## الضوء

**الضوء :هو ذلك الشعاع الذي يؤثر في العين فيسبب الرؤية أو الإبصار. والضوء أحد صور الطاقة كالطاقة الحرارية، الطاقة الميكانيكية، الطاقة الكهربية. ومن الممكن أن تتحول الطاقة الضوئية إلى أي نوع من الأنواع المعروفة للطاقة محافظاً علي مبدأ بقاء الطاقة. ومن خصائص الضوء الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب والتشتت.**

**ومنذ بدأ الخليقة والإنسان يحاول أن يفسر الظواهر الفيزيائية المحيطة به ومنها الضوء. وقد حاول الإغريق تفسير الضوء والإبصار بأن فرضوا أن الضوء عبارة عن جسيمات صغيرة تامة المرونة تخرج من العين وتسقط علي الجسم وتسبب الإحساس بالرؤية، وواضح أن هذا التفسير خطأ ولو كان صحيحاً لاستطاع الإنسان أن يري في الظلام. لكن من خلال التطور التاريخي لعلم الضوء ومن المحاولات المستمرة لتفسير المشاهدات ونتائج التجارب المتتالية ظهرت بعض النظريات ألأساسية لابد من الإشارة إليها.**

## النظرية الجسيمية لنيوتن

**أفترض نيوتن أن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة جداً (كروية) وتامة المرونة تنبعث من المصدر الضوئي وتسير بسرعة ثابتة كبيرة جداً في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس الواحد وعندما تسقط علي الجسم المرئي فإنها تصطدم به طبقاً لقوانين التصادم المرن وترتد من الجسم لتسقط علي العين وتسبب الإحساس بالرؤية.**

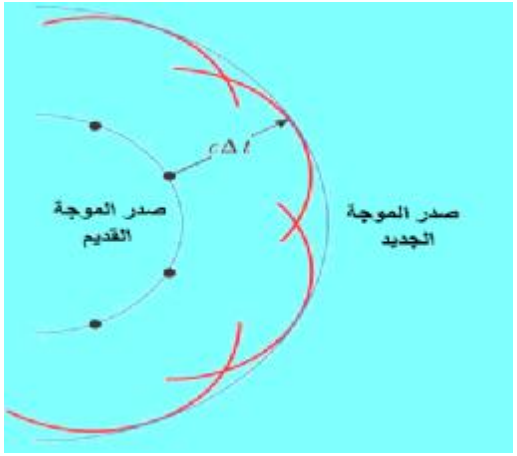


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وقد استطاع نيوتن باستخدام نظريته في تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار، مع العلم بأنه عند تفسير ظاهرة الانكسار أفترض أن سرعة الضوء في المادة أكبر منها في الفراغ "كما في حالة سرعة الصوت" ولكن ثبت بعد ذلك أن هذا الفرض خطأ وأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة. وفشلت النظرية الجسيمية لنيوتن في تفسير ظاهرة التداخل والحيود والاستقطاب.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءًا علي النظرية الجسيمية لنيوتن يسمي بالضوء الهندسي **Geometrical optics** وفيه ندرس خاصية انتشار الضوء في خطوط مستقيمة وكذلك خواص الانعكاس **Reflection** والانكسار **Refraction** والتشتت **Scattering** للضوء.

## النظرية الموجية لهيجنز Huygens Principle




فرض هيجنز أن الضوء ينتشر على شكل موجات مستعرضة تنتشر من المصدر الضوئي في جميع الاتجاهات. كما فرض أن صدر الموجة عبارة عن كرة مركزها المصدر الضوئي وأن كل نقطة علي صدر الموجة تعمل عمل مصدر ثانوي يشع المويجات في جميع الاتجاهات كما هو موضح بالشكل المجاور.

وترتبط سرعة الموجة الضوئية $c$ بقيمة كل من التردد $\upsilon$ والطول الموجي لها $l$ من خلال العلاقة :

$$c = \lambda\upsilon$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ونجحت النظرية الموجية لهيجنز في تفسير ظواهر الضوء المعروفة عندئذ الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب. ولكنها فشلت في تفسير الظاهرة الكهروضوئية.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءًا علي النظرية الموجية لهيجنز يسمي بالضوء الفيزيائي **Physical Optics** وفيه ندرس الخواص الموجية للضوء مثل خاصية التداخل **Interference** والحيود **Diffraction** والاستقطاب **Polarization** للضوء.

## النظرية الكمية للضوء "نظرية الفوتون" Photon Theory :

في بداية القرن العشرين ١٩٠٥ نجح اينشتين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية بالعودة إلي النظرية الجسيمية وفرضه أن الضوء عبارة عن جسيمات " أو كمات " وسمي كل جسيم "أو كمه" بالفوتون. فأصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الضوء، هل هو موجة أم جسيم.وظل هذا الغموض حتى عام ١٩٢٤ عندما تقدم العالم الفرنسي لويس دي برولي "**Louis de Broglie**" بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للمادة.

وفيها أوضح أن للضوء صفة مزدوجة فهو يسلك سلوك موجة تحت بعض الظروف (مما يتفق ونظرية هيجنز)، ويسلك سلوك جسيم أو فوتون تحت ظروف أخرى (مما يتفق مع نظرية نيوتن).وتتلخص الخاصية الثنائية لدي برولي في أن الجسيم والموجه وجهان لعملة واحدة. فكما يمكن معاملة الموجة الكهرومغناطيسية "ومنها الموجة الضوئية" ذات التردد $\upsilon$ على أنها جسيم "فوتون" له طاقة $E$ حيث:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

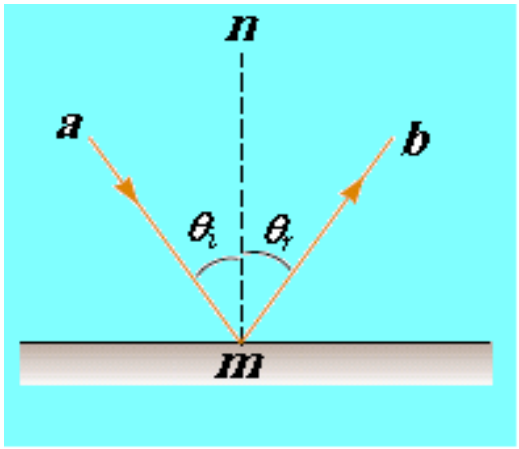
فإنه يمكن معاملة الجسيم والذي له كمية حركة خطية $P$ على أنه موجه طولها الموجي $\lambda$ ، $h$ مقدار ثابت يسمي ثابت بلانك حيث:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

والعلاقتان السابقتان تسميان بمسلمتى دي برولي.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءًا علي النظرية الكمية للضوء يسمي بالضوء الكمي ( Quantum optics) وفيه ندرس الخصائص الكمية للضوء باعتباره مكوناً من حزم دقيقة من الطاقة تسمى كمات (quanta) محمولة على جسيمات صغيرة جداً تسمى فوتونات (Photons).

## الانعكاس Reflection



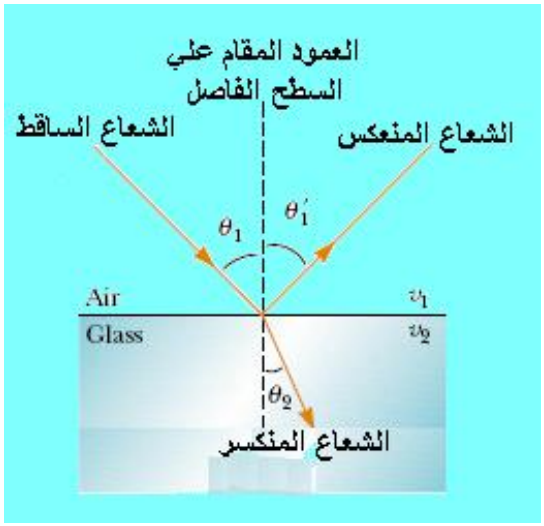

الانعكاس من الخصائص العامة للضوء والتي يمكن ملاحظتها كثيرا في الحياة اليومية. فعندما يسقط شعاع ضوئي علي سطح عاكس مستو "مرآة مستوية" فإنه ينعكس كما هو موضح بالشكل تبعاً لقانوني الانعكاس وهما:

١- الشعاع الساقط $am$ والشعاع المنعكس $mb$ والعمود المقام من نقطه السقوط $mn$ تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

٢- زاوية السقوط $q_i$ تساوي زاوية الانعكاس $q_r$.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com




## الانكسار Refraction

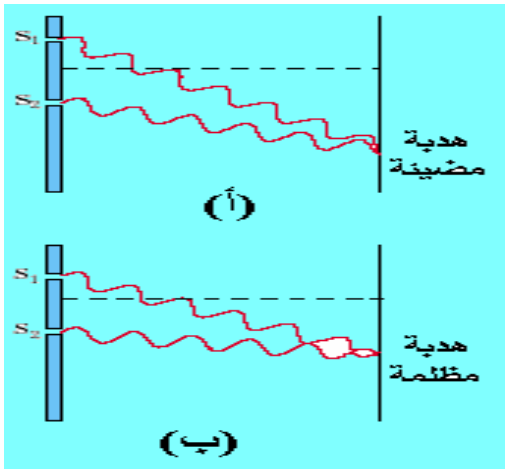
عندما ينتقل الضوء من وسط شفاف إلى وسط أخر شفاف كثافته الضوئية مختلفة فانه ينحرف عن مساره أي ينكسر كما هو موضح بالشكل تبعاً لقانوني الانكسار وهما:

١) الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطه السقوط تقع جميعها في مستوى واحد وعمودي على السطح الفاصل بين الوسطين.

٢) قانون سنل وهو : $n_1 sin\theta_1 = n_2 sin\theta_2$

فإذا كان الوسط الأول هو الهواء فان معامل الانكسار له ($n_1$=1) فنحصل على:

$$n_2 = \frac{sin\theta_1}{sin\theta_2}$$




## التداخل Interference

تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين شعاعين ضوئيين لهما نفس الطول الموجي (وبالتالي نفس التردد) ومتساويين في الشدة ومتوافقين "coherent" (ومعني التوافق أن فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن).

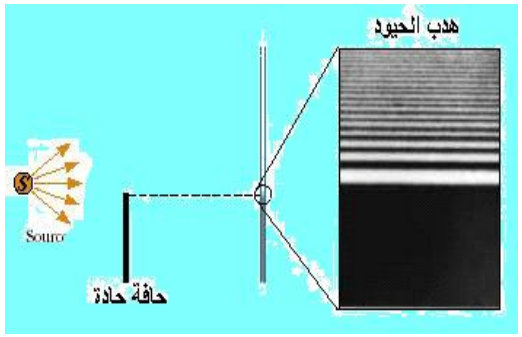
فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قمة، وقاع مع قاع فيقوي كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مضيئة كما بالشكل (أ).



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

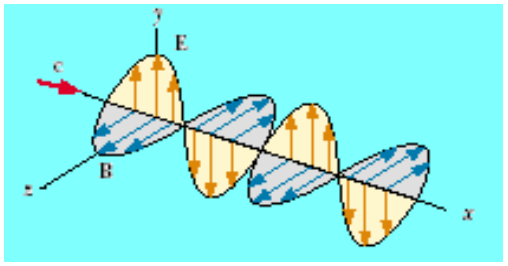
أما إذا كان فرق الطور بينهما $(2n+1)\pi$ أي أن فرق المسل بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية $(2n+1)\lambda/2$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قاع، وقاع مع قمة فيضعف كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مظلمة كما بالشكل (ب).

## الحيود Diffraction




خاصية الحيود هي أن يحيد الضوء عن خاصية سيره في خطوط مستقيمة عند مروره خلال حافة حادة. فعند مرور الضوء خلال حافة حادة كما بالشكل، نجد أن الضوء ينتشر في منطقة الظل الهندسي أي أن الضوء انحني ولم يلتزم بالانتشار في خطوط مستقيمة عند مروره بهذه الحافة الحادة

## الاستقطاب Polarization



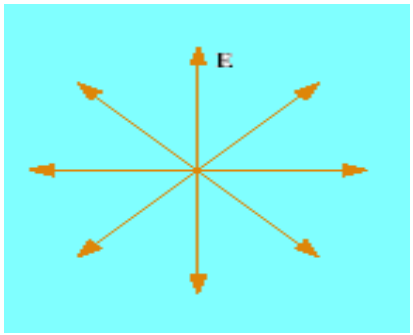

طبقاً للنظرية الموجية للضوء فإن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية.

والموجة الكهرومغناطيسية هي موجة مستعرضة ولذبذبتها مركبتان متوافقتان أي لهما نفس الطور ومتعامدتان على اتجاه انتشار الموجة، أحدهما تمثل تغيراً دورياً في المجال الكهربي والأخرى تمثل تغيراً دورياً في المجال المغناطيسي (هذا ما يعرف بالضوء الطبيعي) كما في الشكل.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

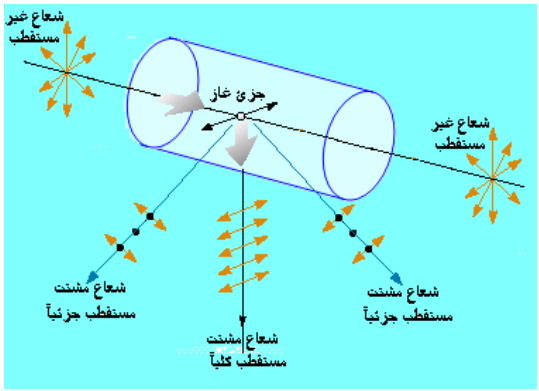
في الضوء الطبيعي " غير المستقطب" يحدث لهاتين الذبذبتين تغيراً مفاجئاً للاتجاه في الفراغ مع بقائهما عموديتين على اتجاه انتشار الموجة وهذا التغير يحدث بمعدل $10^8$ مرة في الثانية مما يجعل متوسط شدة الذبذبة في أي اتجاه حول محور انتشار الموجة مقداراً ثابتاً كما بالشكل.




إذا كان متوسط الذبذبة حول محور انتشار الشعاع الضوئي غير متجانس فإن الضوء يكون ضوء غير مستقطب، وبمعنى آخر يصبح الضوء مستقطباً إذا كان اتجاه الذبذبة يفضل اتجاه ما عن بقية الاتجاهات في الفراغ.

## التشتت Scattering

إذا مر شعاع ضوئي شدته $I_o$ خلال أنبوبة مملوءة بالدخان كما بالشكل، فإن شدة الشعاع النافذ $I$ تكون أقل من $I_o$ .هذا النقص في شدة الاستضاءة لا يرجع فقط إلى خاصية الامتصاص ولكن أيضاً لأن جزء من الضوء تشتت إلى جوانب الأنبوبة بواسطة جسيمات الدخان.




وهذا الضوء المشتت يكون مستقطباً جزئياً ، أما الضوء المتشتت إلى جوانب الأنبوبة في الاتجاه العمودي على اتجاه الشعاع الساقط يكون مستقطباً استقطاباً استوائياً .

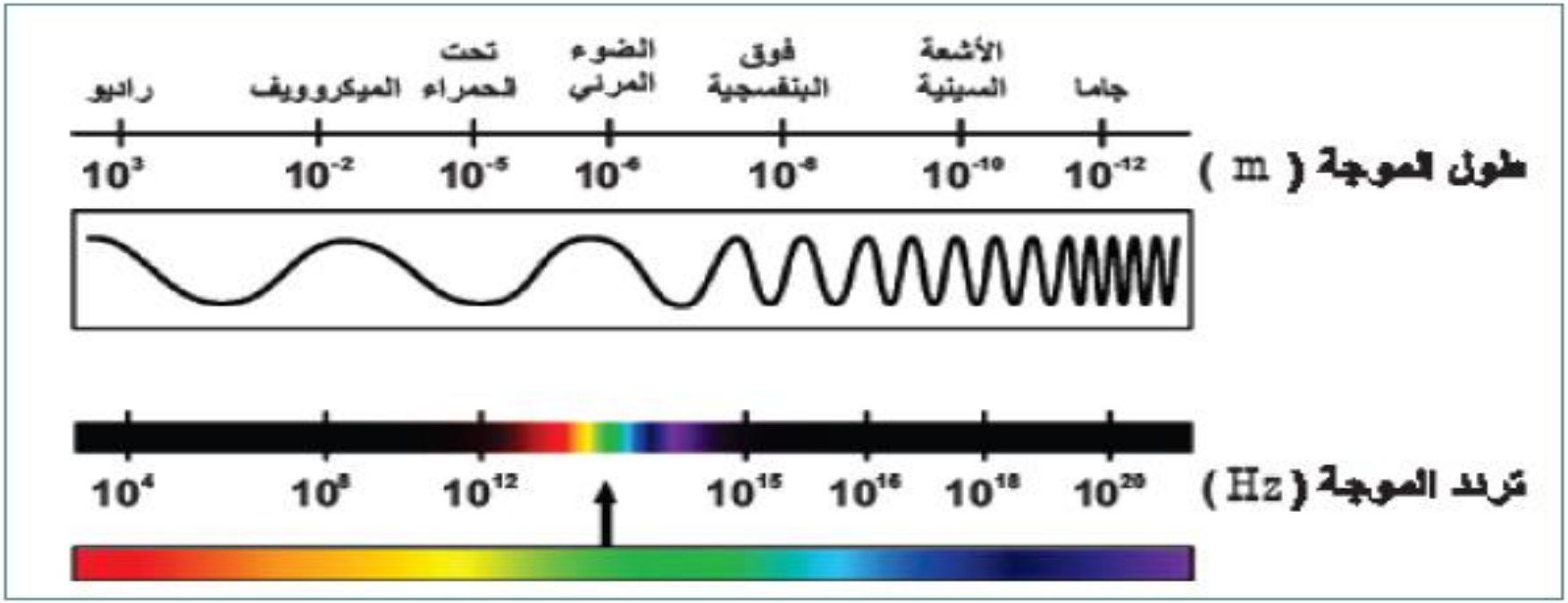


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

هناك الكثير من التطبيقات للأمواج الكهرومغناطيسيّة في حياتنا اليوميّة ؛ كالهواتف الخلويّة ، وأجهزة التحكم عن بعد ، وأفران الميكروويف ، وأبراج الهواتف الخلويّة ، وغيرها .كذلكبثّ الإشارات من محطات الإذاعة ، والتلفزة ، والأقمار الصناعيّة التي تدور حول الأرض جميعها أمواج كهرومغناطيسيّة ،ولكلٍّ منها الخصائص نفسها إلاّ أنّها تختلف في التردّد ، والطول الموجي ، والطاقة ؛ حيثإنّ الطاقة تتناسبطرديّاً مع التردّد.

تُستخدَم كلمة الطيْف للتعبير عن مدًى معيّن من التردّدات، أو الاطوال الموجيّة ، فالطيْفالكهرومغناطيسيّ يشمل ترددات مختلفة من الاشعاعات الكهرومغناطيسيّة التييوضّحها الشكل التالي:






PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ولكلّ منطقة من مناطق الطيْف الكهرومغناطيسي خصائص تميّزها عن بعضها البعض،وبناءً عليه نتجت تطبيقات مختلفة لهذه الأشعة، سنتعرف إلبعض ٍ منها:

أمواج الراديو: : ذات طول موجي $10^{3}m$ وتردد $10^{4}Hz$ تُستخدم في البثالإذاعيّ والتلفازيّ ؛ حيث يمكن لهوائيفلزّ ي التقاطها ؛ لأنّ أطوالها الموجيّة كبيرة.

أمواج الميكروويف: ذات طول موجي $10^{-2}m$ وتردد $10^{8}Hz$ ،تلي أمواج الراديو وتُستخدم في طهي الطعام وتسخينه في أفران الميكروويف ، كما تُستخدم في الاتّصالات.

الأشعة تحت الحمراء: ذات طول موجي $10^{-5}m$ وتردد $10^{12}Hz$ ،يُسمّى الجزءُ ذو الطول الموجي الأكبر من الأشعة تحت الحمراء الأمواجَ الحراريّة ؛ حيث تبعث الأجسام الساخنة أشعة تحت حمراء ، ومنها جسم الإنسان الذي يُصدِر أمواجاً حراريّة تُستخدم في التصوير الحراري ، حيث يتم استقبال الأشعة التي ترسلها الأجسام ؛ مايوضّح اختلاف حرارة الأجزاء المختلفة من الجسم ، أمّا الجزء الأقصر منها فيُستخدم في التحكّم عن بعد، مثل :جهاز التحكّم عن بعد للتلفاز وتتحسّس الأفاعي الحرارة المنبعثة من أجسام الكائنات الحيّة؛ مايمكّنُها من مطاردة فريستهاليلاً .

الضّوء المرئي : ذات طول موجي $10^{-6}m$ وتردد $10^{14}$-$10^{13}Hz$ ويشكّل من واحد في المئة مليون من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي ،وأهمّ ما يميّز هذا الجزء من الطيْف هو تمكُّن الإنسان من رؤيته ، والضوء المرئي الذي يصلنا من الشمس مركّب من الألوان جميعها ( أحمر ، وبرتقالي ، وأصفر ، وأخضر ، وأزرق ، ونيلي ، وبنفسجي).

الأشعة فوق البنفسجيّة : ذات طول موجي $10^{-8}m$ وتردد $10^{16}Hz$ ،وهي أقصر في الطول الموجي من الضّوء المرئي وطاقتها أكبر، ويحتوي الطيْف الشمسي على هذه الأشعة، ويستطيع جزء قليل منها النفاذ من الغلاف الجوي للأرض ، وتُستخدم في التصوير الفلكي للمجرات والنجوم. وللأشعة فوق البنفسجيّةاستعمالاتٌ طبيّة ، كحالات الأمراض الجلدية مثل الصدفيّة والبهاق .كما وتُستخدم في تعقيم الماء، وبعض المنتجات الغذائيّة، والدوائيّة، والعبوات الخاصّة.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**الأشعة السينيّة : ذات طول موجي $10^{-10}m$ وتردد $10^{18}Hz$ ، وهي أقصر في الطول الموجي من الأمواج فوق البنفسجيّة ، وتمتاز بطاقتها العالية التي تمكّنها من اختراق الأنسجة الناعمة في أجسام الكائنات الحيّة ، ولكنّها لا تنفذ من الأجسام الصُّلبة كالعظام ؛ لذلك تُستخدم في تصوير العظام ، وتُستخدم في تفتيش الحقائب داخل المطارات ، وفي علاج الأورام السرطانيّة الخبيثة ، والقضاء عليها. وبالرغم من طاقتها العالية إلاأنّها لا تخترق الغلاف الجوي للأرض؛ لسماكته.**

**أشعة جاما : ذات طول موجي $10^{-12}m$ وتردد $10^{20}Hz$ ،هذه الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر في الطيْف الكهرومغناطيسيّ ، وذات الطاقة الأعلى ؛ وذلك لأنّها تنتج من التصادمات النوويّة ومن العناصر المشعّة .تُستخدم في الطب لقتل الخلايا السرطانيّة ومنعها من النمو .وترجع قدرتها على تدمير الخلايا الحيّة إلى أنّها أشعة مؤينة ؛ أي أنّها تُسبب التأيّن في الوسط الذي تمر به مسببة تأيّن الجزيئات فيه، و إذا حدث تأيّن للمادة الحيّة فإنّها تتضرر، وقديؤدّي إلى موت الخليّة.**

**تُمثَّل الأمواج الكهرومغناطيسيّة رياضيّاً باقترانٍ جيبي يوضّح تغيّر شدة المجال ( الكهربائي والمغناطيسي ) مع الزمن والإزاحة ، في اتّجاه انتشار الموجة بالعلاقة الآتية:**

$$E = E_m \sin(kx - wt)$$
$$B = B_m \sin(kx - wt)$$

حيث:

**E :شدة المجال الكهربائي وتقاس بوحدة(V/m).**

**B:شدة المجال المغناطيسي وتقاس بوحدة (تسلا Tesla) .**

**$B_m$ & $E_m$ :سعة المجالين الكهربائي والمغناطيسي.**

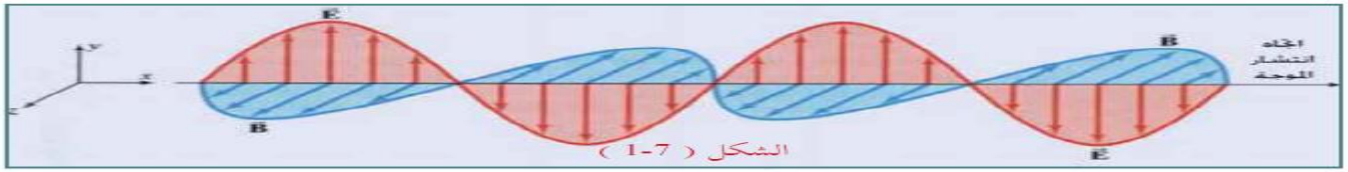
**x :الموضع ،t : الزمن**

**k :العدد الموجي :عدد الأطوال الموجيّة في مسافة مقدارها متر واحدمضروباً ب ($2\pi$) ، وتُحسب من العلاقة:**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

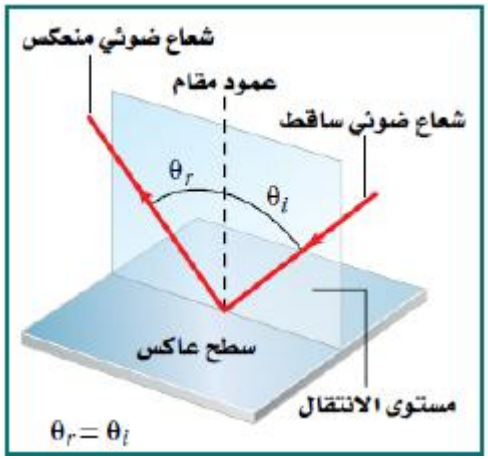
إنّ كلا المجاليْن يتغيّران في اتّجاهيْن متعامديْن ، وكلاهما عموديّ على خط اتّجاه انتشار الموجة في الوسط، كما في الشكل، والنسبة بين قيمة المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي للموجة عند أيّة لحظة تساوي سرعة الموجة عند تلك اللحظة في ذلك الوسط، وتساوي النسبة بين سعة موجة المجال الكهربائي وسعة موجة: $\left(c = \frac{E_m}{B_m}\right)$



الشكل ( 1-7 )

## انعكاس الضّوء Reflection of Light

يوضّح الشكل ما يحدث لشعاعٍ ضوئيّ عند سقوطه على سطحٍ مستوٍ عاكس بزاوية $\theta_i$، فإنّه سوف يرتد عن مساره بزاوية $\theta_r$، وتخضع عمليّة الانعكاس لقانونيّ الانعكاس،






PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**معامل الانكسار:**

**هي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في المادة وهي دائما أكبر من واحد( تساوي 1 في الفراغ)**

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{.....(1)}$$

**الوسط الذي معامل انكساره كبير يقال عنه أكثف ضوئيا.**

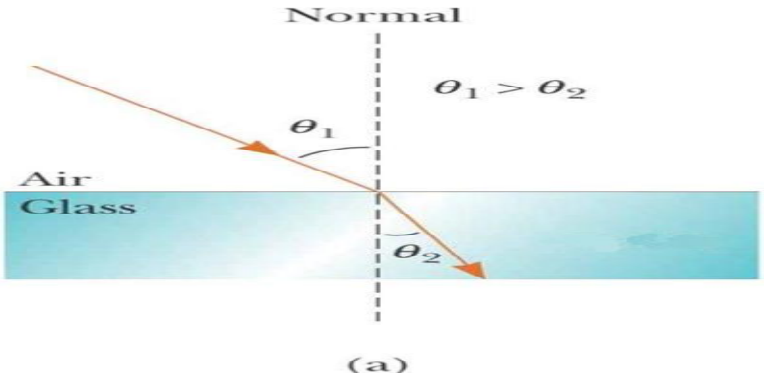
**قانون الانكسار**

**الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعامود على نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد، وزاويتا السقوط والانكسار والوسطان تربطهم العلاقة( قانون سنل Snell ) :**

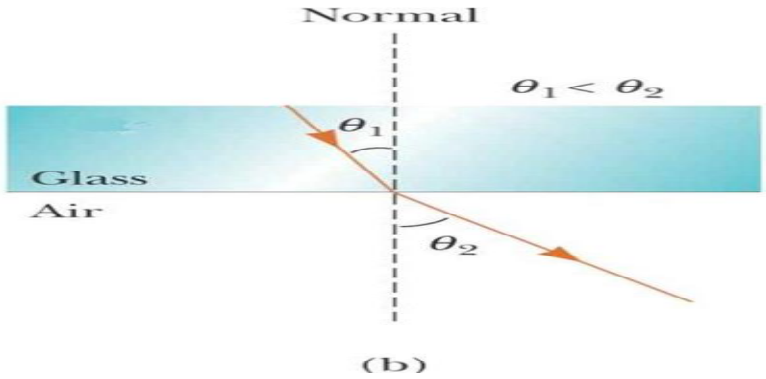
$$\frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{.....(2)}$$

**تغير قيمة زاوية الانكسار حسب سرعة الضوء في الوسطين:**

(a): if $n_1<n_2$ therefore $\theta_1>\theta_2$




(b): if $n_1>n_2$ therefore $\theta_1<\theta_2$






PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

من العلاقتين (1) ( و (2) نحصل على: $n_1 = \frac{c}{v_1}$ و $n_2 = \frac{c}{v_2}$

$$\frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} = \frac{\frac{c}{v_1}}{\frac{c}{v_2}} = \frac{\frac{1}{v_1}}{\frac{1}{v_2}}$$

$$\frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

يبقى تردد الضوء ( f ) ثابتا عند انتقاله في وسطين مختلفين بينما يتغير طوله الموجي( λ ) وسرعته ( v ) :

$$f = \frac{v}{\lambda} \Longrightarrow v = \lambda f \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2 f}{\lambda_1 f}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

إذا يمكن كتابة قانون سنل بالصيغ التالية:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مثال1 :إذا كان طول موجة شعاع ليزر هليوم-نيون (He-Ne) هو( 632.8 nm) فما هو التردد له، وكم هو الطول الموجي في زجاج معامل انكساره (1.5) ؟

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3x10^{8}\ \mathrm{m/sec}}{632.8x10^{-9}\mathrm{m}} = 4.74x10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \Rightarrow \frac{1}{1.5} = \frac{\lambda_2}{632.8\,nm} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{632.8\,nm}{1.5} = 421.9\,\mathrm{nm}$$

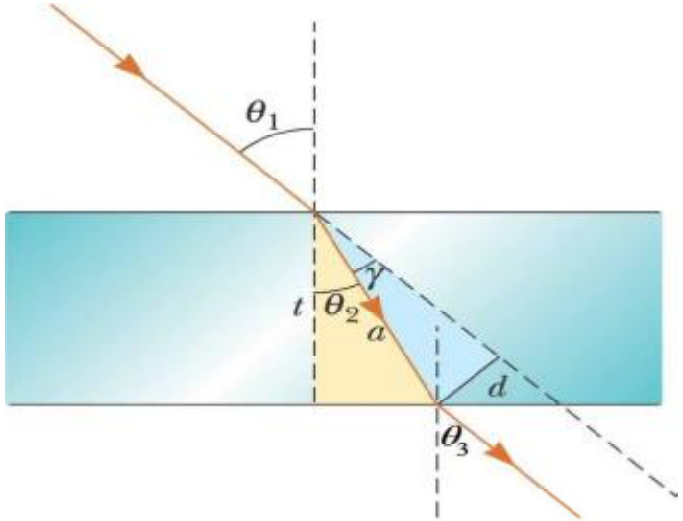
H.W.1 : عبر ضوء طوله الموجي (589 nm) خلال قطعة كوارتز معامل انكسارها(1.5) احسب:
(أ) سرعة الضوء. (ب) طوله الموجي. (ج) تردده. وذلك داخل قطعة الكوارتز.

H.W.2 : عبر ضوء طوله الموجي (436 nm) في الهواء خلال حوض ماء ( n=1.33 ) ثم خرج خلال جدار الحوض الزجاجي ( n=1.52 ) فكم الطول المجي لذلك الضوء في:
( أ ) الماء ، ( ب ) الزجاج.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

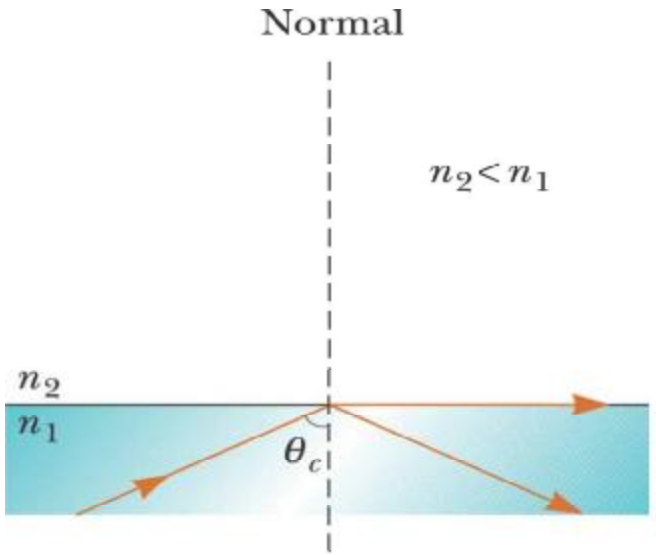
## الانكسار من خلال متوازي مستطيلات




- الشعاع الساقط يوازي الشعاع النافذ

- زاوية الانكسار للشعاع النافذ تساوي زاوية السقوط أي أن :

## الزاوية الحرجة Critical angle

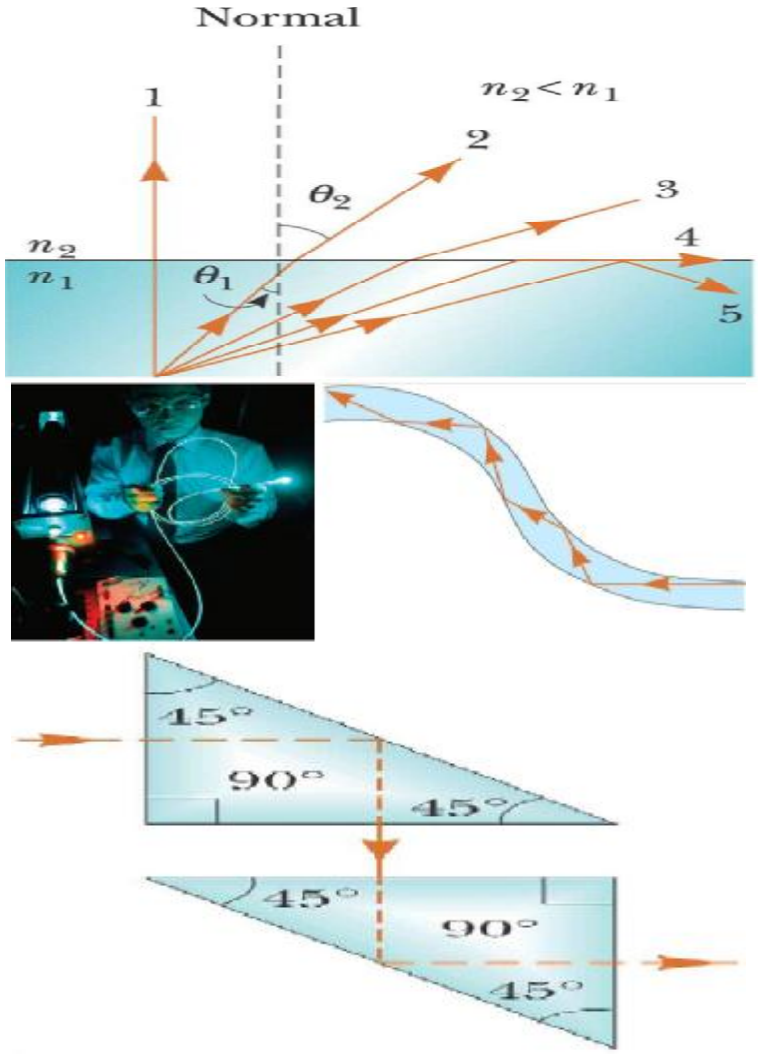



الزاوية الحرجة $qc$ هي زاوية السقوط التي تعطي زاوية انكسار قدرها $90^o$ في الوسط الآخر الذي له معامل انكسار أقل. فان جميع طاقة الضوء الساقط تنعكس عند هذه الزاوية .



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## الانعكاس الكلي الداخلي Total internal reflection




كلما زادت زاوية السقوط تزيد زاوية الانكسار إلى أن تصبح قيمتها 90° كما في (الشعاع رقم 4) وعند زيادة زاوية السقوط اكبر من الزاوية الحرجة نحصل على انعكاس كلي داخلي كما في (الشعاع رقم 5) . فان جميع طاقة الضوء الساقط تنعكس عند هذه الزاوية . ويتم تطبيق ذلك في نقل الضوء من خلال الالياف البصرية Vipers Optic كما في الشكل ادناه:

الانعكاس في الموشور مثال للانعكاس الكلي الداخلي



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**مثال2 :إذا كان معامل انكسار الالماس هو (2.42) فما هي الزاوية الحرجة للضوء عندما ينتقل من الالماس إلى الهواء؟**

$n_a = 1$ , $n_d = 2.42$

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{1}{2.42}\right) = 24.4$$

**H.W.3 : كم مقدار الزاوية الحرجة لشعاع خارج من الزجاج إلى الماء إذا علمت أن معامل انكسار الزجاج ( 1.5)ومعامل انكسار الماء(1.33) ؟**

**H.W.4 : احسب الزاوية الحرجة للمواد التالية إذا كانت محاطة بالهواء:**

**أ )الكوارتز معامل انكساره ( 1.458) .**

**ب )زجاج الفلنت معامل انكساره( 1.66) .**

**ج )الثلج معامل انكساره (1.309) .**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

# الميكانيك Mechanics

احد فروع علم الفيزياء يهتم بدراسة الحركة ويصنف الى فرعين :
علم الحركة المجردة Kinematics:وهو فرع يدرس حركة الأجسام بغض النظر عن مسبباتها.

علم الحركة الملموسة Dynamics : وهو فرع يدرس مسببات الحركة .

الحركة Motion: هي تغير مستمر في موقع الجسم بالنسبة نقطة مرجعية . ولها أنواع مختلفة:
حركة انتقالية : حركة الجسيم على امتداد محور معين .
حركة دورانية : حركة الجسيم حول محور معين .
حركة اهتزازية : حركة الجسيم حركة توافقية بسيطة.

الموقع Position :هو كمية متجهة لها مقدار واتجاه معين بالنسبة الى نقطة مرجعية (نقطة الأصل للمحاور الثلاثة للإحداثيات الكارتيزية ) فيوصف الجسم بانه في حالة حركة عندما يحدث تغيرا في موقعه بالنسبة الى النقطة المرجعية .
الازاحة Displacement :هو تغير في متجه موقع الجسم ،(كمية متجهة) تأخذ تغير الاتجاه بعين الاعتبار.
ازاحة الجسيم($\Delta X$): هي الفرق بين موقعه النهائي ($X_f$) وموقعه الابتدائي ($X_i$).وتصاغ رياضيا :

$$\Delta X = X_f - X_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**المسافة Displacement (d) :** هو كمية التغير في موقع الجسم ،(كمية قياسية) لا تأخذ تغير الاتجاه بعين الاعتبار.

يمكن توضيح الفرق بين المصطلحين من خلال حركة جسم من موقعه الابتدائي ($X_i$=+5m) بالنسبة لنقطة الأصل متجها الى الموقع ($X_f$=20m) ثم رجع الى موقع نهائي ($X_f$=5m) فأن :

ازاحة الجسيم ($\Delta X=X_f - X_i$=15m-15m= 0) الاشارة السالبة تعني ان الجسم تغير اتجاهه نحو اليسار بالنسبة للمحور (X)

في حين ان :

مسافة الجسيم المقطوعة ($d_i$=15m+15m=30m) لأنه قطع المسافة ($d_1=X_f - X_i$=20m-5m= 15m) في ذهابه وقطع في رجوعه الى الموقع (5m) مسافة ثانية ($d_2=X_f - X_i$=20m-5m= 15m) عليه فان المسافة الكلية المقطوعة من قبل الجسيم هي:($d=d_1 + d_2$=15m+15m=30m) .

**السرعة Velocity :** هي نسبة التغير في الازاحة الى الزمن المستغرق(وهي مشتقة الإزاحة بالنسبة للزمن) وهي كمية اتجاهية مطلقة وتعطى بالصيغة :

$$|\vec{v}| = \frac{\overrightarrow{\Delta X}}{\Delta t} \text{.....(2)}$$

**الانطلاق Speed :** هي نسبة المسافة الكلية المقطوعة الى الزمن المستغرق(وهي كمية عددية او مقدارية ) وتعطى بالصيغة :



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$S = \frac{d}{t} \text{.....(3)}$$

**السرعة الآنية Instantaneous Velocity:هي سرعة الجسيم المتحرك عند أية لحظة زمنية.**

**السرعة الثابتة Constant Velocity: هي حركة جسم حركة ثابتة على خط مستقيم وقطع ازاحات متساوية خلال فترات زمنية متساوية**

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{X}}{\Delta t} \text{.....(4)}$$

**التعجيل Acceleration :هو المعدل الزمني للتغير في مقدار سرعة الجسم ويعطى بالصيغة :**

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{.....(5)}$$

**عند حركة جسيم بسرعة ثابتة المقدار خلال فترة زمنية معينة فلا يكون له تعجيل(تسارع) (لأن التعجيل مشتقة السرعة بالنسبة للزمن او المشتقة الثانية للإزاحة بالنسبة للزمن).وعند زيادة مقدار سرعته خلال فترة معينة فتكون حركته عندئذ بتسارع وقد تتباطأ حركته خلال فترة اخرى فيوصف بانه يتحرك بتعجيل ، وقد يتحرك الجسيم بتعجيل من جراء تغير اتجاه سرعته على الرغم ثبوت انطلاقة عندما يتحرك بمسار دائري.عليه فان تعجيل اي جسم يكون مساويا للصفر $(\vec{a} = 0)$ متى ما تحرك بسرعة ثابتة المقدار او الاتجاه.**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## معادلات الحركة الخطية بتعجيل منتظم

**(1) معادلة الازاحة بدلالة السرعة والزمن**

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{X}}{\Delta t}$$

$$v_{av} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

$$\Delta X = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right).\Delta t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

**معادلة السرعة النهائية بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتعجيل والزمن**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a\Delta t = v_f - v_i$$

$$v_f = v_i + a\Delta t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**(2) معادلة الازاحة بدلالة كل من السرعة الابتدائية والتعجيل والزمن**

$$\Delta X = \left(\frac{v_i + (v_i + a\Delta t)}{2}\right).\Delta t$$

$$\Delta X = \left(\frac{v_i + v_i + a\Delta t}{2}\right).\Delta t$$

$$\Delta X = \left(\frac{2v_i\Delta t + a(\Delta t)^2}{2}\right)$$

$$\Delta X = \frac{1}{2}\left(2v_i\Delta t + a(\Delta t)^2\right)$$

$$\Delta X = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

**(3) معادلة السرعة النهائية بدلالة كل من التعجيل و الازاحة والسرعة الابتدائية**

$$\Delta X = \frac{1}{2}(v_i + v_f).\Delta t$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\Delta t = \frac{2\Delta X}{(v_i + v_f)}$$

$$v_f = v_i + a\Delta t = v_i + \frac{2a\Delta X}{(v_i + v_f)}$$

$$v_f - v_i = \frac{2a\Delta X}{(v_i + v_f)}$$

$$(v_f - v_i)\,(v_f - v_i) = \frac{2a\Delta X}{(v_i + v_f)}\,(v_f - v_i)$$

$$v_f{}^2 - v_i{}^2 = 2a\Delta X$$

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2a\Delta X \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

وعندما يبدأ الجسم بالحركة من السكون فأن السرعة الابتدائية مساوية للصفر $(v_i = 0)$ فتكون المعادلة الاخيرة:

$$v_f = \sqrt{2a\Delta X} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**مثال 1:** عجلة تتحرك بسرعة $(50\ m/s)$ فاذا تباطأت بمقدار $(10m/s^2)$ جد قيمة :

(١) سرعة السيارة بعد $(3s)$ من تخفيف السرعة.

(٢) الزمن اللازم لوقوف العجلة.

(٣) الازاحة التي تقطعها العجلة حتى تتوقف عن الحركة.

**الحل :**

**(١)**

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

$$v_f = 50\frac{m}{s} + \left(-10\frac{m}{s^2}\right)(3s) = 50\frac{m}{s} - 30\frac{m}{s} = 20\ m/s$$

**(٢)**

$$v_f = 0$$

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

$$0 = 50\frac{m}{s} + \left(-10\frac{m}{s^2}\right)\Delta t$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$10\frac{m}{s^2}\Delta t = 50\ m/s$$

$$\Delta t = \frac{50\ m/s}{10\frac{m}{s^2}} = 5\ s$$

(٣)

$${v_f}^2 = {v_i}^2 + 2a\Delta X \text{ او } \Delta X = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$\Delta X = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$\Delta X = 50\ m/s(5s) + \frac{1}{2}\left(-10\frac{m}{s^2}\right)(5s)^2$$

$$\Delta X = 250\ m - 125m = 125\ m$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## السقوط الحر

ان اي جسم يسقط سقوطا حرا فانه ينزل نحو الاسفل بتعجيل ثابت وهو التعجيل الناتج من قوة جذب الارض للجسم وبالرغم من ان مقدار الجاذبية يختلف من مكان الى مكان من سطح الارض فهو تقريبا يساوي ($9.81\ m/s^2$) او ($981\ cm/s^2$)ويرمز لتعجيل الجاذبية الارضية على سطح الارض بالمتجه (g) ويفترض للحصول على هذا المقدار هو العناية الكبيرة المبذولة لتقليل تأثير الهواء على الاجسام الساقطة الى ادنى حد ممكن لذا فان جميع الاجسام القريبة من سطح الارض وبغياب تأثير الهواء في تلك الاجسام فأنها تسقط بالتعجيل نفسه وهو تعجيل الجاذبية الارضية ($g=-9.81\ m/s^2$) ويساوي تقريبا ($-10\ m/s^2$) ويكون باشارة سالبة دائما لأنه يتجه نحو الاسفل تدعى هذه الحركة بالسقوط الحر.

## معادلات الحركة في السقوط الحر

للأجسام الساقطة سقوطا حرا وبالتعويض عن $(v_i = 0)$ في معادلات الحركة الخطية لنحصل على :

$$v_f = v_i + gt$$

$$v_f = gt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

$$\Delta y = v_i t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} g t^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2gy$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$v_f = \sqrt{2gy} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

**مثال 2:** قذف حجر عموديا من سطح الأرض نحو الأعلى فوصل الى اعلى نقطة بعد (5s) من لحظة قذفه فجد قيمة :

(١) مقدار السرعة التي قذف بها الحجر.
(٢) اعلى ارتفاع يصله الحجر فوق سطح الأرض.
(٣) الازاحة الكلية والزمن الكلي خلال حركته.

**الحل :**

(١)

$$v_f = v_i + gt$$

$$0 = v_i + \left(-10\frac{m}{s^2}\right)(5s) = v_i - 50\frac{m}{s}$$

$$v_i = 50\ m/s$$

(٢)

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2gy$$

$$v_f = 0$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$v_f{}^2 = 2500\frac{m^2}{s^2} + 2\left(-10\frac{m}{s^2}\right)y$$

$$0 = 2500\frac{m^2}{s^2} - 20\left(\frac{m}{s^2}\right)y$$

$$20\left(\frac{m}{s^2}\right)y = 2500\frac{m^2}{s^2}$$

$$y = \frac{2500\frac{m^2}{s^2}}{20\frac{m}{s^2}} = 125m$$

(٣)

$$\Delta y = y_f - y_i$$

$$\Delta X = 125m - 125m = 0$$

$$t_{tot} = t_{up} + t_{down}$$

$$t_{tot} = 5s + 5s$$

$$t_{tot} = 10\ s$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**H.W.1:** جد قيمة التعجيل عند الفترات الزمنية المبينة في ادناه بين شاخصين من الشواخص المثبتة في الرسم التالي مع العلم بأن ($v_a$=40 m/s) ، ($v_b$=60 m/s)، ($v_c$=60 m/s) و($v_d$=50 m/s).

(a) ($t_1$=0s) و ($t_2$=15s) بين الشاخصين A و B

(b) ($t_2$=15s) و ($t_3$=25s) بين الشاخصين B و C

(c) ($t_3$=25s) و ($t_4$=40s) بين الشاخصين C و D

(d) ($t_1$=0s) و ($t_4$=40s) بين الشاخصين A و D

**H.W.2:** سقطت كرة من سطح عمارة سقوطا حرا فوصلت الأرض بعد فترة زمنية (5s) جد قيمة :

(a) ارتفاع العمارة . (b) سرعة الكرة عند اصطدامها بسطح الأرض

(c) سرعة وارتفاع الكرة بعد مرور (3s) من سقوطها .

**H.W.3:** سقط حجر سقوطا حرا من جسر فاصطدم بسطح الماء بعد (3s) جد قيمة :

(a) ارتفاع الجسر فوق سطح الماء . (b) ارتفاع الحجر فوق سطح الماء بعد مرور (3s) من سقوطه.

(c) سرعة الحجر لحظة اصطدامها بسطح الماء.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## قوانين الحركة

**القوة : هي كل ما يغير أو يحاول أن يغير من شكل الجسم أو الحالة الحركية للجسم ،ولها عدة أنواع مثل : الدفع ،السحب ، الشد ، الكبس ، التدوير واللي .**
**وتقاس القوة بموجب النظام الدولي SI بوحدة النيوتن ($N$) (وهي تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في التعجيل الأرضي ) :**

$$F = mg \quad \rightarrow \; 1\,N = 1Kgx\frac{m}{s^2} \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

**القصور الذاتي : هي خاصية التي يمتلكها الجسم والتي تحدد مقدار المقاومة والتي يبديها الجسم لأي تغيير في حالته الحركية (مقاومة التغير الحاصل في حالة الجسم الحركية ) ، ويعتمد القصور الذاتي على كتلة الجسم ، بحيث ان القصور الذاتي .**

**قوانين نيوتن في الحركة :تبنى نظرية نيوتن في الحركة على ثلاثة قوانين والتي تعرف بقوانين نيوتن في الحركة ، ومن خلال هذه القوانين توصف تأثير القوى في حركة الأجسام.**
**القانون الأول لنيوتن : يعرف بقانون القصور الذاتي وينص :**
**"في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم فالجسم الساكن يبقى ساكنا واذا كان متحركا بسرعة منتظمة فأنه يبقى متحركا بسرعته المنتظمة"**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**القانون الثاني لنيوتن** : ينص مفهومه على :

"**يتناسب تعجيل الجسم تناسبا عكسيا مع كتلته**" ويمثل ثابت التناسب صافي القوة المؤثرة أي ان :

$$\vec{a}\ \alpha\frac{1}{m} \rightarrow \vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

$$\sum \vec{F} = ma \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

وعندما يكون مقدار القوة المؤثرة في الجسم $(\sum F = 1N)$ وكتلة الجسم $(m = 1\ Kg)$ فأن الجسم سيتحرك بتعجيل مقداره $(a = 1\ m/s^2)$.لذا فأن الصيغة الرياضية لقانون نيوتن الثاني :

$$\vec{F} = m\ x\ \vec{a} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

**الوزن والكتلة** : القوة التي تؤثر بها الأرض على الأجسام هي قوة الجاذبية $(F_g)$، وان مقدار قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم تسمى وزن الجسم $(w)$ أي أن :

$$\vec{w} = m\ x\ \vec{g} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

وطبقا للقانون الثاني لنيوتن فأن : $\vec{F} = m\ \vec{a}$

وعندئذ يكون $(\vec{a} = \vec{g})$ ولجميع الأجسام الساقطة سقوطا حرا تسقط بتعجيل الجاذبية الأرضية $(\vec{g})$ يتجه نحو مركز الأرض ( فتوضع دائما اشارة سالبة أما مقداره )ويتغير وزن الجسم عندما يتغير بعد الجسم عن مركز الأرض فيزداد عند اقتراب الجسم من مركز الأرض طبقا لقانون الجذب العام لنيوتن الذي ينص :



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

" كل كتلتين في الكون تجذب احدهما الأخرى بقوة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع البعد بين مركزي الكتلتين "

$$\sum \vec{F} \ \alpha \frac{m_1 m_2}{d^2} \rightarrow \sum \vec{F} \ = \mathrm{G} \frac{m_1 m_2}{d^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$\sum \vec{F}$ :صافي القوة وهي قوة الجاذبية الأرضية ، $m_1$:الكتلة الأولى ، $m_2$ :الكتلة الثانية ، $d$ :البعد بين مركزي الكتلتين ، $G$ :ثابت الجذب العام ومقداره ( $6.67x10^{-11}\left(\frac{N.m^2}{Kg^2}\right)$ )

القانون الثالث لنيوتن : ينص على :

"لكل قوة فعل هناك قوة رد فعل تساويها في المقدار وتعاكسها بالاتجاه ولها خط تأثير نفسه وتؤثران في جسمين مختلفين "

تناول نيوتن في قانونه الثالث طبيعة القوى التي تؤثر في الأجسام ،وأوضح ان القوة تكون دائما مزدوجة فإذا اثر الجسم الأول $m_1$ بقوة $F_{12}$ على الجسم الثاني $m_2$ سيؤثر بقوة $F_{21}$ على الجسم الأول وتكون هاتان القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه وتقعان على خط فعل واحد وتؤثران في جسمين مختلفين أي أن:

$$(F_{12} = F_{21})$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## القوى الأساس المؤثرة في جسم

١ـ **القوة العمودية:** هي القوة التي يؤثر بها السطح على الجسم ويرمز لها بالرمز $(\vec{N})$ تمتاز هذه القوة :

(a) عمودية دائما على السطح وتتجه بعيدا عن السطح.

(b) هي قوة رد فعل السطح على الجسم ومقدارها غير ثابت فهو يساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة عموديا على السطح باتجاه معاكس لتلك المحصلة.

٢ـ **قوة الشد:** هي القوة التي يؤثر بها الحبل في الجسم تسمى قوة الشد ويرمز لها بالرمز $(\vec{T})$ ويجب الانتباه الى :

- الحبل او الخيط يهمل وزنه ويكون عديم الاحتكاك في حل المسائل لذا تكون قوة الشد هي نفسها في اي نقطة من نقاط الحبل.
- يمكن تغير اتجاه قوة الشد باستعمال البكرات على فرض ان البكرات المستعملة مهملة الوزن وعديمة الاحتكاك.

٣ـ **القوى الخارجية والقوى الداخلية :**

اذا كان النظام (مجموعة الاجسام ) معزولا فهذا يعني ان القوة المؤثرة فيه تسمى **بالقوة الخارجية** $(\overrightarrow{F_{ext}})$، عندما تكون محصلة القوى الشاقولية مساوية للصفر $(N = w)$ عندئذ تكون القوة $(\vec{F})$ هي القوة الخارجية الوحيدة المؤثرة في النظام .



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

القوى الداخلية :هي القوى الناتجة عن تفاعل بين مكونات النظام وهي عادة توحد بشكل قوى مزدوجة مثل $(-T, T, -F, F)$.

عند تطبيق القانون الثاني على النظام كله فأن:

القوى الخارجية فقط تؤخذ في الحساب من غير الاعتماد على القوى الداخلية،

أما عند اخذ النظام بصورة مجزأة الى مكوناته فأن القوى الداخلية التي كانت تؤثر فيه تعد قوى خارجية مؤثر في كل جسم مكون له .

٤- **قوة الاحتكاك** :هي القوة الناتجة من حصول التلامس بين سطح الجسم والسطح الموضوع عليه بسبب تداخل النتوءات الموجودة بين السطحين ومسببة قوة معيقة للحركة تعرف بقوة ألاحتكاك ، ويكون اتجاه تأثير قوى الاحتكاك مماسية للسطحين ومعاكسة لاتجاه الحركة دوما ،ان القوة الضاغطة بين السطحين تمثل القوة العمودية على السطح ويرمز لها $(\vec{N})$ .مع العلم بان قوة الاحتكاك تظهر حتى لو كان الجسم في حالة سكون.

فإذا اثرت محصلة قوى في جسم ولم تستطيع تحريكه فلابد من وجود قوى احتكاك تمنع الجسم من الحركة بحيث ان الجسم لا يزال في حالة سكون فأننا نسمي قوى الاحتكاك في هذه الحالة قوى الاحتكاك السكوني ويرمز لها بالرمز $(\vec{f}_s)$، ويزداد مقدارها بزيادة القوة المؤثرة في الجسم حتى يصل الى مقدارها الاعظم حينما يوشك الجسم على الحركة،بحيث ان المقدار الاعظم لقوة الاحتكاك السكوني تتناسب مع القوة العمودية $(\vec{N})$حسب العلاقة التالية:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\vec{f}_{s\,max} = \mu_s \vec{N} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث ان $\mu_s$ يمثل معامل الاحتكاك السكوني.ومتى ما تتغلب القوة المؤثرة في الجسم على قوة الاحتكاك السكوني فان الجسم يبدأ بالحركة فتقل قوة الاحتكاك بشكل كبير وتسمى عند هذه الحالة بقوة الاحتكاك ألانزلاقي $(\vec{f}_k)$، وهي قوة ثابتة ضمن حدود السرع الصغيرة وتتناسب طرديا مع القوة العمودية $(\vec{N})$ حسب العلاقة الأتية :

$$\vec{f}_k = \mu_k \vec{N} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

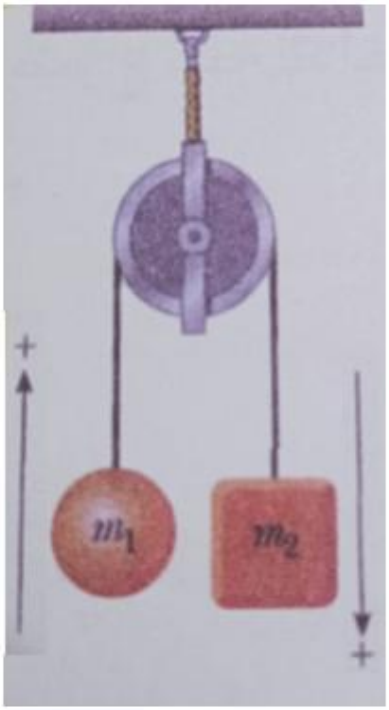
حيث أن $\mu_k$ يمثل معامل الاحتكاك ألانزلاقي ،ان معامل الاحتكاك يعتمد على طبيعة الجسمين المتلامسين ولا يعتمد على مساحة السطحين المتلامسين.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**مثال 1 :** جسم كتلته ($m_1$=5 kg) معلق بحبل حول بكرة مع جسم أخر كتلته ($m_2$=7.5 kg)، فما هو مقدار تعجيل الجسمين والشد في الحبل؟




الجسمان يخضعان لقانون نيوتن الثاني $\sum F = ma$

صافي القوة المؤثرة في الجسم الصاعد ($m_1$=5 kg) هي:

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$T = m_1 g + m_1 a = 5\,x10 + 5\,a$$

$$T = 50 + 5\,a$$

صافي القوة المؤثرة في الجسم النازل ($m_2$=7.5 kg) هي:

$$m_2 g - T = m_2 a$$

$$T = m_2 g - m_2 a = 7.5\,x10 + 7.5\,a$$

$$T = 75 - 7.5\,a$$

$$50 + 5\,a = 75 - 7.5\,a$$

$$7.5\,a + 5\,a = 75 - 50$$

$$12.5\,a = 25$$

$$a = \frac{25}{12.5} = 2\frac{m}{s^2}$$

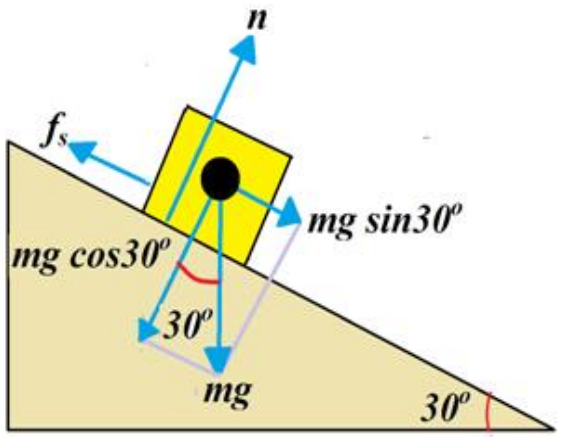
$$T = 50 + 5\,a = 50 + 5\,x\,2 = 60\,N$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**H.W.1**: حل السؤال السابق مع ($m_1$=$m_2$=10 kg)

**مثال 2** : وضع صندوق كتلته (m=500 kg) على سطح مائل بزاوية( $30^o$) عن الأفق فكان الصندوق على وشك الحركة ،فجد قوة الاحتكاك السكوني عند وشوك الصندوق بالحركة وما هو تعجيل الصندوق ؟ مع العلم بأن معامل الاحتكاك الشروعي ($\mu_k$=0.1).




$$f_s = mg\ sin\ 30^o$$

$$f_s = 500\ x10\ x0.5 = 2500\ N$$

الصندوق يخضع لقانون نيوتن الثاني $\sum F = ma$

$$mg\ sin\theta - f_k = ma$$

$$mg\ sin\theta - \mu_s mg\ cos\ \theta = ma$$

$$500\ x10\ x0.5 - 0.1(500\ x10\ x0.86) = 500a$$

$$2500 - 0.1(4300) = 500a$$

$$2500 - 430 = 500a$$

$$2070 = 500a$$

$$a = \frac{2070}{500} = 4.14\frac{m}{s^2}$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

# المجمعات الشمسية

# Solar collectors

**مقدمة:**

يتطلب الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية ضرورة تحويلها من موجات كهرومغناطيسية إلى طاقة حرارية لاستخدامها في تلبية حاجات البشر ومن اجل تحقيق هذا الغرض يتطلب الأمر استعمال بعض الوسائل التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية وتسمى هذه الأجهزة بالمجمعات الشمسية (Solar collectors). يمكن تصنيف المجمعات الشمسية إلى نوعين رئيسيين



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

النوع الأول هو المجمعات الشمسية المستوية (Flat solar collector)
يتم بواسطتها الاستفادة من الإشعاع المباشر والمنتشر الساقط على المجمع ، ويمكن الاستفادة من هذه المجمعات في المنظومات التي لا تحتاج إلى درجات حرارة عالية كالتدفئة وتسخين المياه للأغراض المنزلية، تمتاز هذه المجمعات ببساطة تركيبها وسهولة تصنيعها وصيانتها فضلا عن الكلفة الواطئة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى.

النوع الثاني هي المجمعات الشمسية المركزة (Concentrating collector)
تستخدم لتجهيز حرارة عالية، إذ تتركز كثافة الفيض الشمسي بوساطة عاكس (Reflector) على مساحة صغيرة لتنتج كثافة فيض عالية وتحتاج هذه المجمعات إلى منظومات تعقب حركة الشمس، وتستخدم عادة في محطات توليد الطاقة الكهربائية والأفران الشمسية وغيرها من التطبيقات التي تحتاج إلى حرارة عالية.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

**المجمع الشمسي المستوى (Flat solar collector):**

تعد المجمعات الشمسية المستوية اكثر الأنواع شيوعا وذلك لسهولة تصنيعها وانخفاض سعرها بالمقارنة مع المجمعات الأخرى (الشكل (1)) ، ويشيع استعمال هذا النوع من المجمعات في التطبيقات التي تحتاج إلى درجات حرارة واطئة نسبيا، أي لا تتعدى (90-100 °C) واستعمالات الطاقة على مثل هذه الدرجات المنخفضة كثيرة فتسخين المياه للاستخدام المنزلي لا يتعدى اكثر من (50-60 °C)، أما تدفئة البيوت فأنه يعني الاحتفاظ بدرجة حرارة الأجواء الداخلية على (20-25°C) ليس اكثر، ويتكون المجمع الشمسي المستوي من ثلاثة أجزاء رئيسية :

الشكل (1) المجمع الشمسي المستوي

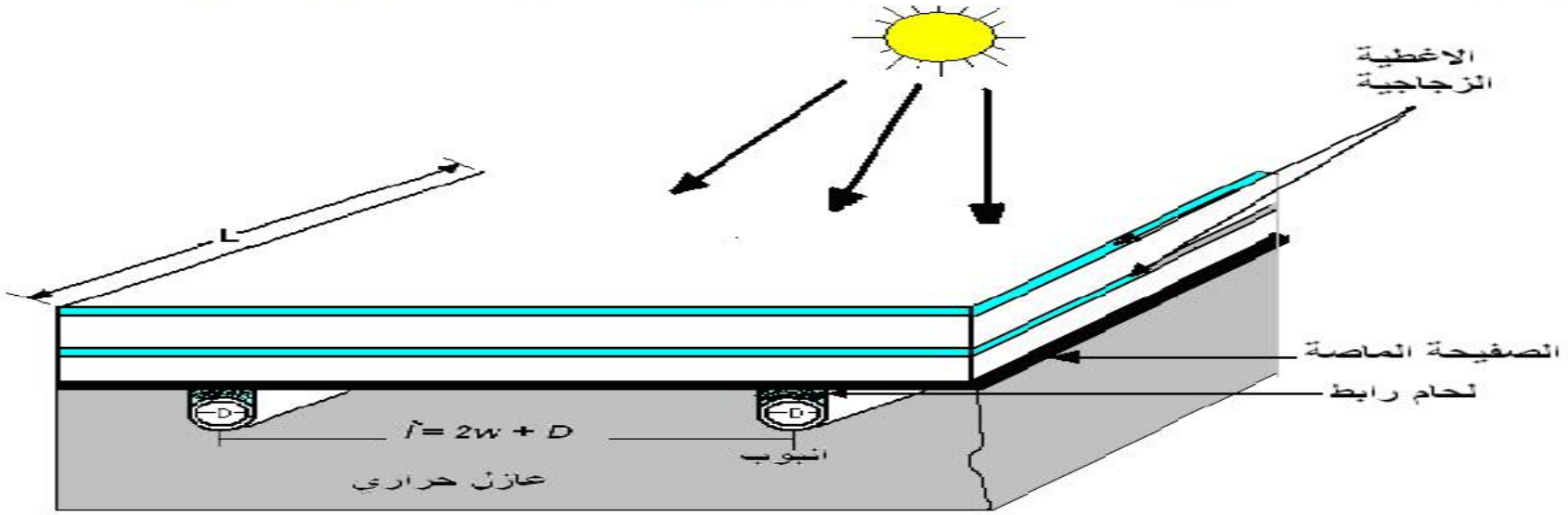


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

**1- اللوح الماص Absorber plate:**

هو الجزء الفعال من المجمع الشمسي ويتكون من لوح معدني ملحوم إلى شبكة من الأنابيب التي يمر بها المائع والذي يكون عادة من الماء أو الهواء، ويصنع اللوح الماص وهذه الأنابيب عادة من معادن ذات موصلية حرارية عالية وكلفة اللوح الماص لها دور مهم في اختيار نوع اللوح، فيأتي النحاس في المرتبة الأولى من حيث قابلية توصيله الحراري ولكنه غالي الثمن، لذلك يصنع اللوح عادة من الألمنيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ أو البراص.




شكل (2) مخطط لمجمع شمسي مستوي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**2-الغطاء الزجاجي (Glass cover):**

يغطى اللوح الماص بغطاء شفاف يفضل أن يكون مصنوعا من الزجاج إذ تترك مسافة من 2 إلى 5 سنتمترات بينه وبين اللوح الماص ويكون الزجاج المستخدم من النوع النقي الخالي من الألوان وعلى الرغم من إن اللوح الزجاجي يشكل عائقا أمام وصول كل الأشعة الشمسية إلى اللوح الماص كون الزجاج يسمح للأشعة ذات الموجات القصيرة بالنفاذ من خلاله بينما يعترض الموجات الطويلة ولا يسمح لها بالنفاذ وتعرف هذه الخاصية باسم خاصية البيت الزجاجي (Green house effect) إضافة إلى ذلك فأنه يقلل من الخسائر الحرارية الحاصلة عن طريق الحمل والإشعاع ويحفظ اللوح الماص من الأمطار والأتربة وغيرها.

وتختلف خصائص زجاج المجمعات الشمسية عن زجاج النوافذ، ففي أغطية المجمعات الشمسية يتم التخلص من معظم الشوائب لزيادة شفافية الزجاج وبالتالي زيادة كمية الأشعة النافذة إلى داخل المجمع، أما مساوئ الزجاج فهو سهولة الكسر، ويمكن استخدام اكثر من طبقة من الزجاج لتقليل الخسائر الحرارية.

**3- الهيكل الخارجي للمجمع والمواد العازلة:**

تركب أجزاء المجمع الشمسي داخل صندوق يصنع من الخشب أو الحديد المقاوم للصدأ حتى لا يتأثر بالظروف الجوية ويغلف المجمع الشمسي بطبقة من العازل لتقليل الخسائر الحرارية من جميع جوانبه عدا الجهة المعرضة للشمس ومن العوازل المستخدمة هي الألياف المعدنية والزجاجية و الصوف الصخري والعوازل الرغوية وغيرها.

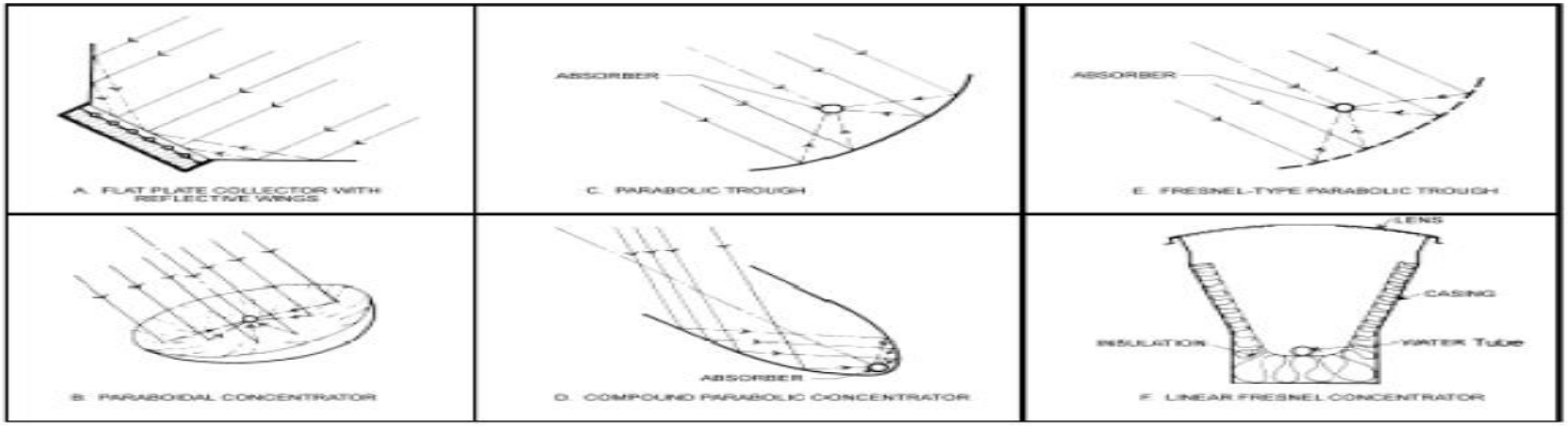


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

## المجمعات الشمسية المركزة Solar Concentrating Collectors:

تستعمل المجمعات الشمسية المركزة في التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة أعلى من درجة الغليان ألا انه يمكن استعمالها في التطبيقات ذات درجات الحرارة الواطئة أيضا ولأجل الحصول على درجات الحرارة العالية يجب تركيز الأشعة الشمسية على مساحة صغيرة. وبالتالي فأنها ترفع درجة حرارة مائع التشغيل إلى درجات حرارة عالية حيث أثبتت التجارب انه بالإمكان رفع درجة السوائل بواسطتها إلى 500°C أو اكثر وعلى مثل هذه الدرجات فأنه بالإمكان إنتاج البخار على ضغوط مرتفعة نسبيا واستخدامه في العمليات الصناعية المختلفة، او في تشغيل التوربينات البخارية لتوليد الطاقة الكهربائية.




الشكل (3) المجمعات الشمسية المركزة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

أن الأجزاء الرئيسية في المجمعات الشمسية المركزة هي:

1. السطح العاكس (Reflector) للإشعاع الشمسي، وهو الذي يقوم بعكس أشعة الشمس المباشرة الساقطة عليه وتركيزها في نقطة بؤرية أو على طول خط بؤري. وتركز الاشعة باستخدام المرايا او العدسات وللعدسات بعض العيوب، حيث يكون تصنيعها مكلفا وخاصة العدسات الكبيرة الحجم وهي ثقيلة وصعبة النصب وتمتص بعض الطاقة خلال مرور الاشعة خلالها، اما المرايا فهي اقل كلفة واخف وزنا وتمتص من الطاقة اقل من العدسات لانها تركز الاشعة بالانعكاس.
2. السطح الماص (Absorber) للإشعاع المنعكس، وهو الذي يقوم بامتصاص الإشعاع الشمسي المنعكس من العاكس وامتصاص التأثير الحراري ومن ثم نقله إلى السائل المراد تسخينه.
3. جهاز التعقب الذي يتعقب حركة الشمس لزيادة كمية الإشعاع المباشر الساقط على السطح العاكس.

وتتطلب صناعة المجمعات المركزة استعمال المواد الملائمة لعكس الأشعة الشمسية وامتصاصها على السطح الماص. وتتخذ المجمعات الشمسية المركزة أشكالا مختلفة تشترك جميعها في الخصائص الرئيسية ولكنها تختلف من ناحية الشكل الهندسي وينجم عن هذا الاختلاف أن درجة الحرارة القصوى التي يمكن الحصول عليها تختلف من مجمع إلى أخر.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

هناك العديد من أشكال المجمعات المركزة (الشكل (3)) و أكثرها شيوعا هي:

**1. المجمع الأسطواني المركز:**

يتكون المجمع الأسطواني المركز من سطح عاكس متحرك وأنبوب ثابت يمر على طول الخط البؤري كما في الشكل ( 4). يكون السطح العاكس مقعرا ويتخذ شكل جزء من اسطوانة ويقوم السطح العاكس بتركيز الأشعة الساقطة على الأنبوب الذي يمر به السائل، ويتحرك هذا السطح بحيث يتعقب حركة الشمس اليومية. تتراوح نسبة التركيز في هذه المجمعات ما بين 20—60 و لذلك يصلح للتطبيقات التي تتطلب درجة حرارة بين150-300°C. وعلى الرغم من انخفاض نسبة التركيز في هذا النوع فأن لها فوائد عديدة مثل إمكانية وضع أنبوب على طول خطوط البؤرة إضافة إلى إنها اقل حساسية في الاقتفاء من الأنظمة الأخرى.

**2. مجمع الطبق المركز:**

يكون السطح العاكس لمجمع الطبق المركز مقعرا وهو أشبه ما يكون بالمرآة المقعرة ويتخذ قطاعه العرضي شكل الدائرة كما في الشكل ( 5) ، يقوم السطح العاكس بتركيز أشعة الشمس على نقطة بؤرية يثبت فيها جسم كروي يقوم بامتصاص الشعاع المنعكس ويمر خلاله أنبوب يحمل سائلا، ونظرا لصغر مساحة مقطع الجسم الكروي بالمقارنة مع مساحة مقطع السطح العاكس الذي تسقط عليه أشعة الشمس فان نسبة التركيز في هذا النوع من المجمعات تكون عالية جدا ويصبح بالامكان رفع درجة حرارة السائل إلى درجات حرارية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

عالية تصل إلى 1000 °C. ونظرا لارتفاع درجة الحرارة في هذا النوع من المجمعات فأنه يصلح لتوليد البخار للعمليات الصناعية ولتوليد الطاقة الكهربائية. ويحتوي مجمع الطبق المركز على جهاز لتعقب حركة الشمس أثناء النهار.

**3. المجمع الشمس المركز المركب:**

يتكون السطح العاكس للمجمع الشمسي المركز المركب من قطاعين متماثلين يتخذ كل منهما شكل القطع المكافئ، ويعكس هذان السطحان الأشعة الساقطة عليهما على طول خط بؤري يمر فيه أنبوب يحمل السائل المراد تسخينه. في بعض تصاميم المجمعات المركزة المركبة يستبدل بالأنبوب المعدني الحامل للسائل أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء يمر فيه أنبوب معدني يحمل السائل المراد تسخينه، والهدف من استعمال الأنابيب الزجاجية المفرغة هو تقليل انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل إلى اقل درجة ممكنة ذلك لان انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل يحتاج إلى وسط مادي وتسمى المجمعات الشمسية في هذه الحالة بالمجمعات الشمسية المفرغة (Evacuated solar collector).

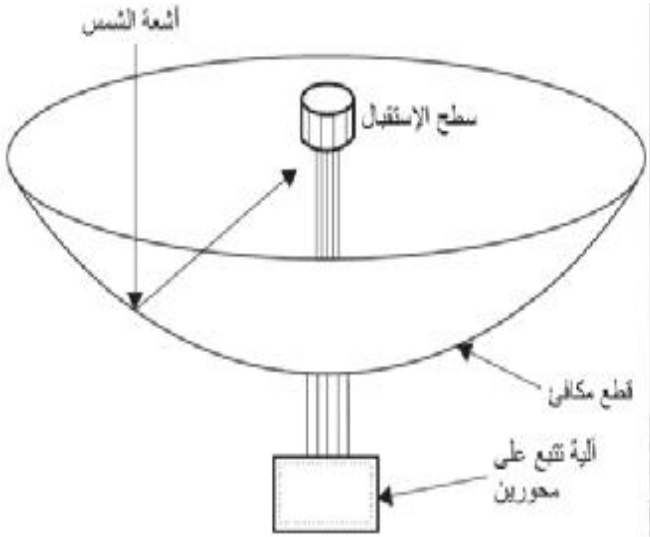


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

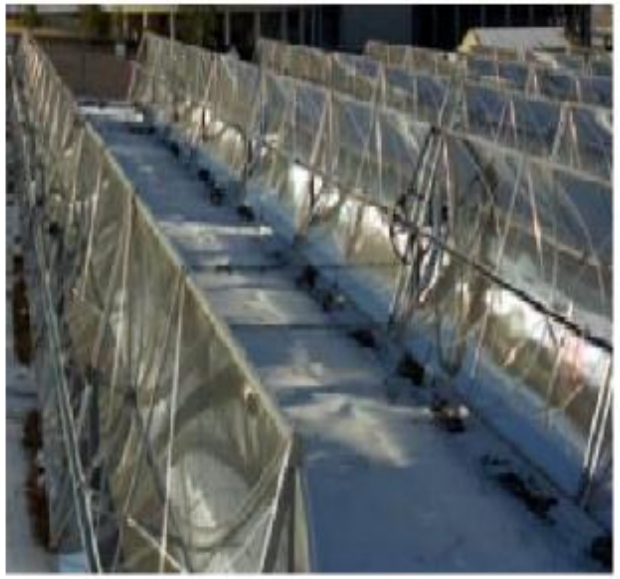
# Renewable Energy طاقات متجددة

الفصل الدراسي الأول (المحاضرة الخامسة- ا) استاذ المادة: ا.د. غسان عدنان

إلهيتي



الشكل (5) مجمع الطبق المركز



الشكل (4) المجمع الأسطواني المركز

كلية العلوم التطبيقية المرحلة الرابعة قسم البيئة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إلهيتي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## درجة الحرارة

يعد مفهوم درجة الحرارة من المفاهيم الأساسية في الفيزياء, شأنه شأن المفاهيم الأساسية الأخرى كالقوى مثلاً. وعلى الرغم من ان الجميع يملك فكرة واضحة أو تصوراً معيناً عن معنى هذا المفهوم وذلك بدلالة أحاسيسه, إلا ان مفهوم درجة الحرارة ليس سهل التعريف والتحديد بدقة. أي أن درجة حرارة الجسم (أو النظام) تأخذ القيمة نفسها التي تؤول إليها قيم درجات الحرارة المختلفة لتلك الأجسام (أو الأنظمة), إذا وضعت هذه الأجسام (أو الأنظمة) سوية وباتصال حراري مباشر. ان هذا الشرح أو التفسير يتطابق مع فكرة ان درجة الحرارة هي مقياس لسخونة أو برودة الأجسام (أو الأنظمة), فضلاً عن انه يقود أيضاً إلى معنى أساس آخر لدرجة الحرارة وهو أنها خاصية ما للمادة تؤول إلى نفس قيمتها في مواد أخرى عندما توضع هذه المواد في حالة اتصال حراري ويتحقق التوازن الحراري.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## أسس قياس درجة الحرارة

تسمى الاجهزة المستخدمة لقياس درجة الحرارة بالمحارير والتي تعتمد على تغير الخواص الفيزيائية للمادة, وتتغير هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة. ومن هذه الخواص حجم المادة ومقاومة السلك الكهربائية وطول القضيب المعدني وضغط الغاز المحفوظ تحت حجم ثابت وحجم الغاز المحفوظ تحت ضغط ثابت ولون سلك التسخين في المصباح الكهربائي, وغيرها. لقد استعان العلماء على العلاقة بين أي من هذه الخواص الفيزيائية ودرجة الحرارة في بناء مقياس مناسب لدرجة الحرارة (محرار). ان بناء أي مقياس لدرجة الحرارة يعتمد أساسا على الاختيارات الآتية :

1- اختيار المادة المحرارية المناسبة.
2- اختيار الصفة المحرارية المناسبة لتلك المادة.
3- اختيار المدى المناسب لدرجات الحرارة التي يراد قياسها.
4- الافتراض بأن الصفة المحرارية المختارة تتغير باستمرار مع تغير درجة الحرارة.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## مقاييس درجة الحرارة The Temperature Scales

بصورة عامة هناك ثلاثة مقاييس رئيسة لدرجة الحرارة, وهي كما يأتي:

1- المقياس السليزي The Celsius (Centigrade) Scale (°C)

2- المقياس الفهرنهايتي The Fahrenheit Scale (°F)

3- المقياس الكلفني The Kelvin Scale (K)

## المقياس السليزي The Celsius (Centigrade) Scale (°C)

يتم تدريج هذا المقياس وذلك بتعريف نقطة انجماد الماء على أنها تساوي صفر درجة سليزية, 0°C تحت الضغط الجوي الاعتيادي, ونقطة الغليان على أنها تساوي 100°C تحت الضغط الجوي الاعتيادي, والطريقة المستخدمة لتدريج المحرار الزئبقي وفق هذا المقياس



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هي بوضـــع المحرار الزئبقي في خليط الثلج والماء وتركه مدة كافية حتى يســـتقر مســـتوى الزئبق. ويؤشر مستوى الزئبق على انه $0^oC$ ثم يهيئ خليط البخار والماء ويوضع المحرار داخله فيرتفع مستوى الزئبق ويستقر عند مستوى معين, يؤشر هذا المستوى على انه $100^oC$ ثم تقسم المسافة بين العلامتين $0^oC$ و $100^oC$ إلى 100 جزء متساوٍ كل جزء سيمثل تغيراً في درجة الحرارة مقداره درجة سليزية واحدة $1\ ^oC$. ويمكن توسيع مدى المحرار المذكور وذلك بإضـافة المسـافات نفسـها قبل النقطة $0^oC$ من اجل الحصـول على الدرجات الحرارية الأقل من $0^oC$ , وبعد النقطة $100^oC$ للحصول على الدرجات الحرارية الواقعة بعد $100^oC$ .

## المقياس الفهرنهايتي The Fahrenheit Scale ($^oF$)

يعد المقياس الفهرنهايتي من مقاييس درجة الحرارة المعروفة. ان مســـافة درجة الحرارة الفهرنهايتية على المقياس تساوي ( $\frac{5}{9}$ ) مسـافة درجة الحرارة السـليزية. ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تســـاوي 32 درجة فهرنهايتية ($32^oF$), ودرجة غليان الماء تســـاوي $212^oF$ . وتقســـم المســـافة بين النقطتين إلى 180 جزءاً متســـاوياً. وان طريقة تدريجه هي طريقة تدرج المقياس السليزي نفسها.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

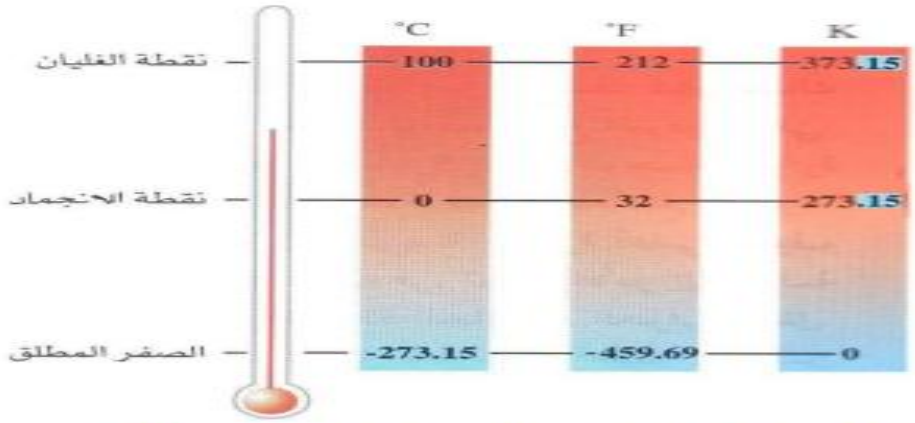
## المقياس الكلفني The Kelvin Scale (K)

يعد المقياس الكلفني المقياس العلمي الأساس لدرجة الحرارة والذي على أساسه يتم تعريف المقياس السليزي. يشبة المقياس الكلفني في تقسيماته المقياس السليزي, ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي 273.15 درجة كلفنيه, وغالباً ما تأخذ على أنها مساوية الى 273 K , أما درجة حرارة غليان الماء فإنها تساوي 373.15 K درجة كلفنية تحت الضغط الجوي الاعتيادي.

ومن هذا يتبين ان المسافة بين النقطتين مقسمة إلى 100 جزء متساو, كما هي الحالة في المقياس السليزي, فضلاً عن ان تساوي الدرجة الكلفنية مع الدرجة السليزية. يوضح الشكل (1) هذه المقاييس الثلاثة والدرجات الحرارية المهمة فيها:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com




الشكل (1) يمثل تخطيطاً مبسطاً للمقاييس الثلاثة

## التحويل من مقياس إلى آخر Conversion of Scales

يمكن تحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر النسبة الاتية:

$$\frac{°C-0}{100}=\frac{K-273}{100}=\frac{°F-32}{180}$$

1- من المقياس السليزي إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في المعادلات الآتية:

$$°F=\frac{9}{5}\,°C+32 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

أو

$$°C=\frac{5}{9}(°F-32) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

2- من المقياس السليزي إلى المقياس الكلفني وبالعكس كما في المعادلات الآتية:

$$K=°C+273 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

أو

$$°C=K-273 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3- من المقياس الكلفني إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في العادلات الآتية:

$$°F = \frac{9}{5}(K - 273) + 32 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

أو

$$K = \frac{5}{9}(°F - 32) + 273 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**الشغل Work (W):** اذا اثرت قوة مقدارها (F) على جسم ما وإزاحته مسافة مقارها (x) فيقال ان هذه القوة قد انجزت شغل على هذا النظام ويحسب هذا الشغل من المعادلة الاتية :

$$W = F.x \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

ويقاس الشغل بوحدات الجول (1J=N.m).

**القدرة Power (p):** هي المعدل الزمني للشغل المنجز وتقاس بوحدات الواط او الكيلو واط وتحسب من المعادلة التالية :

$$Power(watt) = \frac{Work}{Time} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

وتقاس القدرة احيانا بوحدات القدرة الحصانية (P.H power Horse) حيث:

(1 P.H =754.7 W)

اما القدرة الكهربائية Electrical power فتحسب من المعادلة الاتية :

$$Electrical\ Power(watt) = V.I \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

اذ ان V : الفولتية المسلطة وحدتها (volt) ، I : التيار الكهربائي وحدتها ( Ampere).

**الطاقة Energy :**

هي القدرة على انجاز شغل ما، وتقسم الطاقة الى نوعين.

**النوع الاول :** بشكل طاقة مخزونة داخل حدود النظام system كالطاقة الكامنة Potential energy والطاقة الحركية Kinetic energy والطاقة الداخلية Internal Energy .

**النوع الثاني :** الطاقة المنتقلة عبر حدود النظام الى المحيط الخارجي كالحرارة Heat والشغل وتقاس الطاقة بوحدات الجول او احدى مشتقاته.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**الطاقة الكامنة Potential energy:** هي الطاقة التي يمتلكها جسم ما بسبب وضعه نسبة الى مستوى اسناد معين مثل مستوى سطح البحر ، فإذا كان اي جسم على ارتفاع مقداره (Z) فوق مستوى الاسناد عندئذ نتيجة لكتلته ( $m$ ) يصبح لديه طاقة كامنة مخزونة في هذا الجسم ويمكن حساب هذه الطاقة الكامنة من المعادلة الاتية :

$$P.E = mg\ Z \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

- ٢ - اذ أن m :كتلة الجسم وحدتها (Kg) ، g : التعجيل الارضي 9.81 وحدته ( $m/s^2$ ).Z :المسافة من مستوى الاسناد وحدته (m) .

**الطاقة الحركية Kinetic energy:** هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة حركته، فإذا كان الجسم كتله (m) يتحرك بسرعة (v) فان الطاقة الحركية له تحسب من المعادلة التالية:

$$K.E = \frac{1}{2}mv^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

**الطاقة الحرارية Heat energy:** هي احد اشكال الطاقة ، ويمكن تحويلها من شكل الى اخر وتنتقل الحرارة بين الاجسام او المنظومات المختلفة نتيجة وجود فرق في درجات الحرارة ومن مصادر الطاقة الحرارية التفاعلات الكيميائية واحتراق الوقود والاحتكاك والتفاعلات النووية وتقاس الحرارة بالجول وفي نظام الوحدات البريطانية تقاس بالوحدة الحرارية البريطانية ($B.T.U.$).

**الحرارة النوعية Specific heat:** تعرف الحرارة النوعية للمادة بانها كمية الحرارة التي تنتقل من وحدة كتلة من المادة او اليها في حين تتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارة واحدة وحداتها هي K.kg/J و تتغير الحرارة النوعية بتغير درجة الحرارة ، الا انه في معظم المواد الصلبة والسائلة يكون هذا الاختلاف صغير جدا ، بحيث يمكن اعتبارها ثابتة ، غير



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**ان هذه الحرارة النوعية تتغير بتغيير حالة المادة من طور الى اخر .و يمكن حساب كمية الحرارة المكتسبة او المفقودة ($Q$) من مادة باستخدام الحرارة النوعية كما في المعادلة التالية:**

## القانون الأول في الثرموداينمك First Law of Thermodynamic

ينص القانون الاول للثرموداينمك على ان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وانما يمكن تحويلها من شكل الى اخر، ولهذا يسمى هذا القانون احيانا بقانون حفظ الطاقة وخلال اي دورة تتم على اي نظام فأن تكامل الدورة يتناسب مع تكامل الشغل لها ورياضيا يمكن التعبير عن القانون الاول للثرموداينمك بالشكل الاتي:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

## القانون الثاني في الثرموداينمك Second Law of Thermodynamic

توجد هناك صياغتان تقليديتان للقانون الثاني للثرموداينمك هما: صياغة كلفن – بلانك و التي تنص على انه من المستحيل انشاء محرك يستطيع تحويل كل الحرارة المتوفرة الى شغل وانما تكون هناك جزء من الطاقة مفقودة الى الخارج على شكل خسائر والصيغة الثانية للقانون الثاني لديناميك الحرارة ( صيغة كلاسيوس) فتنص على ان من المستحيل نقل الحرارة من مكان ذي درجة حرارة واطئة الى مكان ذي درجة حرارة اعلى من دون انجاز شغل.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## مبادئ انتقال الحرارة

يعرف علم انتقال الحرارة بانه العلم الذي يبحث في حساب كمية الحرارة المنتقلة نتيجة وجود فرق في درجات الحرارة بين المواد والانظمة المختلفة. وتوجد هناك ثلاثة طرق لانتقال الحرارة هي:

### 1. التوصيل (Conduction)

في حالة وجود فرق في درجات الحرارة في وسط صلب، فان الحرارة ستنساب من المنطقة ذات درجة الحرارة العالية الى المنطقة ذات درجات الحرارة الواطئة، ويعتمد المعدل الحقيقي لانتقال الحرارة ( $q_u$ ) في اي وسط على معامل التوصيل $k$ والذي هو عبارة عن خاصية فيزياوية للوسط ويحسب هذا المعدل من المعادلة الاتية:

$$q_u = -k.A.\frac{dT}{dx} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

حيث ان: $\frac{dT}{dx}$ : لانحدار الحراري خلال المسافة ، $A$: المساحة التي تنتقل خلالها الحرارة.

تظهر الاشارة السالبة كنتيجة للقانون الثاني لداينميك الحرارة، والذي يحتاج الى وجوب انسياب الحرارة بالاتجاه من درجات الحرارة الاعلى الى درجة الحرارة الاوطأ. تعرف المعادلة اعلاه بمعادلة التوصيل الحراري او قانون فوريير للتوصيل وقد سمي باسم العالم الفرنسي (J.B.J Fourier) الذي اقترحه عام 1822 وبالرغم من ان معامل التوصيل الحراري بشكل عام يتغير بتغير درجة الحرارة فان التغير في بعض المسائل الهندسية يكون صغير جدا بحيث يمكن اهماله.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## 2. الحمل (Convection)

تمثل هذه الطريقة انتقال الحرارة في الموائع، حيث تنتقل الطاقة بواسطة الحركة الماكروسكوبية لجزيئات المائع والتي تتحرك نتيجة فرق الكثافة او بواسطة مضخة او مروحة او نتيجة الاثنين معا. وبغض النظر عن اسلوب انتقال الحرارة، فان معدل انتقال الحرارة بالحمل بين سطح ومائع يمكن حسابه من العلاقة الاتية:

$$q_c = h_c . A . (T_S - T_\infty) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

حيث ان: $q_c$ = معدل انتقال الحرارة بالحمل (W)، $A$ = المساحة التي تنتقل خلالها الحرارة ($m^2$).
$h_c$ = معامل انتقال الحرارة بالحمل ($W/m^2.K$)، $(T_s - T_\infty)$ = الفرق بين درجة حرارة السطح $(T_s)$ ودرجة حرارة المائع $(T_\infty)$ .

وتسمى بقانون نيوتن للتبريد ويعتمد انتقال الحرارة بالحمل على لزوجة المائع اضافة الى اعتماده على الخواص الحرارية للمائع ( الموصلية الحرارية للمائع والحرارة النوعية والكثافة).

## 2. الاشعاع (Radiation)

لا يتطلب انتقال الحرارة بالاشعاع الى وسط مادي لينتقل خلاله وتعتمد كمية الطاقة التي تترك السطح كحرارة اشعاعية على درجة الحرارة المطلقة وطبيعة السطح ويستطيع اي مشع مثالي او جسم اسود من ان يبعث طاقة اشعاعية من سطحه بمعدل $(q_r)$ ويعطى بالمعادلة الاتية:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$q_r = \sigma . A_1 . T_1^4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

حيث ان: $q_r$ = معدل انتقال الحرارة بالاشعاع (W) و$A_1$ = المساحة التي تنتقل خلالها الحرارة ($m^2$).

$\sigma$ = ثابت ستيفان – بولتزمان = $5.67 * 10^{-8}\ W/m^2.K^4$ (بالوحدات العالمية).

= $0.1718 * 10^{-8}\ Btu/h.ft^2.R^4$ (بالوحدات البريطانية).



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

# خواص الشحنة الكهربية Properties of Electric Charges

**نص قانون حفظ الشحنة : - الشحنة لا تفنى ولا تستحدث**

**الشحنة الكهربية دائما تكون محفوظة في النظام المعزول .أي انه عندما نقوم بدلك جسمين مع بعضهما البعض فان الشحنة المتكونة لا تنشأ من العدم .وإنما تنتج من حالة تكهرب ( عملية الشحن) نتيجة لانتقال الشحنة من جسم إلى أخر .**

**يكتسب جسم شحنة سالبة محددة في حين ان الجسم الثاني يكتسب شحنة موجبة بنفس المقدار .على سبيل المثال عندما يم دلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير كما هو موضح في الشكل(1) فان الحرير يحصل على شحنة سالبة تساوي في المقدار الشحنة الموجبة التي تكونت على ساق الزجاج.**

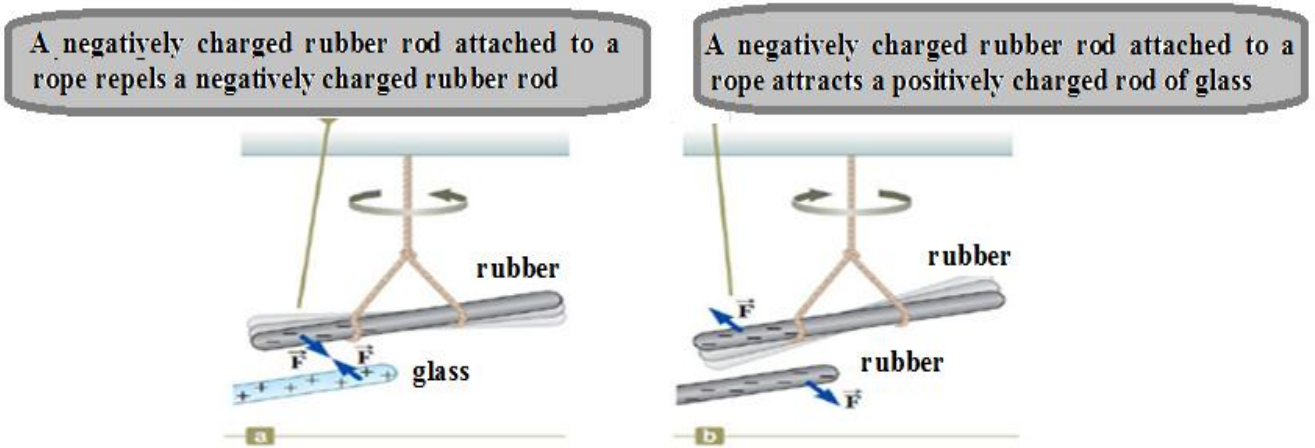



Figure 1: Electrical forces between
(a) Two charged particles with different charges
(b) Two charged particles with similar charges



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## نوعا الشحنة

١-شحنة كهربائية موجبة + بروتونات ( $p^+$ )
٢-شحنة كهربائية سالبة - الكترونات( $e^-$ )

تمتلك الالكترونات شحنة سالبة ( $e^-$ ) وان البروتون يمتلك شحنة موجبة ( $e^+$ ) مساوية لشحنة الالكترون ولكن بإشارة معاكسة.

اصغر وحدة للشحنة الحرة في الطبيعة هي شحنة الالكترون $e$ وتكون ($-e$) للالكترون و ($+e$) للبروتون ولها القيمة التالية،شحنة وكتلة كلا من الالكترون والبروتون والنيوترون موضحة في الجدول (1) لاحظ ان الالكترون والبروتون متماثلين في مقدار شحنتهما ولكنها يختلفان في كتلتهما .على الجانب الاخر كلا من البروتون والنيوترون متماثلين في كتلتهما ولكنها يختلفان في الشحنة.

Table (1): Charge and mass of the electron, proton and neutron

| Particle | Mass (kg) | Charge (C) |
|---|---|---|
| Electron (e) | $9.1094 \times 10^{-31}$ | $-1.6021765 \times 10^{-19}$ |
| Proton (p) | $1.67262 \times 10^{-27}$ | $+1.6021765 \times 10^{-19}$ |
| Neutron (n) | $1.67262 \times 10^{-27}$ | 0 |



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## ملاحظات مهمة جدا

1- البروتون داخل نواة الذرة و شحنته موجبة و مقدارها مساوي مقدار شحنة الالكترون.

المادة تتألف من الذرات و تحتوي كل ذرة على:

(a)- النواة و تحتوي على بروتونات موجبة (+ p) و نيوترونات متعادلة الشحنة

(b)- الكترونات ($e^-$) تدور بسرعة عالية جدا حول النواة و تمتلك شحنة سالبة (-).

ملاحظة :- تكون الذرات متعادلة كهربائيا عندما تتساوي عدد الكتروناتها مع عدد بروتوناتها (تساوي الشحنة السالبة مع الشحنة الموجبة).

2-شحنة الالكترون أو البروتون تعد اصغر وحدة لقياس الشحنات.

3-ان شحنة أي جسم مشحون تساوي مضاعفات صحيحة لمقدار شحنة الالكترون. لحساب عدد الالكترونات لجسم مشحون.

تكون الشحنة الكهربية ($q$) مكممة ، حيث ان $q$ هي الرمز المستخدم للشحنة .هذا يعني ان الشحنة الكهربية تتواجد كحزم متقطعة ويمكننا ان نكتب ان ( $q = \pm Ne$) حيث ان $N$ هي عدد صحيح.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4- مقدار شحنة الالكترون($C$ ) $1.60218 \times 10^{-19}$ )حيث($C$) يقصد بها الكولوم ،

و الكولوم الواحد = $6.25 \times 10^{18}$ الكترون.

5-كتلة الالكترون =$9.1091 \times 10^{-31}$ Kg .

6- اجزاء الكولوم : ملي كولوم ($1mC=10^{-3}$ C) ، مايكرو كولوم ($1\mu C=10^{-6}$ C) ، نانو كولوم ($1nC=10^{-9}C$)، بيكو كولوم ($1pC=10^{-12}C$).

يمكن تصنيف المواد الصلبة بموجب معاملات توصيلها الكهربائي الى ثلاثة اصناف:

١- الموصلات Conductors :هي مواد جيدة التوصيل الكهربائي وهي مواد فلزية مثل (الذهب،الفضة ،النحاس،الالمنيوم....) يكون معامل التوصيل الكهربائي لها بحدود $10^{7}(\Omega.m)^{-1}$.حاملات الشحنة في الموصلات هي الالكترونات والتيار الناشيء عن حركتها يعرف بتيار التوصيل، تمتاز الموصلات بان لها معامل مقاومة حراري من النوع الموجب وهذا يعني ان مقاومية الموصل تزداد مع زيادة درجة الحرارة.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

٢- أشباه الموصلات Semiconductors :هي مواد عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق وموصلة بشكل ضعيف عند درجة حرارة الغرفة مثل (السيلكون ،الجرمانيوم ،كبريتيد الخارصين...) يكون معامل التوصيل الكهربائي لها بحدود $10^{2}(\Omega.m)^{-1}$. حاملات الشحنة في اشباه الموصلات هي الالكترونات والفجوات وينشأ نوعين من التيارات يعرفان بتيار التوصيل وتيار الأنتشار، تمتاز اشباه الموصلات بان لها معامل مقاومة حراري من النوع السالب وهذا يعني ان مقاومية شبه الموصل تقل مع زيادة درجة الحرارة.

٣-العوازل Insulators :هي مواد رديئة التوصيل الكهربائي او عازلة كهربائيا مثل (الأبونيت،المطاط ،البلاستك،الزجاج ،الخزف) يكون معامل التوصيل الكهربائي لها بحدود $10^{-8}(\Omega.m)^{-1}$.حاملات التيار في العوازل هي ثنائيات الأقطاب والتيار الناشيء عن حركتها يعرف بتيار الازاحة.



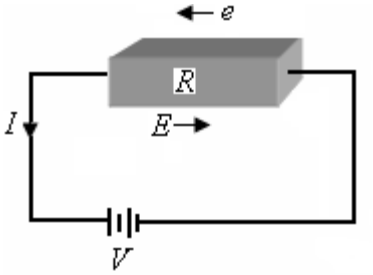
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## الخصائص الكهربائية Electrical Properties

تساعدنا الخواص الكهربائية للمواد العازلة على فهم حركة حاملات الشحنة أو سلوك الشحنات الموجودة في المادة الصلبة عند تعريضها لتأثير المجال الكهربائي وعلى معرفة آليات التوصيل و الاستقطاب الكهربائي وتأثيرها في الخواص الكهربائية.

## الخصائص الكهربائية المستمرة D.C Electrical Properties

عند تسليط فرق جهد مستمر ($V$) على قطعة من الموصل طولها ($L$) فأن مجال كهربائي ($E$) يتولد داخل القطعة:




$$E = \frac{V}{L} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ويتولد عن ها المجال قوة كهربائية ($F$) مؤثرة على الشحنة الكهربائية ($q$) تعطى:

$$F = qE \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

تعمل هذه القوة ($F$)على تعجيل الشحنات :



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$F = ma = m\left(\frac{v_d}{t}\right) \quad \text{..... (3)}$$

ومن المعادلتين 2&3 نحصل على: $qE = m\left(\frac{v_d}{t}\right)$

$$v_d = \frac{q}{m}Et \text{..... (4)}$$

أي أن سرعة انجراف الشحنة ($v_d$) تزداد مع زيادة شدة المجال الكهربائي ($E$) والزمن ($t$) .

سرعة الانجراف: هي أقصى سرعة يمكن أن يصلها الإلكترون عند تسليط مجال كهربائي وتصل بعد فترة معينة إلى قيمة ثابتة تساوي

$$v_d = \mu E \text{ ..... (5)}$$

حيث أن μ: تعرف بالتحركية $m$ mobility: هي المسافة التي يمسحها الإلكترون في الثانية عند تعرضه لفرق جهد volt (1) وتقاس ب(المتر المربع / فولت . ثانية)

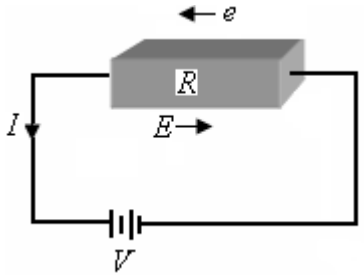
$$\mu = \frac{q}{m}t \text{..... (6)}$$

الموصلية الكهربائية هي معكوس المقاومية كهربائية( $\rho$)



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

والموصلية هي قدرة المادة الكهربية على تمرير الشحنات وبالتالي التوصيل بين عناصر الدائرة الكهربية و تتأثر الموصلية بنفس العوامل المؤثرة على قيمة المقاومية الكهربية . التوصيلية الكهربائية مقلوب المقاومية الكهربائية $\left(\sigma = \frac{1}{\rho}\right)$




يمثل الشكل جسما معدنيا طوله (L) ومساحة مقطعه العرضي (A) وقد ربط طرفيه إلى قطبي بطارية فرق جهدها (V) .وهذا يعمل على امرار تيار في المعدن مقداره (I) واستنادا إلى قانون أوم فان العلاقة بين التيار وفرق الجهد حسب قانون أوم $V = IR \Rightarrow$

$$I = \frac{V}{R} \text{..... (6)}$$

المقاومة الكهربائية: مقاومة حجم من المادة لمرور التيار الكهربائي تعتمد على: مساحة مقطعه العرضي (A) و طوله (L) و المقاومية او مقاومته النوعية ( $\rho$ ) حيث أن

$$\left(R = \rho \frac{L}{A}\right) \text{..... (7)}$$

المقاومة النوعية ( $\rho$ ): مقاومة حجم من المادة طوله ومقطعه العرضي يساويان الوحدة وتقاس ب(الأوم. متر) أو (الأوم. سنتيمتر) .



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

التوصيلية الكهربائية مقلوب المقاومية الكهربائية $\left(\sigma = \frac{1}{\rho}\right)$

فعند تسليط فرق الجهد بين طرفي موصل مقاومته اوم ينشأ تيار شدته أمبيروباعادة ترتيب المعادلة (7) بالصيغة التالية : $\left(\frac{1}{R} = \frac{1}{\rho}.\frac{A}{L}\right)$والتعويض في المعادلة (6) لنحصل على:

$$I = \frac{V}{\rho}.\frac{A}{L} = A\left(\frac{1}{\rho}\right).\left(\frac{V}{L}\right) \text{ ..... (8)}$$

كثافة التيار الكهربائي السطحية ( $J$ ): هي كمية التيار الكهربائي المار خلال وحدة السطح$\left(J = \frac{I}{A}\right)$.

$$J = \frac{I}{A} = \frac{A}{A}\left(\frac{1}{\rho}\right).\left(\frac{V}{L}\right) = \left(\frac{1}{\rho}\right).\left(\frac{V}{L}\right) \text{ ..... (9)}$$

بما أن التوصيلية الكهربائية مقلوب المقاومية الكهربائية$\left(\sigma = \frac{1}{\rho}\right)$ والعلاقة بين شدة المجال الكهربائي والجهد الكهربائي$\left(\mathbf{E} = \frac{V}{L}\right)$ عليه فأن :

$J = \left(\frac{1}{\rho}\right).\left(\frac{V}{L}\right) = \sigma.E$ ..... (10) الصيغة الثانية لقانون أوم

ويرمز لمعامل التوصيل (التوصيلية )الكهربائي بالرمز ($\sigma$)



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**التيار الكهربائي :هو المعدل الزمني لمرور الشحنات الكهربائية**

$$\Delta I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{..... (11)}$$

**حيث أن ΔQ:الشحنة الكلية بكثافة حجمية** $\left(\rho_{ch} = \frac{\Delta Q}{\Delta V}\right)$

**كثافة الشحنة الحجمية :هي عدد الشحنات الكهربائية لوحدة الحجم**

$$\rho_{ch} = nq \quad \text{..... (12)}$$

**كذلك أن**

$$\Delta Q = \rho_{ch}\Delta V \quad \text{..... (13)}$$

**وحدة الحجم = وحدة المساحة x وحدة مسافة**

$$\Delta V = \Delta A \Delta x \quad \text{..... (14)}$$

**نعوض (14)في (13) لنحصل :**

$$\Delta Q = \rho_{ch}\Delta A \Delta x \quad \text{..... (15)}$$

**نعوض (15)في (11) لنحصل :**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\Delta I = \frac{\rho_{ch}\Delta A\Delta x}{\Delta t} \quad \text{(16)}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة (16) نحصل:

$$\frac{\Delta I}{\Delta A} = \rho_{ch}\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

وبما أن: $J = \frac{\Delta I}{\Delta t}$ و $v_d = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$$J = \rho_{ch} v_d \quad \text{(17)}$$ ,

وبتعويض المعادلتين (12) و ( 5) في المعادلة (17) نحصل على:

$$J = nq\mu E \quad \text{(18)}$$

وبمقارنة المعادلة (18) مع المعادلة (10) نحصل على:

$$\sigma = \frac{J}{E} = nq\mu \quad \text{(19)}$$

عليه فأن التوصيلية الكهربائية تمثل حاصل ضرب عدد حاملات الشحنة (n) ومقدار الشحنة (q)التي يحملها الحامل الواحد وحركية Mobility (μ)حاملات الشحنة اي ان:

$$\mu = \frac{\sigma}{nq} \quad \text{(20)}$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

# المغناطيسية Magnetism

نشأ علم المغناطيسية من ملاحظة أن بعض الأحجار وتسمى Magnetite $Fe_3O_4$ تجذب إليها جسيمات الحديد ،تطلق كلمة المغناطيسية على المواد التي تظهر استجابة واضحة للمجال المغناطيسي الخارجي المسلط عليها. ومن اهم المواد المغناطيسية المعروفة الحديد ، النيكل ،الكوبلت. .وكلمة مغناطيسية Magnetism هي مشتقة من منطقة ماغنيسيا Magne sia في اسيا الصغرى حيث توجد هذه الاحجار .

في عام 1820 لاحظ العالم اورستد Orested أنه إذا مر تيار في سلك فإنه ينشأ تأثير مغناطيسي متمثلاً في انحراف ابرة مغناطيسية موضوعة بجوار السلك ، وقد ربط اكشاف اورستد علاقة بين علم الكهربية وعلم المغناطيسية.

## العزم المغناطيسي للإلكترون (μ) The Magnetic Moment of Electron

ان دوران الالكترونات حول نواة الذرة يساهم في تكوين العزم المغناطيسي للذرة ،ان العزم المغناطيسي الذي يولده تيار كهربائي مقداره ( $I$ ) في سلك على شكل دائرة نصف قطرها ($r$) يساوي حاصل ضرب قيمة التيار في مساحة الدائرة ($A$) اي أن :

$$\mu = I.A.....(1)$$

اذ أن

$$A = \pi r^2.....(2)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ان دوران الالكترونات حول النواة يمثل التيار الكهربائي المذكور،ان قيمة التيار الكهربائي الناشئ عن دوران الكترون واحد ($-e$) وسرعته ($v$) دورة في الثانية يكافئ التيار الكهربائي مقداره ($I$) اي أن :

$$I = -e.v \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وبالتعويض عن قيم كل من ($I$) و($A$)في المعادلة (3) نحصل على:

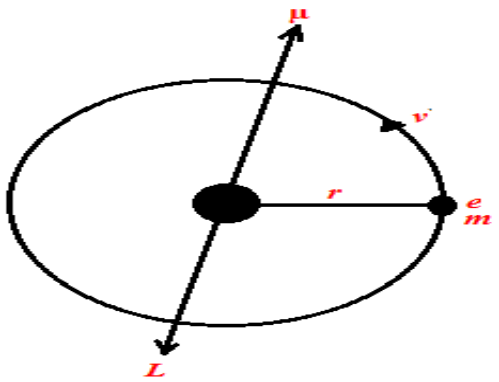
$$\mu = -e\, v.\pi\, r^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

يطلق على ($\mu$) مصطلح العزم المغناطيسي للإلكترون.

## الزخم الزاوي للإلكترون (L) The Angular Momentum of Electron

يمكن ايجاد قيمة الزخم الزاوي للإلكترون من معرفة سرعة الالكترون ،ان السرعة الخطية للإلكترون يمكن حسابها من العلاقة الآتية:( السرعة الخطية = محيط الدائرة x عدد دورات الالكترون حول النواة في الثانية )

$$v = 2\pi r.v \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$




وبما أن الزخم الزاوي ($L$) للإلكترون

$$L = m.\omega \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

أي أن

$$L = m.vr \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وبالتعويض عن قيم كل من ($v$) في المعادلة (7) نحصل على:

$$L = 2\pi r^2\, m.v \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## العلاقة بين الزخم الزاوي للإلكترون (L) وبين العزم المغناطيس للإلكترون (μ)

هناك علاقة مهمة بين العزم المغناطيسي (μ) الى الزخم الزاوي (L) للإلكترون يمكن ايجادها من مقارنة المعادلتين $(\mu = -e\, v.\pi\, r^2)$ و $(L = 2\pi r^2\, m.v)$ وهي كما يأتي : $\left(\frac{\mu}{-e} = v.\pi\, r^2\right)$ و $\left(\frac{L}{2m} = \pi r^2\, m.v\right)$ فنحصل على $\left(\frac{L}{2m} = \frac{\mu}{-e}\right)$ بحيث:

$$\mu = \frac{-e}{2m} L \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

ان نسبة العزم المغناطيسي(μ) الى الزخم الزاوي (L) تساوي نسبة شحنة الالكترون (e) الى ضعف كتلته (2m) اما الاشارة السالبة فتعني ان اتجاه العزم المغناطيسي يكون معاكسا لاتجاه الزخم الزاوي.

وحسب نظرية بور فان الزخم الزاوي للإلكترون يكون محددا (مكمما) وحسب المعادلة الاتية:

$$L = n\hbar \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

حيث n:تمثل عددا صحيحا وأن $\left(\hbar = \frac{h}{2\pi}\right)$ و h:ثابت بلانك ،لذا فأن قيم العزم المغناطيسي ستكون مكممة ايضا أي أن:

$$|\mu| = \frac{e}{2m} n\hbar \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

ان أصغر قيمة ل (μ) تحدث عندما تكون قيمة (n) مساوي للواحد الصحيح ،اي عندما (n=1) فأن:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\mu = \frac{e\hbar}{2m} \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

ان القيمة الصغرى للعزم المغناطيسي $\left(\mu = \frac{e\hbar}{2m}\right)$تسمى بمغنيط بور ويرمز لها ($\mu_B$) وقيمتها تساوي( ) $9.27x10^{-24}$ جول لكل تسلا أي أن: $\mu_B=9.27x10^{-24}$ J/T

ان المغناطيسية (M)أو العزم المغناطيسي لوحدة الحجم يمكن ايجادها من اضافة جميع عزوم الذرات الموجودة في وحدة الحجم، أي أن:

$$M = \sum \mu\, i \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

اذ أن (i) تمثل عددا صحيحا يبدأ من (1)الذي يمثل الالكترون الأول وينتهي بآخر الكترون.

ترتبط المغناطيسية (M) بالمجال الممغنط (H) من خلال العلاقة الآتية:

$$M = \chi H \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

اذ أن($\chi$) تمثل التأثرية المغناطيسية،وهناكالمجال المغناطيسي الذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$B = \mu_V H + \mu_V M \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

حيث ($\mu_V$) تمثل سماحية الفراغ ،وهناك السماحية النسبية ($\mu_r$) التي تعرف بالعلاقة الآتية:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_V} \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

وقد هناك علاقة بين التأثرية المغناطيسية ($\chi$) و السماحية النسبية ($\mu_r$) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\chi = \mu_r - 1 \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$



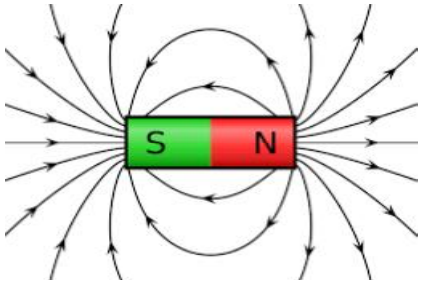
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

اما بالنسبة للوحدات فأن وحدة المجال المغناطيسي (B) ب ($Weber/m^2$) ،ووحدة المجال الممغنط (H)هي (Amper-turn /m) اما سماحية الفراغ ($\mu_V$) فتعطى بوحدة (Henry /m).



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## خواص المغناطيس




1. للمغناطيس القدرة على جذب الأشياء المصنوعة من مواد مغناطيسية ( الحديد و الكوبالت والنيكل ولا يجذب الخشب والورق والفلين والقماش) .

2 .لكل مغناطيس قطبان متساويان في الشدة ومختلفان في النوع(شماليّ وجنوبي ويرمز للقطب الشمال بالحرف N ، ويرمز للقطب الجنوبي بالحرف S ).

3 .المنطقة التي تتركز فيها قوة الجذب للمغناطيس تسمى القطب المغناطيسي .

4 .اذاقُطع المغناطيس من أي منطقة فيه فانه يتكون له قطبان ولا يمكن أن يكون له قطب منفرد عملياً .

5 .قوة المغناطيس تتركز عند كل من قطبيه وتقل تدريجيا حتى تنعدم عند منتصفه،(المنطقة التي تنعدم فيها قوة المغناطيس تسمى منطقة الخمود) .

6 . المستقيم الواصل بين قطبي المغناطيس يسمي بمحور المغناطيس.

7 . الأقطاب المغناطيسية تؤثر على بعضها البعض بقوة متبادلة تسمى القوة المغناطيسية .



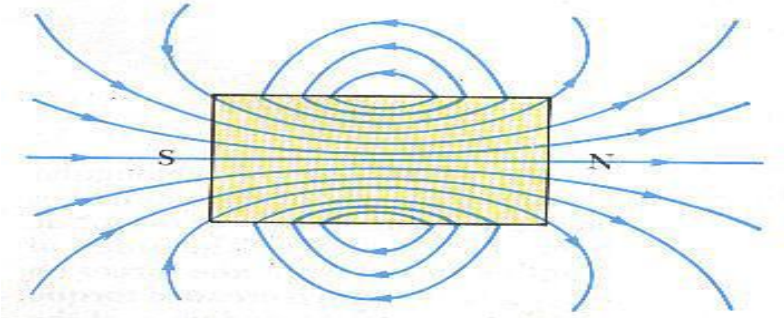
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8 .القوة المغناطيسية تكون قوة تنافر بين الأقطاب المتشابهة أو قوة تجاذب بين الأقطاب المختلفة .

## المجال مغناطيسيMagnetic field

المجال المغناطيسي كمية فيزيائية تنشأ حول المغانط الطبيعية وحول التيارات الكهربائية أو الشحنات المتحركة ، تمكنها من التأثير على المواد المغناطيسية والتيارات الكهربائية الأخرى،
ويمثل المجال المغناطيسي بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال المغناطيسي يدل اتجاهها عند أية نقطة ( أو اتجاه المماس لها عند تلك النقطة ) على اتجاه المجال عند تلك النقطة... ويمكن الكشف عن اتجاه هذه الخطوط عمليا باستخدام إبرة بوصلة مغناطيسية صغيرة.
وحدة المجال المغناطيسي B هي Tesla ويرمز لها بالرمزT ،ووحدة Tesla هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام ويمكن استخدام وحدة اصغر تعرف ب "الجاوس" حيث أن:

$$Tesla = 10^{4} Gauss$$






PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

### التأثرية المغناطيسية The Magnetic Susceptibility ($\chi$)

تعرف التأثرية المغناطيسية على انها نسبة المغناطيسية (العزم المغناطيسي لوحدة الحجم) (M) الى المجال المغناطيسي المؤثر(H) أي أن :

$$\chi = \frac{M}{H} \ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

وتعد التأثيرية المغناطيسية مقياسا لمدى استجابة المادة الى المجال المغناطيسي المسلط عليها ،ان العلاقة بين العزم المغناطيسي لوحدة الحجم(M) و المجال المغناطيسي المؤثر(H) علاقة غير خطية للكثير من المواد المغناطيسية وعليه فان قيم التأثيرية المغناطيسية لا تعتمد على شدة المجال المغناطيسي المؤثر فحسب بل تعتمد على عوامل اخرى منها التركيب المغناطيسي للمادة وعلى درجة الحرارة. تتوزع قيم التأثيرية المغناطيسية على مدى واسع يتراوح من ($10^{-6}$) للمواد ضعيفة المغناطيسية الى حوالي ($10^{6}$) أو أكثر للمواد ذات المغناطيسية القوية ،فضلا عن ان قيمها تكون سالبة لبعض انواع المواد المغناطيسية .

### تصنيف المواد المغناطيسية Classification of Magnetic Materials

اعتمادا على قيم التاثرية المغناطيسية للمواد وعلاقتها بدرجة يمكن تصنيف المواد المغناطيسية الى الاصناف الرئيسية الآتية :

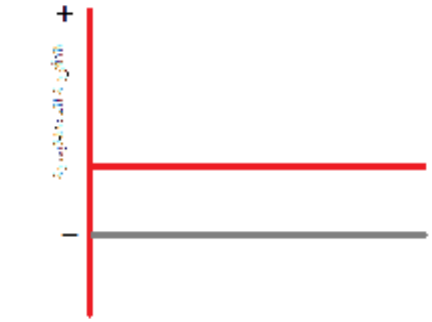


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## ١ـ المواد الدايامغناطيسية The Diamagnetic Materials

وهي المواد التي تكون تأثريتها المغناطيسية : (١) سالبة . (٢) قليلة جدا ($10^{-5}$).

ان اصل الخاصية الدايامغناطيسية هو الحركة المدارية لالكترونات الأغلفة المشبعة حول النواة والتي تستحدث نتيجة تسليط مجال مغناطيسي مؤثر على المادة.اذ ان المجال المغناطيسي المؤثر يحدث تغيرا في حركة الالكترونات والذي يعني احداث تغير في العزم المغناطيسي لهذه الالكترونات ، وهذا معناه أن ذرات المادة المغناطيسية لا تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة ، بل تمتلك عزوم مغناطيسية محتثة ضعيفة غير دائمية تزول بزوال تأثير المجال المغناطيسي المسلط على المادة . ان اتجاه العزم المغناطيسي المحتث يكون معاكسيا لاتجاه المجال المغناطيسي المسلط . ومن أشهر المواد المواد الدايامغناطيسية الغازات الخاملة والمركبات ذات المدارات الالكترونية المغلقة (المشبعة) ومعظم المواد الصلبة الأيونية والجزيئية والعضوية .وان الخاصية الدايامغناطيسية لا تعتمد على اتجاه العزوم داخل المادة ولا تعتمد على درجة الحرارة . ان جميع المواد على اختلاف انواعها تمتلك الخاصية الدايامغناطيسية ولكنها قد تكون ضعيفة جدا واقل بكثير من الخواص المغناطيسية الاخرى ،ان الصفة الدايامغناطيسية صفة مؤقتة تزول بزوال المجال المغناطيسي المؤثر المسلط على المادة ،وتظهر مجددا بوجود المجال المذكور .والشكل (2) يبين علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة للمواد الدايامغناطيسية.



الشكل (2): علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة للمواد الدايامغناطيسية.

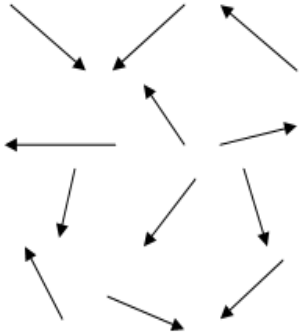
## ٢ـ المواد البارامغناطيسية The Paramagnetic Materials

وهي المواد التي تتصف تأثريتها المغناطيسية بما يأتي: (١) موجبة . (٢) قليلة تتراوح بين ( $10^{-3}$ الى $10^{-5}$).



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تظهر الخاصية البارامغناطيسية في الذرات أو الجزيئات التي تمتلك عددا فرديا من الالكترونات التي تعمل على أعطاء عزم مغناطيسي دائم للذرة أو الجزيئة كما تتصف الذرات والجزيئات الحاوية على مدارات غير مشبعة بالخاصية البارامغناطيسية حتى وان امتلكت لعدد زوجي من الالكترونات وهذا يعني ان الخاصية البارامغناطيسية صفة متأصلة في المادة ولا تستحدث نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي الخارجي المؤثر عليها. وفي وجود المجال المغناطيسي فأن معدل اتجاهات العزوم سيأخذ اتجاه ا موازيا لاتجاه المجال المسلط والمؤثر على المادة . ان المغناطيسية الناتجة عن هذا الاصطفاف للعزوم المغناطيسية تكون ضعيفة ، والسبب في ذلك يعود الى أن العزوم المذكورة تكون ضعيفة ومتباعدة عن بعضها البعض. الشكل (3) يوضح ترتيب



الشكل (3): ترتيب العزوم المغناطيسية في المواد البارامغناطيسية .

للعزوم المغناطيسية للمادة البارامغناطيسية .أن الاتجاهات المبعثرة للعزوم سيجعل المغناطيسية للمادة مساوية للصفر في حالة عدم وجود المادة داخل المجال المغناطيسي المؤثر. تتناسب التأثرية المغناطيسية لهذه المواد تناسبا عكسيا مع درجة الحرارة،أي أن :

$$\chi \propto \frac{1}{T} \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

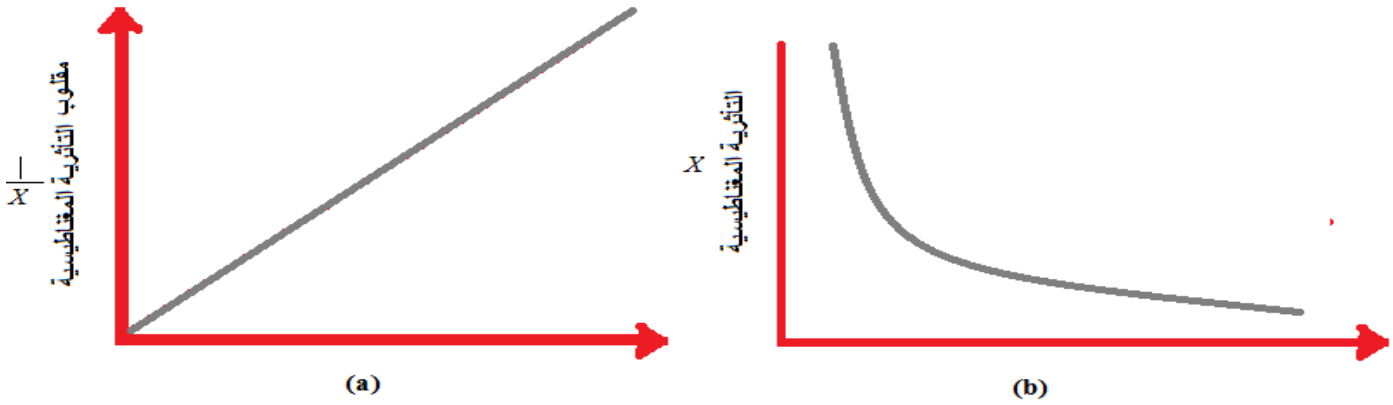
وفي حالة وجود مجال مغناطيسي ذي قيمة معقولة (ولكنها ضعيفة) فأن علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة تكون خطية وكما يأتي:

$$\chi = \frac{C}{T} \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

يعرف هذا القانون بقانون كوري ، C تمثل ثابت التناسب (ثابت كوري)،يوضح الشكل (4) العلاقة بين $\chi$ و $\frac{1}{\chi}$ مع درجة الحرارة للمواد البارامغناطيسية.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

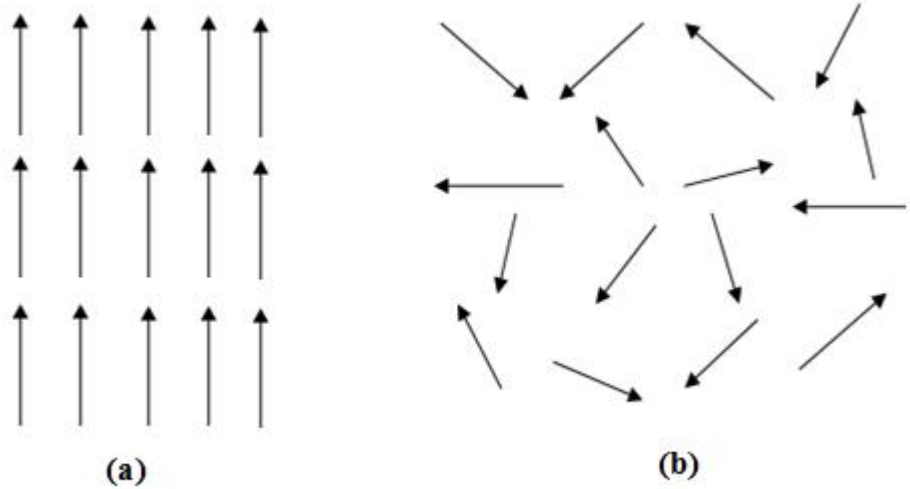



الشكل (4) :علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة في المواد البارامغناطيسية.

## ٣- المواد الفيرومغناطيسية The Ferromagnetic Materials

هي مواد تمتلك مغناطيسية دائمة التي تتأثر بالمجال المغناطيسي الأرضي ، تنشأ خاصية الفيرومغناطيسية من الالكترونات المنفردة ذات العزم المغناطيسي الدائم أو من تراصف هذه العزوم وباتجاه واحد ، ومن أهم عناصر الفيرومغناطيسية الحديد Fe وأوكسيده ،الكوبلتCo،الكادولونيوم Gd ولهذه المواد درجات حرارة كوري مختلفة.

تتحول المواد الفيرومغناطيسية الى مواد بارامغناطيسية اذا أصبحت درجة حرارتها أكبر من درجة حرارة كوري وعند تبريدها الى أقل من درجة حرارة كوري






PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فأنها تتحول مرة ثانية الى صفة الفيرومغناطيسية. تزداد التأثرية المغناطيسية كلما اقتربنا من درجة حرارة كوري، ان التأثرية المغناطيسية للمادة في الدرجات الحرارية الأعلى من درجة حرارة كوري تتغير مع درجة الحرارة بحسب قانون خاص يسمى قانون( كوري – وايز) ذو الصيغة الرياضية التالية:

$$\chi = \frac{C}{T-\theta_c} \ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

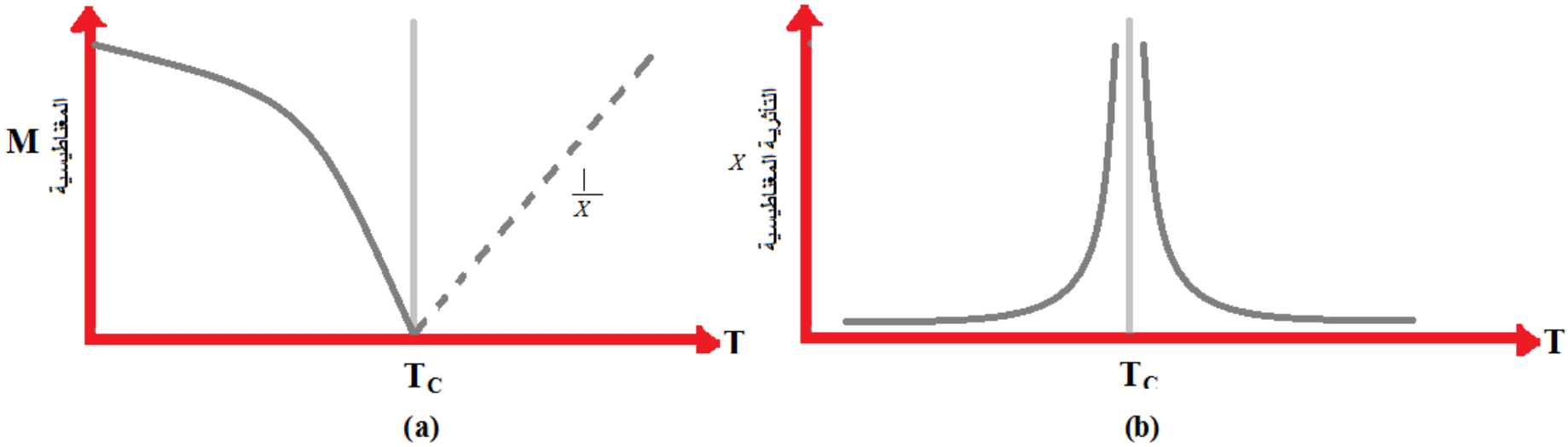
حيث أن $\theta_c$ تمثل درجة حرارية موجبة .

تتراصف العزوم المغناطيسية كما في الشكل (5a)عندما تكون درجة حرارة المادة أكبر من درجة حرارة كوري($T>T_C$) ، وتتراصف العزوم المغناطيسية كما في الشكل (5b) عندما تكون درجة حرارة المادة أقل من درجة حرارة كوري ($T<T_C$).

تتغير المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية مع درجة الحرارة وفق الشكل (6a) تزداد مغناطيسية المادة كلما انخفضت درجة الحرارة بحيث تصل الى أعلى قيمة لها عند الصفر المطلق ،وتقل المغناطيسية كلما ارتفعت درجة الحرارة بحيث تصل الى الصفر عند الدرجة الحرجة ($T_C$درجة حرارة كوري)وتتحول بعدها المادة الى الحالة البارامغناطيسية ،حالة تبعثر العزوم المغناطيسية.اما اذا انخفضت درجة حرارة المادة الى ما دون الدرجة الحرجة ($T_C$درجة حرارة كوري) فأنها تتحول مرة اخرى الى الطور الفيرومغناطيسي أي حالة انتظام العزوم المغناطيسية باتجاه واحد يعني أن المادة تكون ممغنطة ذاتيا من دون التأثير عليها بمجال مغناطيسي خارجي مؤثر.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com




الشكل (6):علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة في المواد الفيرومغناطيسية.

بقيت ظاهرة المغناطيسية الذاتية وبالتالي النظرية الفيرومغناطيسية مبهمة الى أن جاء العالم وايز Weiss ب(نظرية المجال الجزيئي ) الذي يتصف بما يأتي:

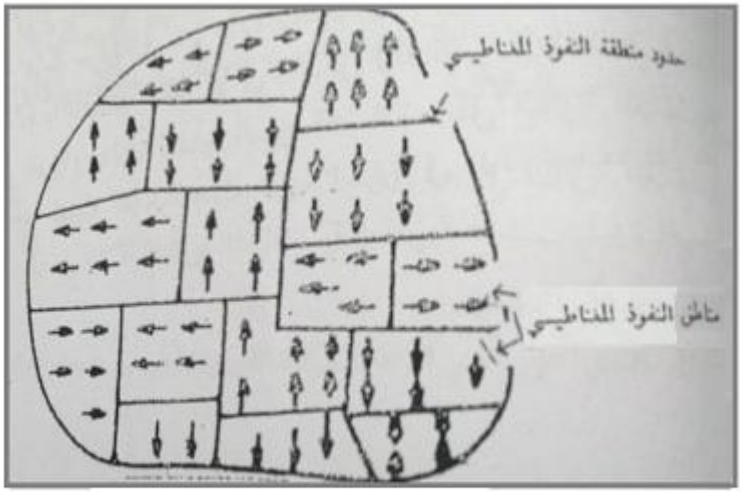
١-انه مجال ذاتي يؤثر في المادة المغناطيسية .

٢-له قيمة عالية ، اذ انه يستطيع أن يمغنط المادة الى حد الاشباع حتى في حالة عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي مؤثر.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

استطاع العالم (وايز) أن يفسر حالة وجود مواد فيرومغناطيسية حديدية في حالة عدم تمغنط عند درجة حرارة الغرفة بافتراضه أن المادة مقسمة الى مناطق مغناطيسية تسمى مناطق النفوذ المغناطيسي كما في شكل (7) وهي مناطق مفصولة عن بعضها البعض بحاجز يدعى حائط المنطقة المغناطيسية .ان كل منطقة من هذه المناطق تكون ممغنطة ذاتيا حد الاشباع ويكون اتجاه العزوم في كل منطقة معاكس لاتجاه المنطقة المجاورة بحيث أن المغناطيسية الكلية للمادة تساوي صفرا .ان سبب تحول المادة الى مادة ذات مناطق نفوذ مغناطيسية متعددة يعود الى أن الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي تكون كبيرة ،اما اذا قسمت المادة الى مناطق ممغنطة متعددة وباتجاهات متعاكسة فان الطاقة المخزونة ستكون اقل بكثير مما هي عليه في حالة المنطقة المنفردة.




شكل (7): مناطق النفوذ المغناطيسي في المواد الفيرومغناطيسية.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## خصائص كهربائية متناوبة AC Electrical Properties

### شدة المجال الكهربائي أو قوة المجال الكهربائي (E)

تُعرف القوة التي تتعرض لها شحنة اختبار الوحدة باسم شدة المجال الكهربائي E

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2} \quad \text{.....(13)}$$

حيث ε:هي السماحية أو ثابت العزل للوسط الذي توجد فيه الشحنة الكهربائية

### كثافة الفيض الكهربائي أو متجه الإزاحة الكهربائية (D)

كثافة الفيض الكهربائي أو متجه الإزاحة الكهربائية هي عدد خطوط الفيض العابرة عموديا على مساحة سطح الوحدة. كثافة التدفق الكهربائي على مسافة r من الشحنة النقطية Q هي:

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad \text{.....(14)}$$

من المعادلتين (13)&(14):

$$D = \varepsilon E \quad \text{.....(15)}$$

ثابت عازل ($e_r$)يُعرَّف ثابت العزل الكهربائي لمادة بأنه نسبة سماحية الوسط (e) إلى سماحية الفراغ الحر ($e_o$).يمكن تعريفه أيضًا على أنه نسبة السعة بوجود العازل ($C_d$) بين الألواح الى السعة بوجود الهواء ($C_A$) بين الألواح.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} = \frac{C_d}{C_A} \quad \text{.....(16)}$$

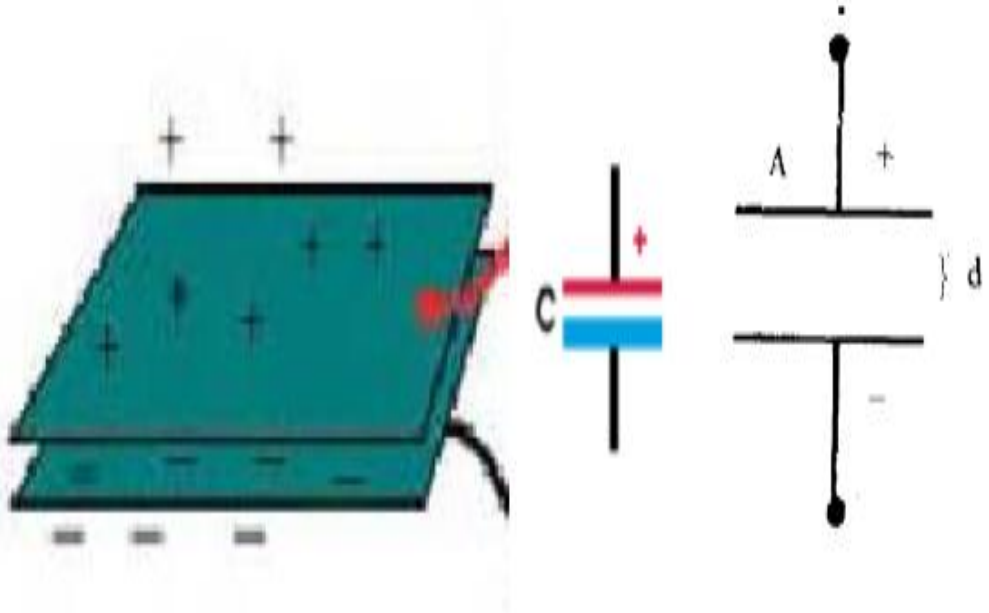


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

**السعة: خاصية الموصل أو نظام الموصل الذي يصف قدرته لتخزين الشحنة الكهربائية.**

$$C = \frac{q}{V} = \frac{A\varepsilon}{d} \quad \text{.....(17)}$$

**حيث :**




**$C$:سعة المتسعة تقاس بالفرداي**

**$q$ :الشحنة على لوح المتسعة**

**$V$:فرق الجهد بين لوحي المتسعة**

**$A$:مساحة لوح المتسعة**

**$e$ : سماحية الوسط بين لوحي المتسعة**

**$d$ :المسافة بين لوحي المتسعة**



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

## الاستقطاب الكهربائي Electric Polarization

ان ظاهرة الاستقطاب الكهربائي مهمة جدا في المواد العازلة ، لأنَّها لا تمتلك أي شحنات حرة في الظروف الاعتيادية ، ويقترن حدوث الاستقطاب بوجود الذرات أو الأيونات أو الجزيئات، لأنَّ مراكز هذه الشحنات الموجبة والسالبة منطبقة على بعضها بعضاً في الظروف الاعتيادية،أمَّا عند تسليط مجال كهربائي خارجي على هذه المواد العازلة فإنه يؤدي إزاحة الشحنات الموجبة باتجاه المجال الكهربائي بينما الشحنات السالبة بالاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى وجود مسافة ($d$) بين الشحنات المختلفة ($q$) مما يتسبب في تولد عزم ثنائي قطب كهربائي محتثوعندها يقال بإنّ العازلَ مستقطبٍ، ويمكن تمثيل ثنائي القطب الكهربائي بالمعادلة الرياضية التالية:

$$P = mI \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

حيث ($P$) يمثل الاستقطاب، ($I$) عدد ثنائيات القطب لوحدة الحجم, ($m$) عزم ثنائي القطب الذي يعطى بالعلاقة التالية:



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$m = q\ d \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

وبما أنَّ الاستقطاب الكهربائي تحت تأثير مجال كهربائي يساوي الإزاحة الكهربائية مطروحاً من حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي E بسماحية الفضاء الحر $\varepsilon_o$:

$$P = D - \varepsilon_o E \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

حيث $D$ : الإزاحة الكهربائية Electrical displacement وتكون باتجاه المجال الكهربائي.

$\varepsilon_o$: سماحية الفراغ وهي كمية ثابتة تساوي $8.854 \times 10^{-12}$ (F / m)

و الإزاحة الكهربائية في الفراغ تعطى بالمعادلة الاتية :

أمَّا إذا سُلِّط المجال عبر مادة عازلة فإنَّ الإزاحة الكهربائية تعطى بالمعادلة الآتية :

حيث $\varepsilon_r$: السماحية النسبية( Reletive Permittivity ) أو ثابت العزل الكهربائي



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

يمكن إيجاد صيغة أُخرى للاستقطاب الكهربائي بدلالة المجال الكهربائي المسلط بتعويض الطرف الأيمن من المعادلة (23) بالمعادلة (21) ونحصل على :

$$\varepsilon_r = \left(\frac{P}{\varepsilon_o E}\right) + 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

إن الإزاحة الكهربائية ترتبط فقط مع الشحنات الحرة أمّا الاستقطاب الكهربائي فإنّه يرتبط مع الشحنات المقيدة فقط والمجال الكهربائي يرتبط مع الشحنات الحرة والمقيدة .

ويقسم الاستقطاب على أربعةأنواعٍ سيتم شرحها فيما يلي :

### 1-1الاستقطاب الالكتروني Electronic Polarization

عند تعريض مادة عازلة إلى مجال كهربائي خارجي ؛ فإنّه يؤدي إلى تراصف جزيئات ثنائية القطب باتجاه يوازي خطوط المجال الكهربائي المؤثر، يؤدي إلى توليد مجالاً كهربائياً اتجاهه يكون معاكس لاتجاه المجال الخارجي المؤثر وأقل منه مقداراً وبالنتيجة يقل مقدار المجال الكهربائي المحصل ، وهذا النوع من الاستقطاب



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

لا يعتمد على درجة الحرارة ، ويسمى بالاستقطاب البصري ؛ لأنَّه يحدث عند الترددات البصرية(الترددات العالية) أو الأشعة فوق البنفسجية.

### 2-1 :الاستقطاب الأيوني Ionic Polarization

يحصل هذا النوع من الاستقطاب عند ترددات المنطقة تحت الحمراء ، التي تكون ترددتها ضمن المدى ($10^2$ – $10^{12}$) Hz، ويحدث نتيجة انتقال الأيونات الموجبة والسالبة خلال الشبيكة البلورية مسبباً بذلك تغير في طول الأواصر الأيونية عن طريق إزاحة الأيون الموجب إلى اليمين باتجاه المجال والأيون السالب إلى اليسار ، وبالتالي يتكون عزم ثنائي القطب جديد في الجزيئة ، ولا يعتمد على درجة الحرارة ، ويعرف هذا النوع استقطاب الأشعة تحت الحمراء(Infrared ray Polarization)، ويحدث بسبب إجهاد الكتروني يتولد في مركب كيمياوي ذي صفة أيونية.

### 3-1: الاستقطاب الإتجاهي Orientational Polarization

يتولد الاستقطاب الاتجاهي بسبب دوران عزم ثنائية القطب في العوازل القطبية لأنَّ هذه الجزئيات تمتلك عزم ثنائي قطب دائم حتى في حالة عدم وجود مجال كهربائي خارجي ، لذلك فإن صافي العزوم الجزيئية تكون



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عشوائية الاتجاه مما يؤدي إلى إلغاء بعضها البعض، وعند تسليط مجال كهربائي خارجي على هذا النوع من المواد فإن ثنائيات القطب ستميل باتجاه المجال الكهربائي بحيث يعمل على رص الجزيئات (الثنائية القطبية) باتجاه ألمجال ويعرف هذا النوع بالمواد الثنائية القطبية أو الجزيئات القطبية(Polar Molecules)، إن الاستقطاب الاتجاهي يعتمد على درجة الحرارة بشكل كبير والتي بزيادتها يصعب التحكم في رص الجزيئات ، وهذا الاعتماد يزودنا بطريقة لتميز هذا النوع من الاستقطاب عن النوعين الاخرين اللذان لا يعتمدان على درجة الحرارة ، تستجيب عزوم ثنائي القطب للمجالات الكهربائية إلى حدود الترددات المسموعة أو الراديوية أو المايكروية اعتماداً على المادة العازلة ، والاستقطاب الاتجاهي يعد من اهم الأنَّواع في التطبيقات الهندسية ضمن مدى الترددات الواطئة.

### 4-1: استقطاب الشحنة الفراغية Space Charge Polarization

ينشئ هذا الاستقطاب في المادة متعددة البلورات ، ومن هجرة حاملات الشحنة الحرة ، وذلك بسبب احتواء بعض بلورات المواد على عيوب (Defects) التي قد تكون على شكل ذرات شائبة ، أو فراغات في البلورة أو فقاعات هوائية في سائل أو مناطق غير متجانسة من المادة ، وقد تتخلل المادة حواجز تنتج عن هذه العيوب ،



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

أو قد تكون الحواجز ناجمة من وجود شقوق ، وعند تعرض هذه الشوائب إلى مجال كهربائي خارجي ستصبح قادرة على الانتقال خلال البلورة ، كونها تملك شحنة مما يجعلها سهلة الاصطياد من قبل العيوب الأخرى ، أو أنَّها تتراكم عند هذه العيوب ، وبالتالي فأنَّها تؤدي إلى خلق تراكم محلي للشحنات الذي يعمل على حث شحنات معاكسة في الجهة الأخرى ، مؤدياً بذلك إلى نشوء ثنائيات قطبية في المادة ، وهذه الثنائيات لا تقتصر على ذرة واحدة أو جزيئة بل تمتد ضمن مناطق كبيرة.

ويجب أنْ نشيرَ هنا إلى أنَّ هذا النوع من الاستقطاب يعتمد على مقدار التجانس في المادة ، ونسبة خلوها من العيوب البلوريةبخلاف الأنَّواع الأخرى من الاستقطاب التي تعتمد التركيب الكيميائي ومكوناتها ، إنَّ هذا النوع من الاستقطاب يحدث في الموجات الراديوية وقد تصل حتى الترددات الواطئة دون السمعية ، اعتماداً على نوع العيوب أو عدم التجانس المسبب للاستقطاب.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com