 11-4 المخطط الطوري للفولطية

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

حيث إن:

V_T الفولطية الكلية

V_R الفولطية عبر المقاومة

V_L الفولطية عبر المحث

لإيجاد زاوية فرق الطور:

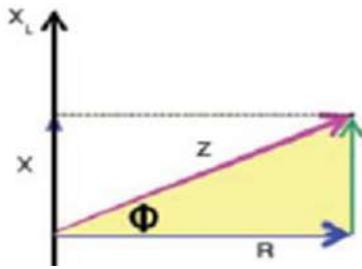
$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R}$$

سوف يظهر عامل جديد في هذه الدائرة يمثل النسبة بين القدرة الحقيقية الى القدرة الظاهرية

يسمى بعامل القدرة **Power Factor** $(\cos \theta)$

$$\cos \theta = \frac{V_R}{V_T}$$

وهناك مخطط آخر هو مخطط الممانعة وهي المحصلة الاتجاهية والتي تمثل الإعاقة المشتركة من قبل المقاومة والمحث ضد التيار المتناوب وتقاس بالاوام ويرمز لها بالرمز (Z) وهي كمية اتجاهية، كما هو في المخطط الطوري (12-4).



شكل 12-4 المخطط الطوري للممانعة

$$Z = \frac{V_T}{I_T}$$

حسب قانون أوم

أو من المخطط الطوري :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R}$$

$$\cos \theta = \frac{R}{Z}$$

فكر!

لا يمكن جمع المقاومة والرادة الحثية جمعاً عددياً، لماذا؟

مثال (4): دائرة تيار متناوب تتألف من مقاومة مقدارها (15 Ω) ومحث خالص رادته الحثية (20 Ω) مربوطة مع بعضها على التوالي والمجموعة مربوطة مع مصدر الفولتية المتناوبة، فرق جهده (150 Volt) تردده ($\frac{500}{\pi}$ Hz) فما هو 1- ممانعة الدائرة. 2- تيار الدائرة. 3- عامل القدرة. 4- زاوية فرق الطور بين الفولتية والتيار. 5- حث المحث؟

الحل :

$$1- Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{(15)^2 + (20)^2}$$

$$Z = 25 \Omega \quad \text{الممانعة}$$

$$2- I_T = \frac{V_T}{Z}$$

$$I_T = \frac{150}{25} = 6 \text{ A} \quad \text{تيار الدائرة}$$

$$3- \cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \phi = \frac{15}{25}$$

$$\cos \phi = \frac{3}{5}$$

$$\cos \phi = 0.6 \quad \text{عامل القدرة}$$

$$4 - \tan \phi = \frac{X_L}{R}$$

$$\tan \phi = \frac{20}{15}$$

$$\tan \phi = \frac{4}{3}$$

$$\phi = 53^\circ \quad \text{زاوية فرق الطور}$$

$$5- X_L = 2 \pi f L \rightarrow L = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

$$L = \frac{20}{2 \pi \times \frac{500}{\pi}} = \frac{20}{1000} = 0.02 \text{ H} \quad \text{حث المحث}$$

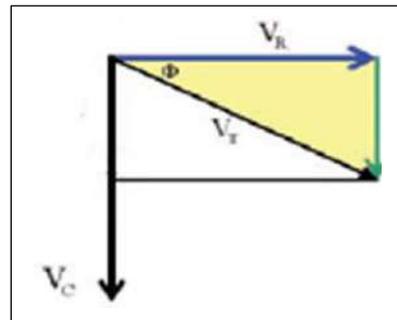
8-4 ربط مقاومة ومنتسعة خالصة على التوالي:

يوجد مخطط طوري للفولتية، كما هو في الشكل (4-13) ونستنتج منه ما يأتي :

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$\tan \phi = \frac{-V_C}{V_R}$$

زاوية فرق الطور ϕ



شكل 4-13 المخطط الطوري للفولتية

تكون زاوية فرق الطور سالبة، لان التيار يتقدم على الفولتية في دائرة المنتسعة المربوطة على مصدر تيار متناوب.

ومن المخطط الطوري للممانعة نستنتج ما يأتي:

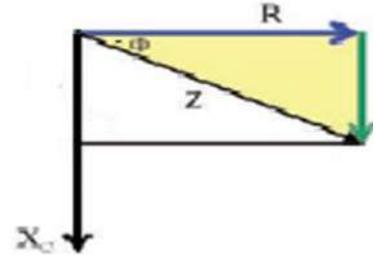
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$\tan \phi = \frac{-X_C}{R}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} \quad \text{أو} \quad \cos \phi = \frac{V_R}{V_T}$$

$$P = I_T V_T \cos \phi$$

عامل القدرة



شكل 4-14 المخطط الطوري للممانعة

مثال (5): ربطت متسعة سعتها (100 μ f) بين قطبي مصدر للتيار المتناوب فولتيته (120 Volt) وتردده ($\frac{500}{\pi}$ Hz) مع مقاومة مقدارها (10 Ω) على التوالي؟ احسب 1- الرادة السعوية. 2- التيار المار بالدائرة. 3- زاوية فرق الطور بين الفولتية والتيار؟
الحل :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_c}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times \frac{500}{\pi} \times 100 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 10 \Omega \quad \text{رادة سعوية}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z = \sqrt{10^2 + 10^2}$$

$$Z = 10\sqrt{2} \Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{Z}$$

$$I_T = \frac{120}{10\sqrt{2}}$$

$$I_T = 8.4 \text{ A}$$

تيار الدائرة

$$\tan \phi = \frac{-X_C}{R}$$

$$\tan \phi = \frac{-10}{10}$$

$$\tan \phi = -1$$

$$\phi = -45^\circ$$

زاوية فرق الطور

جدول 4-1 النسب المثلثية لبعض الزوايا

NO.	الزاوية θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\tan \theta$
1	30°	0.5	0.866	0.577
2	37°	0.6	0.8	0.753
3	45°	0.7	0.7	1
4	53°	0.8	0.6	1.32
5	60°	0.866	0.5	1.73

9-4 ربط المقاومة والمحث والتمتعة على التوالي:

لربط عناصر التيار المتناوب (المقاومة والمحث والتمتعة) مع بعضهما على التوالي سوف نلخص لك عزيزي الطالب أهم المميزات العامة لكل عنصر والعلاقات الرياضية الخاصة لكل منها بالجدول الآتي:

ت	المقاومة R	الراد الحثية X_L	الراد السعوية X_C
1	تبدى معاكسة لمرور التيار	كذلك	كذلك
2	تخضع لقانون أوم $R = \frac{V}{I}$ وتقاس بالاووم	كذلك $X_L = \frac{V_L}{I_L}$ كذلك	كذلك $X_C = \frac{V_C}{I_C}$ كذلك
3	تستهلك طاقة أي تخضع لقانون جول الحراري	لا تستهلك طاقة (قدرة) لا تخضع لقانون جول	لا تستهلك طاقة (قدرة) لا تخضع لقانون جول
4	لا تعتمد على تردد الدائرة	تناسب طرديا مع التردد	تناسب عكسيا مع التردد
5	لا يوجد فرق طور بين الفولتية والتيار	تتقدم الفولتية عن التيار بزاوية فرق طور (90°)	يتقدم التيار عن الفولتية بزاوية فرق طور (90°)

هل تعلم :
ان انتاجية المولدات الكهربائية تقاس بالكيلو فولت أمبير وليس بالواط لان انتاجها قدرة ظاهرية فقط.

ان كثرة وجود الملفات في معظم الاجهزة الكهربائية تسبب في ظهور فرق بالطور بين الفولتية والتيار، مما يجعل عامل القدرة أقل من واحد، لذلك تسعى مؤسسات نقل الطاقة الكهربائية الى جعل عامل القدرة مقارباً للواحد وذلك بوساطة طريقتين اولها استعمال أسلاك ناقلة ذات مقطع عرضي أوسع لتقليل مقاومتها ومحطات أضخم لتوليد قدرة كهربائية بتيار كبير، لكن هذا الاجراء غير اقتصادي، اما الطريقة الثانية فهو تصحيح عامل القدرة دائما وجعله مقارباً للواحد وذلك باستخدام متسعات.

1-9-4 القدرة الكهربائية في دائرة التيار المتناوب المتوالية الربط وعامل القدرة:

لقد علمت عزيزي الطالب سابقا ان المحث والتمتعة لا يستهلكان قدرة كهربائية حقيقية تخزن بشكل مجال مغناطيسي بالمحث وبشكل مجال كهربائي في التمتعة وتعاد الى المصدر في أثناء التفريغ لذلك تستهلك قدرة حقيقية فقط بالمقاومة الاومية وتظهر بشكل حرارة وتقدر بوحدة الواط ويمكن حسابها من أي علاقة آتية :

$$P_{\text{المستهلكة}} = V_R \times I_R$$

$$P_{\text{المستهلكة}} = I_R^2 \times R$$

$$P_{\text{المستهلكة}} = V_T \times I_T \cos \phi$$

وتسمى $(V_T I_T)$ بالقدرة الظاهرية للدائرة الكهربائية ووحداتها (Volt Ampere).

إن القدرة الحقيقية = القدرة الظاهرية × عامل القدرة

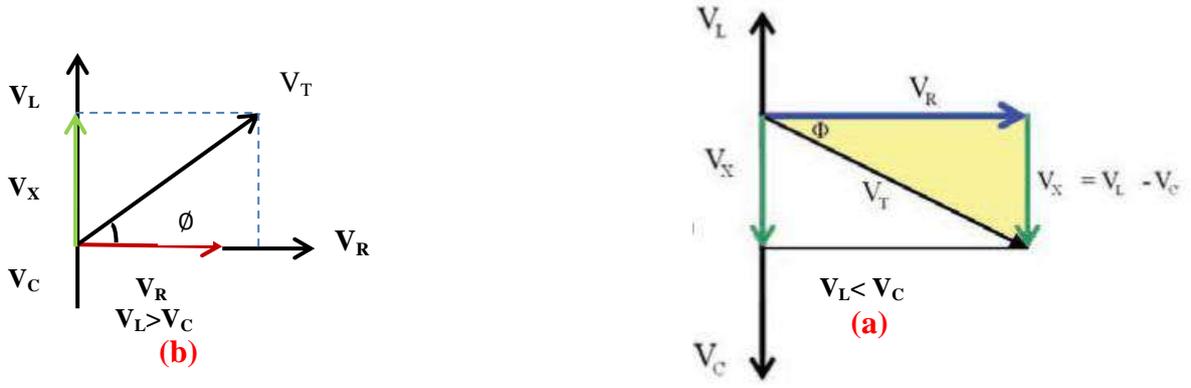
ان النسبة بين القدرة الحقيقية الى القدرة الظاهرية يسمى عامل القدرة (power factor) كما

مر سابقاً.

ففي الدائرة ذات المقاومة الاومية الخالصة يكون عامل القدرة (cos Ø) يساوي واحداً لان القدرة الحقيقية هي نفسها القدرة الظاهرية. أما في الحث الصرف والمتسعة ذات سعة صرف فيكون مقدار عامل القدرة له يساوي صفرأ.

2-9-4 قوانين ربط مقاومة ومحث ومتسعة على التوالي:

هنالك عدة أنواع من الربط منها الربط على التوازي والربط على التوالي والربط المختلط والآن سوف ندرس قوانين الربط على التوالي حيث يكون هناك مخطط طوري للفولتية ومخطط طوري للممانعة أما زاوية فرق الطور فتكون حسب خواص الدائرة، حيث تكون موجبة اذا كانت للدائرة خواص حثية وتكون الزاوية سالبة اذا كانت للدائرة خواص سعوية، وكما هو مبين في الشكل (4-15).



شكل 4-15 مخطط الفولتية الطوري. (a) مخطط يوضح الخواص السعوية. (b) مخطط لتوضيح الخواص الحثية

يكون التيار هنا متساوي (I_T = I_R = I_L = I_C)

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + (V_R - V_C)^2}$$

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_C} \quad \text{خواص حثية} \quad V_L > V_C$$

$$\text{خواص سعوية} \quad V_L < V_C$$

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad (\text{عندما تكون للدائرة خواص حثية})$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{خواص حثية} \quad X_L > X_C$$

$$\text{خواص سعوية} \quad X_L < X_C$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$P_{\text{المستهلكة}} = V_R \times I_R$$

$$Z = \frac{V_T}{I_T}$$

أما قوانين X_L و X_C فهي نفس القوانين التي درستها في الامثلة السابقة.

مثال (6): دائرة تيار متناوب تتألف من ملف مهمل المقاومة ومقاومة مقدارها (40 Ω) وامتسعة رادتها السعوية (10 Ω) مربوطة جميعها على التوالي والقدرة المستهلكة (160 W) فإذا كان تردد الدائرة (500 Hz) وحث الملف (40 mH) والتيار المار بالدائرة (2 A) أحسب 1- فولتية المصدر. 2- عامل القدرة.

الحل:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi \times \frac{500}{\pi} \times 40 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 40 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{40^2 + (40 - 10)^2}$$

$$Z = \sqrt{1600 + 900} = \sqrt{2500} = 50 \Omega$$

$$1 - V_T = I_T Z$$

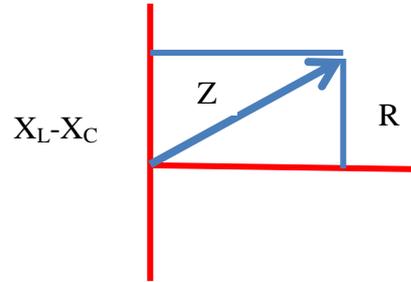
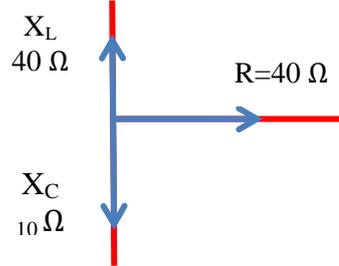
$$V_T = 2 \times 50$$

$$V_T = 100 \text{ Volt}$$

$$2 - \cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \phi = \frac{40}{50}$$

$$\cos \phi = 0.8$$



هل تعلم؟

إذا كانت $X_L = X_C$ يكون للدائرة خواص اومية فقط أي: إن التيار والفولتية بطور واحد وتسمى بحالة الرنين الكهربائي ولها تردد يسمى بالتردد الرنيني للدائرة المهتزة ويحسب من العلاقة الآتية .

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

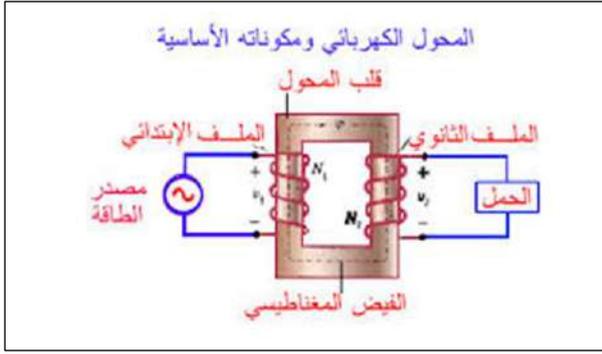
ولهذه الدائرة تطبيقات عملية كثيرة منها البث الراديوي والتلفزيوني.

10-4 المحولة الكهربائية Transformer:

المحولة الكهربائية هي جهاز من اجهزة التيار المتناوب تستعمل لرفع او خفض الفولتية المتناوبة أساس عمل المحولة: يعتمد عمل المحولة الكهربائية على مبدأ الحث المتبادل بين ملفين متجاورين بينهما تواجح مغناطيسي تام .



شكل 16-4 محولة كهربائية



شكل 17-4 مخطط لمحولة كهربائية

تتكون أجزاء المحولة من الأجزاء الآتية:

1- النواة وتصنع بشكل مغلق كي يتوافر التواشج المغناطيسي التام في ملفاتها وبنفوذية عالية وتصنع من الحديد المطاوع لتقليل خسائر الهسترة فتزداد كفاءتها وتصنع أيضا بشكل صفائح رقيقة مكبوسة ومعزولة عن بعضها بعضاً عزلاً كهربائياً لتقليل خسائر التيارات الدوامة.

2- ملفين معزولين كهربائياً عن بعضهما ومختلفين في عدد لفاتهما، يربط الملف الابتدائي بالمصدر المتناوب والملف الثانوي يربط بالجهاز (الحمل)، كما هو في الشكل (17-4) ولا تحتوي المحولة على مفتاح تلقائي لذلك تعتبر من أجهزة التيار المتناوب فقط .

هل تعلم؟

ان في محولات التردد العالي تصنع النواة من مادة الفيريت والتي تمتاز بمقاومة عالية نسبياً فتقل فيها خسائر الهسترة وكذلك تمتاز بنفوذيتها المغناطيسية العالية جداً.

1-10-4 أنواع المحولات :

1- **المحولات الرافعة:** هي تلك المحولات التي تقوم برفع الفولتية المتناوبة وخفض التيار في الملف الثانوي عما كان عليه بالملف الابتدائي وذلك عندما تكون عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي كما هو في المحولات التي تربط في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

2- **المحولات الخافضة:** هي تلك المحولات التي تقوم بخفض الفولتية ورفع التيار في الملف الثانوي عما كان عليه بالملف الابتدائي وذلك عندما تكون عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي كما هو في شاحن الهاتف النقال (الموبايل) وغيرها.

2-10-4 قوانين المحولة:

تعرف النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي/عدد لفات الملف الابتدائي بأنها نسبة التحويل ويرمز له

$$\frac{N_2}{N_1}$$

فإذا كانت $\frac{N_2}{N_1} > 1$ فإن المحولة تكون رافعة
أو $\frac{N_2}{N_1} < 1$ فإن المحولة تكون خافضة

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

كذلك أن

حيث تمثل V_2 فولتية الملف الثانوي
 V_1 فولتية الملف الابتدائي

قدرة الملف الابتدائي

قدرة الملف الثانوي

وعندما تكون المحولة مثالية، أي كفاءتها 100% تكون:

$$P_1 = V_1 I_1$$

$$P_2 = V_2 I_2$$

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

لا تطبق هذه النسبة الا اذا كانت المحولة مثالية

$$\text{كفاءة المحولة} = \frac{\text{قدرة الملف الثانوي}}{\text{قدرة الملف الابتدائي}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

حيث (η) تمثل كفاءة المحولة وهي كمية مجردة من الوحدات
خسائر المحولة الكلية = قدرة الملف الابتدائي - قدرة الملف الثانوي
إن كفاءة المحولة لا تصل الى 100 % بسبب الآتي:

- 1- ضياع جزء من الطاقة الكهربائية بشكل حرارة في اسلاك الملفين ويمكن تقليلها باستعمال اسلاك غليظة.
- 2- ضياع جزء من الطاقة الكهربائية على شكل حرارة تتولد في قلب المحولة بسبب التيارات الدوامة.
- 3- ضياع جزء من الطاقة الكهربائية على شكل هسترة في مادة القلب الحديدي.

ملاحظة:

تغمر المحولات ذات الطاقة العالية في نوع خاص من الزيت لان الزيت سيعمل كمشع للحرارة المتولدة في ملفات المحولة ويعمل على تبريدها وبذلك تحافظ على سلامتها.

مثال (7): محولة نسبة التحويل فيها $(\frac{12}{1})$ وكفاءتها 96% فاذا كان تيار الملف الثانوي (4 A) وفولتية الملف الثانوي (4800 V) فما هي 1- قدرة الملف الابتدائي. 2- تيار الملف الابتدائي.

الحل :

$$1- P_2 = V_2 I_2 = 4800 \times 4 = 19200 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

$$96\% = \frac{19200}{P_1} \times 100\%$$

$$P_1 = \frac{19200}{96} \times 100 = 20000 \text{ W}$$

$$2- \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{12}{1} = \frac{4800}{V_1}$$

$$V_1 = \frac{4800}{12} = 400 \text{ Volt}$$

$$P_1 = V_1 I_1$$

$$20000 = 400 \times I_1$$

$$I_1 = \frac{20000}{400} = 50 \text{ A}$$

3-10-4 نقل الطاقة الكهربائية:

إذا أرسلت الطاقة الكهربائية الى مسافات بعيدة فسوف تكون هناك مفاقد على شكل حرارة بسبب مقاومة اسلاك النقل لان (الحرارة تتناسب مع مربع التيار في المقاومة) حسب قانون جول ولتقليل القدرة الضائعة هذه ترسل الطاقة الكهربائية بفولطية عالية وتيار واطئ في أسلاك النقل المحولة على أبراج عالية وذلك باستعمال محولات رافعة للفولطية عند محطة التوليد للطاقة ومحولات خافضة للفولتية المجهزة للحمل.

أسئلة الفصل الرابع

- س/1 اختر العبارات الصحيحة لكل من العبارات الآتية:
- 1- مقدار الفولطية المتناوبة المؤثرة في دائرة التيار المتناوب تساوي
a- $1.5V_m$.
b- $0.707V_m$.
c- $0.636 V_m$.
d- $\sqrt{2} V_m$.
 - 2- يكون استهلاك القدرة في مقاومة أومية خالصة:
a- حقيقياً.
b- أكبر ما يمكن.
c- صفرأ.
d- ليس أياً مما سبق.
 - 3- لرفع الفولطية المتناوبة نستعمل:
a- محركأ.
b- مولدأ.
c- ملفأ.
d- محولة كهربائية.
 - 4- تكون قيمة الممانعة في دائرة تيار متناوب متوالية الربط تحتوي على محث ومقاومة ومنتسعة بالنسبة للمقاومة كالآتي:
a- أكبر منها.
b- أقل منها.
c- مساوية لها.
d- ليس أياً مما سبق.
 - 5- قيمة عامل القدرة في الدائرة الكهربائية للتيار المتناوب تحتوي على محث:
a- صفر.
b- أكبر من الواحد.
c- أقل من الواحد.
d- ليس أياً مما سبق.
 - 6- يربط الملف الثانوي في المحولة الكهربائية:
a- بالمصدر.
b- بالجهاز (الحمل).
c- بالنواة.
d- ليس أياً مما سبق.
 - 7- إن احد اسباب خسائر القدرة في الدائرة الكهربائية:
a- التيارات الدوامة.
b- ربط المحولة على التوالي.
c- كبر حجم المحولة.
d- وجود مجال مغناطيسي.
- س/2 املأ الفراغات الآتية:
- 1- هنالك أستهلاك قدرة ----- في المقاومة الاومية الخاصة.
 - 2- لا تعتمد ----- على التردد في دائرة التيار المتناوب.
 - 3- تقاس الرادة الحثية بوحد-----.
 - 4- تعتبر الممانعة من الكميات-----.
 - 5- من الافضل اقتصاديا نقل الطاقة الكهربائية ب----- عالية و----- واطئ.
 - 6- تعد المحولة جهازاً من أجهزة التيار ----- فقط.
 - 7- لتقليل زاوية فرق الطور بين الفولتية والتيار في محطات نقل الطاقة الكهربائية نستعمل ---- مربوطة على التوازي.
- س/3 ما الفرق بين عمل المنتسعة في دائرة تيار مستمر ودائرة تيار متناوب؟
- س/4 ما معنى القيمة المؤثرة للتيار المتناوب؟ اكتب علاقة هذه القيمة مع المقدار الاعظم للتيار؟
- س/5 كيف يمكن التمييز بين المقاومة والمحث والمنتسعة موضوعة في ثلاثة صناديق متشابهة عند ربطها مع بطارية وأسلاك ومصباح كهربائي كلاً على حدة؟

س/6 ما مقدار عامل القدرة في كل من الآتي:

1 - المقاومة.

2 - المحث.

3 - المتسعة.

س/7 لماذا تعد المحولة جهازاً من أجهزة التيار المتناوب؟

س/8 ما خسائر القدرة في المحولة؟

س/9 ما نوع المحولة المربوطة في مناطق التجهيز للحمل؟

المسائل

س/1 دائرة تيار متناوب تحتوي على مقاومة أومية خالصة يتراوح التيار المتناوب فيها (10- ، +10) والفولتية المتناوبة تتراوح ما بين (14.14- ، +14.14) أحسب الآتي:

1 - التيار المؤثر 2 - الفولطية المؤثرة 3 - مقدار المقاومة؟

الجواب : 1- $I_e=7.07 A$ 2- $V_e=10 Volt$ 3- $R=1.4 \Omega$

س/2 ربط محث الى مصدر فولتية متناوبة ترددها $\frac{500}{\pi} Hz$ فأصبحت قيمة الرادة الحثية 125Ω

احسب حث المحث؟

الجواب : $L=0.125 H$

س/3 ربطت متسعة الى مصدر تيار متناوب فإذا كانت قيمة سعة المتسعة $\frac{100}{\pi} \mu F$ ورادة المتسعة

مقدارها 100Ω احسب تردد الدائرة الكهربائية؟

الجواب : $f=50 Hz$

س/4 ربطت مقاومة مقدارها 3Ω مع محث حثه الذاتي (50 mH) ولمصدر فولتية متناوبة ترددها

$\frac{40}{\pi} Hz$ على التوالي وكان تيار الدائرة 2 A احسب فولطية المصدر؟

الجواب : $V=10 V$

س/5 ربطت متسعة سعتها (200 μf) مع مقاومة أومية مقدارها (40Ω) على التوالي لمصدر

كهربائي متناوب تردده ($\frac{250}{3\pi} Hz$) فإذا كانت القدرة المستهلكة في الدائرة (1000 W) احسب

فولتية المصدر؟

الجواب : $V_T=250 V$

س/6 إذا كانت قدرة الملف الابتدائي في محولة كهربائية يساوي (1000 W) وقدرة الملف الثانوي

(900 W) . أحسب: 1- القدرة الضائعة بالمحولة. 2- كفاءة المحولة؟

الجواب: 1- 100 W 2- 90%

س/7 محولة رافعة للجهد (100 V) الى (300 V) وكفاءة المحولة (80%) فإذا كان تيار الملف

الابتدائي (3 A) . أحسب: 1- قدرة الملف الثانوي. 2- تيار الملف الثانوي؟

الجواب: 1- 240 W 2- 0.8 A

الفصل الخامس الالكترونيات

مفردات الفصل:

1-5 المواد شبه الموصلة (تداخل حزم الطاقة)

2-5 المواد شبه الموصلة نوع (N) ونوع (P)

3-5 الثنائي (PN) / PN diode

4-5 الترانزستور

5-5 البث الكهرومغناطيسي

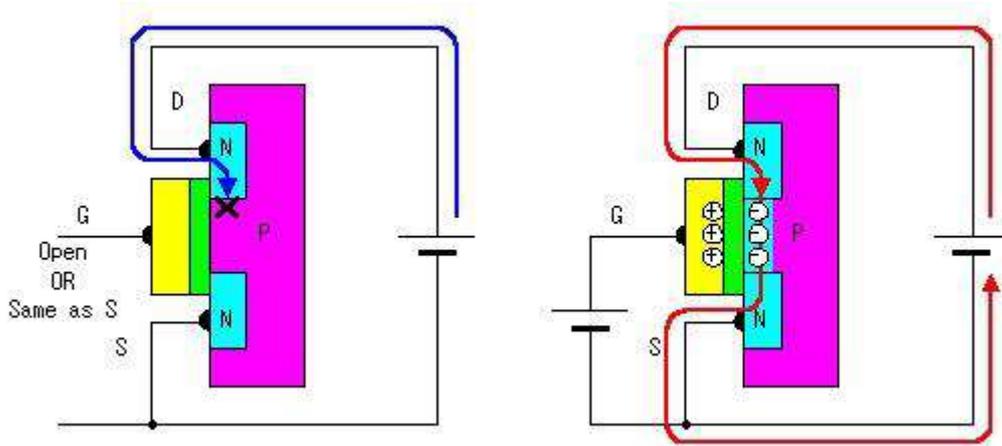
6-5 الرادار

أسئلة

الاهداف السلوكية:-

بعد دراسة هذا الفصل ينبغي على الطالب ان يكون قادرا على الآتي:-

- 1- معرفة أنواع المواد شبه الموصلة نوع (P,N) للتمييز بينهما وبيان أهم تطبيقاتها مع بيان رموزها وكيفية رسمها بالدوائر
- 2- التعرف على نوعي الترانزستور الاتصالي والتمييز بينهما معززا ذلك بالرسم.
- 3- التعرف على البث الكهرومغناطيسي وطرق البث.
- 4- التعرف على الرادار وكيفية عمله ومم يتكون وأنواعه وفي أي مجال يستعمل.



مقدمة:-

ان التطور الكبير والسريع الحاصل في العالم شمل علم الإلكترونيات أيضاً حيث تم التطبيق في مجالات العلوم كافة وبدأ التطور يدخل عالم الصناعة،



فصنعت الكثير من الاجهزة الالكترونية المتطورة والحديثة ومنها التلفاز والراديو ومكبرات الصوت وأجهزة تضمين الاشارات وجهاز الراسمة الكاثودية وأجهزة البث والتسلم والرادار وأجهزة أخرى في ميادين الطب والهندسة والفضاء والفلك والكيمياء وعلوم الحياة وأجهزة التحسس وغيرها.

إن جميع هذه الاجهزة تعتمد في عملها على الثنائيات البلورية المختلفة والترانزستورات والدوائر المتكاملة، كما هو في الشكل (1-5) حيث يمثل أشكالاً عديدة لترانزستور.

شكل (1-5) بعض انواع الترانزستور

1-5 المواد شبه الموصلة (تداخل حزم الطاقة):

عرفت عزيزي الطالب من خلال دراستك السابقة ان المواد تقسم الى ثلاثة أنواع من حيث تأثيرها بالكهربائية وهي المواد الموصلة والمواد العازلة والمواد شبه الموصلة. **وأن المواد الموصلة هي التي تسمح لمرور التيار الالكتروني خلالها، لذلك تتحرك الشحنات الكهربائية بسهولة وانسيابية في الموصلات ومنها الفضة والذهب والنحاس والالمنيوم،** وهذه المواد تمتاز ذراتها بان لها الكترون تكافؤ واحد يرتبط مع النواة ارتباطاً ضعيفاً وهذه الالكترونات تتمكن بسهولة من فك ارتباطها مع النواة وتصبح حرة الحركة لذلك تسمى (الالكترونات الحرة). فإن المواد الموصلة تحتوي على وفرة من الالكترونات الحرة فينشأ ويمر فيها التيار الالكتروني بتسليط فرق جهد مناسب بين طرفيها نتيجة حركة الالكترونات باتجاه واحد لان المواد الموصلة مقاومتها قليلة.

أما بالنسبة الى **المواد العازلة فهي المواد التي لا تسمح لمرور التيار الالكتروني من خلالها في الظروف الاعتيادية وذلك بسبب أن إلكترونات التكافؤ فيها مرتبطة ارتباطاً وثيقاً مع النواة ومقاومتها الكهربائية تكون كبيرة.**

أما **المواد شبه الموصلة فهي تلك المواد التي تتحرك فيها الشحنات الكهربائية بحرية وأقل مما هو عليه في المواد الموصلة ومقاومتها الكهربائية تكون بين الموصل والعازل.**

هل تعلم؟

أن إلكترونات التكافؤ هي الالكترونات التي تشغل الغلاف الثانوي الخارجي والتي هي الاكثر بعداً عن النواة وتقع في غلاف التكافؤ.
أن هذه الإلكترونات (الالكترونات التكافؤ) تمتلك قدرأ كبيراً من الطاقة وتكون ضعيفة الارتباط مع النواة مقارنة بالالكترونات الاخرى للنواة.
هذه الالكترونات هي التي تشترك في التفاعلات الكيميائية وهي التي تحدد الخواص الالكترونية للمادة.

1-1-5 حزم الطاقة في المواد الصلبة:

إن الإلكترونات في الذرة المنفردة تدور حول النواة بمدارات محددة وإن لكل مدار مستوى محددًا من الطاقة.

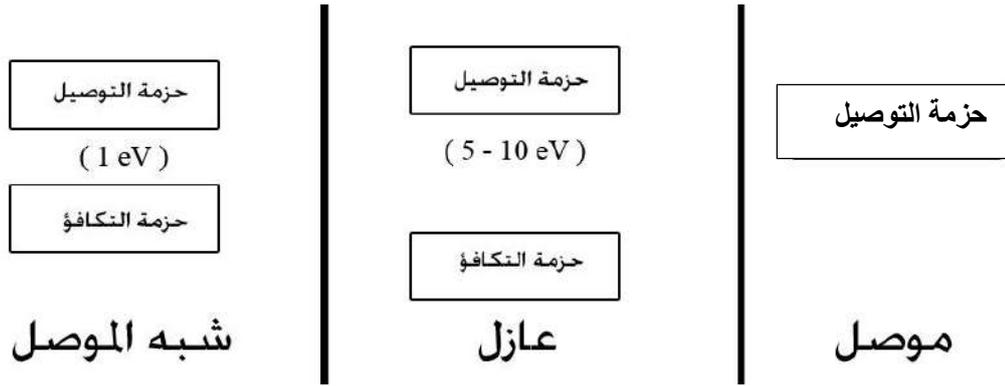
إن تداخل مستويات الطاقة مع بعضها بعضاً في المواد الموصلة يؤدي إلى تأثير إلكترونات أية ذرة بالإلكترونات الذرات الأخرى المجاورة لها في المادة نفسها.

نتيجة لهذا التفاعل بين الذرات المتجاورة في المادة الواحدة تقسم مستويات الطاقة المسموح بها في الاغلفة الثانوية الخارجية المتقاربة مع بعضها بشكل حُرْم، وكل حزمة منها ذات مستويات طاقة ثانوية متقاربة من بعضها مكونة مايسمى بحزم الطاقة.

وهناك انواع من حزم الطاقة التي تحدد الخواص الإلكترونية للمادة وهي :-

1- حزم التكافؤ:- وتحتوي هذه الحزمة على مستويات طاقة مسموح بها طاقتها واطئة وتكون مملوءة كلياً أو جزئياً بالإلكترونات ولا يمكن أن تكون خالية من الإلكترونات. إن إلكترونات التكافؤ لا تتمكن من الحركة بين الذرات المتجاورة بسبب قربها من النواة فهي مرتبطة بالنواة بقوة كبيرة.

2- حزم التوصيل:- تحتوي مستويات طاقة ذات طاقة عالية أكبر من مستويات الطاقة في حزمة التكافؤ والإلكترونات تسمى إلكترونات التوصيل وهذه الإلكترونات تنتقل بسهولة لتشارك في عملية التوصيل الكهربائي، كما هو في الشكل (2-5).



شكل 2-5 يمثل حزم الطاقة

3- فجوة الطاقة المحظورة:- لا تحتوي فجوة الطاقة المحظورة مستويات طاقة فهي لا تسمح للإلكترونات أن تشغلها فكل إلكترون لكي ينتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عبر فجوة الطاقة المحظورة يحتاج أن يكتسب طاقة كافية من مصدر خارجي قد يكون طاقة حرارية أو ضوئية أو بتأثير مجال كهربائي ويجب أن يكون مقدارها لا يقل عن مقدار فجوة الطاقة المحظورة.

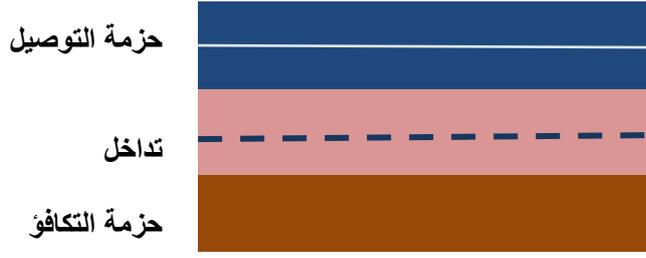
1-1-5 مميزات وصفات حزمة الطاقة في المواد الموصلة وشبه الموصلة والعازلة:

1- حزم الطاقة في المواد الموصلة:

a- تتداخل حزم التكافؤ مع حزم التوصيل.

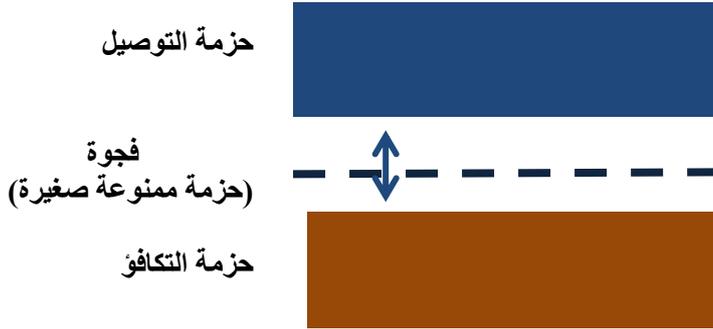
b- تنعدم فيها ثغرة الطاقة المحظورة بين حزمتي التكافؤ والتوصيل فهذا تكون إلكترونات التكافؤ حرة طليقة في حركتها خلال المادة الموصلة فتكون المواد الموصلة لها قابلية توصيل كهربائي عالية.

c- إن قابلية التوصيل الكهربائي في المعادن بصورة عامة تقل عند ارتفاع درجة الحرارة وذلك بسبب زيادة مقاومتها الكهربائية ولزيادة الطاقة الاهتزازية للذرات أو الجزيئات، كما هو في الشكل (3-5).



شكل 3-5 يبين قابلية التوصيل الكهربائي في المعادن

2- حزم الطاقة في المواد شبه الموصلة:- إن المواد شبه الموصلة عند درجات الحرارة المنخفضة مثل صفر كلفن (0 K) وفي انعدام الضوء فهي تسلك سلوك المواد العازلة، كما هو في الشكل (4-5).



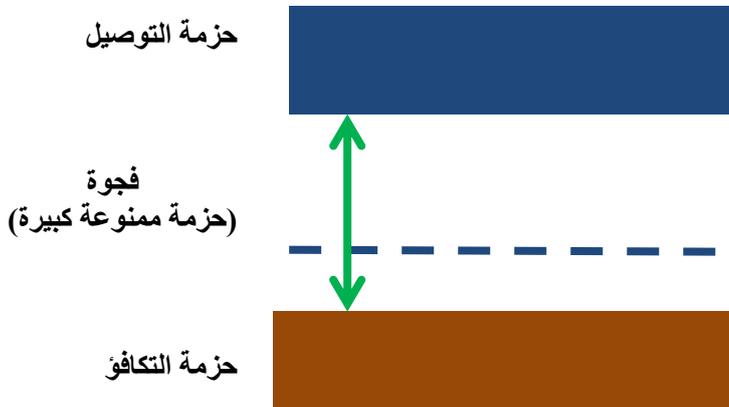
شكل 4-5 يبين حزم الطاقة في المواد شبه موصلة

لذا فتكون فيها حزم الطاقة بالشكل الآتي:-

- a- حزمة التكافؤ تكون مملوءة بإلكترونات التكافؤ.
- b- حزمة التوصيل خالية من الإلكترونات.
- c- فجوة الطاقة المحظورة وتكون ضيقة نسبياً.

3- حزم الطاقة في المواد العازلة:-

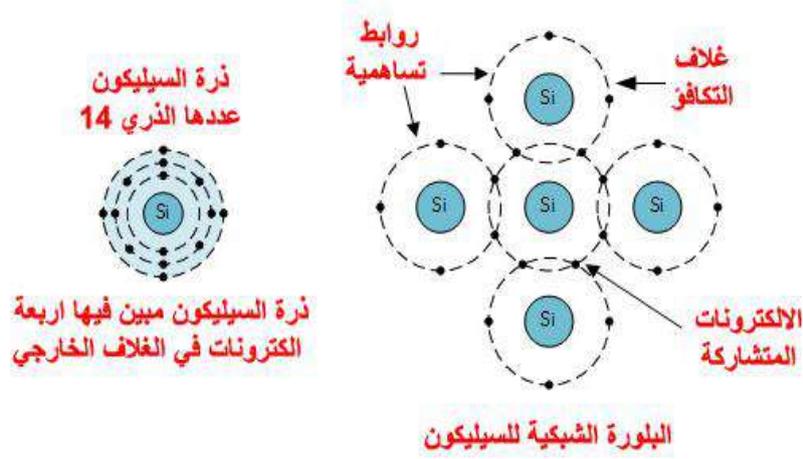
- a- حزمة التكافؤ مملوءة بإلكترونات التكافؤ.
- b- حزمة التوصيل خالية من الإلكترونات.
- c- فجوة الطاقة المحظورة واسعة نسبياً، كما في الشكل (5-5).



شكل 5-5 يبين حزم الطاقة في المواد العازلة

2-5 المواد شبه الموصلة نوع N ونوع P:

إن التأثير الحراري في شبه الموصل النقي يعمل على زيادة قابلية التوصيل الكهربائي. لكن لعدم إمكانية السيطرة على قابلية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل النقية بطريقة التأثير الحراري لذا يتطلب عملياً إيجاد طريقة أفضل للتحكم في التوصيل الكهربائي وهذا يتم من خلال إضافة ذرات عناصر ثلاثية التكافؤ أو خماسية التكافؤ تسمى بالشوائب، كما هو في شكل (5-6). ويتم ذلك بعناية وبمعدل مسيطر عليه بنسبة واحد لكل (10^8) تقريباً وبدرجة حرارة الغرفة وبنسب قليلة ومحددة في بلورة شبه موصل نقية وهذه العملية تسمى بالتطعيم. وعليه فعملية التطعيم يكون بالإمكان السيطرة على قابلية التوصيل الكهربائي في شبه الموصل وزيادتها بنسبة كبيرة نتيجة لزيادة حاملات الشحنة (الإلكترونات والفجوات) بالبلورة مقارنة مع ما يحصل في التأثير الحراري.



شكل 5-6 يوضح هيكل ذرة السيليكون

ومن المعروف أن السيليكون والجرمانيوم من أهم أشباه الموصلات والتي تستعمل أوسعاً في التطبيقات الإلكترونية وهي من العناصر اللافلزية رباعية التكافؤ ولها تركيباً بلورياً وذراتها ترتبط مع بعضها في أواصر تساهمية ولغرض تحويل هذه العناصر شبه موصلة إلى موصلة يتطلب تطعيم هذه الأواصر وزيادة عدد الإلكترونات المنتقلة من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل ويتم ذلك بطريقتين:

1- التأثير الحراري:

في درجة حرارة $(0\text{ }^{\circ}\text{C})$ وغياب الضوء يكون شبه الموصل النقي عازلاً للكهربائية، حيث تكون كل الإلكترونات التكافؤ (الأربعة) مرتبطة ببعضها داخل هيكل بلوري فلا نلاحظ وجود إلكترونات حرة ولكن عند ارتفاع درجة الحرارة إلى درجة حرارة الغرفة $(27\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ K})$ تتحطم بعض الأواصر التساهمية وتكسب بعض الإلكترونات طاقة حركية كافية لانتقالها من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل مجتازة بها فجوة الطاقة المحصورة فتترك مكانها خالية (فجوة) فينتج ما يسمى (الكثرون - فجوة)، وتعد هذه الطريقة صعبة في التحكم بالخواص الكهربائية للمواد شبه موصلة من الناحية العلمية.

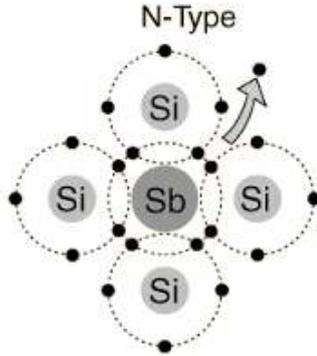
2- التطعيم أو التشويب (إضافة شوائب):

يتم فيها إضافة شوائب من عناصر معينة إلى مواد شبه الموصل النقية وذلك بزيادة التوصيل الكهربائي لشبه الموصل عبر زيادة حاملات الشحنة (الإلكترونات والفجوات).

ولهذه العملية نوعان من المواد الشبه الموصلة غير النقية هي مواد شبه موصلة نوع (N) ومواد شبه موصلة نوع (P).

1-2-5 المواد شبه الموصل نوع (N) N-type :

للحصول على شبه موصل نوع (N) يتطلب إضافة ذرة شوائب خماسية التكافؤ مثل الزرنيخ أو الفسفور أو الانتيمون في البنية البلورية لها لاجل جعلها بلورة موصلة للكهرباء، مثلاً بإضافة ذرة الانتيمون خماسي التكافؤ (Sb) الى بلورة السيليكون النقي رباعي التكافؤ (Si)، إذ ترتبط كل ذرة انتيمون مع اربع ذرات سيليكون فيبقى الالكترتون الخامس لذرة الانتيمون حر الحركة يمكن أثارته بسهولة بطاقة صغيرة وأنتقاله الى حزمة التوصيل لكي يساهم في عملية التوصيل الكهربائي لمادة شبه الموصل المطعمة **ويدعى هذا النوع من الشائبة خماسية التكافؤ بالذرة المانحة (Donor atom)** والتي تصبح أيوناً موجباً مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً مع الهيكل البلوري والذي ليس له دور في التوصيل الكهربائي، وعليه فإن شبه الموصل نوع (N) تكون فيه الالكترونات حاملة للتيار ولكل منها شحنة سالبة ولذلك يشار إليها بمادة النوع السالب مع تسمية الإلكترونات (حاملات الشحنة الرئيسية) في حين الفجوات التي تولدت نتيجة أنتقال الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل تدعى (حاملات الشحنة الثانوية) لأنها أقل عدداً من الالكترونات، وبالتالي تكون المادة شبه الموصلة **من النوع السالب عندما تكون كثافة المانح أكبر من كثافة القابل؛ لذلك فإن شبه الموصل من النوع السالب تكون فيه الإلكترونات أكثر من الفجوات.** كما هو في الشكل (5-7).



شكل 5-7 يوضح شبه الموصل من النوع السالب

هل تعلم؟

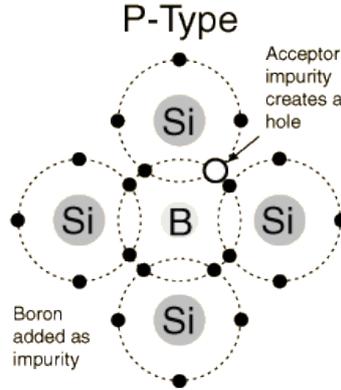
- يعتمد المعدل الزمني لتوليد الأزواج (الكترن - فجوة) في شبه الموصل على:
- 1- درجة حرارة شبه الموصل.
- 2- نوع مادة شبه الموصل.

2-2-5 المواد شبه الموصل نوع (P) P-type :

أما إذا أضفنا شوائب ثلاثية التكافؤ (3 الكترن) في التركيب البلوري مثل البورون أو الانديوم أو الألمنيوم حيث تتاح ثلاثة الكترونات تكافؤ فقط للرابطة التساهمية، وهذا يعني أن الرابطة الرابعة لايمكن أن تتشكل. نتيجة لذلك فإن التوصيل الكامل غير ممكن، مما يعطي مادة شبه الموصل وفرة من حاملات الشحنة الموجبة المعروفة بالفجوات في هيكل البلورة، **فمثلاً للحصول على شبه موصل نوع (P) يتطلب إضافة شوائب ثلاثية التكافؤ مثل البورون (B) الى بلورة السيليكون (Si)**، إذ يرتبط الإلكترونات التكافؤ الثلاثة لذرة البورون مع ثلاث ذرات سيليكون مجاورة بأوصرة تساهمية. ولكن هذه الشائبة الثلاثية التكافؤ تترك أصرة تساهمية تفتقر الى الكترن واحد لذلك تتولد فجوة، وهذه الفجوة تحاول أقتناص الكترن من ذرة سيليكون مجاورة وهكذا.

تسمى الشوائب الثلاثية التكافؤ بالذرة القابلة (Acceptom atom) والتي تصبح أيوناً سالباً مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً مع الهيكل البلوري الذي ليس له دور في التوصيل الكهربائي. **وعليه فإن شبه الموصل نوع (P) تكون فيه فجوات في حزمة التكافؤ هي (حاملات الشحنة الرئيسية)، أما الالكترونات**

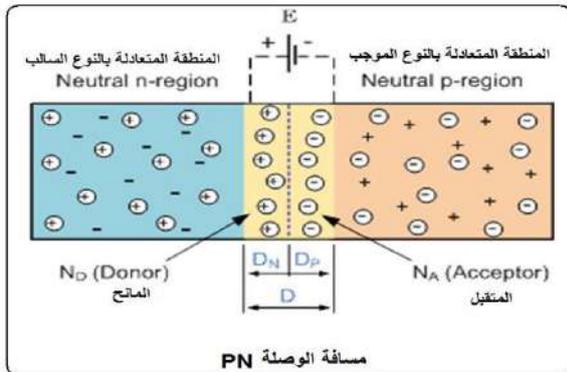
في حزمة التوصيل فتسمى (حاملات الشحنة الثانوية). إضافة البورون يبين أن التوصيل يتكون أساساً من حاملات شحنة وتنتج مادة من النوع الموجب وتسمى الفجوات الموجبة حاملات الموجب عندما تكون كثافة القابل أكبر من كثافة المانح لذلك فان شبه الموصل من النوع الموجب به فجوات أكثر من الإلكترونات، كما هو في الشكل (8-5).



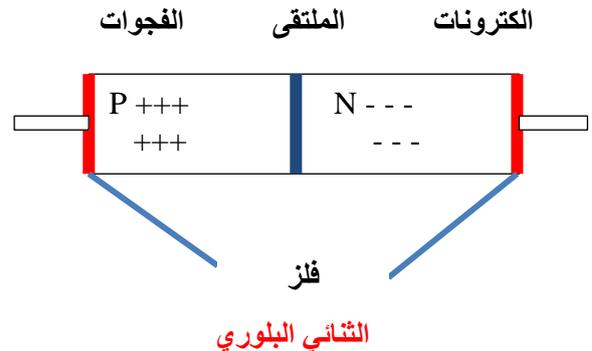
شكل 8-5 يوضح شبه الموصل من نوع الموجب

3-5 الثنائي (PN) / PN-diode:

بعد ان عرفنا في الفقرة السابقة كيفية عمل مادة شبه موصلة من النوع السالب بعد إضافة الانتيمون إليها وكذلك كيفية عمل مادة شبه موصلة من النوع الموجب بعد إضافة البورون إليها. وبما أن مواد اشباه الموصلات من النوع الموجب ومن النوع السالب هي متعادلة كهربائياً فهي لاتفعل الا القليل من تلقاء نفسها، لذا **يمكن الحصول على الثنائي (PN) بتشويب (تطعيم) بلورة (السيليكون أو الجرمانيوم) النقية بنوعين من الشوائب أحدهما ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) والآخرى خماسية التكافؤ (مثل الانتيمون) ويسمى السطح الفاصل بين المنطقتين بالمفروق أو الملتقى (Junction)، من ملاحظتنا للشكل (9-5) نجد أن الكترونات المنطقة (N) والقريبة من المفروق (PN) تنتقل متجهة الى المنطقة (P) تاركة خلفها أيونات موجبة ونفس الحال بالنسبة الى فجوات المنطقة (P) والقريبة من المفروق (PN) تنتقل متجهة الى المنطقة (N) تاركة خلفها أيونات سالبة ونتيجة لهذه العملية تنشأ منطقة رقيقة على جانبي المفروق تحتوي على أيونات موجبة في المنطقة (N) وأيونات سالبة في المنطقة (P) تسمى منطقة الاستنزاف (Depletion).**



شكل 9-5 مسافة الوصلة PN

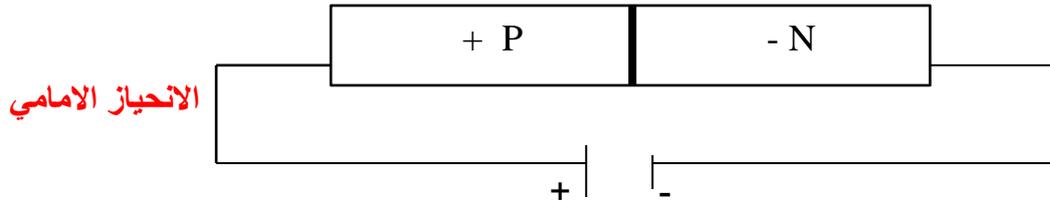




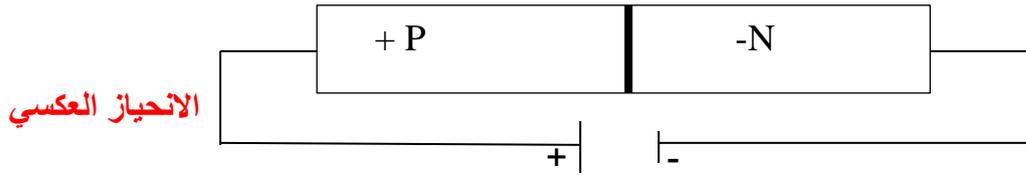
شكل 5-10 بعض انواع الدايمود الثنائي

وباستمرار تكوين أيونات موجبة وسالبة على جانبي المفرق في هذه المنطقة حول الوصلة تسمى **طبقة الاستنفاد أو النضوب** وبذلك سوف تحدث حالة من التوازن (**حالة متعادلة كهربائياً**) يتولد منها مجال كهربائي يعمل فرق الجهد الكهربائي الناتج عن هذا المجال على منع عبور الكترونات إضافية عبر المرفق (PN) يسمى (**بالحاجز الجهدية**) وبذلك تتوقف عملية أنتشار الالكترونات، لذا يتطلب تسليط فرق جهد كهربائي يسمى (**بفولتية الانحياز**) لتوفير ظروف مناسبة لعمل الثنائي (PN).
وهناك نوعان من الانحياز:

الأنحياز الأمامي للوصلة الثنائية (PN): عند ربط (P) (الموجب) بالقطب الموجب للبطارية والمنطقة (N) (السالب) بالقطب السالب للبطارية يكون الثنائي متحيزاً بالاتجاه الأمامي أي ينساب تيار كبير خلال المفرق (الملتقى) يسمى بالتيار الأمامي لأن مقاومة الثنائي (PN) صغيرة كما موضح ادناه.



1- الانحياز العكسي (الخلفي) للوصلة الثنائية (PN): عند ربط المنطقة (P) (الموجب) بالقطب السالب للبطارية (المصدر) والمنطقة (N) (السالب) بالقطب الموجب للبطارية يكون الثنائي (PN) متحيزاً بالاتجاه العكسي أي ينساب تيار صغير جداً خلال المفرق (PN) يسمى بالتيار العكسي يمكن أهمله لأن مقاومة الثنائي (PN) تكون كبيرة كما موضح ادناه.



هل تعلم؟

أن مقدار حاجز الجهد في الثنائي (PN) عند درجة حرارة الغرفة (300K) يساوي (0.7 V) للمصنوع من السيليكون و (0.3 V) للمصنوع من الجرمانيوم.

هناك عدد من الثنائيات منها:

- a- الثنائي المتحسس للضوء
- b- ثنائي الخلية الضوئية
- c- الثنائي الباعث للضوء
- d- الثنائي المعدل للتيار

ثنائي الوصلة (الدايمود):- هو واحد من أبسط أجهزة أشباه الموصلات والتي لها خاصية تمرير التيار في اتجاه واحد. إن التأثير السابق وصفه يتحقق من دون أي جهد خارجي على الوصلة الفعلية والنتيجة أن تكون الوصلة في حالة من التوازن. ومع ذلك إذا تم توصيل كل من طرفي المادة السالبة

والمادة الموجبة بمصدر بطارية عندئذ يتواجد مصدر إضافي للتغلب على الحاجز، وهذا يؤدي الى أن الالكترونات الحرة تكون قادرة على عبور منطقة النضوب (الاستنزاف) من أحد الجانبين الى جانب الآخر. إن طبقة النضوب (الاستنزاف) تتسع مع زيادة الجهد العكسي المسلط ويرجع ذلك الى الاختلاف في الخواص الكهربائية على جانبي الوصلة وينتج تعديل للتيار المتناوب مثلاً الى تيار معدل باتجاه واحد.

4-5 الترانزستور Transistor:

بعد محاولات وتجارب عديدة قام بها العلماء وللتخلص من عيوب الصمام الالكتروني تم اختراع الترانزستور عام 1947م على يد ثلاثة من الفيزيائيين الامريكيين العاملين في مختبرات (بيل الامريكية) وهم جون باردين وولتر براتين ووليم شوكلي والذين حصلوا على جائزة نوبل عام 1956 م تقديراً لجهودهم على هذا الانجاز العظيم والذي خدم الانسانية جمعاء.

والترانزستور هو عنصر إلكتروني فعال مصنوع من مواد شبه موصلة كالجرمانيوم

والسيليكون وله ثلاثة أقطاب كما هو الحال مع الصمام الثلاثي ولكن بدون دائرة تسخين. ويتميز

الترانزستور على الصمام الالكتروني بصغر حجمه الذي لايتجاوز اذا ما صنع منفردا حجم حبة الحمص اما اذا كان في دوائر متكاملة فانه بالامكان تصنيع ملايين الترانزستورات على شريحة لا تتجاوز مساحتها السنتيمتر المربع الواحد، ما أدى الى تقليص بالغ في أحجام وأوزان الاجهزة الكهربائية.

ويتميز كذلك بانه يعمل على جهد كهربائي منخفض لايتجاوز عدة فولطت وبقلة استهلاكه للطاقة الكهربائية التي تقاس بالملي واط في الترانزستورات المنفردة والميكروواط وحتى النانو واط في الدوائر المتكاملة، ما أدى الى تصنيع اجهزة كهربائية مختلفة تعمل بالبطاريات الصغيرة ولفترات طويلة من الزمن. ويتميز بصلاذته فهو جسم مصمم من مواد شبه موصلة حيث لا توجد في داخله اجزاء متحركة ولذلك فهو لا يتأثر بالصدمات والاهتزازات الميكانيكية كما هو الحال مع الصمام الالكتروني. ولذا يمكن وضعه في الاجهزة المحمولة. ويتميز كذلك بطول عمره التشغيلي الذي يمتد لعشرات السنوات وبامكانية عمله ضمن نطاق واسع من درجات الحرارة. وبامكانية انتاجه بكميات كبيرة جدا وباسعار منخفضة جدا.

ومع اختراع الترانزستور الذي يعده العلماء اعظم اختراع في القرن العشرين تجددت آمال المهندسين والفنيين والمنتجين في صنع معدات وأجهزة إلكترونية صغيرة الحجم وقليلة الاستهلاك للطاقة كالحواسيب الرقمية والتلفزيونات الملونة والراديو والصغيرة والهواتف المحمولة والالات الحاسبة المكتبية واليدوية وأصبح بالامكان استخدامها في مختلف المركبات والصواريخ العابرة للقارات وفي المركبات الفضائية والاقمار الصناعية... الخ

1-4-5 ترانزستور الوصلة ثنائية القطبية

يتم تصنيع هذا النوع من الترانزستور من خلال تطعيم ثلاث مناطق متجاورة على بلورة نقية من السيليكون بحيث يكون التطعيم اعالى شكل (سالب - موجب - سالب) (NPN) او على شكل (موجب - سالب - موجب) (PNP) ويتم توصيل اقطاب معدنية بهذه المناطق الثلاث حيث يسمى القطب الموصل بالمنطقة الوسطى بالقاعدة (B) (Base) بينما تسمى الاقطاب الموصلة بالمنطقتين الخارجيتين بالباعث (E) (Emilter) والمجامع (C) (Collector). يطلق على هذا النوع من الترانزستور بثنائي القطبية وذلك بسبب وجود وصلتين فيه وكذلك بسبب مساهمة الفجوات والالكترونات في حمل التيار الذي يسري داخل الترانزستور، يتطلب عمل هذا النوع من الترانزستور وجود وصلتين يكون في الغالب وضع الانحياز لاحدهما أمامي وللأخرى عكسي، ما يعني ان الوصلة المنحازة أماميا

ستسمح بمرور التيار بينما لا تسمح الوصلة المنحازة عكسيا بمروره ولكن اذا ماتم تصنيع الترانزستور بحيث يكون عرض منطقة القاعدة قليل جدا بحيث إن المنطقة المنضبة المستنزفة للوصلة المنحازة عكسيا تغطي معظم أجزائها فإن الإلكترونات او الفجوات التي تصل الى منطقة القاعدة من تيار الوصلة المنحازة اماميا سيقع في أسر المجال الكهربائي للمنطقة المنضبة المنحازة عكسيا وسيمر تيارا عاليا فيها رغم إنها منحازة عكسيا من العدد الكلي المتولد في الوصلة المنحازة أمامياً.

إن هذه الآلية في طريقة عمل الترانزستور تمكن تياراً ضعيفاً يمر في القاعدة من التحكم بتيار قوي يمر بين الباعث والجامع ويطلق على نسبة تيار الجامع أو الباعث على تيار القاعدة بربح الترانزستور ويمكن زيادة ربح الترانزستور من خلال تقليل عرض منطقة القاعدة ويمكن الحصول على ربح قد يصل لعدة مئات.

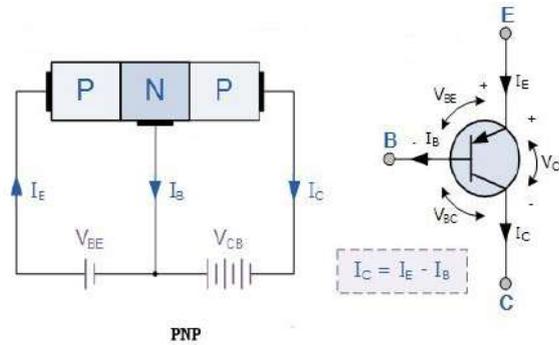
إن العيب الرئيسي للترانزستور ثنائي القطبية هو أن القاعدة تستعمل التيار الكهربائي للتحكم بعمل الترانزستور، ما يستدعي استعمال دائرة كهربائية خارجية دقيقة لضبط قيمة تيار القاعدة والذي قد يؤدي اي انحراف في قيمته الى تغيير مكان نقطة التشغيل التي يعمل عندها الترانزستور.

هل تعلم؟

1- ان العمل الاساسي للترانزستور هو تضخيم الاشارة الداخلة فيه ومن هذه المضخمات المضخم (PNP) ذو القاعدة المشتركة (قاعدة مؤرضة) والمضخم (PNP) ذو الباعث المشترك.

2- أن أهم أستعمالات الترانزستور هي:-

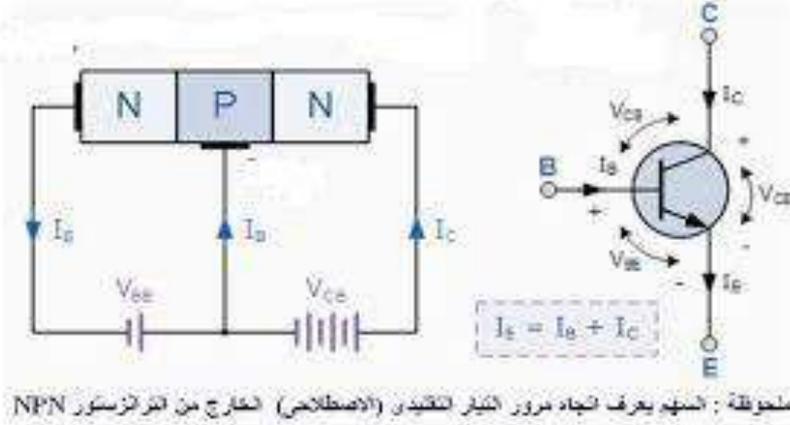
1- يستعمل كمفتاح الكتروني. 2- يستعمل كمكبر أو لتكبير الاشارات الصغيرة.



شكل 5-11 ترانزستور نوع (PNP)

ويتم تصنيع الترانزستور من نوع (PNP) بالطريقة السطحية من خلال تطعيم منطقة محدودة بذرات مانحة لتنتج منطقة سالبة بعمق معين على سطح السيليكون وفي داخل هذه المنطقة السالبة يتم تطعيم جزء منها بذرات مستقلة لتحولها الى منطقة موجبة. وفي داخل هذه المنطقة الموجبة يتم تطعيم جزء منها بذرات مانحة لتحولها الى منطقة سالبة وبهذا تتكون ثلاث مناطق (منطقتين سالبتين وبيئهما منطقة موجبة) ويتم وصل القاعدة بالمنطقة الموجبة والباعث بالمنطقة السالبة الاقرب من السطح والجامع بالمنطقة السالبة الابعد عن السطح. وبسبب ان مساحة وصلة الباعث اقل منها بكثير من مساحة وصلة الجامع في عملية التصنيع هذه فان الربح في تيار الباعث منه أكبر بكثير منه في حالة تيار الجامع ولذا يجب ان يراعى ذلك عند تصميم المضخمات؛ فالترانزستور غير متماثل في مثل هذه الطريقة من التصنيع. ويتم تصنيع انواع لاحصر لها من الترانزستور بعضها يعمل عند الترددات المنخفضة وبعضها

يعمل عند الترددات العالية وبعضها لاغراض القدرات المنخفضة وبعضها للقدرات العالية وذلك لتلبي حاجة التطبيقات المختلفة. ويحمل كل ترانزستور على سطحه رمزاً مكوناً من عدد من الاحرف والارقام ويمكن استخلاص بعض المعلومات من هذه الرموز كنوع مادة الترانزستور ان كانت من السيليكون أو الجرمانيوم أو كمدى الترددات التي يعمل عندها ومقدار الجهد أو التيار أو القدرة الكهربائية التي يتحملها.



شكل 5-12 ترانزستور نوع (NPN)

شروط عمل الترانزستور:

- يجب ان يتوفر شرطان لكي يعمل الترانزستور وهما:-
- 1- يجب ان تزود الوصلة بين القاعدة والباعث بالانحياز الامامي.
 - 2- يجب ان تزود الوصلة بين الجامع والقاعدة بالانحياز العكسي.

هل تعلم؟

أن تيار الجامع (I_C) يكون دائماً اقل من تيار الباعث (I_E) بمقدار تيار القاعدة (I_B) وذلك بسبب حصول عملية إعادة الالتحام التي تحصل في منطقة القاعدة بين الفجوات والالكترونات. تيار القاعدة يكون صغيراً جداً نسبة الى التيار الباعث (I_E) لان منطقة القاعدة رقيقة ونسبة تطعيمها بالشوائب قليلة. اذا كان تيار القاعدة (I_B) يساوي مثلاً 1% من تيار الباعث (I_E) فيكون تيار الجامع (I_C) قرابة 99% من تيار الباعث.

5-5 البث الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Broadcasting):

من المعروف أن الموجات الكهرومغناطيسية وهي موجات لاحتياج بالضرورة الى وسط مادي لانتقالها، وتكون موجات مستعرضة وهي تتولد من تذبذب الالكترونات الحرة في الموصل حيث ان اصل نشوء هذه الموجات هو الشحنات الكهربائية المتذبذبة، وينتج عن هذا التذبذب مجالان كهربائي ومغناطيسي متغيران مع الزمن ومتلازمان ومتعامدان مع بعضهما على خط انتشارهما حيث تنتشر هذه الموجات في الفراغ بسرعة الضوء.

الطيف الكهرومغناطيسي:- يتكون من نطاقات من الاطوال الموجية المختلفة ومن أهمها أشعة كاما والاشعة السينية والاشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والاشعة تحت الحمراء والموجات الدقيقة والموجات الراديوية.

إن الموجات الراديوية تستخدم في الإذاعة المسموعة والمرئية. وبصورة عامة يعتمد الاستعمال التقني للموجات الكهرومغناطيسية على السهولة التي يمكن بها معرفة الأطوال الموجية المختلفة وانتاجها. ويرتبط الطول الموجي بمعدل اهتزاز الالكترونات في مصدر الطاقة فكلما كان الاهتزاز ابطاً ازداد الطول الموجي وهكذا.

5-5-1 الموجة الأرضية والموجة السماوية:-

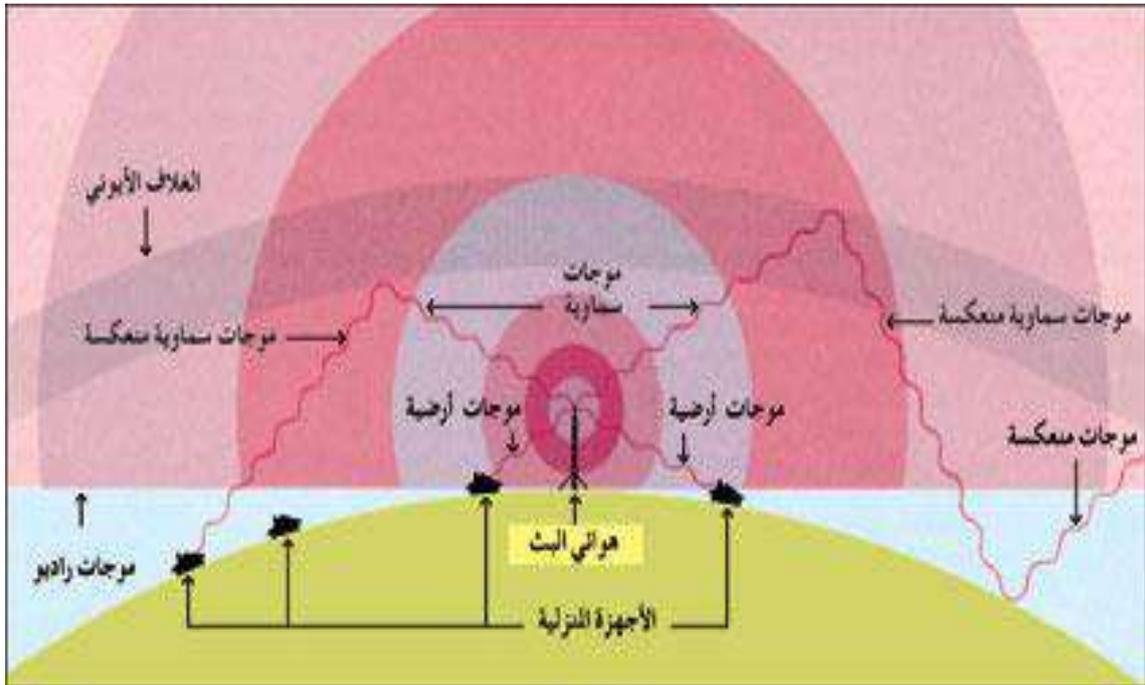
ان الأرض تقريبا كروية ونصف قطرها قرابة (6400 km) ومحيط اكبر دائرة لها حوالي (40000 km). يزيد الارتفاع بين نقطتين والمسافة بينهما قرابة (250 km) على (1 km). وهذا الارتفاع يمثل عائقا كبيرا يمنع انتشار الموجات بين النقطتين، ومع ذلك يمكن تحقيق الاتصال بين نقاط بينهما حاجب ناتج عن انحناء سطح الأرض او عدم انتظام سطح الأرض عند توفر احد الشروط الآتية:-

1- الموجات تتحرك في مسارات تتبع انحناء سطح الأرض وتعرجاتها.
2- تعليق كل من هوائي الارسال وهوائي الاستقبال على ارتفاعات مناسبة يوفر خط الرؤية المباشرة بين الهوائيين.

3- توفير محطات إعادة إذاعة وسطية بين محطة الارسال ومحطة الاستقبال تمثل تعرجات سطح الأرض التي يقارن ارتفاعها بالطول الموجي للموجة المنتشرة عائقا بالنسبة إلى الموجات التي تتحرك بالقرب من سطح الأرض وتكون عملية بث الموجات الراديوية بطريقتين:

الطريقة الاولى:- حيث تسمى الموجات **بالموجات الأرضية (Ground waves)** وتنتقل فوق سطح الأرض مباشرة (قريبة من سطح الأرض) الا أنها بسبب انتشارها بخطوط مستقيمة تكون غير قادرة على تأمين الاتصالات الا لمسافات قصيرة نسبيا نتيجة لتحدب الأرض.

الطريقة الثانية:- انها تتم بوساطة موجات غير مباشرة تدعى **بالموجات السماوية (Sky waves)** حيث تستطيع تأمين الاتصالات بين مكانين بعيدين وليس واقعين على خط مباشر واحد ويعتمد هذا النوع من الاتصالات على وجود طبقة الايونوسفير في الغلاف الجوي بالدرجة الاولى والتي تعكس الموجات غير المباشرة الى الأرض.



شكل 5-13 صورة انتشار الموجات الراديوية

ففي اثناء الليل وبسبب غياب أشعة الشمس تخنفي الطبقة السفلى من طبقة الايونوسفير والتي تسمى (D-layer) والمسؤولة عن توهين الموجات الراديوية والتي تظهر في اثناء النهار.

الطريقة الثالثة:- حيث تسمى الموجات **بالموجات الدقيقة (Micro waves)** المستثمرة في عمليات الارسال في التلغاز تكون قادرة على اختراق طبقة الايونوسفير ولاينعكس منها الا الشيء القليل وهنا ما يجعل بث موجات التلغاز مقتصرًا على المسافات القريبة فقط. وقد تم التغلب على ذلك بواسطة الاقمار الصناعية؛ اذ توضع في مدارات ثابتة حول الارض.

إن المدار الثابت هوكل مدار يدور فيه التابع بسرعة دوران الارض نفسها وينتمي الى مسطح يحتوي على خط الاستواء، مما يتيح له البقاء في مكانه بالنسبة إلى الارض ويستطيع أي تابع موجود في مدار ثابت النقاط أية إشارة ثابتة من محطة إرسال وإعادة بثها من جديد الى محطة واقعة ضمن الرقعة الجغرافية للتابع.

5-6 الرادار (Radar) :

إن كلمة رادار هي مختصر لعبارة (Radio Detection and Ranging) وتعني الكشف وتعيين المدى باللاسلكي. وإن أساس عمل الرادار يعتمد على ظاهرة الاهتزاز الكهربائي والحصول على المدى الكهرومغناطيسي.

ويعرف الرادار بأنه نظام إلكتروني دقيق وكفوء يستعمل لكشف أهداف متحركة أو ثابتة وتحديد مواقعها واتجاهها. ويمكن للرادار تحديد حركة واتجاه أهداف بعيدة عن رؤية العين البشرية وتحديد مسافتها وارتفاعها مهما كانت صغيرة الحجم سواء أكانت بحجم الحشرة أم كانت بحجم وضخامة الجبال ويعمل الرادار بكفاءة عالية في الليل وحتى في اثناء سوء الاحوال الجوية مثل الضباب الكثيف والمطر أو الثلوج وله القابلية في تنفيذ عدة مهام تجعله مفيدا لاغراض مختلفة وواسعة في حياتنا اليومية؛ إذ يعتمد الطيارون على الرادار في هبوط طائراتهم بأمان في المطارات المزدهمة حيث يتم ارشادهم من قبل العاملين عليه بطرق خاصة وتعريفهم بالمسارات المناسبة لاقلاعهم أو هبوطهم كما يستخدمه الملاحون في الطقس الرديء لقيادة سفنهم عند اقتراب القوارب منها والاهداف الخطرة. ويستخدم الرادار في الكثير من الدول لاغراض الحراسة والرصد من هجمات فجائية من طائرات الاعداء وصواريخه كما يمكن الرادار المشتغلين والمختصين بأحوال الطقس والرصد الجوي والزلزلي من تتبع العواصف المقترية والمعلومات المهمة عنها وكذلك يستخدمه العلماء لاستقصاء جو الارض ودراسة الكواكب الاخرى وأقمارها.



شكل 5-14 صورة للرادار

5-6-1 أجزاء ومكونات الرادار:

- 1- المذبذب.
- 2- المضمن.
- 3- المرسل.
- 4- مفتاح الإرسال والاستقبال.
- 5- الهوائي.
- 6- المستقبل.
- 7- معالج الإشارة.
- 8- العارض (الشاشة).
- 9- المؤقت.

5-6-2 كيف يعمل الرادار:

تختلف مجموعات الرادار في التصميم وفي الغرض والشكل إلا أنها جميعاً تعمل على المبادئ العامة نفسها وذات أجزاء أساسية واحدة ولكل جهاز مرسل لإنتاج الإشارات الرادارية وهوائي لبثها إلى الخارج ويجمع الهوائي نفسه في معظم أنواع الرادار الموجات المرتدة من الهدف. حيث يقوم الرادار بإرسال موجات راديوية باتجاه الهدف واستقبال الموجات التي تنعكس منه ويدل الزمن الذي تستغرقه الموجات المنعكسة لتعود على مدى الهدف وكم يبعد واتجاهه وارتفاعه.

ويقوي المستقبل الموجات المنعكسة التي تدعى الإصداء (أو النبضات) بحيث يمكن رؤيتها على شاشة الرادار أنبوب الصورة في جهاز التلفاز (الشاشة) إلا أنها غالباً ما تكون دائرية بدلاً من أن تكون مستطيلة وتظهر الإصداء نقاطاً من الضوء أو خيالاتاً للهدف المشاهد ومن هذه النقاط يمكن للمشغل للجهاز معرفة المعلومات المطلوبة منه.

5-6-3 أنواع الرادارات:

لقد تعددت أشكال وأنواع الرادارات ولكنها تكاد تكون متشابهة من حيث العمل والأغراض والأجزاء ومن هذه الأنواع:-

- 1- **الرادار البسيط:-** وهو أبسط أنواع الرادارات وفي هذا النظام يقوم المحول بإرسال إشارات كهربائية متقطعة بفواصل زمنية معين. وفي هذه الفواصل يقوم باستقبال صدى الموجات المنعكسة من الأجسام.
 - 2- **الرادار المستمر (الموجة المتصلة):-** هو منظومة رادارية يتم فيها إرسال طاقة موجية راديوية ثابتة مستمرة ثم يستقبل جزء منها لدى إنعكاسها من الجسم بسبب حركة الجسم الذي تصطدم به الموجة.
 - 3- **رادار النظام المرحلي:-** وهذا الرادار يحتوي على عدد من الهوائيات الصغيرة وكل منها يستطيع أن يدور حول نفسه دورة كاملة فبعد تحديد اتجاه كل هوائي يقوم المستقبل باستقبال إشارات كل هوائي ثم جمعها لتكوّن إشارة واحدة.
 - 4- **الرادار الفرعي:-** وهو نوع آخر يعمل مثل الرادار الأساسي لكن بالإضافة إلى أنه يقرأ موجات الرادار المشفرة فيرسل موجات مشفرة للطائرات وهي عبارة عن أسئلة رقمية ويستقبل من الطائرة أجوبة خاصة مثل هوية الطائرة ومن أي دولة والغرض من القوم وغيرها من المعلومات.
 - 5- **رادار التصويب:-** وهذا الرادار يستعمل في تفكيك الأهداف الأرضية من الجو.
- كما وهناك أسماء أخرى وكل حسب صناعته وأغراضه وربما نفس الرادار يحمل اسماً آخر في بلد مصنع آخر ومن هذه الرادارات هي (الرادار النبضي، رادار دوبلر، الرادار ذو الموجة المستمرة، رادار المصفوفة الطورية).

5-6-4 أهم تطبيقات وأستعمالات الرادار:

- 1- يستعمل الرادار في الملاحة الجوية بشكل كبير لضمان سلامة الطائرات وركابها من الحوادث والكوارث. حيث تكون حركة الطائرات بشكل كثيف قرب المطارات لذلك أستعمل مراقبو المرور المدربون على الرادار في جميع مطارات العالم لتوجيه التدفق المستمر للطائرات القادمة والمغادرة حيث يبين الرادار موضع كل طائرة في الجو.
- 2- في الملاحة البحرية شاع أستعمال الرادار على نطاق واسع بوصفه مساعداً مهماً في أنواع عديدة من القوارب والسفن الصغيرة الى ناقلات النفط الضخمة. حيث يمكن للرادار العمل في الظروف الجوية الرديئة وتحديد أماكن السفن الأخرى والصخور والجبال الثلجية وغيرها لتجنب الاصطدام بها. كما ويمكن لمحطات حرس الشواطئ تتبع آثار السفن من خلال المراقبات الرادارية والبحث عن السفن المفقودة.
- 3- أستعمال الرادار بشكل واسع في القوات المسلحة في الدفاعات الجوية والدفاع الصاروخي والمراقبة الجوية والاستطلاع وقياس المدى والتحكم في نيران الاسلحة وغيرها. ومعرفة أختراق الطائرات والصواريخ المعادية قبل دخولها للحدود أو عند دخولها مباشرة وتحديد مساراتها واتجاهاتها وبعدها.
- 4- أستعمال الرادار في المراقبة الفضائية والكشف عن الاقمار الاصطناعية وتتبعها وتحديد مداراتها في الفضاء.
- 5- يستعمل الرادار في رسم الخرائط حيث يمكن أجراؤها من طائرة خاصة. وفي الاستطلاع وتجميع المعلومات وقياس المدى.
- 6- أستعمال الرادار في التحكم في سير المركبات في الطرقات وبيان سرعتها لغرض تطبيق قواعد المرور والخاصة في تحديد سرعة المركبات وضبطها. حيث يمكن للرادار معرفة وتحديد سرعة السيارات التي تسير في الطرقات وتحديد اتجاهاتها وأوقاتها وهذا ما يساعد رجال المرور في السيطرة على حركة السير وضبطها وتقليل الاعتماد على الجهد البشري.
- 7- يستعمل الرادار في إكتشاف الثروات المعدنية والخامات وتجمعات الاسماك لصالح أعمال الصيد في أعماق البحار.



اسئلة الفصل الخامس

- س1/ ما المقصود بالترانزستور؟ وما أنواعه مع الرسم؟ وما أهم استعمالاته؟
- س2/ بماذا يمتاز الترانزستور على الصمام الالكتروني؟
- س3/ كيف يتم الحصول على شبه الموصل نوع (N) وشبه الموصل نوع (P)؟
- س4/ عرف المادة المانحة والقابلة مع ذكر الامثلة.
- س5/ وضح تأثير ارتفاع درجة الحرارة في قابلية التوصيل الكهربائي في كل من المواد الآتية:-
- a - الموصلة
- b- شبه الموصلة النقية.
- 1- اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات التالية:-
- 1- في بلورة السليكون النقية وعند درجات الحرارة الاعتيادية يكون الاتي:-
- a- عدد الالكترونات الحرة اكبر من عدد الفجوات.
- b- عدد الالكترونات الحرة اصغر من عدد الفجوات.
- c- عدد الالكترونات الحرة يساوي عدد الفجوات.
- d- ليس أي مما سبق .
- 2- حاملات الشحنة في شبه الموصل هي:-
- a- الكترونات حرة وفجوات.
- b- فجوات فقط.
- c- الالكترونات الحرة فقط.
- d- الايونات الموجبة والسالبة معا.
- س7/ عدد انواع حزم الطاقة . وبيّن مميزات وخواص حزم الطاقة في المواد الموصلة وشبه الموصلة والعازلة.
- س8/ كيف يتم توليد الموجات الكهرومغناطيسية ؟
- س9/ وضح كيف يتم انتشار الموجات الراديوية.
- س10/ ما ذا تعني كلمة رادار ؟ وما هو اساس عمل الرادار؟
- س11/ عدد ثلاثة من استعمالات الرادار.
- س12/ ما أهم استعمالات الوصلة الثنائية (PN)؟

الفصل السادس الليزر والبلازما

مفردات الفصل :



- 1-6 الليزر والميزر
 - 2-6 خصائص اشعة الليزر
 - 3-6 اسس عمل الليزر
 - 4-6 مكونات اجهزة الليزر
 - 5-6 منظومات اجهزة الليزر
 - 6-6 انواع الليزر
 - 7-6 بعض تطبيقات الليزر
 - 8-6 البلازما
 - 9-6 بعض تطبيقات البلازما
- أسئلة الفصل

الاغراض السلوكية :

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على الآتي :

- يعرف الليزر والميزر .
- يميز بين الانبعاث التلقائي والمحفز.
- يعرف التوزيع المعكوس .
- يذكر قانون بولتزمان .
- يتعرف على مفاهيم (الوسط الفعال ، المرنان ، تقنية الضخ)
- يتعرف على منظومة الليزر .
- يعدد انواع الليزرات .
- يذكر بعض تطبيقات الليزر .
- يتعرف على البلازما



1-6 الليزر والميزر Laser and Maser:

تعدّ تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطورة التي دخلت في العديد من التطبيقات والابحاث العلمية فنجدها عنصراً اساساً في أجهزة تشغيل الاقراص المدمجة وفي صناعة الالكترونيات وقياس المسافات بدقة وخاصة الاجسام الفضائية، أو في معدات قطع ولحام المعادن، أو في آلات الاسنان وغيرها التي سيتم معرفة بعض منها في محور تطبيقات الليزر. ولكن ما الليزر وما الذي يميزه عن المصادر الضوئية الاخرى .

جاءت تسمية الليزر (Laser) من الاحرف الاولى للكلمات من الجملة :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني (تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث

المحفز للاشعاع) حيث وضع العالم البرت

اينشتاين في عام 1917 الاساس النظري

لعملية الانبعاث المحفز، وقد صمم أول جهاز

في عام 1960 من قبل العالم ميمان (T.H

maiman) باستعمال بلورة الياقوت Ruby

Laser، لاحظ الشكل (1-6).

ولكن قبل إنتاج الليزر تم تحقيق انبعاث أشعة

كهرومغناطيسية مضخمة ومنبعثة بالتحفيز

في طيف الاشعة الدقيقة سميت (maser)

والتي جاءت من الاحرف الاولى

لفكرة عمل الميزر في العبارة التالية



الشكل 1-6 جهاز ليزر ميمان

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

وتعني (تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث المحفز للاشعاع)

أن العالم تاونس تمكن من تصميم أول جهاز يقوم بتضخيم الموجات الدقيقة باستعمال تقنية الانبعاث المحفز وإنتاج ميزر الامونيا عام 1954 .

هل تعلم؟

2-6 خصائص أشعة الليزر Properties of Laser:

يتصف اشعاع الليزر بالميزات الاساسية التالية :

1. أحادي الطول الموجي (أحادي اللون)

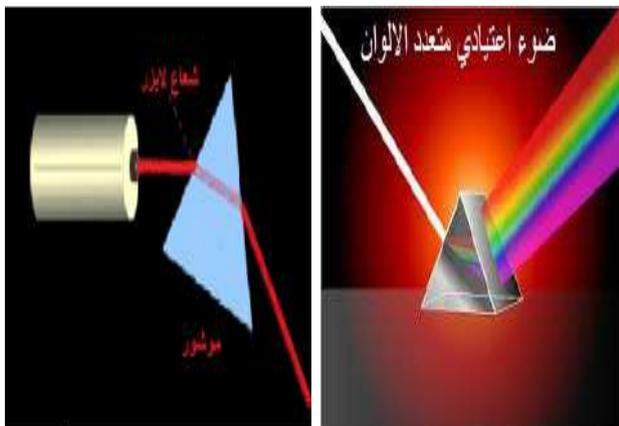
monochromatic يتميز الليزر بالنقاوة

اللونية (الطيفية) التي تفوق أي مصدر آخر

في حين يكون الضوء الصادر من مصدر

ضوء اعتيادي متعدد الالوان وباطوال

موجية مختلفة، لاحظ الشكل (2-6).



الشكل 2-6 الضوء الاعتيادي واشعة الليزر

2. الاتجاهية directionality

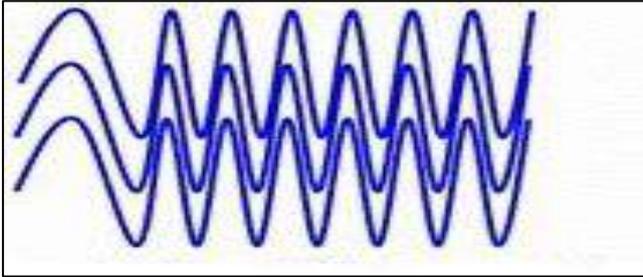


الشكل 3-6 الليزر الاتجاهي ومصادر الضوء غير الاتجاهية

تسير أشعة الليزر مسافات كبيرة بحزم متوازية ذات انفرجية قليلة بينما ينتشر الضوء الصادر من مصباح الاضاءة الاعتيادي أو الشمس بشكل عشوائي بالاتجاهات كافة، لاحظ الشكل (3-6).

فإذا أرسلت الى القمر حزمة ذات شدة ضوئية كافية من أشعة الليزر على بعد (384000 km) عن سطح الارض تقريباً فإنها تنتشر على سطح القمر بقعة مضاءة لا يزيد قطرها على (1 km) في حين أنه إذا ارسل الضوء الاعتيادي ووصل، فرضاً، الى سطح القمر فان قطر البقعة المضاءة يصل الى (4376 km) تقريباً.

3. التشاكة coherency



الشكل 4-6 ضوء ليزر متشاكة

لأشعة الليزر صفات متماثلة من حيث الطور والاتجاه والطاقة وبهذا يمكن أن تتداخل الموجات فيما بينها تداخلا بناءً، لاحظ الشكل (4-6).

4. السطوع Brightness



الشكل 5-6 سطوع الليزر

أشعة الليزر ذات لمعان وسطوع عالٍ جداً يفوق سطوع أشعة الشمس بمليون مرة وذلك نتيجة تركيز طاقة موجات الليزر المنبعثة في حزم ضيقة قليلة الانفراج، لاحظ الشكل (5-6).

وعلى سبيل المثال فان شدة الأشعة المنبعثة من مصباح التنكستن ذي قدرة (100 watt) تبلغ قرابة (2000 watt/cm²) في حين تبلغ اشعة الليزر

بالقدرة نفسها قرابة (2×10⁹ watt/ cm²) أي أعلى بمقدار مليون مرة من شدة الأشعة الصادرة من مصباح التنكستن الاعتيادي.

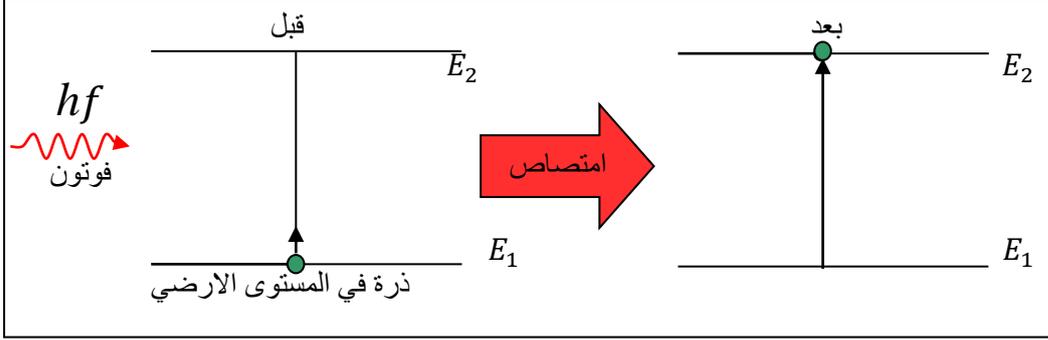
3-6 أسس عمل الليزر **The Foundation of The Laser Working**:

هنالك ثلاث عمليات تكتسب أهمية كبيرة في الاسس الفيزيائية لتوليد الليزر هي :
(الامتصاص المحث، الانبعاث التلقائي، الانبعاث المحفز)

1- الامتصاص المحث Induced Absorption

هو انتقال الذرة من مستوى طاقة واطئ (E_1) الى مستوى طاقة متهيج (E_2) وذلك بامتصاص فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين، لاحظ الشكل (6-6)، أي ان

$$hf = E_2 - E_1$$



الشكل 6-6 يوضح الامتصاص المحث

حيث إن (h) ثابت بلانك ويساوي (6.63×10^{-34} J.S) جول.ثا.
(f) التردد بوحدة (Hz) هيرتز
(E_2, E_1) مستويات الطاقة بوحدة (eV) الكترون فولت

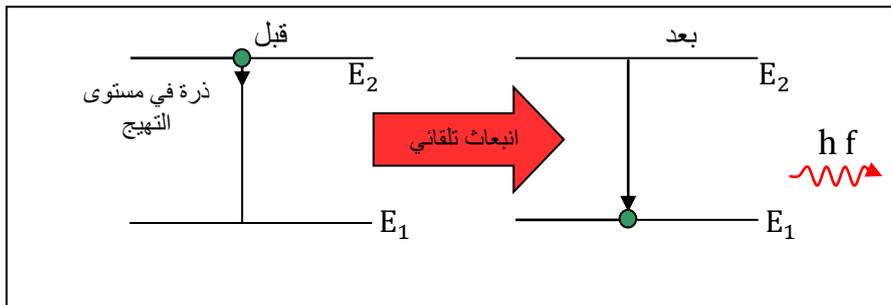
2- الإنبعاث التلقائي Spontaneous Emission

عندما تصبح الذرة في مستوى الطاقة الاعلى (مستوى التهيج) تميل دائماً الى حالة الاستقرار فتعود تلقائياً بعد (فترة زمنية قصيرة تسمى العمر الزمني لمستوى التهيج) الى المستوى الارضي ويصاحب هذا الانتقال انبعاث فوتون طاقته يساوي

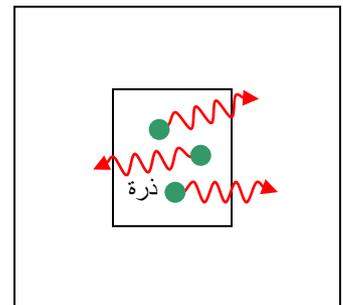
$$hf = E_2 - E_1$$

(ويسمى هذا الانتقال بالانبعاث التلقائي)، لاحظ الشكل (7-6).

وتكون فوتونات هذا الانتقال مختلفة من حيث الطور والاتجاه فتنبعث في جميع الاتجاهات، لاحظ الشكل (8-6).



الشكل 7-6 الانبعاث التلقائي

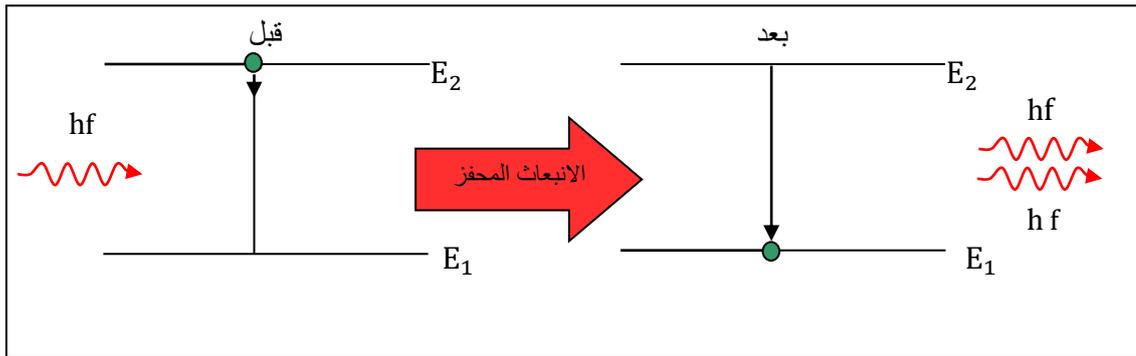


الشكل 8-6 فوتونات منبعثة تلقائياً ومختلفة من حيث الطور والاتجاه

هل تعلم؟ أن العمر الزمني للمستوى: هو فترة زمنية قصيرة جدا يمكنها الإلكترون في مستوى الطاقة الأعلى الذي ينتقل اليه في الذرة المثارة.

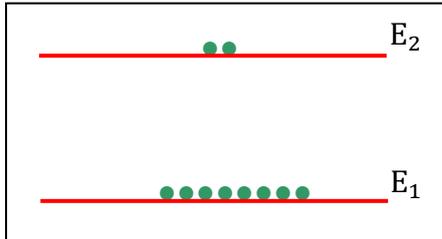
3- الانبعاث المحفز Stimulated Emission

عندما يصطدم فوتون بذرة موجودة في مستوى التهيج (E_2) بحيث تكون طاقته مساوية تماماً لفرق الطاقة بين المستويين ($E_2 - E_1$) فإنه سوف يحفز الذرة لتنتقل من المستوى (E_2) الى المستوى الاوطأ (E_1) ما يؤدي الى انبعاث فوتون جديد مماثل من حيث (الطاقة والتردد والطور والاتجاه) للفوتون الذي اصطدم بالذرة (ويسمى هذا النوع من الانتقال بالانبعاث المحفز)، لاحظ الشكل (9-6).



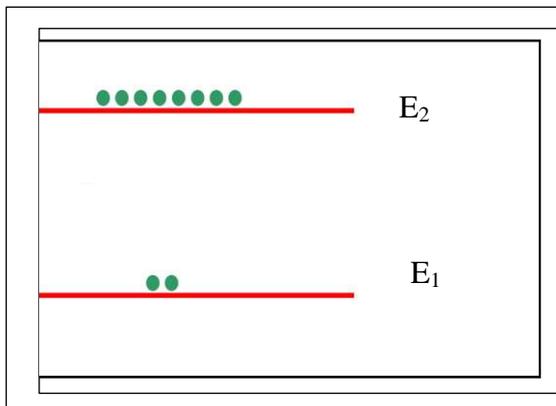
الشكل 9-6 الانبعاث المحفز

تذكر للحصول على الانبعاث المحفز يجب الحصول على الانبعاث التلقائي أولاً.



الشكل 10-6 النظام الذري عند الاتزان الحراري

في حالة الظروف القياسية (حالة الاتزان الحراري) لاية مادة فان معظم الذرات تكون في المستويات الواطئة للطاقة والنسبة الاقل من الذرات تكون متهيجة في المستويات العليا للطاقة، لاحظ الشكل (10-6).

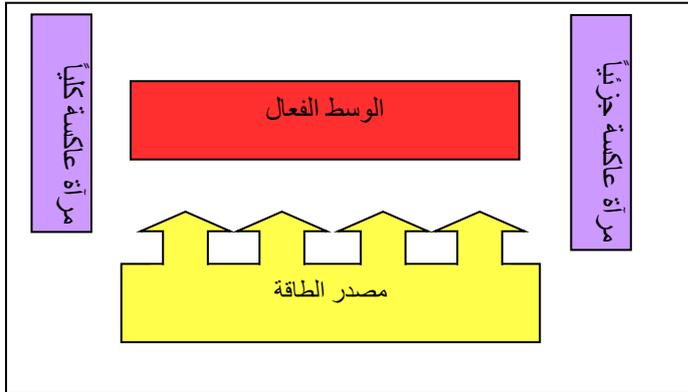


هل تعلم:

لزيادة احتمالية (الانبعاث المحفز) يجب أن تكون عدد الذرات المتهيجة في المستويات العليا للطاقة أكبر من عدد الذرات في المستويات الواطئة للطاقة، أي أن توزيع الذرات يكون بشكل معكوس، لذا تسمى هذه العملية (بالتوزيع المعكوس).

4-6 مكونات جهاز الليزر Constituents of Laser

يوضح الشكل (11-6) المكونات الاساسية التي يشترط وجودها في اجهزة الليزر وهي:



الشكل 11-6 مخطط لمكونات جهاز الليزر

1 - الوسط الفعال

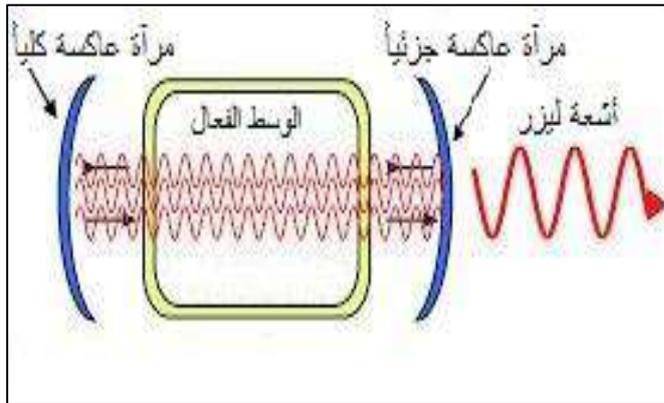
2 - المرنان

3 - تقنية الضخ

1-الوسط الفعال Active medium:

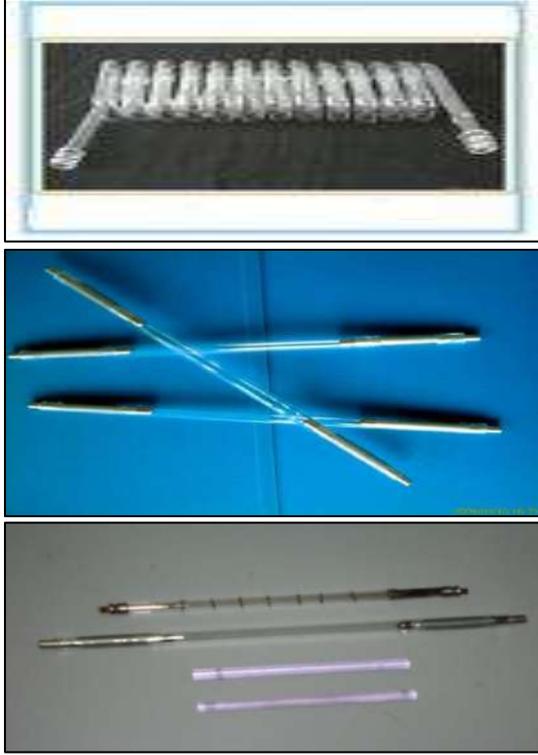
وهو مجموعة من ذرات او جزيئات أو أيونات بحالة (صلبة أو سائلة أو غازية) والتي يمكن ان يحصل فيها التوزيع المعكوس من خلال تجهيز الوسط الفعال بالشدة اللازمة لتهيجه.

2-المرنان Resonator: وهو وعاء ذو تصميم مناسب يتكون من مرأتين، توضح المادة الفعالة بينهما وتصمم المرأتان بحيث تكونان متقابلتين إحداها عاكسة كلياً للضوء والثانية عاكسة جزئياً، لاحظ الشكل (12-6).



الشكل 12-6 المرنان

لذا فالشعاع الساقط على إحداها ينعكس موازياً للمحور الاساس للمرأتين ثم يسقط على المرآة الاخرى وينعكس عنها وهكذا تتعاقب انعكاسات الاشعة داخل المرنان فتحصل عملية الانبعاث المحفز فيزداد عدد الفوتونات المتولدة بالانبعاث المحفز بعدد هائل فيحصل التضخيم وتسمح المرآة ذات الانعكاس الجزئي بنفاذ نسبة من الضوء الساقط عليها خارج المرنان وتعكس بقية الضوء مرة أخرى داخل المرنان لغرض إدامة عملية التضخيم.



3- تقنية الضخ pumping: وهي التقنية المسؤولة عن تجهيز ذرات الوسط الفعال بالطاقة اللازمة لاثارتها ونقلها من مستوى الاستقرار الى مستوى التهيج وتحقيق حالة التوزيع المعكوس وتوليد الليزر، وتوجد ثلاثة أنواع من تقنية الضخ هي:

1- تقنية الضخ الضوئي Optical pumping.

2- تقنية الضخ الكهربائي Electrical pumping.

3- تقنية الضخ الكيميائي Chemical pumping.

5-6 منظومات مستويات الليزر Laser Levels System:

يمكن تصنيف منظومات توليد الليزر تبعاً لمستويات الطاقة الى منظومتين :

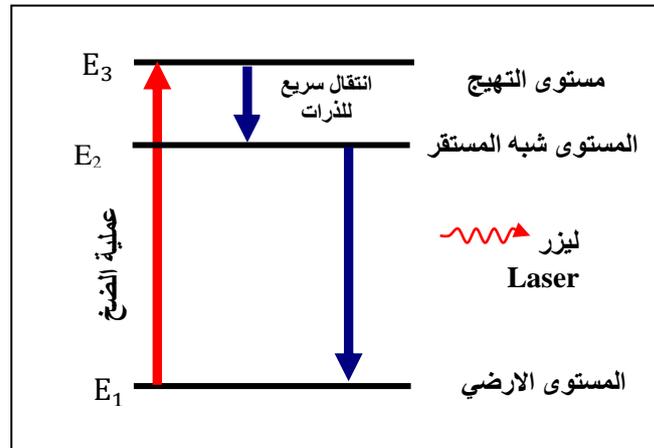
- المنظومة ثلاثية المستوى three – level system
- المنظومة رباعية المستوى four – level system

الشكل 6-13 مصابيح الضخ

1- المنظومة ثلاثية المستوى:

في هذه المنظومة توجد ثلاثة مستويات للطاقة، هي: مستوى الطاقة الارضي E_1 ومستوى الطاقة الوسطي E_2 (وهو المستوى شبه المستقر) ومستوى الطاقة الاعلى E_3 (مستوى متهيج)، لاحظ الشكل (6-14).

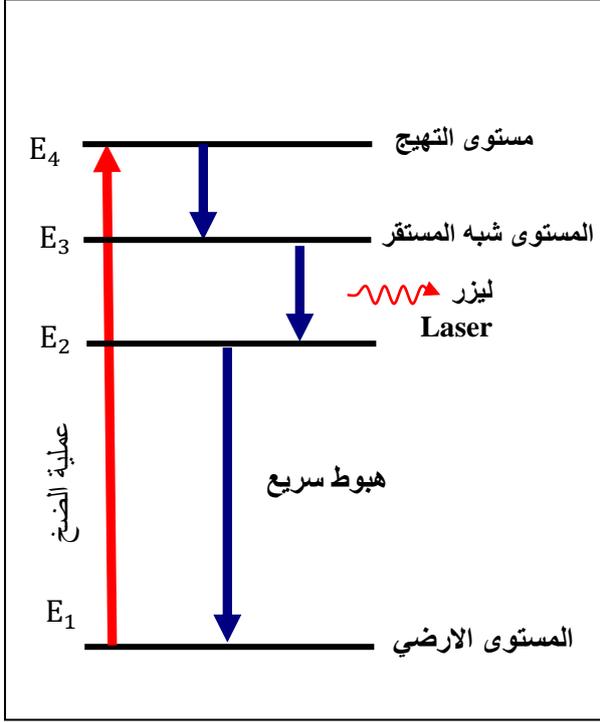
عندما تكون معظم الذرات في المستوى الارضي للطاقة E_1 فان الوسط الفعال يكون في حالة الاستقرار ولكن عند استعمال إحدى تقنيات الضخ المناسبة سوف يؤدي الى تهيج الوسط الفعال وانتقال الذرات من المستوى الارضي E_1 الى المستوى الاعلى E_3 وسرعان ما تهبط هذه الذرات بسرعة الى المستوى E_2 (حيث يكون زمن عمر المستوى E_3) أي زمن بقاء الذرات فيه أقل من زمن عمر المستوى E_2 وبذلك تتجمع الذرات في المستوى E_2 وبعدها اكبر من المستوى E_1 فيتحقق التوزيع المعكوس بين هذين المستويين عندها يولد الانتقال من المستوى E_2 الى المستوى E_1 (أشعة الليزر).



الشكل 6-14 منظومة ثلاثية المستوى

2- المنظومة رباعية المستوى:

تتشارك في هذه المنظومة أربعة مستويات للطاقة (E_4, E_3, E_2, E_1)، لاحظ الشكل (15-6). حيث يتم ضخ ذرات المنظومة من المستوى الأرضي للطاقة (E_1) الى مستوى الطاقة (E_4) ثم يحصل هبوط سريع للذرات من المستوى (E_4) الى المستوى شبه المستقر (E_3) عندها يتحقق التوزيع المعكوس بين مستوى الطاقة (E_3) ومستوى الطاقة (E_2) وتوليد شعاع الليزر حتى لو كان عدد الذرات في المستوى (E_3) بسيطاً لأن المستوى (E_2) يكون شبه فارغ بسبب الهبوط السريع للذرات منه الى المستوى (E_1) وهذا يعني أن هذه المنظومة تتطلب طاقة ضخ أقل لتحقيق التوزيع المعكوس مقارنة مع المنظومة الثلاثية المستوى.



الشكل 15-6 منظومة ليزر رباعية المستوى

فكر لماذا يتحقق التوزيع المعكوس في المنظومة رباعية المستوى اسهل مما هو عليه في المنظومة الثلاثية المستوى .

6-6 انواع الليزر Types of Laser:

يصنف الليزر تبعاً لنوع مادة الوسط الفعال الى أنواع مختلفة من امثلتها 1-ليزر الحالة الصلبة Solid-State Laser: (مثل ليزر الياقوت Ruby وليزر النيديميوم).



الشكل 16-6 الليزر الغازي

2- ليزر الحالة الغازية Gas Laser: مثل ليزر الهيليوم- نيون وليزر غاز ثنائي أوكسيد الكربون لاحظ الشكل (6-16).



الشكل 6-17 ليزر الاكسامير

3- ليزر الاكسامير Excimer Laser: وهي الليزر التي يمكن الحصول عليها باستعمال الغازات النبيلة مثل غاز الاركون والكربتون والزينون ويعد الليزر الناتج عنها من الاصناف المهمة والمفيدة وذات الاطوال الموجية في مدى الاشعة فوق البنفسجية، لاحظ الشكل (6-17).

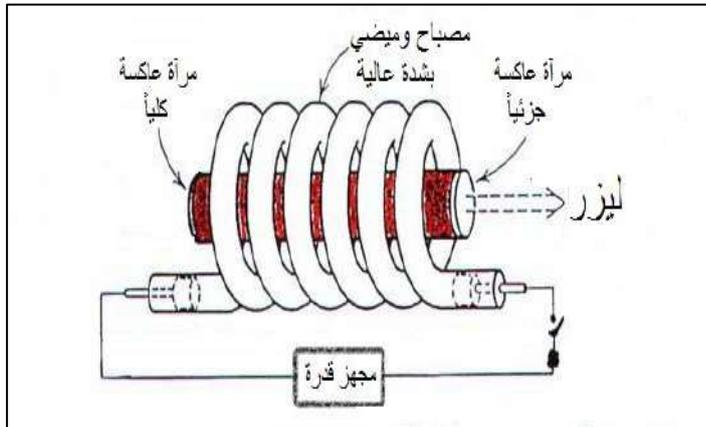
4- ليزر الحالة السائلة Liquid State Laser: مثل ليزر الصبغة العضوية وهي الليزر التي يكون فيها الوسط الفعال بحالة سائلة من محاليل مركبات معينة لصبغة عضوية مثل صبغة الرودامين (Rhodamine 6G) والتي ينتج عنها ليزر يمكن التحكم بالطول الموجي الصادر عنه.

5- ليزر أشباه الموصلات Semiconductor laser: مثل ليزر زرنيخ الكاليوم.

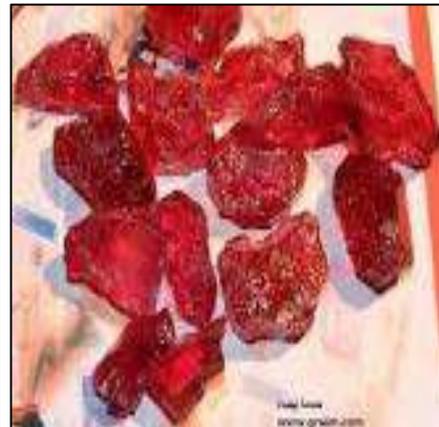
6- الليزر الكيميائي Chemical Laser: هو الليزر الذي ينتج عن طريق التفاعل الكيميائي مثل ليزر فلوريد الديتيريوم .

1-6-6 الليزر الصلبة :

• ليزر الياقوت : تم استعمال الياقوت كوسط فعال في أول جهاز عام 1960 والياقوتة بلورة تتواجد في الطبيعة بلونها الاحمر الفاتح، لاحظ الشكل (6-18) وتتكون من أوكسيد الالمنيوم (Al_2O_3) المطعم بأيونات الكروم الثلاثية التآين (Cr^{+3}) التي تعطي البلورة اللون الاحمر الفاتح ويعمل جهاز الليزر هذا بالمنظومة ثلاثية المستويات ويتم الضخ فيها بواسطة المصباح الوميضي، لاحظ الشكل (6-19).



الشكل 6-19 جهاز ليزر الياقوت

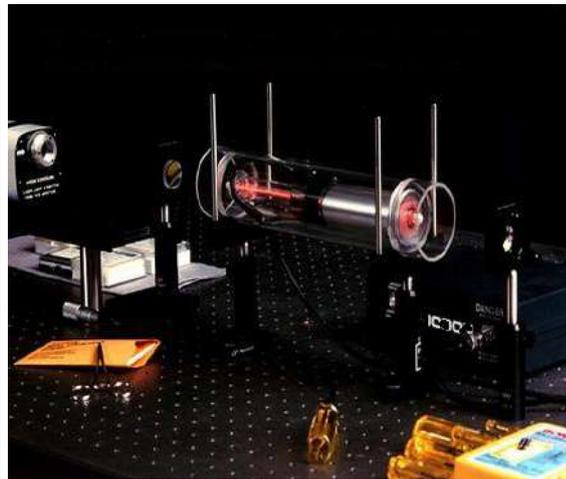
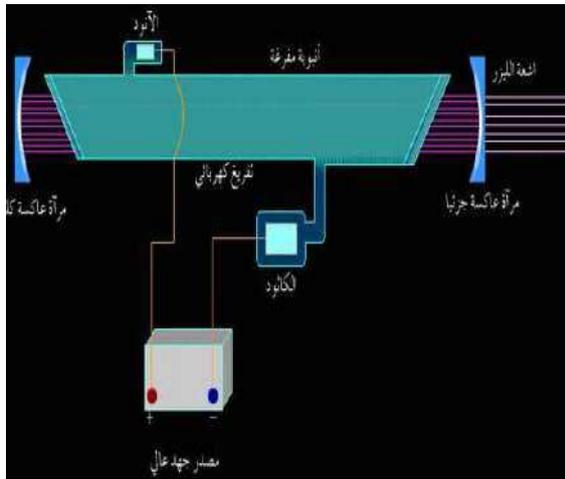


الشكل 6-18 بلورة ياقوت

- ليزر النيديميوم ياك (Nd:YAG) هو الليزر الذي يتالف الوسط الفعال فيه من مادة أكسيد اليتريوم المنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) وتسمى مختصراً بالياك (YAG) والمطعمة بنسبة معينة من أيونات النيديميوم (Nd^{+3}) ويعمل بنظام المستويات الرباعية.

2-6-6 الليزر الغازية

- ليزر الهليوم نيون He-Ne laser هو الليزر الذي تم اكتشافه نهاية عام (1960) من قبل العالم جافان ويتكون الوسط الفعال فيه من مزيج بنسب معينة من غاز النيون (Ne) وغاز الهليوم (He) موضوعين في أنبوبة زجاجية وتحت ضغط (8-12) torr ($1\text{mm Hg} = \text{torr}$)، لاحظ الشكل (20-6) ويستعمل التفريغ الكهربائي في إثارة الوسط الفعال بتسليط فولتية عالية تتراوح من (2-4) kV على طرفي الانبوبة الزجاجية، لاحظ الشكل (21-6).



الشكل 21-6 التفريغ الكهربائي في ليزر الهليوم نيون

الشكل 20-6 جهاز ليزر الهليوم نيون

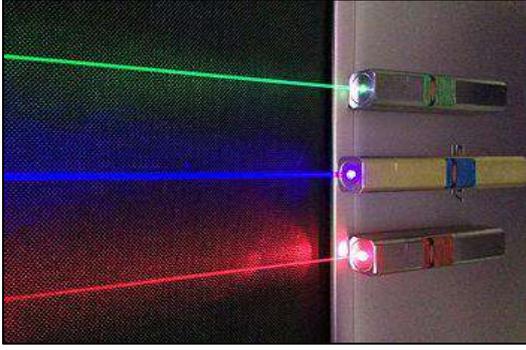
- ليزر ثنائي أكسيد الكربون وهو من أهم الليزر الغازية بسبب كفاءته العالية التي تصل الى حدود (30%) وقدرته العالية، ويتكون الوسط الفعال فيه من خليط بنسب معينة من غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وغاز النيتروجين (N_2) وغاز الهليوم (He) حيث تساعد الغازات المضافة في زيادة قدرته وكفاءته وتستعمل تقنية التفريغ الكهربائي في ضخ هذا الليزر.

3-6-6 ليزر شبه الموصل

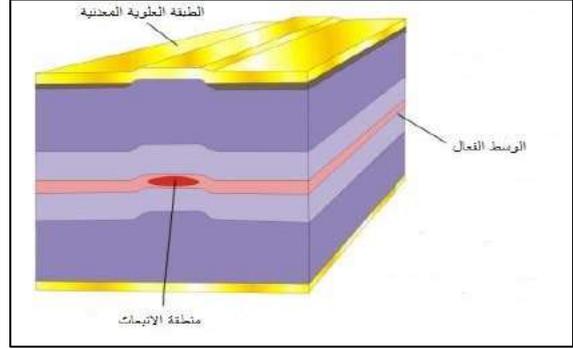
- هو الليزر الذي يكون الوسط الفعال فيه من مواد شبه موصلة مانحة (N-type) وقابلة (P-type) وتمثل حزمة التوصيل مستوى الليزر العلوي وحزمة التكافؤ مستوى الليزر السفلي، لاحظ الشكل (22-6).

وتتم عملية الضخ من خلال تيار كهربائي يحرك الإلكترونات والفجوات بين هاتين الحزمتين ويقترن توليد الليزر بالتوزيع المعكوس الذي يزداد بازدياد مقدار التيار المار وتتحقق عملية التوزيع المعكوس عندما تزداد الإلكترونات في حزمة التوصيل وتزداد الفجوات في حزمة التكافؤ، لاحظ الشكل (23-6).

- وتعد مادة زرنيخ الكاليوم (GaAs) من المواد شبه الموصلة التي تستعمل كقاعدة لتصنيع ليزرات أشباه الموصلات.



الشكل 6-23 أطياف الليزر شبه الموصل



الشكل 6-22 مكونات الوسط الفعال في ليزر أشباه الموصلات

8-6 بعض تطبيقات الليزر :Application of Laser

1- التطبيقات الصناعية: نظراً للحرارة التي يولدها الليزر وإمكانية حصر حرارته في بقع صغيرة جداً لذا يعتبر الليزر أداة فعالة لصناعة وتهذيب الكثير من المكونات الالكترونية مثل المقاومات والتمسعات والترانزستورات وعمل أقنعة الدوائر المتكاملة وفي تنقيب وقطع ولحام المعادن حتى الصلبة منها وتستطيع أشعة الليزر الكثيفة الضيقة المركزة أن تفتح ثقباً قدره (5 μm) خلال (200 μs) في أشد المواد صلابة مثل التيتانيوم والماس والياقوت الاحمر دون ان يرافق العملية تغيير في طبيعة المادة أو حدوث ضوضاء، لاحظ الشكل (6-24).



الشكل 6-24 بعض تطبيقات الليزر

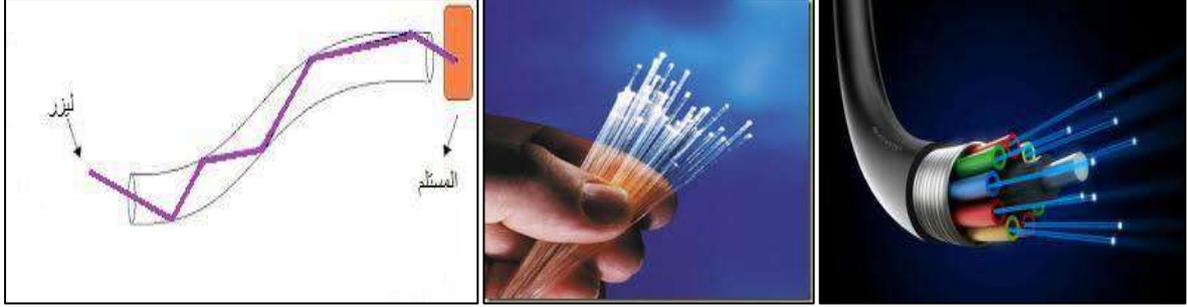
2- التطبيقات الطبية: دخلت أشعة الليزر ميدان الجراحة والتجميل وطب وجراحة الفم والاسنان ومعالجة أمراض العيون وامراض القلب والاستئصال واستعمال الليزر كمشرط جراحي في إجراء العمليات الجراحية، ويعد ليزر ثنائي أكسيد الكربون من أهم وأشهر الليزرات المستعملة في الجراحة العامة، ويمتاز بالامكانية العالية والدقة لتبخير وقطع الانسجة الحية. وبما أن أشعة هذا الليزر غير مرئية لذا تستعمل معها حزمة الهيليوم نيون الاحمر لتسهيل عملية التحكم في استعمال الشعاع من حيث الموقع والاتجاه والانتقال الى أي نقطة في جسم الانسان، لاحظ الشكل (6-25).



الشكل 6-25 بعض التطبيقات الطبية لأشعة

3- استعمال الليزر في مجال العلوم النووية: لفصل النظائر المشعة ومجال التفاعلات الاندماجية النووية لما يتميز به من القدرة الهائلة وامكانية السيطرة على تردده، أو طوله الموجي.

4- في الاتصالات الليزرية: ويتم استعمال الليزر في البث المباشر في الجو للاتصالات القريبة ولمسافات محدودة بسبب ظاهرة التشتت والامتصاص التي تحصل لشعاع الليزر عند مروره في الجو وما يحويه من غبار وبخار ماء ومطر وضباب وبعض المواد الاخرى، لذا تم استعمال شعاع الليزر في نقل المعلومات عبر الفضاء الخارجي لمسافات بعيدة بواسطة الالياف البصرية (Optical Fibers) والمصممة لتوجيه الضوء للسير خلالها لاحظ الشكل (6-26).



الشكل 6-26 الالياف البصرية

أن الليف البصري هو تركيب من مادة الزجاج المطعم بأيونات معينة يستعمل لنقل الاشارة الضوئية (الليزر) من نقطة إلى أخرى دون فقدانها أو إتلافها أو تشويهها.

تذكر

5- التطبيقات التجارية: يستعمل الليزر في الطابعات الليزرية والاعلانات الضوئية وقارئات الاقراص الليزرية، لاحظ الشكل (6-27).



الشكل 6-27 بعض التطبيقات التجارية لاشعة الليزر

6- يستعمل لقياس تلوث البيئة : لقد أثار استعمال الليزر في هذا المجال الفرصة للقياس السريع لتراكيز الملوثات وتحديد نسبتها بدقة كاستعمال ليزر الياقوت للكشف وقياس نسبة وجود بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكبريت والفسفور.



الشكل 6-28 جهاز قياس المسافات بين الجدران

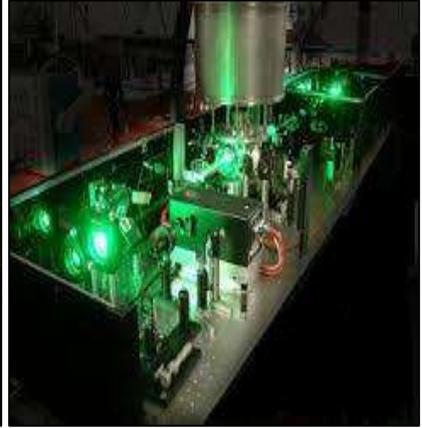
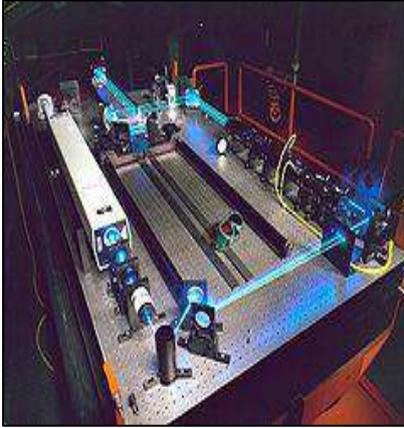
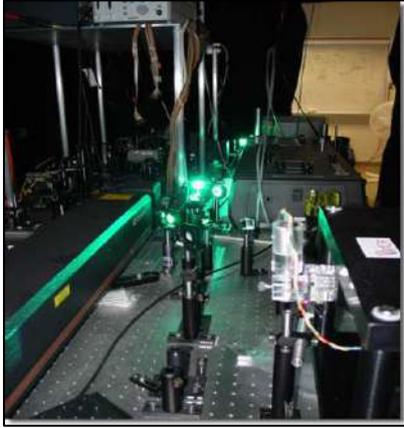
7- يستعمل في عمليات المسح والترصيف: للاعمال الهندسية المتمثلة بانشيد المباني والعمارات والانشاءات الميكانيكية بالاضافة الى استعماله في رصف الانابيب وشق القنوات والانفاق والطرق ومسح الاراضي وتسويتها ومسح المحيطات والتخطيط الزلزالي والمسوحات الجغرافية وتعيين مدارات التوابع الارضية واستعماله في إيجاد الانحرافات في سطوح السدود والجسور، لاحظ الشكل (6-28).



الشكل 6-29 آلة النقش

8- تستعمل في النقش والنحت (الحفر): الابعاد في النقش والنحت كالنحت على الزجاج والكريستال وصناعة الجوائز والميداليات ، معلقات الكريستال ، القلادات ... إلخ، لاحظ الشكل (6-29).

9- استعمال الليزر في مختبرات البحوث التطبيقية، لاحظ الشكل (6-29).

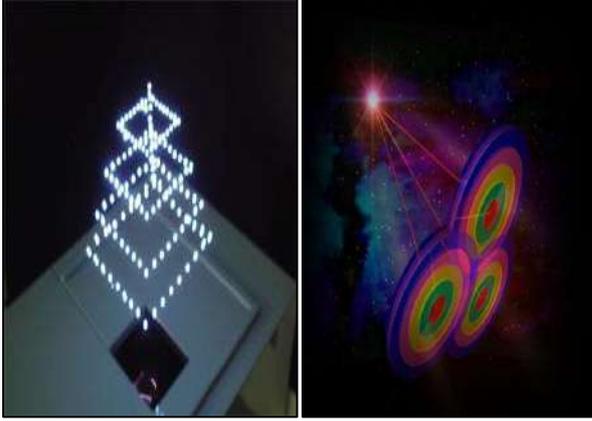


الشكل 6-30 مختبرات البحوث التطبيقية لاشعة الليزر



الشكل 6-31 جهاز كشف المعلومات

10- يستعمل شعاع الليزر في التعرف على الرموز سواء أكانت مصطلحات مخفية أم كانت كتابات معينة أم كانت رموزاً تجارية وأخذ صورة دقيقة بوساطة اجهزة خاصة عن ماهية تلك المعلومات، وعندما تربط هذه الاجهزة بالكمبيوتر استطاع الشعاع ألياً برمجة عمله وإعطاء كشف واضح أو نسخ ونقل المعلومات، لاحظ الشكل (6-31).

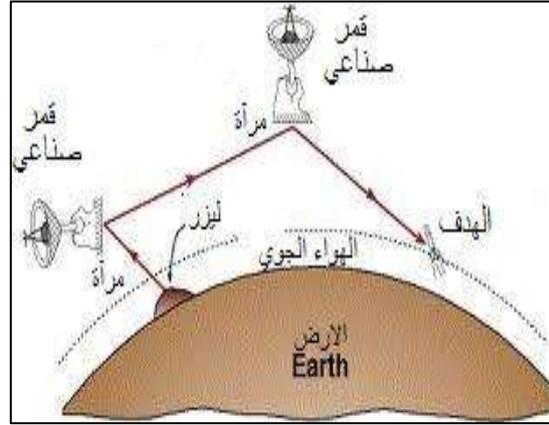


الشكل 6-32 صور ثلاثية الأبعاد

11- يستعمل الليزر في التصوير المجسم (Holography): للحصول على صورة مجسمة وذات ثلاثة أبعاد (طول وعرض وارتفاع). ويعتبر التصوير المجسم من أفضل تقنيات فن التصوير وأكثرها كفاءة، حيث يتم تسجيل السعة والطور للموجات الضوئية المنعكسة من الجسم فتظهر جميع تفاصيل شكل الجسم على شبكة العين بحيث تتم رؤية الجسم من كل الاتجاهات بينما التصوير الاعتيادي يسجل شدة الأشعة فقط، لاحظ الشكل (6-32).

12- التطبيقات العسكرية: يعتبر الليزر السلاح السريع والشديد الفاعلية ذات التأثير الموضعي الدقيق كأداة دفاعية أو هجومية حيث يستعمل في التوجيه والتتبع وقياس المسافات بدقة متناهية من خلال أجهزة (مقدرة المدى).

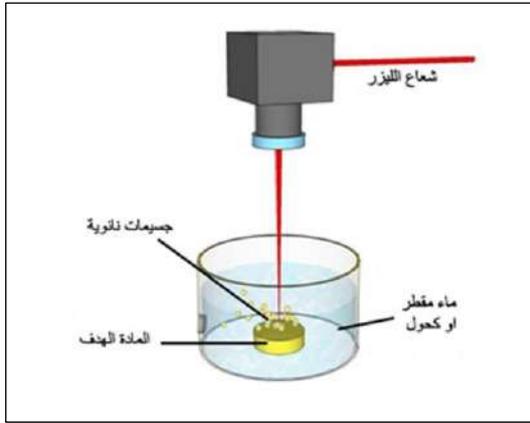
ومن أنواع الليزر في هذا المضمار ليزر النيديميوم - ياك وليزر ثنائي أوكسيد الكربون وقدرتهما العالية في النفاذ في الجو والكشف عن الاهداف داخل مياه البحار لاحظ الشكل (6-33).



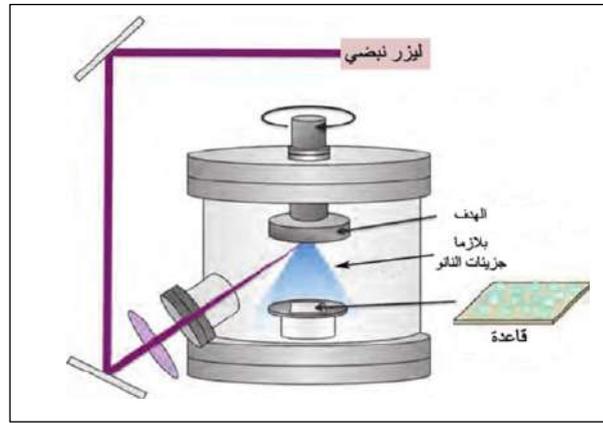
الشكل 6-33 بعض التطبيقات العسكرية لأشعة الليزر

13- يستعمل في تحضير مواد النانو بالاستئصال الليزري: المقاس النانوي يعادل جزء من المليار ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)، **والمواد النانوية عبارة عن مواد كيميائية متناهية في الصغر (أقل من 100 nm)** تستعمل بجودة عالية في العديد من التطبيقات الصناعية كالاتصالات والالكترونيات والمجالات الطبية لاحتوائها على العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية، ويتم تحضيرها بعدة طرق تشترك جميعها بأعتمادها على المقياس الذري أي ذرة اتجاه ذرة أخرى للحصول على نتائج مرغوبة، وكلما اختلف مقياس الحجم لكتلة المادة اختلفت الفعالية الكيميائية بمعنى كلما صغر المقياس زادت الفعالية الكيميائية للمادة. ويعتبر الاستئصال الليزري أحد تطبيقات الليزر لتحضير المواد بالاحجام النانوية من خلال تعريض المادة إلى ليزر نبضي ذي طاقة عالية جداً، بحيث يتفاعل شعاع الليزر مع الهدف مما يؤدي إلى تطاير جزيئات المادة وتكوين البلازما التي تترسب

على القاعدة وتكوين أغشية رقيقة، كما في الشكل (6-34)، وفي حالات أخرى توضع العينة الهدف داخل وعاء زجاجي يحتوي الماء أو الكحول، كما في الشكل (6-35)، وبعد قصف العينة بالشعاع الليزري تنتشتت الجسيمات النانوية ويتكون عالق بحيث يمكن جمع المساحيق أما بتجفيف العالق أو بالترسيب على قاعدة زجاجية.



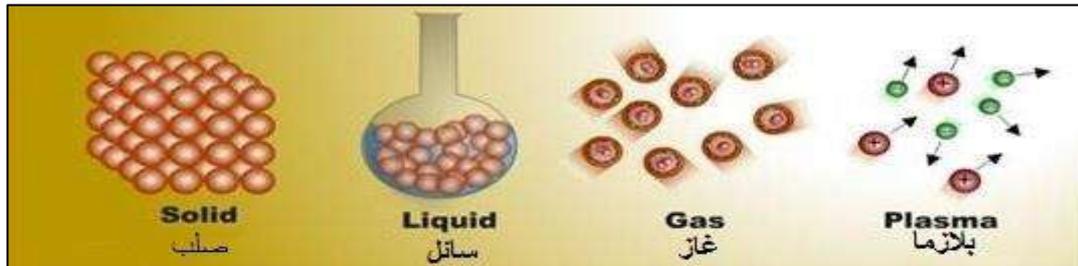
شكل 6-35 تحضير جسيمات نانوية بالاستئصال بالليزر وبطريقة التشتيت في العالق.



شكل 6-34 تحضير جسيمات نانوية بالاستئصال بالليزر وبطريقة ترسيب البلازما.

8-6 البلازما plasma:

إذا علمنا ان المادة توجد في الطبيعة في ثلاث حالات هي (الصلبة، السائلة، الغازية) فإنه يمكن تصنيف البلازما على إنها الحالة الرابعة للمادة وتتميز عن غيرها من الحالات بالطاقة الهائلة التي تمتلكها وهي ذات صفات مقاربة للحالة الغازية ويمكن وصفها بانها غاز متأين يحتوي على أعداد متساوية من الايونات موجبة الشحنة والالكترونات سالبة الشحنة حيث تكون الالكترونات حرة وغير مرتبطة بذرة أو بجزيء، لاحظ الشكل (6-36).



الشكل 6-36 حالات المادة

وتنتج البلازما من خلال التأثير على حجم معين من الغازات بعامل ما من عوامل التأين، مما يؤدي الى خروج الإلكترونات من داخل الذرات والجزيئات ومن هذه العوامل (الحرارة) كما هو في الشمس والنجوم وهما كرات هائلة من البلازما، (المجالات المغناطيسية) كما هو في الفراغات البينية بين النجوم والكواكب، (المجالات الكهربائية) كما هو في المصابيح البلازمية، (الطاقة الكهرومغناطيسية) كما في البرق الذي يصل تفرغته الى $(3 \times 10^4 \text{ A})$ و (10^8 V) ويصدر عنها الضوء والموجات الراديوية والاشعة السينية وحتى أشعة كاما وقد تصل درجة حرارة البلازما بالبرق الى (28000 K) لاحظ الشكل (6-37).

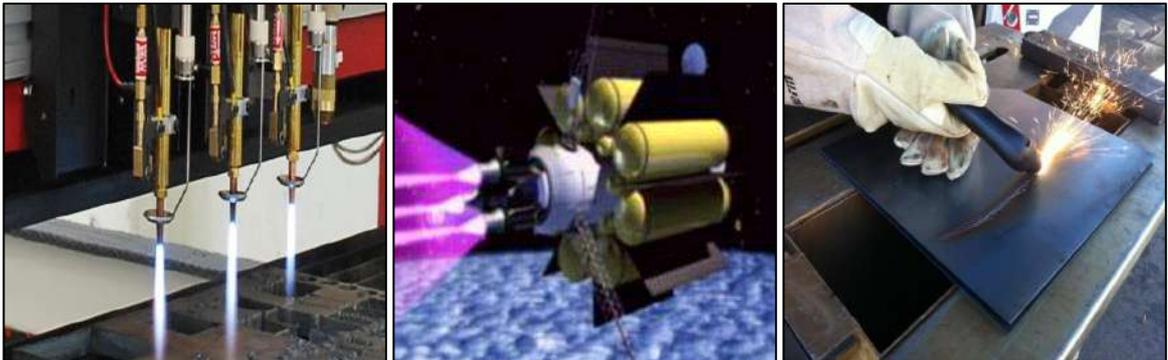


الشكل 6-37 بعض صور البلازما

وقد بينت الابحاث ان (99%) من الكون في حالة بلازما بدءا من الشمس والنجوم والرياح الشمسية، وتظهر البلازما في الطبقة العليا للغلاف الجوي بسبب التأين الذي تسببه الاشعة فوق البنفسجية وأشعة (X) الشمسية وتكون أعلى كثافة للالكترونات والايونات في طبقة الايونوسفير التي تظهر في الغلاف الجوي عند ارتفاع (50 km) ممتدة حتى نهايته.

9-6 بعض تطبيقات البلازما:

1. تصنيع شاشات العرض التلفزيونية.
2. البلازما في المصابيح حيث يوجد هناك من حيث المبدأ نوعان من المصابيح التي تعتمد البلازما مصدراً لها، الأول هو مصابيح النيون والثاني مصابيح الفلورسنت.
3. الحصول على الطاقة من خلال الاندماج النووي الحراري للبلازما.
4. الطلاء بالبلازما التي تفيد بالتقليل من تأثير درجات الحرارة المرتفعة على سطوح وسائط النقل وخصوصاً الطائرات حيث ترش البلازما بوساطة الانسان الالي بدرجات حرارة عالية لتشكيل طبقات العزل الحراري للمركبات الفضائية والطائرات والمحركات.
5. معالجة النفايات المنزلية والصناعية من خلال فرز العناصر المكونة لها.
6. تستعمل بعض المركبات الفضائية والاقمار الصناعية صواريخ البلازما للحركة في الفضاء أو لتعديل موقعها.
7. تطبيقات طبية: حيث يتم استعمال الامواج المتولدة في البلازما في مجال تفتيت الحصى الكلوية بوساطة جهاز الموجات الصادمة، التعقيم الطبي، تصنيع السيراميك الطبي وتطبيقات اخرى.
8. البلازما مادة كيميائية جيدة لتنظيف السطوح ويستعمل أيضاً في التحليل الكيميائي.
9. الاقواس الكهربائية في لحام المعادن وقطعها وشغلها.. الخ لاحظ الشكل (6-38).



الشكل 6-38 بعض تطبيقات البلازما

هل تعلم؟
انه يمكن استخدام اشعة الليزر المركزة لأنتاج البلازما عند درجات حرارة عالية جدا داخل المختبر وبكلفة قليلة ولهذا النظام العديد من التطبيقات في مجال فيزياء الفلك.

هل تعلم؟
أن أكثر مصادر الطاقة في وقتنا الحاضر هي مصادر (الفحم والبترول) هناك تزايداً عالمي في طلبها ويتوقع أن تقع هذه المصادر في العجز عن تلبية هذا الطلب مع حلول منتصف القرن الحادي والعشرين الحالي، من هنا تتضح الحاجة الى مصدر نظيف وآمن ويستمر لفترة طويلة من الزمن ولعل أحد أهم هذه المصادر هو طاقة البلازما (طاقة الاندماج النووي) .

اسئلة الفصل السادس

- س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:
- 1- يمكن استعمال عملية الضخ الكهربائي عندما يكون الوسط الفعال في الحالة:
 - a. الصلبة
 - b. السائلة
 - c. الغازية
 - d. ليس أي مما سبق
 - 2- يحدث الفعل الليزري عند حدوث انبعاث
 - a. تلقائي فقط
 - b. محفز فقط
 - c. تلقائي ومحفز
 - d. محفز وتلقائي
 - 3- تعتمد عملية قياس المدى باستعمال أشعة الليزر على احد خواصه وهي:
 - a. الاستقطاب
 - b. الاتجاهية
 - c. التشاكة
 - d. احادي الطول الموجي
 - 4- في نظام المستويات الاربعة المستعمل في إنتاج الليزر يتحقق التوزيع المعكوس بين المستويين
 - a. (E_4, E_3)
 - b. (E_2, E_1)
 - c. (E_3, E_2)
 - d. (E_3, E_1)

5- تستعمل طريقة الضخ الضوئي في إنتاج ليزر

a. الياقوت

b. شبه الموصل

c. الكيميائي

d. الهيليوم نيون

6- تكون قدرة الضخ عالية عندما تعمل منظومة الليزر بنظام :

a. مستويين

b. ثلاثة مستويات

c. اربعة مستويات

d. أي عدد من المستويات

7- في نظام ثلاثة مستويات المستعمل في إنتاج الليزر يكون فيه المستوى شبه المستقر هو المستوى

a. E_3

b. E_2

c. E_1

d. كل الاحتمالات السابقة ممكنة

س2 : ما خصائص شعاع الليزر؟

س3 : علل ما يلي

1. لا يتحلل ضوء الليزر عند إمراره خلال موشر زجاجي.

2. يفضل نظام أربعة المستويات على نظام ثلاثة المستويات في الليزر.

3. توضع المادة الفعالة بين مرأتين، إحداهما ذات انعكاسية جزئية والاخرى كلية.

س4 : ما التصوير المجسم (الهيروغليفي) وبماذا يتميز عن التصوير العادي؟

س5 : كيف تصنف الليزرات وما انواعها؟

س6 : اذكر خمسة من تطبيقات البلازما.

س7 : ما الليزر الالهم الذي يستعمل في المجال الطبي؟

س8 : ما المقصود بـ

1- التوزيع المعكوس.

2- التضخم.

3- الليف البصري.

الباب الثاني - الكيمياء

الفصل السابع

النفط الخام

مفردات الفصل:-

- 1-7 النفط الخام
- 2-7 انواع النفط الخام حسب التصنيف العالمي
- 3-7 التركيب الكيميائي للنفط الخام (خليط ومكونات)
- 4-7 إستخراج النفط الخام
- 5-7 نواتج التكرير
- أسئلة

الاهداف السلوكية:-

- بعد اكمال هذا الفصل سيكون الطالب قادراً على الآتي:-
- 1- معرفة أهمية النفط في الاقتصاد العراقي والعالمي
 - 2- معرفة أنواع النفط المستخرج وطبيعته
 - 3- معرفة دور التقنيات الصناعية في تكرير النفط وتحويله الى مشتقاته المختلفة



7-1 النفط الخام:

البتترول يوصف بأنه وقود أحفوري؛ لأنه استغرق ملايين السنين ليتكون وهو من مصادر الطاقة غير المتجددة، مما يعني أنه لا يمكن تعويضه عند استنفاده، ومع استمرار الطلب عليه لن يستمر الوقود الأحفوري لزمان طويل، ولهذا يتم حالياً البحث وبالاحاح عن مصادر بديلة للبتترول والغاز الطبيعي، ويُعدُّ البايوغاز (الغاز الحيوي) بديلاً محتملاً للبتترول.

البتترول (النفط الخام) عبارة عن سائل كثيف قابل للاشتعال، بني غامق أو بني مخضر يوجد في الطبقة العليا من القشرة الأرضية. ويتكون من خليط معقد من الهيدروكربونات وخاصة من سلسلة الألكانات، كما هو مبين في الشكل (1-7).

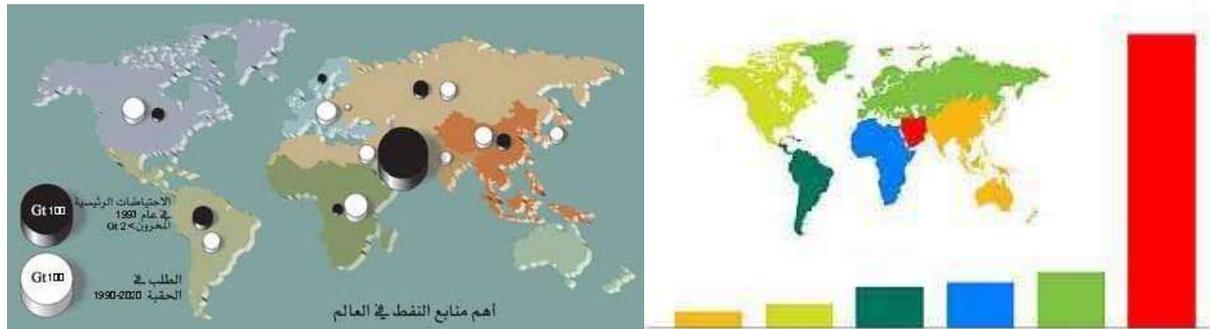


شكل 1-7 النفط الخام (البتترول)

يستعمل في إنتاج الطاقة الكهربائية وتشغيل المصانع وتحريك السيارات، وهو المادة الخام لعدد من المنتجات الكيميائية، بما فيها الأسمدة، ومبيدات الحشرات، والكثير من الأدوات البلاستيكية، والرقائق والانايبب والاقمشة والنايلون والحريير الاصطناعي والجلود الاصطناعية والأدوية.

7-2 انواع النفط الخام حسب التصنيف العالمي:

يطلق على النفط الخام بالبتترول والذي يسمى أيضاً الزيت المعدني هو المصدر الرئيسي للهيدروكربونات وهي مركبات عضوية تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين. يوجد النفط الخام (البتترول) في أماكن متعددة على مستوى العالم من الخليج العربي الى الشرق الاوسط الى نيجيريا في أفريقيا، ومن روسيا في آسيا الى فنزويلا في امريكا الجنوبية، وحتى القطب الشمالي يحوي مخزوناً من البتترول. ويلاحظ مهندسو البتترول، ان المخزون الذي يسهل العثور عليه الآن قد يستنفذ، وأن البحث عن البتترول أصبح يتم في أماكن نائية جداً مثل الصحارى والثلوج القطبية.

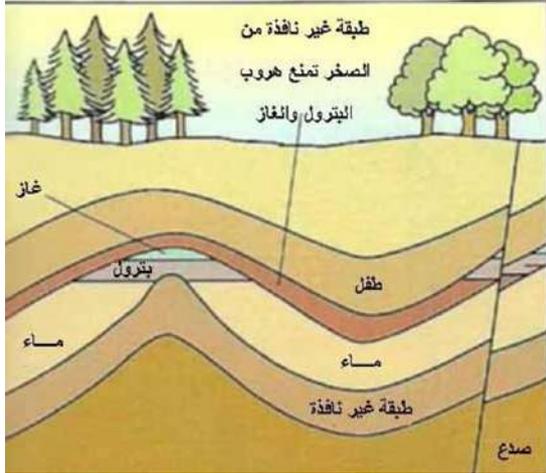


شكل 7-2 اهم منابع النفط الخام في العالم

يصنف النفط الخام تبعاً لمكان المنشأ (مثلاً برنت) أو عن طريق كتلته النوعية أو أن يصنف حسب كثافته، الى نفط ثقيل (Heavy) ونفط خفيف (Light)، وترجع خاصية اختلاف كثافة البتترول الى نسبة الهيدروكربونات الثقيلة فيه، فكلما زادت هذه النسبة زادت كثافة النفط، ويُعدُّ النفط الخفيف

الاکثر طلباً والاکثر سعراً وذلك بسبب إمكانية الحصول على كميات كبيرة من المشتقات البترولية منه وبالذات الكازولين (Gasoline) والذي ويُعد المشتق البترولي الاكثر طلباً في العالم. كما يمكن تصنيف البترول الى **بترول حلو (Sweet)** تكون نسبة الكبريت فيه منخفضة وبترول مر (Bitter) وتكون نسبة الكبريت عالية فيه، والنوع الاكثر طلباً في السوق العالمية.

7 - 3 التركيب الكيميائي للنفط الخام (خليط ومكونات)



تكوّن الوقود الاحفوري والذي يشمل البترول والفحم منذ ملايين الاعوام من كائنات عضوية ميكروسكوبية تسمى القشريات (Crustaceans) كانت تعيش في البحر، وبعد موتها استقرت اجسامها في قاعه، وتغطت على مدار السنوات بالطمي، ما أدى إلى كبسها وعصارتها لتكوين البترول. ينحجز البترول بعد ذلك بين طبقات الصخور، وتسببت حركة القشرة الارضية في طي تلك الطبقات بحيث أصبح البترول محجوزاً في جيوب، كما هو مبين في الشكل (3-7)، وفي كثير من الاحيان ومع استمرار التحلل يتجمع غاز فوق البترول، ويتكون من 90% ميثان ويسمى الغاز الطبيعي، وهو وقود قيم جداً.

شكل 3-7 يبين وجود النفط الخام داخل قشرة الارض

هل تعلم؟

أن الغاز الطبيعي يُعدُّ وقوداً جيداً لانه:

- 1 - يعطي عند احتراقه 25% كاربون أقل من البترول المحترق.
- 2 - لا يبعث أي كبريت الى الهواء على عكس مكونات البترول الاخرى.
- 3 - ينتج غاز CO₂ وبخار الماء عند احتراقه.

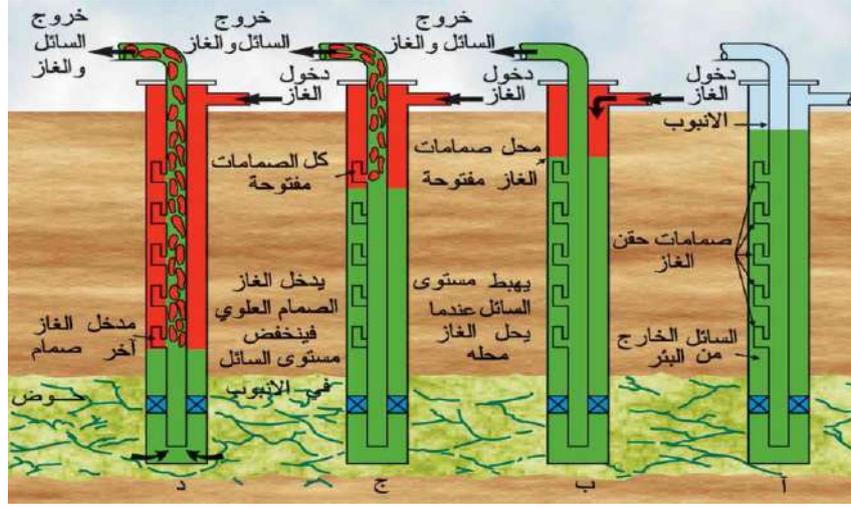
7 - 4 أستخراج النفط الخام:



يتم استخراج البترول أو النفط الخام بواسطة حفر بئر ليصل الى مستودعات البترول تحت الارض وتكون بطريقتين، إما الحفر بالدق وهي طريقة قديمة توقف استخدامها منذ فترة طويلة وتتم بحفر ثقب في الارض بدقها دق متواصل بأداة ثقيلة حادة الطرق ، كما هو مبين في الشكل (4-7).

الشكل 4-7 كيفية استخراج النفط الخام قديماً بواسطة الدق

والطريقة الثانية طريقة الحفر الرحوي وهي طريقة حديثة ومشابهة الى مثقب النجار عند ثقب الخشب حيث يتم الحفر بواسطة آلة تدعى الحفارة تشق طريقها في أثناء دورانها بحركة طاحنة الى اعماق متزايدة من تحت الارض، كما هو مبين في الشكل (5-7).



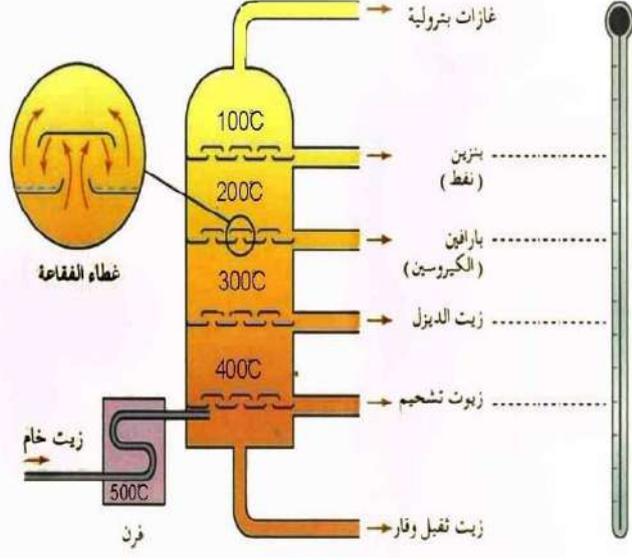
الشكل 5-7 كيفية استخراج النفط الخام

هناك بعض الآبار يصل النفط فيها للسطح بطريقة طبيعية، وبعض الآبار يتم ضخ الماء أو البخار أو خليط الغازات المختلفة للمستودع لإبقاء معدلات الاستخراج الاقتصادية مستمرة. وعند زيادة الضغط تحت الأرض في مستودع الغاز بحيث يكون كافياً، عندها يبدأ النفط الخام بالخروج الى السطح تحت تأثير هذا الضغط، أما الوقود الغازي أو الغاز الطبيعي فغالباً ما يكون متواجداً تحت ضغطه الطبيعي تحت الأرض. في هذه الحالة يكون الضغط كافياً لوضع عدد من الصمامات على رأس البئر بشبكة الانابيب للتخزين، ويسمى هذا استخلاص النفط المبدئي، وخلال فترة حياة البئر يقل الضغط. وعندما يقل الضغط الى حدود معينة لا يكون كافياً لدفع النفط الى السطح، عندئذ يتم استخراج الجزء المتبقي في البئر بطرائق استخراج النفط الإضافية التي يتم فيها استعمال تقنيات مختلفة. وهناك طريقة استخراج النفط التي تعتمد على تقليل كثافة النفط لتعمل على زيادة الانتاج وتستهلك بعد التأكد من جدوى استخدام هذه الطريقة اقتصادياً وما اذا كان النفط الناتج سيغطي تكاليف الانتاج والارباح المتوقعة من البئر أم لا يغطي ذلك. وهي طريقة استخراج النفط حرارياً، وتعتمد على تسخين النفط وجعله أسهل للاستخراج ويكون حقن البخار هي أكثر التقنيات استعمالاً في هذه الطريقة وغالباً ما يتم استخراج النفط حرارياً عن طريق التوليد المزدوج. فكرة عمل التوليد المزدوج هي استعمال توربين (مولد) لانتاج الكهرباء واستعمال الحرارة الناتجة عنها لانتاج البخار الذي يتم حقنه للمستودع.

ولكي يستفاد من النفط الخام يجب فصل مكوناته الى المركبات التي يتكون منها حيث ان لكل مركب خصائصه واستعمالاته، وتعرف عملية الفصل هذه بتكرير النفط ولمعرفة المبدأ الذي تقوم عليه عملية فصل مكونات النفط وكيف تتم هذه العملية في مصفاة النفط الخام.



شكل 7-7 برج التكرير



شكل 6-7 مخطط لبرج التكرير

لو تأملنا الشكلين (6-7)، (7-7) الذي يوضح مخططاً لبرج التكرير في مصفاة النفط، نلاحظ أنه يتم تسخين النفط الخام أسفل البرج الى درجة حرارة اعلى من 400°C بمعزل عن الهواء فيتبخر ويتجزأ الى مقتطعات، ويحدث ذلك في أثناء صعود الابخرة الى أعلى العمود. تكون درجات غليان المقتطعات الثقيلة كزيوت التشحيم أعلى، ومن ثم تكون باردة بدرجة كافية للتحويل مرة أخرى الى سوائل، ويتم مساعدة ذلك التكتيف بإستعمال أغشية الفقاعة التي تسمح بتكثف الابخرة ذات درجات الغليان العالية، وصعود الابخرة ذات درجات الغليان المنخفضة الى أعلى البرج، وكلما صعدت الابخرة المقتطعات الاعلى كانت أخف، وفي البنزين يكون الخفيف لونه اصفر باهت، وهو سائل يحترق بسهولة بلهب نظيف. وبالمقارنة يكون لون المقتطعات الثقيلة (ذات درجات الغليان الاعلى) بنياً قاتماً، وتكون هذه المواد لزجة يصعب اشتعالها وتحترق بلهب ملوث بالسناج (جسيمات دقيقة للكربون). يبين الشكل (8-7) الكميات النسبية لمقتطعات النفط الخام المختلفة.



الشكل 8-7 الكميات النسبية لمقتطعات النفط الخام المختلفة

5-7 نواتج التكرير:

إن نواتج التكرير الاولية هي خليط من عدة مركبات متقاربة في درجات الغليان ويمكن إعادة تقطيرها تجزئياً للحصول على مشتقات لها استعمالات محددة. وتعتبر بعض المركبات التي نحصل عليها بالتكرير أكثر فائدة من غيرها، حيث يوجد سوق أكبر لمركبات البنزين والديزل وزيوت التشحيم والقار، لاحظ جدول (1-7).

جدول 1-7 نواتج تكرير البترول واستعماله اليومي

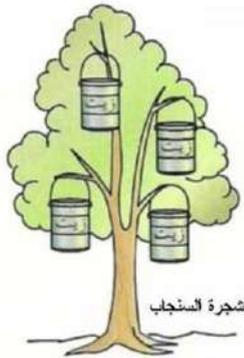
النسب التقريبية		المشتقات النفطية
استخدامه اليومي	المشتق	
5	2	الغازات البترولية
25	5	البنزين
5	10	النفط
10	13	البرافين
25	20	الديزل
15	20	زيت التشحيم
15	30	القار

لذلك طورت شركات البترول طرائق تمكنهم من تحويل الزيوت الثقيلة التي تتكون من جزيئات ضخمة الى مشتقات خفيفة وأكثر فائدة مثل الكازولين والمواد الاولية لصناعة البلاستيك، لاحظ جدول (2-7).

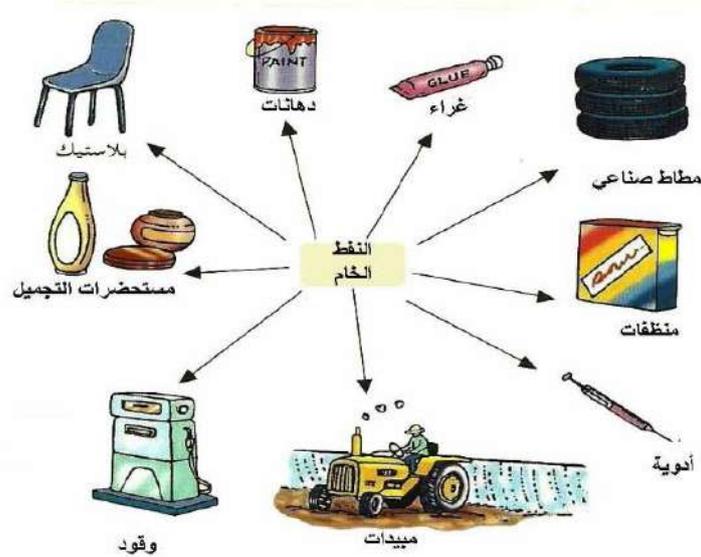
جدول 2-7 يوضح نواتج تكرير النفط الخام وبعض استعمالاتها.

المشتق	درجة الغليان (°C)	حجم الجزيء	الاستخدامات
غازات بترولية	أدنى من 40	حتى أربع ذرات كربون	الميثان للطهي والبيوتان لغاز المخيمات
بنزين وبنفل	40 - 130	4 - 12 ذرة كربون	البنزين للسيارات والبرافين لتشحيم ووقود السفن
زيت برافين (كيروسين)	150 - 200	10 - 16 ذرة كربون	وقود للسيارات النقل والسفن
زيت ديزل	225 - 300	14 - 25 ذرة كربون	تشحيم الماكينات والمحركات
زيت تشحيم	300 - 400	20 - 70 ذرة كربون	يسخن القار مع الرمل والحصى ليصبح قطراناً لرصيف الطرق
قار	أعلى من 400	راسب	

هل تعلم؟

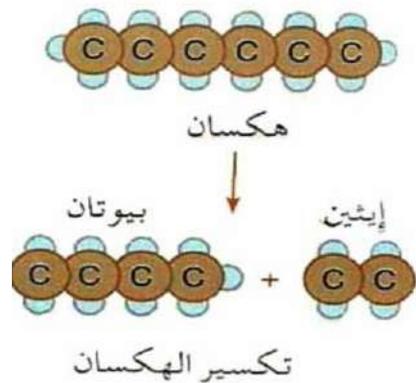


أن هناك نوعاً من الأشجار (اشجار يوفوربيا) تحتوي عصارتها على هيدروكربونات ويمكن ان تستعمل تلك الهيدروكربونات في انتاج البنزين والديزل والبلاستيك، سميت هذه الاشجار باسم شجرة السنجاب لان حيوان السنجاب يبتعد عن عصارتها الزيتية.



الشكل 7-9 يبين أستعمالات النفط الخام

وتسمى تلك العملية تكسيراً وتتم فقط بالتسخين (التكسير الحراري)، أو بمساعدة عامل محفز أو مساعد (التكسير المحفز) وهو الأكثر شيوعاً، ومن العوامل المحفزة هي مسحوق اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 أو اوكسيد السليكون SiO ، توفر تلك المواد مساحة سطحية ساخنة كبيرة لتسريع عملية التكسير دون أن تستهلك هي نفسها في العملية. وتعدُّ الالكانات من أكثر المركبات المكونة للنفط الخام، لذلك تستخدم في عملية التكسير الحراري لانتاج مركبات أخرى، فمثلاً الهكسان وهو الكان يتكون من ست ذرات كاربون فيتكون عادة عند تكسير هذا الجزيء الضخم المشبع، جزيء مشبع أصغر كالبوتان وجزيء غير مشبع كالايثين، ويتكون في كثير من الاحيان غاز الهيدروجين؛ لذلك تعتبر عملية التكسير مصدراً مهماً للهيدروجين وهو مهم جداً كوقود عن طريق خلايا الوقود.



اسئلة الفصل السابع

- س1/ اختر الاجابة الصحيحة فيما يأتي:
- 1 - البترول هو وقود أحفوري لانه:
 - a - تكون منذ ملايين السنين.
 - b - تكون من كائنات حية ميكروسكوبية تسمى القشريات.
 - c - يحتوي على قطع صغيرة من عظام الحفريات.
 - d - يوجد بالقرب من حفريات النباتات والحيوانات.
 - 2 - البترول أو النفط الخام هو:
 - a - مركب كيميائي معقد .
 - b - خليط من مركبات عضوية متنوعة.
 - c - محلول مشبع لغازات عضوية متعددة مذابة في النفط.
 - d - محلول مشبع لمواد صلبة عضوية متعددة مذابة في النفط.
 - 3 - أيُّ مما يلي يعتبر وقوداً متجدداً:
 - a - البايوغاز.
 - b - الفحم.
 - c - الغاز الطبيعي.
 - d - البترول.
 - 4 - يمكن فصل النفط الخام الى مكوناته المختلفة بالتقطير التجزيئي لانه:
 - a - ممتزجة.
 - b - عديمة اللون.
 - c - تذوب في الماء.
 - d - لها درجات غليان مختلفة.
 - 5 - أيُّ من المركبات التالية يستخدم لرصف الطرق، بعد أن يسخن مع الحصى والرمل:
 - a - البنزين.
 - b - القار.
 - c - زيت التشحيم.
 - d - زيت الديزل.
- س2/ يستعمل البترول كمصدر للطاقة (وقود) أو كمادة خام كيميائية.
- a - اذكر أربعة مصادر للطاقة (وقود) من البترول.
 - b - أيُّ مكون هو المادة الخام الكيميائية الرئيسية.
 - c - اذكر أربعة استخدامات للمواد الكيميائية المصنعة من هذا المكون.
- س3/ اذكر ثلاثة انواع من الوقود الاحفوري.
- س4/ ما المكون الرئيسي للغاز الطبيعي، وأين يتواجد؟ ولماذا يعتبر وقوداً جيداً وأفضل من البترول؟
- س5/ عرف ما يأتي:
- 1 - البترول.
 - 2 - التكسير الحراري.
 - 3 - تكرير النفط.
- س6/ تأمل المكونات الآتية:
- النفط، البارافين، الغازات البترولية، القار، الديزل، زيت التشحيم. أي تلك المكونات يلائم الصفات التالية:-:
- 1 - له أقل درجة غليان.
 - 2 - يستعمل لرصف الطرق.
 - 3 - له أطول سلسلة كاربونية.
 - 4 - الاسهل اشتعالاً.
 - 5 - يستعمل كوقود للطائرات.

الفصل الثامن الفلزات والسبائك

مفردات الفصل:-

الفلزات	1-8
الطرائق والاجهزة المستعملة في أستخلاص الفلزات	2-8
الطرائق والاجهزة المستعملة في تنقية الفلزات	3-8
السبائك	4-8
أنواع السبائك	5-8
طرائق صنع السبائك	6-8
أستعمالات السبائك	7-8
بعض أنواع السبائك في البيئة العراقية أسئلة	8-8

الاهداف السلوكية:-

- بعد إكمال هذا الفصل سيكون الطالب قادراً على الآتي:-
- 1- أن يعرف طرائق استخراج الفلزات وطرائق تنقيتها.
 - 2- أن يعرف الأجهزة المستعملة بعملية الاستخلاص.
 - 3- أن يعرف بعض الامثلة اللازمة لعملية تنقية بعض الفلزات.
 - 4- المقارنة بين طرائق الاستخراج.
 - 5- معرفة السبائك وخصائصها وأنواعها.
 - 6- التمييز بين السبائك.
 - 7- معرفة طرائق صناعة السبائك.
 - 8- التعرف على أستعمالات السبائك.



8-1 الفلزات:

هي عناصر كيميائية تميل الى فقدان الالكترونات أثناء التفاعل الكيميائي وتكون أيونات موجبة هذه الايونات تسمى كاتيونات وتحمل شحنة موجبة تساوي عدد الالكترونات التي تفقدها. تتواجد الفلزات في الجدول الدوري بصفة رئيسية في الزمرة الاولى (I) والثانية (II) ومجموعة العناصر الانتقالية، وتزداد الخواص الفلزية كلما اتجهنا أسفل هذا الجدول، أي بزيادة العدد الذري للعناصر، كما هو في الشكل (8-1).

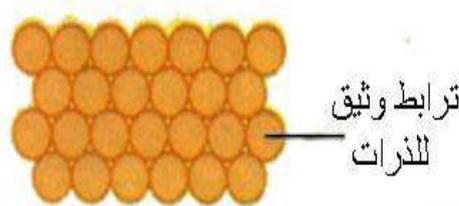
دورة 1			الفلزات الانتقالية													
2	Li	Be											Al	الفلزات		
3	Na	Mg														
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
7	Fr	Ra	Ac													

الشكل 8-1 الفلزات في الجدول الدوري

مثلما عرفت سابقاً أن هناك صفات تميز الفلزات وتجعلها مهمة من الناحية الصناعية ومن هذه الصفات انها تكون:

1 - ذات كثافة مرتفعة ودرجة انصهار عالية.

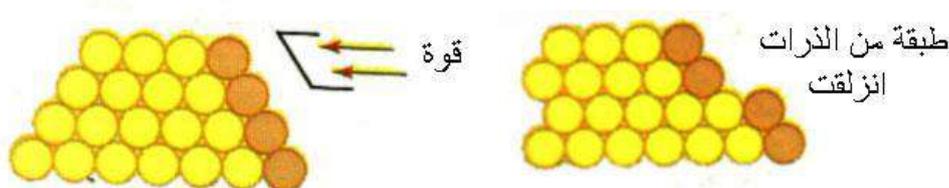
سبب الكثافة العالية للفلزات الترابط بين ذراتها بأواصر قوية تدعى أواصر سكما (σ) تحتاج الى طاقة عالية لتتكسر وهذا يفسر سبب ارتفاع درجات انصهارها، كما هو في الشكل (8-2).



الشكل 8-2

2 - قابلية الطرق والسحب.

تكون قوى التجاذب بين ذرات الفلز قوية، غير أنها ليست صلبة وإنما مرنة تسمح للذرات بالانزلاق فوق بعضها بعضاً عند استعمال قوة مع الفلز، ولذلك يكون الفلز قابلاً للطرق والسحب، كما في الشكل (8-3).

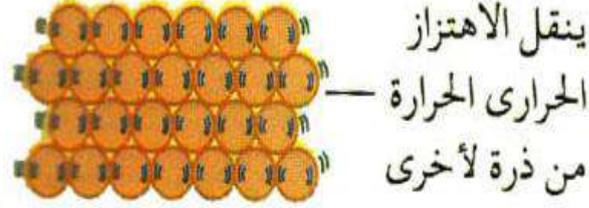


الشكل 8-3b

الشكل 8-3a

3 – قابلية التوصيل الحراري.

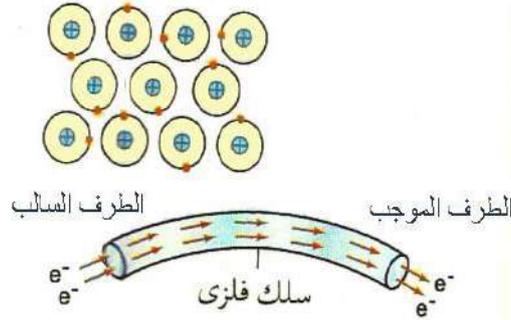
يمكن ان تنتقل الطاقة الحرارية من ذرة الى التي تليها بالاهتزاز، حيث تكون الذرات قريبة من بعضها الآخر، مما يجعل الفلزات موصلًا جيداً للحرارة، وتساعد إلكترونات التكافؤ الحرة على توصيل الحرارة أيضاً، كما هو في الشكل (4-8).



الشكل 4-8

4 – قابلية التوصيل الكهربائية.

كما عرفت أن الكهربائية هي سيل متحرك من الإلكترونات. فعند توصيل فلز في دائرة كهربائية نحو الطرف الموجب تتحرك الإلكترونات التكافؤ الخارجية الحرة للفلز ويحل محلها إلكترونات من الطرف السالب. وهذا يبين قابلية التوصيل الكهربائية للفلزات، كما هو في الشكل (5-8).



الشكل 5-8

أكثر من 75% من عناصر الجدول الدوري فلزات، وهي تتميز عموماً بأن لها بريقاً معدنياً وصلبة وقوية وموصلات للحرارة والكهربائية، وتوجد عناصر استثنائية مع معظم الصفات الفلزية، ومع ذلك فإن الصفة الوحيدة المشتركة لكل الفلزات أنها تكون ايونات موجبة. والجدول (1-8) و (2-8) و (3-8) تبين بعض خواص الفلزات، **(للاطلاع فقط).**

جدول 1-8

الخواص الطرفية في الفلزات		
الأخف	الليثيوم (Li) كثافته	0.53g/mL
الأثقل	الأوزمونيوم (Os) كثافته	22.48g/mL
الأكثر هشاشة	المنغنيز (Mn) والكروم (Cr) هما الأكثر قابلية للتقصيف	
أدنى درجة انصهار	الزئبق (Hg) درجة انصهاره	-38.9 C°
أعلى درجة انصهار	تنكستن (W) درجة انصهاره	+3410C°
الأكثر ثمناً	بلاتين (Pt) له أعظم قيمة تجارية	
الأكثر ندرة	راديوم (Ra) أندر فلز طبيعي في الأرض	
الأكثر وفرة	المنيوم (Al) يشكل أكثر من 8% من القشرة الأرضية	

جدول 2-8

أفضل أمثلة	المعنى	الخاصية الفلزية
		للفلزات أعلى :
Pb, Hg	كتلة لكل وحدة حجم	كثافة
Fe, Cr	قوة الفلز تحت الضغط	قوة شد
Zn, Al	مقاومة الفلز للتآكل	قوة تحمل
Cu, Ag	إمكانية تحويله إلى شرائح	قابلية للطرق
Cu, Mg	إمكانية تحويله إلى أسلاك	قابلية للسحب
Na, Al	إمكانية توصيله للحرارة	قابلية لتوصيل الحرارة
Cu, Ag	إمكانية توصيله للكهرباء	قابلية لتوصيل الكهرباء
Cu, Ag	إمكانية إنتاج صوت عند طرقه	رنين

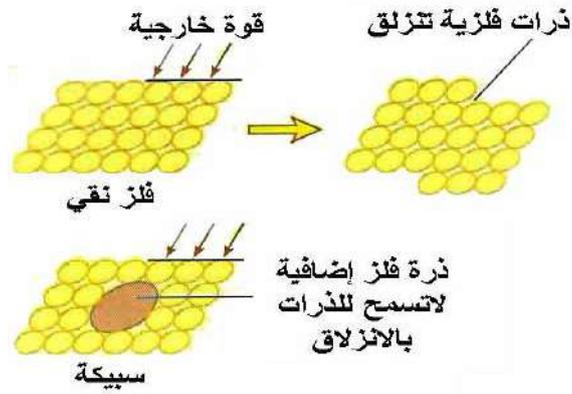
جدول 3-8

بعض خواص الفلزات						جدول (1-2)
الأيون المتكون	قابلية التوصيل الكهربائية	الكثافة g/mL	درجة انصهار الفلز C°	درجة الانصهار C°	الحالة	الفلز
Al ³⁺	0.38	2.7	2470	660	S	المنيوم
Ca ²⁺	0.22	1.5	1487	850	S	كالمسيوم
Cu ²⁺	0.59	8.9	2595	1083	S	نحاس
Au ¹⁺	0.42	19.3	2970	1063	S	ذهب
Fe ²⁺	0.10	7.9	3000	1535	S	حديد
Pb ²⁺	0.05	16.3	1744	327	S	رصاص
Mg ²⁺	0.22	1.7	1110	650	S	مغنيسيوم
Hg ²⁺	0.01	13.6	357	-39	S	زئبق
Ni ²⁺	0.16	8.9	2730	1453	S	نيكل
Pt ³⁺	0.09	21.4	4530	1769	S	بلاتين
K ¹⁺	0.14	0.86	774	64	S	بوتاسيوم
Ag ¹⁺	0.62	10.5	2210	961	S	فضة
Na ¹⁺	0.22	0.97	890	98	S	صوديوم
Sn ²⁺	0.08	7.3	2270	232	S	قصدير
Zn ²⁺	0.17	7.1	907	420	S	خارصين

هل تعلم؟

إن أطول قطعة فلز متصلة هي كابل من النحاس طوله 5000 km تم مده تحت المحيط الاطلسي عام 1886، وكان بداية الاتصال التلغرافي المباشر بين بريطانيا وأمريكا.

ويمكن في كثير من الاحيان تحسين أو تغيير خواص فلز معين عن طريق خلطه مع فلز آخر. تدعى مخاليط الفلزات هذه بالسبائك (Alloys)، كما هو في الشكل (6-8).



الشكل 6-8 تركيب الفلزات والسبائك

أيونات (ثابتة)	K Na Ca Mg Al Zn Fe Pb H Cu Hg Ag Pt	ماء بارد بخار ماء أحماض مخففة أحماض مركزة
نقص في (الفاعلية)		ذرات (مستقرة)

تعتمد استقرارية المركبات الفلزية على سلسلة النشاط للفلزات، حيث تترتب فيها الفلزات الأكثر نشاطاً عند القمة والأقل عند القاعدة. فتميل الفلزات النشيطة الى تكوين أيونات موجبة بسهولة، كما هو في الجدول (4-8). وذلك بفقدائها إلكترونات وتكوين مركبات، أما الفلزات غير النشيطة فتفضل البقاء في صورة غير متحدة كصورة العنصر نفسه. لاحظ الشكل (7-8) الذي يبين سلسلة النشاط للفلزات.

الشكل 7-8 سلسلة النشاط للفلزات

الجدول 4-8 سلسلة الفاعلية (النشاط) الكيميائية للفلزات (للاطلاع فقط)

الفلز مع الحمض	الفلز مع الماء أو البخار	الفلز
يتفاعل بشدة مع الأحماض المخففة	يتفاعل مع الماء البارد	بوتاسيوم صوديوم كالمسيوم
يتفاعل مع الأحماض المخففة بسهولة متناقضة	يتفاعل مع البخار	مغنيسيوم المنيوم خارصين حديد
يتفاعل فقط مع الأحماض المركزة	لا يتأثر بالماء أو البخار	رصاص هيدروجين نحاس زئبق فضة بلاتين

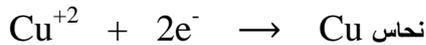
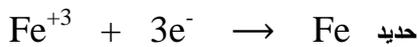
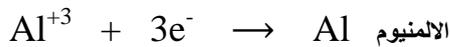
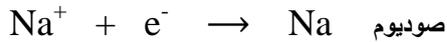
8 - 2 الطرائق والاجهزة المستعملة في أستخلاص الفلزات:

لقد سبق اكتشاف الفلزات الموجودة في ادنى سلسلة النشاط (الاقل نشاطاً) في الطبيعة واستعمالها من قبل البشرية، والفلزات في اعلى السلسلة (الاكثر نشاطاً). فالفلزات الاقل نشاطاً مثل الذهب والفضة والنحاس تتواجد حرة في الطبيعة وبالتالي تم اكتشافها مبكراً. في حين أن معظم الفلزات الاخرى مثل الصوديوم Na والكالسيوم Ca والالمنيوم Al تتواجد متحدة مع عناصر أخرى على شكل مركبات في الصخور المكونة للقشرة الارضية، ما أدى الى تأخر اكتشافها.

إن الصخر الذي يحوي كمية كافية من مركبات الفلز تجعل استخلاصه مُجدياً اقتصادياً يدعى خاماً. وتعد تفاعلات الاستبدال (الإحلال) وتفاعلات التأكسد والاختزال (فقدان واكتساب الاوكسجين) من الطرائق المهمة المستخدمة في استخلاص بعض الفلزات من مركباتها، حيث يَطْرُدُ فيها الفلز الاكثر نشاطاً الفلز الاقل نشاطاً من مركباته، فيفصل هذا الفلز بهيئة عنصر حر، ولكي تكون هذه العملية مجدية اقتصادياً فإنه يشترط أن يكون الفلز الانشط رخيص الثمن (اي أرخص من الفلز المراد استخلاصه).

فمثلاً برغم ان الالمنيوم ينتزع الحديد على شكل فلز حر في تفاعل الثرميت الا أن الالمنيوم أعلى ثمناً من الحديد، ما يجعل استخدام هذا التفاعل في استخلاص الحديد من خاماته غير مجدٍ اقتصادياً. استخلاص الفلزات من خاماتها مهم جداً في التقدم الصناعي. ومن أهم الفلزات المستخدمة حالياً في الصناعة الصوديوم والحديد والالمنيوم والنحاس والمنغنيز. ولا تقتصر عملية استخلاص الفلزات على تفاعلات الاستبدال او الاكسدة والاختزال للاوكسجين وانما هناك طرائق أخرى اعتماداً على موقع الفلز في سلسلة النشاط التي ذكرت آنفاً.

وبما أن مركب أي فلز (الخام) في أعلى السلسلة يكون أكثر من أي فلز آخر في أسفلها، لذلك يكون استخلاص الصوديوم من كلوريد الصوديوم أصعب من استخلاص النحاس من خام النحاس. يكون كلوريد الصوديوم مستقرًا جداً عند التسخين ويتحول الى كلوريد صوديوم منصهر عند قرابة 801°C يحدث ذلك لان ايونات الصوديوم تكون مستقرة للغاية. ولكن يمكن الحصول على فلز الزئبق بمجرد تسخين خامه لان أيونات الزئبق ليست مستقرة تماماً. في كل مرة يستخلص فيها الفلز من خامه، يتضمن ذلك اختزال الفلز لان الفلز يكون بهيئة أيون في الخام. ولكي يستخلص كفلز يجب أن يكتسب إلكترونات وهو ما يسمى بالاختزال. كما توضح ذلك المعادلات أناده.



تتطلب الفلزات الموجودة أعلى سلسلة النشاط اختزالاً قوياً لأكاسيدها ويتحقق ذلك عادةً بالتحليل الكهربائي. يمكن اختزال العناصر الموجودة وسط السلسلة كالحديد بالتسخين الشديد مع عامل مختزل كفحم الكوك، ويسمى ذلك بالصهر، ويتم استخلاص الفلزات الاقل نشاطاً كالزئبق بمجرد التسخين. ويعطي الجدول (5-8) ملخصاً لتلك المعلومات.

جدول 5-8 كيفية استخلاص الفلزات من خاماتها

الفلز	الخام الرئيسي	المكون الكيميائي الرئيسي	طريقة الاستخلاص
البوتاسيوم	كارناليت	$KMgCl_3$	استخلاص
الصوديوم	ملح الصخور	$NaCl$	إلكتروليتي؛ يترسب
الكالسيوم	طباشير، حجر جيري	$CaCO_3$	الفلز على الكاثود
المغنسيوم	دولوميت	$CaMg(CO_3)_2$	
الألمنيوم	بوكسيت	Al_2O_3	
الخصائص	ركائز الحارصين	ZnS	الاستخلاص
الحديد	هيماتيت	Fe_2O_3	بالتسخين مع فحم
القصدير	حجر القصدير	SnO_2	الكوك في فرن
الرصاص	الجالينا	PbS	
النحاس	بيريت النحاس	$CuFeS_2$	
الزئبق	سنيابار	HgS	تحميص الخام بالتسخين فقط

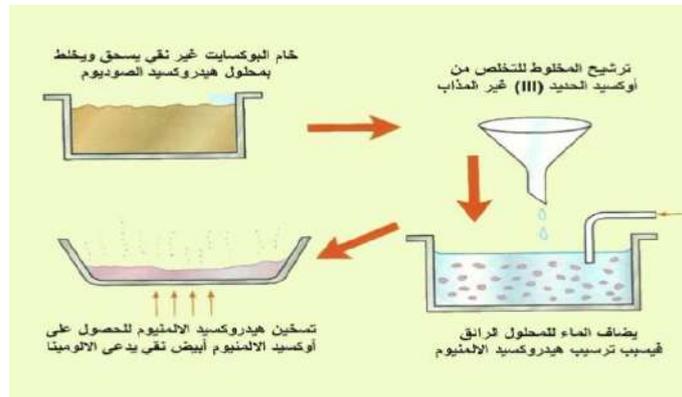
8 - 3 الطرائق والاجهزة المستعملة في تنقية الفلزات:

نظراً لمحدودية موارد بعض الخامات ولكون الكثير من الخامات الباقية من نوعية رديئة، يكون من الضروري في كثير من الاحيان تركيز الخام ليصبح استخلاص الفلز ذا جدوى اقتصادية وأكثر نقاوة. انظر الجدول (6-8).

جدول 6-8 موارد بعض الفلزات

الفلزات	المستويات التقديرية لها إذا تم تعدينها بالمعدل الحالي	% الفلز في الخام
الالمنيوم	225	28
النحاس	45	0.5
الذهب	25	90
الحديد	195	60 - 30
الخصائص	27	30 - 10

فالبوكسايت هو الخام الرئيسي لاستخلاص الالمنيوم منه، ولكن يجب تنقيته أولاً قبل استخلاص الالمنيوم بالتحليل الكهربائي، حيث يُنقى خام البوكسايت بعد تعدينه وإذابته في هيدروكسيد الصوديوم. كما هو في الشكل (8-8).



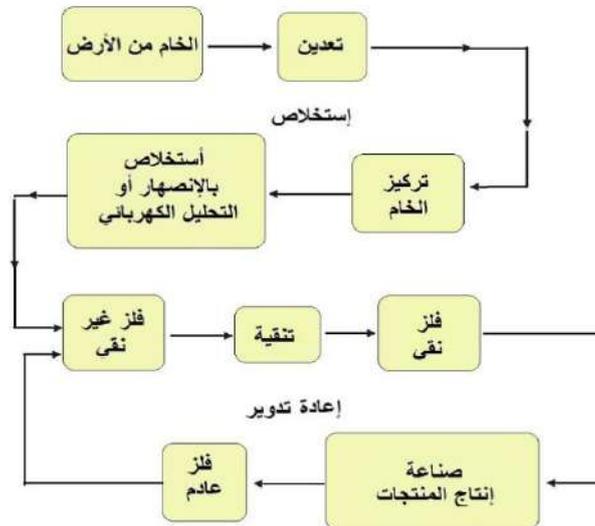
الشكل 8-8 طريقة استخلاص الالمنيوم من خامه

أما الشوائب فلا تذوب بل يتم ترشيحها والتخلص منها. يترسب أكسيد الألمنيوم الذائب بعد ذلك كهيدروكسيد الألمنيوم عن طريق التخفيف بالماء، ثم يتم تسخينه ليتكون أكسيد الألمنيوم (ألومينا) أبيض ونقي والذي يستخلص الألمنيوم منه بعد ذلك بالتحليل الكهربائي. إن معظم خامات النحاس تكون ذات نوعية رديئة تحوي نسبة صغيرة من المعدن المطلوب. تسمى إحدى طرائق تركيز خامات النحاس (تعويم الرَبْد) والتي تتضمن سحق الخام الرديء، وخلط المسحوق مع الزيوت والماء. وبما أن خام النحاس يكون أخف من الشوائب فإنه يتعلق بالزبد المتكون ويطفو على السطح حيث يمكن قشده. وتغوص الشوائب الأثقل الى القاع حيث يتم التخلص منها كمواد فائضة. ولكن هذه العملية تستهلك كميات ضخمة من الماء يتوجب التخلص منها. فيستخدم 500 طن ماء لإنتاج طن واحد من النحاس النقي.



هل تعلم؟
الفرن النفاخ يعمل 24 ساعة يومياً 365 يوماً في السنة. ويمكن ان ينتج 10000 طن حديد يومياً. يجب تجديد بطانة الفرن كل ثلاث سنوات وهو الوقت الوحيد الذي يُغلق فيه الفرن.

ويمكن معرفة كيفية استخلاص بعض الفلزات، وإعادة تدوير الفلزات من خلال المخطط الموضح في الشكل (8-9) الذي يوفر كلاً من الطاقة والموارد الطبيعية.



الشكل 8-9 مخطط كيفية استخلاص الفلزات وإعادة تدويرها

4-8 السبائك:

عرفت عزيزي الطالب في دراستك السابقة الفلزات وخصائصها واختلافاتها من الناحية الفيزيائية والكيميائية هنا سوف تعرف نوعاً آخر هي السبائك وأنواعها.

فالسبيكة هي عبارة عن خليط متكون من فلز وعنصر آخر على الأقل حيث تحتوي معظم السبائك على كمية كبيرة من الفلز الرئيسي أو الفلز الأساس وكميات أقل من المكونات الأخرى التي قد تكون فلزات أو لافلزات مثل الكربون والسليكون.

اكتشف الانسان السبائك في الطبيعة خلال عصور ما قبل التاريخ واشتملت هذه السبائك على نيازك الحديد وخليط الذهب والفضة في قاع الانهار، اذ يعتقد أن أول سبيكة صنعها الانسان هي البرونز والتي تتكون من النحاس والزرنيخ ثم اكتشف بعد ذلك القصدير و وضع مع النحاس فنتج نوعاً جيداً من البرونز ثم بدأت صناعة الادوات والحلي والاسلحة حيث تمتاز سبيكة البرونز بأنها أصلب من النحاس وأكثر قابلية للصر والقولبة بأشكال مفيدة.

إن طرائق تكوين السبائك مختلفة من سبيكة الى اخرى حيث تعتمد هذه الطرق على درجة انصهار المواد المتكونة منها وكذلك على درجة انجمادها حيث يمكن التحكم في خواص المواد المكونة للسبيكة بواسطة المعاملات الحرارية لكل مادة.

8-5 انواع السبائك:

بما أن السبائك تتكون من بلورات دقيقة تسمى بالحبيبات حيث تتراص ذرات كل حبيبة في ترتيب هندسي معين لذلك قسمت الى نوعين.

1-سبائك الطور الواحد: حيث تتكون من حبيبات ذات تركيب متشابه، يذوب فلز في فلز آخر بنفس الطرائق التي يذوب فيها الملح مع الماء مثل سبيكة النحاس والنيكل بخلطهما بنسب معينة في طور واحد.

2-السبائك المتعددة الاطوار: تتكون هذه السبائك من عدة أنواع من الحبيبات ممترجة بعضها ببعض حيث تترايط الذرات المختلفة معاً لتكوين مركبات قوية ومستقرة مثل الفولاذ.

تمتاز السبائك بالخصائص الآتية:

- 1- أنها أقوى وأصلب (أصلد) من الفلزات المكونة لها.
- 2- ذراتها تمتاز بدرجات انصهار أقل من درجات انصهار الفلزات النقية (حيث يصعب طرقتها الى أشكال مختلفة أو طيها على شكل ألواح أو سحبها على شكل اسلاك).
- 3- معظم السبائك أقل قابلية للتشكل ولكن هناك بعض السبائك الفائقة اللدونة ذات قابلية كبيرة للتشكل .
- 4- القليل من السبائك تكون جيدة التوصيل للكهرباء ولكن تم صنع سبائك فائقة التوصيل للكهربائية.

8-6 طرائق صنع السبائك :-

هناك طريقتان لصناعة السبائك وهي :-

a- الطريقة المباشرة: ويكون ذلك بمزج منصهرات الفلزات المراد صنع السبيكة منها مع بعضها مباشرة فتتصلب هذه المنصهرات وتكون السبيكة المطلوب صناعتها.وهي الطريقة الاسهل نوعاً ما.

b- الطريقة غير المباشرة: وتقسم هذه الطريقة الى الآتي:-

1- الطريقة ذات المرحلة الواحدة:- وفيها يصهر الفلز الاساس الموجود بنسبة كبيرة في السبيكة أولاً ثم بعد ذلك يضاف اليه الفلزات الاخرى، والتي يجب أن تذاب في منصهر الاساس كلياً ولكن اذا تعسر الذوبان فلا يمكن صنع السبيكة بهذه النسب.ومثال على هذه الطريقة هي سبيكة اللحام (القلاي) حيث يتم صهر الرصاص أولاً ثم يذاب فيه فلز القصدير ويمزجان جيداً ثم يصب هذا المزيج على شكل وهنية قضبان.

2- الطريقة ذات المرحلتين:- وتقتضي هذه الطريقة بتصنيع سبيكة اولية بنسب معينة لها درجة انصهار معينة ومن ثم تتم إضافة وزن معين ومعلوم من منصهرالفلز المراد إدخاله لتصنيع السبيكة النهائية والحصول على النسب المرغوبة.وتخضع السبيكة الناتجة بعد الانتهاء من صنعها ومهما كانت طريقة

صنعها الى تحليل كيميائي دقيق قبل عرضها للاسواق لتعيين نسب مكوناتها لغرض التأكد من مطابقتها للمواصفات المطلوبة.

هل تعلم؟

أن هناك طريقة متطورة في صناعة السبائك حيث تم من خلالها التوصل الى سبائك ذات خصائص مثالية.



شكل 8-10 بعض الحلي المصنوعة من السبائك

7-8 أستعمالات السبائك:

- 1- تستعمل بعض السبائك في صناعة صمامات دائرة التبريد وأنظمة الكشف عن الحرائق.
- 2- تستعمل سبائك معينة في مجال الطب مثل الحشوات والجسور في صناعة الاسنان وجهاز السلك الطبي الموجه.
- 3- تستعمل بعض السبائك في صناعة هياكل الطائرات.
- 4- تستعمل السبائك في صناعة الدعامات في بعض الابنية وهياكل الجسور.
- 5- تستعمل بعض السبائك في صناعة الادوات المطبخية ومعدات الصناعات النفطية ومحطات توليد الكهرباء.

ومن أمثلة على بعض السبائك الشائعة هي:

- 1- سبائك الحديد مثل الفولاذ وهي من أشهر السبائك المستعملة.
- 2- سبائك النحاس والنيكل أو النحاس والقصدير والكوبلت.
- 3- سبيكة الرصاص مع القصدير.
- 4- سبيكة الالمنيوم والنحاس والمنغنيس والمغنيسيوم (المستعملة في صناعة هياكل الطائرات).

8-8 بعض أنواع السبائك المستعملة في البيئة العراقية:-

- 1- تستعمل السبائك في تصنيع النقود كما كان متداولاً فيها بالعراق قبل سنوات مثل (عملة فئة 5 فلوس وتتكون من النحاس والنيكل بنسب معينة وبوزن معين) و (عملة فئة 10 فلوس وتتكون سبيكتها من النحاس والنيكل وبنسب معينة وبوزن معين أيضاً) و(عملة فئة 25 فلوساً وتتكون سبيكتها من الفضة والنحاس وبنسب متساوية وبوزن معين).
- 2- سبيكة الرصاص والتي تستعمل في صناعة اللحام وصناعة البطاريات السائلة ومكابس السوائل وفي صناعة أحرف الطباعة.
- 3- الفولاذ المقاوم للصدأ وهي سبيكة تستعمل بنطاق واسع في محطات توليد الطاقة الكهربائية والصناعة النفطية والصناعات الكيماوية وللإستخدامات في الأواني والمعدات المنزلية.

هل تعلم؟

أن الحديد في حالته النقية أكثر ليونة من الالمنيوم وتزداد صلابته بإضافة العناصر السبائكية كالكاربون بنسب معينة فيتكون سبيكة الصلب وهي أقوى بالف مرة من الحديد النقي.



شكل 8-11

اسئلة الفصل الثامن

- س1/ اختر الاجابة الصحيحة من العبارات الآتية:
- 1- الفلز الذي يمكن أستخلاقه من خامه بالتسخين هو:
a - الصوديوم. b - الزئبق. c - الالمنيوم. d - الكالسيوم.
 - 2- أي الاكاسيد الآتية يمكن اختزاله بالكاربون؟
a - أكسيد الالمنيوم. b - أكسيد الرصاص.
c - أكسيد الكالسيوم. d - أكسيد المغنسيوم.
 - 3- الفلز الذي يوجد عند قمة سلسلة النشاط:
a - يفقد إلكترونات بسهولة.
b - يكون مركبات غير ثابتة.
c - يحترق لتكوين أكسيد حامضي.
d - يكون أكسيداً من السهل احتزاله بالكاربون.
 - 4- عند التحليل الكهربائي لمنصهر كلوريد الصوديوم NaCl، فإن ما يحدث عند الانود هو:
a - تأكسد Cl^- b - اختزال Cl^-
c - تأكسد Na^+ d - اختزال Na^+
 - 5- استخلاص الفلزات من خاماتها (تحويلها من أيونات الى عناصر) يتضمن دائماً:
a - أكسدة b - اختزال c - تحليل كهربائي d - تسخين مع الفحم.
 - 6- السبائك تتكون من الآتي:
a - الفلزات فقط b- الفلزات ولافلزات c- الفلزات والماء
 - 7- الفولاذ أحد سبائك:
a- القصدير b - الكربون c - الحديد
 - 8- السبيكة تكون:
a- أقل صلابة من مكوناتها b- أكبر صلابة من مكوناتها c- ليس لها صلابة
 - 9- تستعمل سبيكة الالمنيوم في صناعة الآتي:
a - الكيماويات b- المواد البتروكيميائية c- هياكل الطائرات
 - 10- السبيكة تتكون من مواد:
a- صلبة b- سائلة c - غازية
- س2/ عرّف السبيكة وأعطِ مثالاً لها؟
- س3/ عدد استعمالات السبائك.
- س4/ ما مميزات السبائك؟
- س5/ ما أنواع السبائك؟
- س6/ ما سبيكة البرونز؟
- س7/ ما طرائق صنع السبائك؟
- س8/ أذكر نوعين من السبائك المستعملة في البيئة العراقية مع ذكر مكان أستعمالها؟
- س9/ أذكر الصفات العامة للفلزات والتي تجعلها مهمة من الناحية الصناعية؟
- س10/ أي الفلزات تستعمل بصورة أكثر من غيرها؟
- س11/ هل يمكن إعادة تدوير الفلزات؟ أذكر المراحل الخاصة بذلك.