الحرارة وخواص المادة

الفصل الخامس

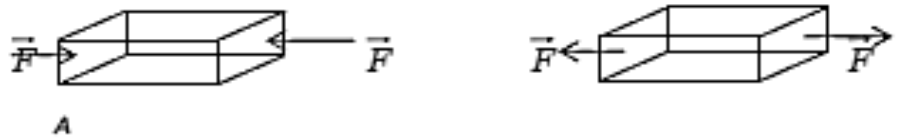
(٥-١) الإجهاد : القوة المسلطة على وحدة المساحة من السطح الذي وحدائه باسكال (N/m^2) او ($dyne/cm^2$) ويمكن أن يقسم الإجهاد إلى ٣ أنواع :

١. إجهاد الشد: فيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير وعليه فان تأثير القوتين هو العمل على استطالة الجسم، حيث تتوزع القوة بالتساوي على جميع المساحة A (ماعدا نهايتي الجسم)

$$S_T = F/A$$

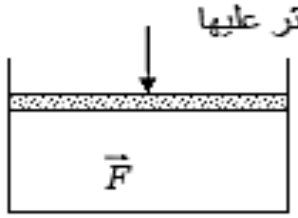
٢. اجهاد الكبس : فيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التاثير وعليه فان تاثير القوتين هو العمل على ضغط الجسم وتقصير طوله

$$S_C = F/A$$

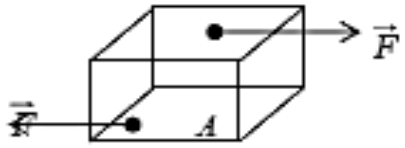


الشكل (٥-١): إجهاد الشد وإجهاد الكبس

٣. اجهاد القص: فيه تؤثر عليه قوتان $\vec{F}$ متساويتان بالمقدار ومتعاكستان بالاتجاه وتؤثران بصورة مماسية على السطحين الأعلى والأسفل للجسم، فيتولد إجهاد من تلك القوتين على المساحة المؤثر عليها



الشكل (٥-٢) : إجهاد الموائع.



الشكل (٥-٣) : إجهاد القص.

(٥-٢) الانفعال (المطاوعة): هو التغيير النسبي الذي يسببه الاجهاد لأبعاد الجسم من الشكل والحجم، وبما ان هنالك عدة انواع للاجهاد هنالك عدة انواع للمطاوعة وهي مطاوعة الشد والكبس والقص وهي نسبة مجردة من الوحدات.

١. مطاوعة التوتر: نسبة التغير في الطول الى الطول الاصلي

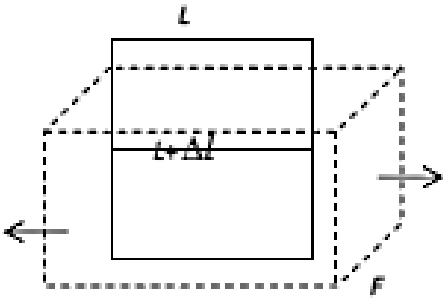
$$N_T = \Delta L / L$$

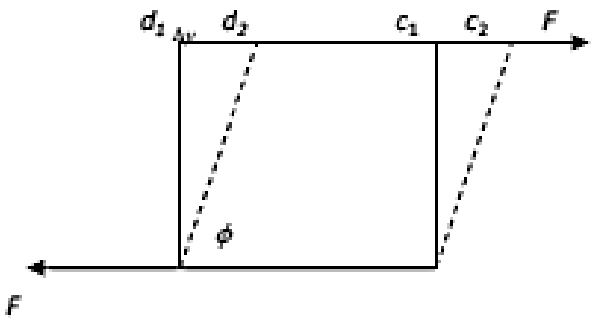
٢. مطاوعة الكبس: نسبة التغيير في الطول (الأنكماش) الى الطول الاصلي

$$N_C = \Delta L / L$$

٣. المطاوعة القصية: الازاحة الجانبية للطول الى الطول الاصلي

$$N_s = \Delta X / L = \tan\phi = \phi$$





الشكل (٥-٤) الانفعال القصي

الشكل (٥-٥) : المطاوعة (الشد و الكبس).

اذا زال الانفعال بصورة تامة ومباشرة بعد ازالة الاجهاد الذي سببه سمي الجسم الصلب بأنه تام المرونة ، اما اذا اكتسب الجسم شكلا وحجما جديدين بعد ازالة الاجهاد المسبب لهما سمي الجسم بانه تام اللدونة

الانفعال المرن: هو انفعال عكسي إذ يتلاشى الانفعال بعد إزالة الإجهاد المسلط حيث تتناسب قيمته طرديا مع مقدار الإجهاد المسلط ومن أحسن المواد المرنة، أليف الكوارتز التي تقترب مرونتها من المرونة التامة حيث لا يحدث إزاحات دائمة للذرات ويبقى لكل الذرة نفس المسافة للذرة المجاورة لها قبل وبعد تسليط الإجهاد

الانفعال اللدن: هو انفعال غير عكسي إذ لا يتلاشى الانفعال بعد ازالة الاجهاد المسلط عليه ويحدث هذا للمادة نتيجة لتسليط الاجهاد بمقدار يتجاوز حد المرونة ويحدث الانفعال اللدن نتيجة الازاحات الدائمية للذرات داخل المادة

(٥-٣) المطيلية (ductility): مقدار التشوه اللدن الذي تعانيه المادة عند نقطة الكسر او القطع ويمكن التعبير عن المطيلية باستطالة المادة

المطيلية (نسبة النقصان في المقطع العرضي) =((المساحة الاصلية – المساحة النهائية)/ المساحة الاصلية) *١٠٠

$$\Delta a = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100$$

(٥-٤) الصلادة: مقاومة المادة لأختراق سطحها وتعتمد هذه الطريقة على إيجاد مساحة التلم الذي يحدثه إختراق متلم تحت ثقل قياسي

(٥-٥) الصلابة: الطاقة اللازمة لكسر المادة ويمكن ايجاد الطاقة من حاصل ضرب القوة في المسافة

(٥ – ٦) أنـــــــواع معـــــــــــامل المرونـــــــــة :

إن النسبة بين تغير الإجهاد والتغير المناظر في المطاوعة تسمى بمعامل المرونة بشرط ان يكون الإجهاد ضمن حدود المرونة. هذه النسبة تكون مقداراً ثابتاً لكل مادة من المواد لذلك فهي تمثل سلوكية تلك المواد بالنسبة لتأثير القوى عليها. لذلك فالقانون الذي ينص على ان ((التغير في المطاوعة يتناسب مع التغير في الإجهاد ضمن حدود المرونة المناسبة)) يدعى بقانون هوك. يدعى معامل المرونة بمعامل يونك الذي يرمز له Y، إذا كان الإجهاد يمثل إجهاد شد أو إجهاد كبس ويكتب رياضياً على النحو الآتي :

$$Y=\frac{\Delta F/A}{\Delta \ell/L}$$

حيث البسط يمثل التغير في الإجهاد والناتج من زيادة القوة F بمقدار ΔF ، أما المقام فيمثل التغير في المطاوعة والناتج من استطالة L بمقدار Δl. ومعروف بان وحدات معامل يونك هي وحدات إجهاد لان المطاوعة خالية من الوحدات. أما معامل المرونة الناتج من النسبة بين التغير في إجهاد القص والتغير في المطاوعة القصية فيدعى بمعامل القص أو بمعامل اللي (الالتواء) والذي يرمز له G (وأحيانا M) ويكتب على الشكل الآتي :

$$G=\frac{\Delta F/A}{\Delta \tan\phi}=\frac{\Delta F/A}{\Delta\phi}=\frac{1}{A}\frac{\Delta F}{\Delta\phi}$$

ومعامل المرونة الناتج من نسبة التغير في الضغط المسلط على جميع الجهات إلى التغير في المطاوعة الحجمية الناتجة عنه فيدعى بمعامل المرونة الحجمي (معامل بولك) والذي يرمز له B ويعبر عنه رياضياً بما يأتي :

$$B=-\frac{\Delta p}{\Delta V/V}=-V\frac{\Delta p}{\Delta V}$$

والإشارة السالبة وجدت لان الزيادة في Δp تولد نقصاً في ΔV، أي أن ΔV سالب دائماً عندما Δp موجب لذلك يكون معامل بولك دائماً موجب القيمة. أما مقلوب معامل بولك فيسمى معامل الانكباس الذي يرمز له K والذي يعرف بأنه التغير النسبي في الحجم لوحدة التغير في الضغط المسلط ،أي أن :

$$K=\frac{1}{B}=-\frac{\Delta V/V}{\Delta p}=-\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta p}$$

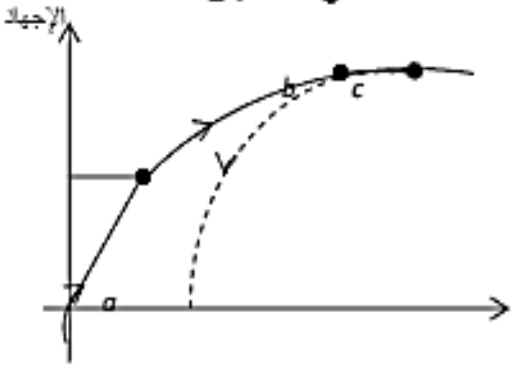
كل وحدات المعاملات أعلاه هي وحدات إجهاد، أي وحدات قوة على مساحة، كما ذكرنا مع معامل يونك. وحسب المعادلة اعلاه يمكن أن نكتب:

$$\Delta V=-KV\Delta p$$

وبالتالي تكون وحدة معامل الانكباس هي مقلوب وحدة الضغط واصطلح لها (جو)$^{-1}$ أو $(atm)^{-1}$ فعندما يكون معامل الانكباس هو $55\times10^{-6}(atm)^{-1}$ يعني أن حجم الماء يقل بمقدار 55×10^{-6} من حجمه الأصلي كلما زاد الضغط عليه بمقدار ضغط جوي واحد.

(٥ – ٧) منحني الإجهاد – المطاوعة:

لتوضيح العلاقة بين الإجهاد والمطاوعة لمادة ما بمخطط (بمنحني) إجهاد- مطاوعة كما مبين بالشكل (٥ - ٦) والذي يوضح العلاقة لمادة تحت تأثير إجهاد طولي .عندما يزداد الإجهاد مبتدئاً من نقطة o تزداد المطاوعة الطولية بحيث تبقى النسبة بين الإجهاد والمطاوعة ثابتة على طول المستقيم (o*a*) وهنا تخضع لقانون هوك ضمن حدود المرونة ويسمى (o*a*) أيضا بالحد المناسب. وتزول المطاوعة عند رفع الإجهاد وبذلك يعيد المنحني نفسه إلى نقطة o وتستمر هذه الصفة إلى النقطة *b* التي تمثل حد المرونة.



الشكل (٥ - ٦) منحني الاجهاد – المطاوعة

والآن لو زاد الإجهاد بعد نقطة *b* أي إلى ما فوق حد المرونة فان المطاوعة تزداد أيضا دون الخضوع لقانون هوك وتكون هذه المطاوعة دائمية وتسمى هذه الحالة بمطاوعة السيل البلاستيكي ونلاحظ لو قل الإجهاد عن القيمة في النقطة *b* إلى الصفر في نقطة o فالمطاوعة تقل أيضا متخذة الخط (*bo*′) وليس العودة إلى النقطة o ولا تصبح مساوية للصفر ويكتسب النموذج مطاوعة وقتية هي (oo′)، وان فشل انطباق منحني تزايد الإجهاد مع منحني تناقص الإجهاد يعود إلى الظاهرة المسماة هسترة المرونة Elastic Hysteresis. ولو زيِّد الإجهاد مرة أخرى من نقطة o′ فان المنحني يكون له ميل آخر يختلف عن ميل (o*a*) مع حد مرونة مناسب آخر يختلف عن حد المرونة الأول. أما إذا زيِّد الإجهاد من النقطة *b* فان المطاوعة تزداد إلى نقطة النهاية العظمى c دون التقيد بقانون هوك أيضا، وإذا انقطع المنحني بعد النقطة *c* فتسمى بنقطة القطع (أو الرضوخ)، أما النسبة بين القوة الساحبة إلى مساحة المقطع العرضي للجسم قبل ان ينقطع فتدعى بمتانة الجسم لوحدة المساحة.

العلاقة بين معامل المرونة ودرجة الحرارة تكون عكسية؟

- لأن ارتفاع درجة الحرارة يزيد الطاقة الحركية للذرات والجزيئات المادة التي تؤدي الى التغلب على قوى الترابط بينها وبالتالي زيادة حجمها.

يكون معامل القص اقل اهمية من معامل المرونة ؟

- وذلك لأن من السهل جعل الذرات المادة تنزلق على بعضها البعض بينما من الصعب تقريب او تفريق الذرات من بعضها البعض.

اثبت ان الشغل المنجز على مكعب يساوي نصف الاجهاد × الممانعة ؟

لإيجاد الشغل المنجز على مكعب سلط عليه إجهاد قصي سبب إزاحة السطح العلوي بمسافة مقدارها dL من تطبيق المعادلة

$dW = FdL$ .....(1)

حيث : طول المكعب = L

زاوية الازاحة = θ

$$n = \frac{F.L}{\Delta L.L^2} = \frac{F}{L.\Delta L}$$

$F = n.L.\Delta L$ .....(2)

$dW = n.L.\Delta L.\ Dl$ .....(3)

$$W = nL \int_0^{\Delta L} \Delta L.dL = \frac{n.L\ (\Delta L)^2}{2} \quad .....(4)$$

نعوض (٢) في (٤) نجد ان

$W = F.\Delta L/2$

الشغل المنجز لوحدة الحجم

$$W = \frac{F\Delta L}{2L^3} = \frac{1}{2}\frac{F}{L^2}\frac{\Delta L}{L}$$

مثال ١/ سلك من النحاس معامل مرونته ($1.1\times10^{-12}N/m^2$) جد قطر السلك الذي طوله (1m) ويتعرض الى قوة شد مقدارها (22N) وتسبب زيادة في طوله (1mm)

الحل/

$$Y=\frac{F/A}{\Delta\ell/L}$$

$$A=\frac{F.L}{Y.\Delta l}=22\times1/1.1\times10^{-12}\times1\times10^{-3}=2\times10^{-8}\ m^2$$

$$A=\pi r^2\ \ m^2$$

$$r=\sqrt{\frac{A}{\pi}}=7.981\times10^{-5}\ m$$

قطر السلك = ٢×نق = $2\times 7.981\times10^{-5}\ m=15.962\times10^{-5}$

مثال ٢/ سلك معدني قطره (1cm) وطوله (1.2 m) علق به ثقل مقداره (100N). جد الإنفعال على امتداد قطر السلك. علما ان معامل يونك ($3\times10^6\ N/m^2$) ونسبة بواسون (0.3)

الحل/

$$Y=\frac{F/A}{\Delta\ell/L}$$

اذا الانفعال الطولي

$$\frac{\Delta l}{L}=\frac{F}{A.Y}=\frac{100}{\pi\times0.25\times3\times10^6}=4.2\times10^{-6}$$

نسبة بواسون = الانفعال العرضي/ الانفعال الطولي

اذا الانفعال على امتداد قطر السلك (الانفعال العرضي) = نسبة بواسون × الانفعال الطولي

$$1.26\times10^{-5}=0.3\times4.2\times10^{-5}=$$

مثال ٣/ جد اكبر قيمة لطول سلك من الحديد يمكن ان يعلق بصورة عمودية دون ان ينقطع، علما ان إجهاد القطع يساوي (7.9×10^9 dyne/cm^2) وكثافة السلك (7.9 g/cm^3)

الحل/ ان اكبر قيمة لطول السلك تحددها كتلة السلك المعلق

$$m=\rho.V=\rho.A.L$$

حيث ان A= مساحة المقطع العرضي، L= طول السلك

اذا $$m=7.9\times A.L$$

وزن السلك = القوة المؤثرة = $$mg=7.9\times A.L\times980=7742\ A.L$$

$$S=\frac{F}{A}=\frac{7742\ AL}{A}=7742\ L$$

اكبر طول ممكن ان يحصل عندما يسلط إجهاد كسر هو $$7742.L=7.9\times10^9=1.02\times10^6 cm$$

مثال٤/ جد كثافة مادة الرصاص تحت ضغط مقداره (2.5×10^8 Pascal) علما ان معامل بولك للرصاص (4×10^{10}Pascal) وكثافة الرصاص تحت ضغط جوي اعتيادي (11.4 g/cm^3)؟

الحل/

$$B=\frac{P.V}{\Delta V};\ V=m/\rho$$

$$\Delta V=m/\Delta\rho$$

$$B=\frac{P.V}{\Delta V}=\frac{P.m.\Delta\rho}{m.\rho}$$

اي ان التغيير في الكثافة سيكون $$\Delta\rho=B.\ \rho/P$$

$$\Delta\rho=\frac{4\times10^{10}\times11.4}{2.5\times10^8\times10^3}=0.182\ kg/m^3$$

مثال٥/ جد قيمة الشغل المبذول لإحداث إستطالة (0.15 cm) في سلك طوله (75 cm) ومساحة مقطعه العرضي ($1cm^2$) ، ومعامل يونك ($1.25\times10^{12} dyne/cm^2$)

$W = 0.5 \times F \times \Delta L$ .....(1)

$Y = \frac{F/A}{\Delta\ell/L}$; $F = Y.A.\ \Delta L/L$ .....(2)

نعوض (2) في (1) نجد ان

$W = 0.5 \times Y.A.\ \Delta L^2/L$

$W = 0.5 \times 1.25\times10^{12} \times 1\times (0.15)^2 / 75$

$W = 1.25 \times 10^7$ ergs

تجربـــــة مبـــادلات جـــول:

يتركب الجهاز من مسعر اسطواني مثبت بجدرانه الواح معدنية يتحرك بينها بحرية مجموعة من المبادلات تتصل بمحور رأس مثبت فينهايته اسطوانة ملفوف حولها خيط يمر طرفيه على بكرتين ويتدلى من كل طرف ثقل وزنه (mg) . ويوضع ماء بالمسعر وتقاس درجة حرارته بواسطة ثرمومتر حساس . اذا ترك الثقلان يسقطان مسافة(L cm) دار المحور الراسي داخل المسعر محركا المبادلات التي تحرك الماء بين الألواح الثابتة والأخرى المتحركة فيتحول بذلك الشغل الميكانيكي الى طاقة حرارية بسبب الأحتكاك الحادث بين طبقات الماء المختلفة . وبتكرار رفع الأثقال وتركها تسقط.

تمكن جول من تحويل كميات مختلفة من الطاقة الميكانيكية وكذلك من حساب كميات الحرارة التي يكتسبها المسعر ومحتوياته نتيجة لذلك وجد ان العلاقة خطية بين الشغل الميكانيكي W وكمية الحرارة المتولدة H.

أي ان $W = J.H$

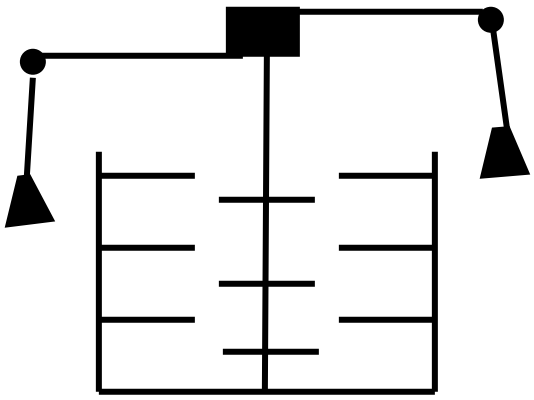
حيث J هو مفدار ثابت عبارة عن ميل الخط المستقيم الذي يربط العلاقة بين W,H وقد اسماه جول المكافئ الميكانيكي للحرارة كما وجد ان قيمته تساوي ٤,١٨ جول/سعره.

وقد حسب جول الطاقة الميكانيكية من طاقة الموضع للأثقال الساقطة اذ ان قي كل مرة سقوط من الكتلتين تتحول كمية من الطاقة الميكانيكية قدرها (2mgL)erg الى سعرات داخل الماء. فإذا تكرر رفع وإسقاط الكتل n من المرات وتسبب عنها رفع في درجة حرارة المسعر ومحتوياته T درجات مئوية فان:

الطاقة الميكانيكية= $2mgL.n$ (erg)

والطاقة الجرارة المكافئة = $M.T$ سعره.

حيث M هو المكافئ المائي للمسعر ومحتوياته.



الشكل يوضح تجربة مبادلات جول

مثال/////

اوجد قيمة التغيير في الطاقة الداخلية لنظام يتكون من (١غم) من الماء المقطر يتحول الى بخار تحت الضغط الجوي الاعتيادي في درجة حرارة (١٠٠ م°) عندما (١ سم^3) من الماء المقطر يشغل (١٦٧١ سم^3) في حالة البخار تحت نفس الضغط وان الحرارة الكامنة للتبخر تساوي (٥٤٠ سعره /غم)

الحل/

$$Q = mL$$
$$= 1 * 540$$
$$= 540 \text{ cal}$$
$$W = P(V_f - V_I)$$
$$= 1*10^5 \ (1671 - 1)*10^{-6}$$
$$\frac{167 \text{ joule .cal}}{4.816 \text{ joule}} = 40 \text{ cal}$$
$$U = Q - W$$
$$= 540 - 40$$
$$= 500 \text{ cal}$$

الفصل السادس
الخواص المغناطيسية والكهربائية للمواد

مقدمة

بالامكان تقسيم المواد تبعاً لسلوكها الكهربائي إلى مجموعتين رئيسيتين هما الموصلات والعوازل. وحيث المواد التي تقع في الوسط ما بين هاتين المجموعتين فأنها تسمى أشباه الموصلات Semiconductors. ولأهمية المواد شبه الموصلة في حقول المعرفة التطبيقية المتمثلة باستعمالاتها الواسعة في الأجهزة الالكترونية كالمقومات والترانزستورات والترمستورات والخلايا الضوئية و ..... الخ، نجد من الملائم تصنيفها مجموعة مستقلة.

أولا: الموصلات

يقصد بالموصلات الكهربائية تلك المواد التي تحوي على عدد كبير من ناقلات الشحنة الطليقة والتي تمر من خلالها بسهولة عند وجود مجال كهربائي خارجي مسلط عليها، وتأتي المعادن في مقدمة هذه المواد ومنها النحاس والفضة والألمنيوم وبعض السوائل جيدة التوصيل للكهربائية مثل المحاليل الالكتروليتية.

إن حقيقة كون التكافؤ موجباً في المعادن، يشير إلى ان ذرات المعادن تشترك بسهولة واحداً أو أكثر من الكتروناتها الخارجية في الموصل المعدني ويمكن توضيح هذه الحقيقة في المثال الآتي : لنأخذ غاز الصوديوم الذي يتكون من ذرات حرة تمتلك كل منها التوزيع الالكتروني $Na = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ ، فعند اقتراب ذراته الحرة من بعضها البعض لتشكيل معدن الصوديوم فان كل ذرتين متجاورتين تتشابك قليلاً، وهذا يعني ان إلكترون التكافؤ الموجود في الحالة 3s لذرة ما سوف يكون وفق الحالة الجديدة منتمياً في الوقت نفسه إلى كلا الايونين المتجاورين Na^+ وهذا الإلكترون لا يبقى ملتصقاً بنواة ذرته بل باستطاعته (والالكترونات المشابهة) ان يتحرك بحرية وينتقل من ايون إلى آخر مجاور أولا ثم إلى ايون آخر وهكذا. ان هذا الإلكترون الذي أطلق عليه إلكترون تكافؤ في ذرة حرة يصبح نفسه ما نسميه بإلكترون توصيل بعد عملية تكوين المعدن. وهكذا فجميع الكترونات التكافؤ لذرات الصوديوم الحرة تصبح الكترونات توصيل في معدن الصوديوم المتكون من تلك الذرات. ففي درجات الحرارة الاعتيادية تتميز الموصلات بامتلاكها أعداداً كبيرة من هذه الالكترونات (الكترونات التوصيل) التي تستطيع الحركة بحرية* ضمن المادة وفي اتجاهات مختلفة. وعندما تقع المادة تحت تأثير عامل خارجي كالمجال الكهربائي فان الكترونات المادة تتساق تحت تأثير المجال مولدة تياراً كهربائياً بينما تبقى نويات المادة الموجبة والالكترونات الأخرى غير التكافؤية ثابتة في مواقعها غير قادرة على الحركة تقريباً.

ثانيا: العوازل:

ويقصد بها تلك المواد التي لا تمرر خلالها الشحنات الكهربائية في الحال، فهي تتكون من ذرات فيها جميع الكترونات المدار الخارجي مشدودة بالنواة بأواصر ربط قوية جداً بحيث يصعب التغلب على طاقة الربط بها، وهذا يعني أنها لا تمتلك الكترونات طليقة بالأعداد التي تضمن حصول التوصيل الكهربائي أو الحراري فيها. ان المواد العازلة تكتسب وتخسر الالكترونات عند نقاط تماس الجسمين فقط، ومن أمثلة المواد العازلة للكهرباء: المايكا والزجاج والخشب والورق والابونيت والشمع والكبريت والكاوتشوك والبلاستيك والمطاط والغازات في الحالة العادية.

والسؤال الذي يتبادر إلى الأذهان هو هل بالامكان كسر قسم من أواصر الارتباط بين الذرات وتحرير بعض الالكترونات في المواد العازلة كالخشب مثلاً وتصبح في تصرفها تشابه المواد شبه الموصلة أو الموصلة؟ والإجابة عن هذا السؤال تتلخص بما يأتي: يتخيل البعض انه عندما ترتفع درجة حرارة المادة فان الطاقة الحرارية تؤدي إلى اهتزاز الذرات وهذه الاهتزازات قد تسبب في كسر بعض الأواصر بين الذرات وتحرير قسم من الالكترونات التي بإمكانها التجول داخل جسم المادة البلورية والقيام بمهمة نقل التيار الكهربائي تحت تأثير المجال الكهربائي المسلط على المادة*. غير ان ذلك لا يكون صحيحاً في التساؤل المطروح لسبب بسيط وهو ان مادة الخشب (أو أي مادة عازلة) حتى إذا رفعت درجة حرارتها إلى درجة أعلى من الدرجة الاعتيادية فقد تصل إلى درجة الانقاد الحراري قبل ان تتمكن الكترونات المدارات الخارجية فيها من اكتساب الطاقة الحرارية التي تؤهلها للانتقال إلى مستويات طاقة أعلى وتحقيق موصلية كهربائية عالية،إذ أن موصلية هذه المواد تقل عن $10^{-12} s/m$ في كثير من الأحيان. ان حالة الاعتقاد السائد كما أسلفنا تعد صحيحة للمواد التي تصنف عوازل تحت درجات حرارة منخفضة قريبة من الصفر المطلق كما في عنصر الكربون الجرمانيوم والسليكون وجميع العناصر رباعية التكافؤ التي تمتلك تركيب الماس في الحالة المستقرة . فإذا ما رفعت درجة حرارتها إلى درجة الغرفة الاعتيادية مثلاً فان الطاقة الحرارية التي ستكتسبها الالكترونات تكون كافية لكسر بعض الأواصر وتحرير قسم من الالكترونات، وبذلك يمكن عدّها من المواد شبه الموصلة

ثالثا: أشباه الموصلات:

وهي مواد تتوسط في قدرة توصيلها الكهربائي ما بين الموصلات والعوازل. فهي تتمثل عناصر ومركبات ضمن مجاميع . وكما تم الإشارة إليه فان الكربون وبقية المواد البلورية النقية من المواد شبه الموصلة رباعية التكافؤ كالجرمانيوم والسليكون تعد عوازلاً قوية في درجات حرارة منخفضة قريبة من الصفر المطلق، إلا أنها بتأثير الإثارة الحرارية Thermal Aquitation تظهر خصائص أشباه الموصلات إضافة إلى فعل الشوائب في زيادة إظهار وتحسين هذه الخصائص. فبالامكان الحصول على قابلية توصيل كهربائي جيدة بإضافة كميات صغيرة من الشوائب إلى بلورة السليكون Si (أو الجرمانيوم Ge) مثل الفسفور P (أو أي عنصر خماسي التكافؤ) والبورون B (أو أي عنصر ثلاثي التكافؤ).

تعرف اشباه الموصلات بانها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تمتلك قدراً معيناً من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع حرارتها .

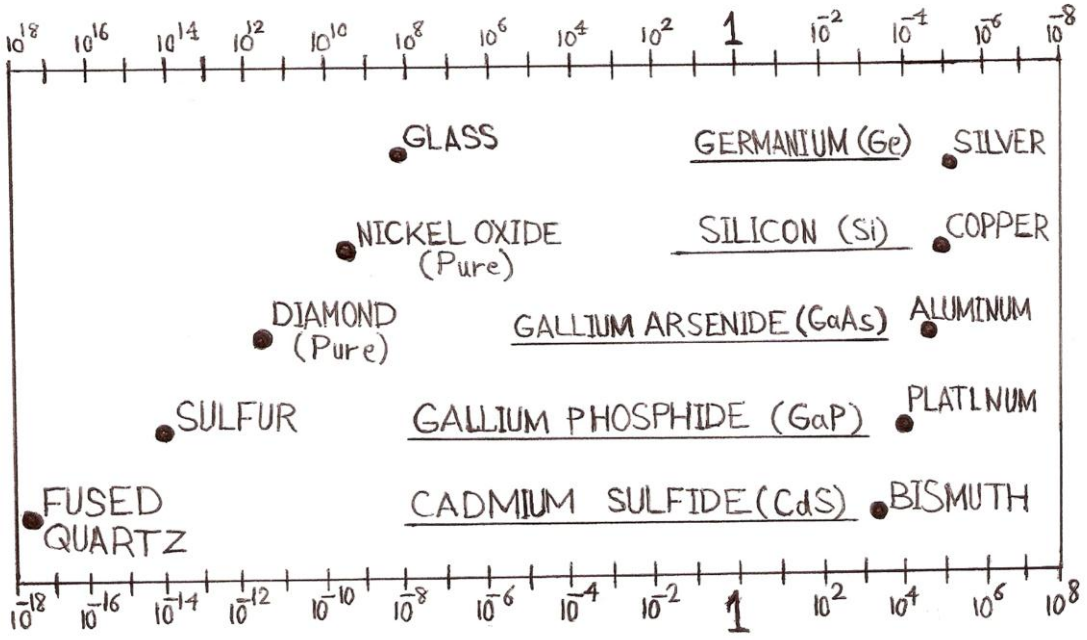
يمكن تقسيم المواد الصلبة الى ثلاث اصناف عازلة وشبه موصلة وموصلة ويبين الشكل (1) التوصيلية الكهربائية والمقاومة النوعية لعدد من المواد ذات أهمية والواقعية ضمن هذة الاصناف ونلاحظ ان للمواد العازلة كالزجاج والكوارتز (Quartz) توصيلية واطنة جداً في حدود S/cm(10^{-8}-10^{-6}) في حين نجدها في المعادن كالالمنيوم والفضه عالية جداً وعادة في حدود S/cm (10^{4}-10^{6}) واما المواد شبه الموصلة فتقع بين هذين النظامين .

تتأثر توصيلية شبه الموصل بالحرارة والضوء والمجال المغناطيسي وتؤثر فيها وجود كميات ضئيلة من الذرات الشائبة وان حساسية شبه الموصل تجاه هذه العوامل تجعل منه مادة بالغة الاهمية في التطبيقات الالكتروني .

كان استخدام شبه الموصل قبل ظهور الترانستور في(1946) يقتصرعلى صناعة النبائط ذات الطرفين Two-terminal devices كالمقومات rectifiers والثنائيات الضوئية photodiodes وكان والجرمانيوم في اوائل الخمسينات المادة شبه الموصله الرئيسيه المستخدمة الا ان عدم صلاحياتها ثبت في

الكثير من التطبيقات أذ ان النبائط المصنعة منها عانت من تيار تسرب عال عند درجات حرارة ليست عاليه كثيراً . وقد استخدم السليكون منذ بداية الستينات بديلاً عن الجرمانيوم وكاد ان يطغي عليها كلياً بوصفه مادة رئيسية في صناعة شبه الموصلات، ومن الاسباب الرئسية التي جعلت السليكون المادة المستخدمة في النبائط هي الضألة المتناهية لتيار التسرب فيها وسهولة اكسدتها لتكوين ثاني اوكسيد السليكون عالي الجودة عن طريق الانماء الحراري وفضلاً عن ذلك فأن السليكون في الوقت الحاضر هو ارخص المواد الشبه موصلة الداخلة في النبائط مقارنة بالمواد شبه الموصلة الاخرى .

تعتمد موصلية أي مادة على عدة الالكترونات الموجودة لكل وحدة حجم من المادة وتزيد الموصلية بزيادة هذا العدد .



الشكل 1 : التوصيلة الكهربائية للمواد الصلبة .

الخواص العامة للمواد شبه الموصلة

1) تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب.
2) تكون قيمة مقاومتهاالنوعية بين (10^{-5} - 10^{4}) أوم – متر) .
3) إن القدرة الكهربائية الحرارية التي يمكن أن تولدها هذه المواد عالية جدا.
4) تمتلك المواد شبه الموصلة على نوعين من حاملات الشحنة وهما الفجوات و الألكترونات.
5) يمكن السيطرة على مقاومة(والتوصيلية) وذلك بإضافة شوائب ثلاثية التكافؤ أو خماسية التكافؤ .حيث تعد الخواص الكهربائية لأشباه الموصلات مهمة لأنها أساسية في تشغيل الترانزستور و الدوائر المتكاملة و أجهزة أخرى ، و أشباه الموصلات هي مواد مقاومتها عبارة عن حد وسط بين المعادن الموصلة و العوازل ،

مثال على ذلك النحاس له مقاومية بحدود (10^{-6}) Ωcm و مقاومية المايكا و التي هي عبارة عن عازل ممتاز هي بحدود (10^{16}) Ωcm و الجرمانيوم الذي يكون شبه موصل جيد له مقاومية تقريبا Ωcm 50عند درجة حرارة الغرفة.

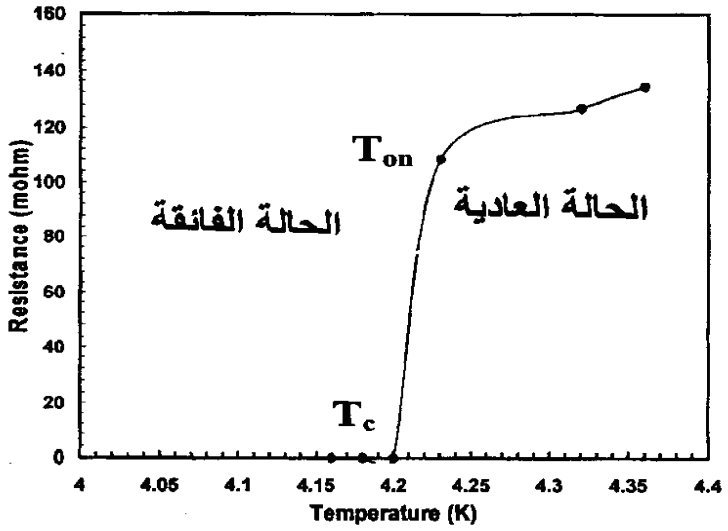
لأجهزة أشباه الموصلات تأريخا مهما ، فقد استخدمت في الأتصالات الراديوية قبل نشوء الصمام المفرغ الذي أستعيض عنها وعندما أصبح تردد التشغيل عاليا فإن زمن ألأنتقال للصمام المفرغ بدأ بتوليد مشكلات مهمة و سبب أفضلية أشباه الموصلات الثنائية عند الترددات العالية عندئذ بدأت تحل محل الصمامات المفرغة بالضبط لنفس التطبيقات التي سبق وأن أبطلت هذا الأنتعاش في الألكترونيات إلى نمو الكثير من الأجهزة و التي حلت محل الصمامات المفرغة في معظم التطبيقات .

ظاهرة التوصيلية المفرطة: Phenomena of superconductivity

من المعلوم أن المقاومة الكهربية للجوامد تنشأ أثر حيود البلورات الحقيقية عن سلوك الشبيكة البلورية المثالية للمواد والتي تساعد علي تشتت الإلكترونات أثناء عملية التوصيل الكهربي مما يؤدي إلي فقد جزء كبير من الطاقة الكهربية علي شكل حرارة . ولذلك فقد كان الاعتقاد السائد هو استحالة انعدام المقاومة الكهربية (الموصلية الكهربية تساوي مالا نهائية) لتلك البلورات مع انخفاض درجة الحرارة حتى عند الصفر المطلق نظرا لعدم إمكانية تحضير بلورات مثالية تكون خالية تماما من العيوب البلورية . علاوة علي ذلك فإن تشتت الإلكترونات علي بعضها البعض ينشيء هو الآخر قدراً ملموسا من المقاومة الكهربية حتى في إهمال تشتت الإلكترونات علي الفونونات وعيوب الشبيكة البلورية . الجدير بالذكر أن المقاومة الكهربية للمواد وحتى نهاية القرن الثامن عشر كانت تقاس حتى درجات حرارة منخفضة والتي كانت درجة حرارة النتروجين السائل 77 درجة مطلقة (أي ما يعادل 196 درجة تحت الصفر المئوي) . لكن مع بداية القرن التاسع عشر تمكن الباحثين من الحصول علي الهليوم السائل والذي وصلت درجة حرارته إلي 4.2 درجة مطلقة (أي ما يعادل 268.8 درجة تحت الصفر المئوي) . وبالتالي تمكن الباحثين من قياس المقاومة الكهربية للمواد عند درجات حرارة منخفضة حتى هذه الدرجة .

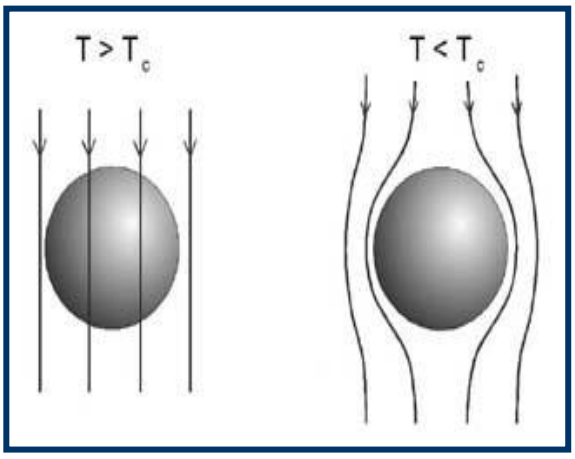
في عام 1911 بينما كان العالم الهولندي هيك كامرلين أونيس يقوم بقياس المقاومة الكهربية للزئبق النقي عند درجة حرارة الهليوم السائل وجد أن المقاومة الكهربية للزئبق تنهار وتؤول إلى أقل من 0.00001 أوم (الصفر تقريبا) كما يتضح في شكل (1) . ولذا أطلق أونيس علي هذه الظاهرة بالموصلية الفائقة لأن التوصيل الكهربي يصل للما لانهاية عند هذه الدرجة . كما أطلق علي درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة العادية إلي الحالة الفائقة بدرجة الحرارة الحرجة T_c . بينما درجة الحرارة التي تبدأ عندها المقاومة الكهربية في الانخفاض المفاجئ سميت بدرجة حرارة التحول T_{on} كما يعرف الفرق بين درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة البداية بعرض الانتقال .

أما سلوك المقاومة الكهربية خلال المنطقة من درجة حرارة الغرفة وحتى درجة حرارة التحول يسمي بالحالة العادية نظرا لأن المادة تسلك سلوك الموصلات حيث تزداد المقاومة مع زيادة درجة الحرارة . بينما يعرف سلوك المادة عند درجة حرارة أقل من أو تساوي الدرجة الحرجة بالحالة الفائقة حيث تنعدم المقاومة الكهربية للمادة تماما في تلك المنطقة .
وبالطبع كان أونيس أول عالم أكتشف هذه الظاهرة وقد حصل علي جائزة نوبل عن استحقاق لهذا الإنجاز العظيم في عام 1913 .



شكل (1) : سلوك المقاومة الكهربية مع درجة الحرارة للزئبق فائق التوصيل

علي الجانب الأخر فإنه في عام 1933 وجد العالمان الألمان ميز نر و أوشنفيلدأن المواد فائقة التوصيل تطرد المجال المغناطيسي المطبق عليها إلي الخارج و ذلك عند تبريدها حتى درجة الحرارة الحرجة وفي وجود المجال المغناطيسي كما يتضح في شكل (2) . ونظراً لحدوث هذه الظاهرة فقد صنف ميزنر وأوشنفيلد المواد الفائقة علي أنها من عائلة المواد الدايامغناطيسية . ويختلف هذا السلوك تماما مع ما يحدث في الموصلات حيث تنشأ تيارات تأثيرية عند وضعها في المجال المغناطيسي ولكن سرعان ما يزول هذا التيار أثر المقاومة الكهربية للمادة ويستطيع المجال اختراق المادة . لكن في المواد فائقة التوصيل فإن هذه التيارات التأثيرية تكون دائمة ولا تنعدم نظرا لانعدام المقاومة الكهربية لتلك المواد مما يساعد في إنتاج عزوم مغناطيسية تعاكس المجال المغناطيسي الخارجي فتمنعه من اختراقها . وقد سميت هذه الظاهرة بتأثير ميزنر نسبة إلى العالم ميزنر . هذا وقد وجد أن القابلية المغناطيسية للمادة الفائقة تساوي سالب الواحد الصحيح مما يؤكد على أن المادة الفائقة تولد عزم مغناطيسي مضاد ومساو للمجال المغناطيسي الخارجي وبالتالي لا يستطيع المجال اختراقها كما هو الحال في المواد الدايامغناطيسية .



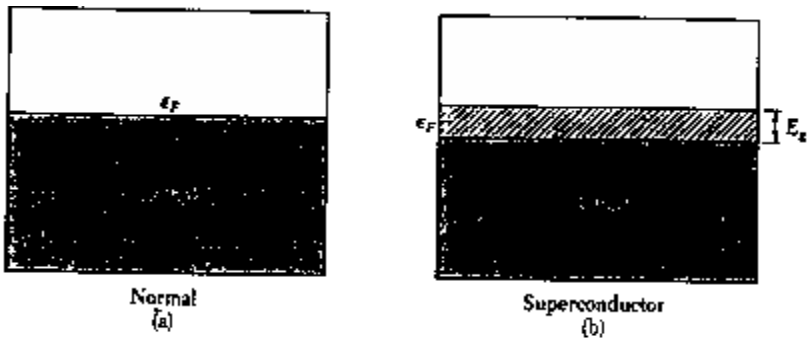
شكل (2) : سلوك المجال المغناطيسي للمواد في الحالة العادية والحالة الفائقة

ظاهرة الطفو : Floating phenomena

من المعلوم أن الموصل الفائق هو موصل تام التوصيل و تنعدم مقاومته الكهربية عند درجة الحرارة الحرجة. ولذا فإننا إذا أدخلنا تياراً كهربياً في حلقة من سلك فائق التوصيل فإن هذا التيار سوف يستمر في السريان إلى ما شاء الله طالما أن السلك يظل محتفظاً بموصلتيه الفائقة. في احدي التجارب استمر سريان التيار بدون انقطاع في حلقة من سلك فائق التوصيل لمدة عامين ونصف دون أي نقص في شدته و دون تغذية الحلقة بأي مصدر كهربي خارجي . و لقد تم تسمية التيارات التي لا تجد أية مقاومة لسريانه في موصل فائق بالتيارات الدائمة والتي تحدث عند مجالات مغناطيسية متغيرة مما ينشأ ظاهرة الطفو المثيرة . عند وضع مغناطيس صغير فوق موصل فائق فإن المجال المغناطيسي علي سطح الموصل الفائق يسبب تيارات دائمة تُنشئ قوي تنافر مع المغناطيس بحيث تقوي وتشتد كثيراً باقتراب المغناطيس من الموصل الفائق حتى يتم رفع المغناطيس في الهواء فيظهر وكأنه عائم في الهواء

فجوة الطاقة : Energy gap

في الموصلات تنعدم تقريبا طاقة الفجوة ويكون شريط التكافؤ ملاصق لشريط التوصيل . ولقد كان المعتقد عدم وجود طاقة فجوة في المواد فائقة التوصيل كما هو الحال في الموصلات . ولكن تبين العكس ووجد أن هناك طاقة فجوة تنشأ من خلال التفاعل بين الإلكترونات لتكوين ما يسمي بأزواج كوبر مما يتسبب في وضع الإلكترون في مستوي فارغ بالنسبة لموضعه في مستوي فيرمي للغازات كما يتضح في شكل (1) .



شكل (1) : شريط التوصيل للحالة العادية و طاقة الفجوة للحالة الفائقة

رابعا - أزواج كوبر : Cooper Pair

في 1957 حدث تقدم ملحوظ في علم الموصلية الفائقة بواسطة الفيزيائيين الأمريكان . هؤلاء العلماء الثلاثة أرسوا نظرية BCS للموصلية الفائقة للمواد عند درجات الحرارة القريبة من الصفر المطلق . لقد وجدت النظرية حلاً يفسر ميكانيكية التوصيل الكهربي في المواد الفائقة والتي تبنى على فكرة أزواج كوبر نسبة إلى العالم كوبر أحد مؤسسي النظرية .

لقد أشارت النظرية إلي أن هناك قوي ترابط تنشأ بين الإلكترونات في المواد فائقة التوصيل بخلاف ما تمليه النظرية الكلاسيكية من وجود قوي التنافر لكولوم بين الإلكترونات سالبة الشحنة بحيث يحدث تجاذب بين الإلكترون ونظيره لتكوين ما يسمي بأزواج كوبر . هذه العملية تحدث نتيجة تفاعل الإلكترون مع الشبيكة البلورية والتي تعمل علي جعل أحد الإلكترونات كما لو كان محاط بحاجز من الشحنات الموجبة بحيث تكون أكبر بكثير من الشحنات السالبة التي يمتلكها الإلكترون الثاني . وبذلك تطغي قوي التجاذب علي قوي التنافر مما يؤدي إلي تقارب الإلكترونين من بعضهما مكونين أزواج كوبر .

المواد الفائقة ذو الحرارة العالية : High T_c superconductors

جدول (1) يوضح أهم أنظمة المواد فائقة التوصيل التي تم التوصل إليها منذ اكتشافها حتى الآن وكذلك درجة الحرارة الحرجة لكل نظام .

جدول (1) : أنظمة المواد فائقة التوصيل ذو الحرارة العالية

سنة الاكتشاف	أسم المكتشف	النظام	الدرجة الحرجة بالكلفن
1986	Bednorz and Muller [7]	$La_{2-x}Ba_xCuO_4$	35
1987	M.Tarascon et.al. [8]	$La_{2-x}Sr_xCuO_4$ (La: 214)	38
1987	M.K.Wu et.al. [9]	$YBa_2Cu_3O_7$ (Y: 123)	90
1988	M.Maeda et.al. [10]	$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi: 2223)	110
1989	Z.Z. Sheng et.al. [11]	$TI_2Ba_2Ca_2Cu_3O_8$ (TI: 2223)	127
1993	A. Shilling et.al. [12]	$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ (Hg: 1223)	134
1994	B.A. Hunter et.al. [13]	(Hg:1223) under pressure	164
2001	J.Akimitsu et.al. [14]	$Mg\ B_2$	39

تطبيقات المواد فائقة التوصيل : Superconducting application

للمواد فائقة التوصيل تطبيقات عديدة سوف نذكر البعض منها كالتالي :

1- جهاز سكويد :

يتركب جهاز سكويد لقياس شدة التمغنط من حلقة من الموصل الفائق مكونة من وصلتين من المواد فائقة التوصيل تسمي وصلات جوزيف صن . يتمكن جهاز سكويد من رصد التغير في الفيض المغناطيسي في ضوء الجهد المتردد الناتج أثر التغير في الطور بين أزواج كوبر عبر الوصلتين . ويتميز جهاز سكويد بحساسية عالية جدا لقياس الفيض المغناطيسي تصل إلى حوالي 10^{-14}تسلا . هذه المجالات تعتبر أقل من المجال المغناطيسي للأرض بمقدار 10^{11} مرة علي الأقل . وبالتالي فقد أستطاع الباحثين من استخدام جهاز سكويد في رصد المجالات المغناطيسية الناتجة عن أعضاء جسم الإنسان مثل القلب والمخ والجهاز العصبي والتي كان من الصعب رصدها بالأجهزة المعتادة حيث أنها كانت تتطلب حساسية عالية جدا في القياس نظرا لأن المجال المغناطيسي الناتج عن هذه الأعضاء يكون محدود جدا ويحتاج لدقة وحساسية عالية في القياس . على سبيل المثال المجال المغناطيسي للقلب يكون في حدود 10^{-10} تسلا و عن المخ يكون في حدود 10^{-13} تسلا .

2- أجهزة الميكروويف Microwaves :

تتميز المواد الفائقة بصغر قيم المقاومة الكهربية عند درجات حرارة الغرفة . من المعلوم أيضا أنة يحدث فقد في شدة الميكروويف بالقرب من سطوح المواد نظرا للمقاومة الكهربية والتي تضعف من شدة الميكروويف بالقرب من سطوح تلك المواد . بمقارنة المقاومة النوعية للمواد الفائقة مع نظيرتها في المعادن عند الترددات العالية للميكروويف وجد أن مقاومة المواد الفائقة تكون أقل بكثير من المعادن مثل النحاس . وبالتالي فإنه يمكن طلاء أسطح أجهزة الميكروويف بمواد فائقة التوصيل لتلاشي الفقد في شدة الميكروويف عند الترددات العالية.

3- كابلات القدرة : Power cables

لقد وجد أن المواد الفائقة تتحمل تيارات كهربية عالية مما أدي إلي تصنيع كابلات من المواد الفائقة بحيث تتمكن هذه الكابلات من حمل تيارات كهربية تصل إلي خمسة أضعاف ما يتحمله كابل من النحاس بنفس الأبعاد والمواصفات . وبالتالي تتمكن هذه الكابلات من نقل الطاقة من مكان لأخر بدون أي فقد يذكر مما سوف يساهم في نقل خطوط الطاقة بين الدول المختلفة إذا ما توفر الدعم اللازم لذلك .

4- المغناطيس الفائق :Superconducting magnets

تستخدم المواد فائقة التوصيل في تصميم المغناطيس الفائق بحيث يتم تبريد المغناطيس الفائق في الهليوم السائل بحيث تكون المقاومة الكهربية للملفات مساوية للصفر مما يجعل الطاقة المفقودة مساوية للصفر حتى عن تسخين الأسلاك . ومن هنا فإن مصدر تيار منخفض يكون مناسب لمرور التيار بشرط المحافظة على درجة حرارة الهليوم السائل . وبالتالي فإنه يمكن الحصول علي مجالات مغناطيسية تفوق المغناطيس المصنوع من الموصلات بعشرات المرات.

5- أجهزة الرادار : Radar apparatus

لتصور هذه المشكلة يمكنك مراقبة ما يحدث لجهاز التلفاز عندما يتم تشغيل جهاز كهربائي بالقرب منة . إن الصورة سوف تصاب بالتشويش نتيجة المجالات المغناطيسية المجاورة والتي تؤثر على حركة الإلكترونات المسئولة عن تكوين الصورة . وهذا بالفعل ما يحدث مع أجهزة الرادار بالضبط ولكنها تكون أكثر حساسية حيث تتأثر بالمجالات الخارجية . وللتغلب علي ذلك تم استعمال الدروع المغناطيسية والتي هي عبارة عن اسطوانات ذات مقاسات مختلفة مصنوعة من المواد الفائقة يوضع بداخلها مصدر الإلكترونات فيحميها من المجالات الخارجية ويجعل صورة الرادار غاية في الوضوح .

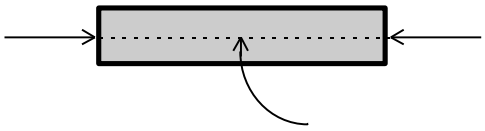
6- القطار الفائق : Superconducting train

بنيت فكرة تصميم هذه القطارات علي ظاهرة الطرد المغناطيسي بحيث تطفو أو تعوم عجلات القطارات المصنوعة من المواد فائقة التوصيل علي مغناطيس فائق شديد . وبالتالي ينعدم الاحتكاك بين عجلات القطارات والقضبان مما يساعد في زيادة سرعة القطارات ولذا سميت بالقطارات العائمة أو الفائقة . وقد كان الاختبار الحقيقي عام 1986 حيث تم اختبار قطار فائق مكون من ثلاث عربات حيث وصلت سرعته إلي (Km/h) 352.4 . ولقد تم البدء في تنفيذ ذلك تجاريا عام 1990 في مشروع قومي مدعم في اليابان أطلقوا علية Maglev . ولقد تمكنت وزارة النقل من تبني الفكرة وتم افتتاح أول خط سكة حديد من المواد الفائقة واختبارها في إبريل 1997 . في نفس العام ديسمبر 1997 تم تنفيذ عجلات قطار من المغناطيس الفائق أطلقوا عليها MLX01 حيث يتكون القطار من ثلاث عربات سجلت سرعة قدرها (Km/h) 531 . وفي شهر مارس من عام 1999 تم تصنيع قطار فائق مكون من خمس عربات حيث وصلت سرعته (Km/h) 548 وفي ديسمبر 2003 وصلت سرعة القطار الفائق إلي (Km/h) 581 . في سول بكوريا الجنوبية هناك قطار فائق سرعته (Km/h) 300 وسوف تصل سرعته في 2008 إلي (Km/h) 412 . هذا القطار طوله 388 m ووزنه 771 طن ويحتوي علي 18 عربة ويسع 935 راكب.

المغناطيسية Magnetism :

نشأ علم المغناطيسية قبل الميلاد بعدة قرون وكانت بداية ملاحظة الظواهر المغناطيسية عندما اكتشفت القضبان المغناطيسية الطبيعية فقد اكتشف علماء الإغريق عام (2500 ق.م) أن المجنتايت (Fe_3O_4) -وهو أحد الخامات الموجودة بالقرب من مدينة مغنيسيا (أو مغناطيسيا) الإغريقية بآسيا الصغرى- له خواص تميزه عن خامات الحديد الأخرى وهي جذب قطع صغيرة من الحديد كما أنه إذا علق تعليقاً حراً بحيث يسهل حركته في مستوى أفقي فإنه يتحرك إلى أن يستقر في اتجاه الشمال والجنوب الجغرافيين وقد أطلق على هذا الخام (Fe_3O_4) اسم الحجر المغناطيسي نسبة إلى مغنيسيا.
ولقد حضر الصينيون القدامى (121 ق.م) المغناطيس الصناعي وذلك بتقريب قضيب من الحديد الغير ممغنط من خام الحديد المغناطيسي، ولوحظ أن قدرة الجذب المغناطيسي هذه أكبر ما يمكن في مناطق معينة من المغناطيس الخام أطلق عليها الأقطاب المغناطيسية (Magnetic poles).

خواص ومميزات المغناطيس:
والمغناطيس سواء كان طبيعياً أو صناعياً له خواص مميزة هي:
1- يجذب الأجسام المصنوعة من الحديد مثل برادة الحديد أو قطع الحديد الصغيرة.
2- تزداد قوة جذب البرادة عند نقطتين قريبتين من طرفيه، وتسمى كل من نقطتي تجمع البرادة بقطب المغناطيس والمسافة بين هاتين النقطتين هي محور المغناطيس أوطول المغناطيس.
3- إذا علق المغناطيس من منتصفه عند مركز ثقله وكان حر الحركة في مستوى أفقي فإنه يتحرك أولاً إلى أن يسكن فإن أحد قطبيه سوف يتجه دائماً نحو الشمال المغناطيسي ويسمى "القطب الشمالي" والقطب الآخر نحو الجنوب المغناطيسي ويسمى "القطب الجنوبي" - ويكون محور المغناطيس منطبقاً على خط الزوال المغناطيسي – كما في شكل (1). وقد استغلت هذه الظاهرة في صناعة البوصلات التي كان لها شأن كبير في الملاحة والتجارة.



شكل (1)

4- الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب.
5- إذا قرب أحد طرفي مغناطيس من قضيب حديدي فإن الأخير ينجذب إليه ثم يكتسب خاصية المغناطيسية وهذا ما يسمى "المغنطة (أو التمغنط) بالتأثير".

المغناطيسية والإلكترونات:

استمر علم المغناطيسية فترة طويلة يبحث في تأثير المواد الممغنطة بعضها على بعض إلى أن اكتشف العالم الهولندي "هانز أرستد" في عام 1819م أن الإبرة المغناطيسية تنحرف إذا ما اقتربت من سلك يمر به تيار كهربائي وقد دل هذا الاكتشاف على أن الظواهر المغناطيسية تنشأ عن حركة الشحنات الكهربائية، وقد أصبح من الثابت الآن أن الشحنات المتحركة تتفاعل فيما بينها بقوى مغناطيسية إلى جانب القوى الإلكتروستاتيكية التي تخضع لقانون كولوم.

ولما كانت الإلكترونات تتحرك على الدوام حول الأنوية الذرية، فإنه من المتوقع أن يكون للذرات خواص مغناطيسية، وقد كان فاراداي أول من حاول إيجاد العلاقة بين الخواص المغناطيسية للمواد وبين هذه التيارات الذرية. الأمر الذي لم تحققه إلا أبحاث السنوات الأخيرة.

وتتوقف طبيعة القوى المغناطيسية إلى حد كبير على خواص الوسط الذي تتحرك فيه الشحنات، مثلها في ذلك مثل القوى الإلكتروستاتيكية (الكهربية الساكنة). ولكننا في بدء دراساتنا المغناطيسية سنهمل تأثير الوسط مفترضين أن الشحنات تتحرك في الفراغ.

التأثيرية المغناطيسية أو القابلية المغناطيسية:

التأثيرية المغناطيسية هي نسبة المغناطيسية أو العزم المغناطيسي إلى المجال المغناطيسي المؤثر. وهي مقياس لسهولة مغنطة المادة . ويرمز لها بالرمز (X) وهو حرف إغريقي يلفظ (كاي) . تعد التأثيرية المغناطيسية مقياسا لمدى استجابة المادة المغناطيسية الى المجال المغناطيسي.

والتأثيرية المغناطيسية لا تعتمد على شدة المجال المغناطيسي المسلط فحسب بل تعتمد على عدة عوامل منها التركيب المغناطيسي للمادة ودرجة الحرارة.

تتوزع قيم التأثيرية المغناطيسية على مدى واسع يتراوح من 10^{-6} للمواد الضعيفة المغناطيسية الى حوالي 10^{6} أو أكثر للمواد ذات القوية المغناطيسية .

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

$$X = \frac{M}{H}$$

X / تمثل قيمة التأثيرية المغناطيسية .

والعلاقة بين المغناطيسية (M) وشدة المجال المغناطيسي (H) هي علاقة غير خطية .

$$M \alpha H$$

$$M = X * H \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

وبالتعويض من المعادلة (6) في المعادلة (8) ينتج :-

$$B = \mu \circ (H + M)$$

$$= \mu \circ (H + X * H)$$

$$= \mu \circ (1 + X) H$$

$$1+x=\mu r \quad \text{.....(2)}$$

$$=\mu\circ\mu r*H$$

$$\mu r=\frac{\mu}{\mu\circ} \qquad \text{‘‘} \qquad \mu=\mu\circ*\mu r$$

حيث (μ) هي نفاذية الوسط ، (μ_0) نفاذية الفراغ ، (μ_r) النفاذية النسبية .

$$B=\mu*H \quad \text{..... .....(3)}$$

بما ان :-

$$\mu r=(1+X)$$

في حالة الفراغ فإن ($\mu r = 1$) وبالتالي ($X = 0$)

وقد وجد إن هناك علاقة بين التأثيرية المغناطيسية والسماحية النسبية وكالاتي :-

$$X=\mu r-1$$

تصنيف المواد المغناطيسية :-

تصنف المواد المغناطيسية اعتمادا على قيم التأثيرية المغناطيسية وعلاقتها بدرجة الحرارة إلى:-

1- المواد الدايامغناطيسية .
2- المواد البارامغناطيسية .
3- المواد الفيرومغناطيسية.
4- المواد ضدية الفيرومغناطيسية.
5- المواد الأخرى.

1- المواد الدايامغناطيسية :- Diamagnetic Material

هي المواد التي تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه وإذا أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط المجال المغناطيسي ومن هذه المواد (الغازات الخاملة والبزموث والنحاس وألماس والذهب والسيلكون والفضة والماء والنتروجين والزئبق والهيدروجين).

وان أصل الخاصية الدايامغناطيسية هو الحركة المدارية لالكترونات الأغلفة المشبعة حول النواة والتي تستحدث نتيجة تسليط مجال مغناطيسي مؤثر على المادة إذ إن المجال المغناطيسي الخارجي يحدث تغيرا في حركة الالكترونات وبالتالي إحداث تغير في العزوم المغناطيسية لتلك الالكترونات وهذا يدل على إن هذه الإلكترونات لا تمتلك عزوم مغناطيسية قوية ودائمة بل عزوم مغناطيسية ضعيفة تزول بزوال المجال المغناطيسي المؤثر.

ويلاحظ في حالة المواد الدايامغناطيسية فان خواصها المغناطيسية لا تتاثر بتغير درجة الحرارة .

وتتميز هذا المواد بأن : -

1- معامل نفاذيتها أقل من الواحد $\mu < 1$
2- التأثيرية المغناطيسية سالبة لها.
3- ذراتها لا تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة.
4- لا تتمغنط ، حيث ان العزوم المغناطيسية لها تأخذ اتجاه معاكس للمجال المغناطيسي المؤثر عليها(M تعاكس اتجاه H).

قيم التأثرية المغناطيسية لبعض المواد

المـادة Substance	التأثرية المغناطيسية χ_m
ألومنيـوم Al	2.3×10^{-5}
بزمـوت Bi	-1.7×10^{-4}
نحـاس Cu	-1.0×10^{-5}
ذهـب Au	-3.6×10^{-5}
رصـاص Pb	-1.7×10^{-5}
ماغنيسيوم Mg	-1.2×10^{-4}
بلاتـين Pl	2.9×10^{-4}
فـضـة Ag	-2.6×10^{-5}
مـاء H_2O	-0.88×10^{-5}
فلوريد المنجنيز MnF_2	4.59×10^{-4}
كلوريد الكوبالت $Co\,Cl_2$	3.38×10^{-4}
كلوريد الحديديك $Fe\,Cl_2$	3.10×10^{-4}
كلوريد الحديدوز $Fe\,Cl_3$	2.40×10^{-9}
كلوريد النيكل $Ni\,Cl_2$	1.71×10^{-4}
حديد مطـاوع Fe - (soft)	5000.
جرمانيـوم Ge	-1.5×10^{-5}
تنجستن W	$+6.8 \times 10^{-5}$
زجـاج Glass	-1.1×10^{-4}
كوارتز منصهر Fused Quartz	-6.2×10^{-5}
كلوريد الصوديوم Na Cl	-1.38×10^{-5}
كبريتات البوتاسيوم والكروميوم $Cr\,K(SO_4)_2.12H_2O$	2.32×10^{-5}
كبريتات النحاس $Cu\,(SO_4).5H_2O$	1.43×10^{-5}
كبريتات القادولينيوم $Gd_2\,(SO_4)_3.8H_2O$	2.21×10^{-4}

المواد البارامغناطيسية :- **Paramagnetic Material**

هذه المواد تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية وبمعنى آخر فإنها تنجذب نحو المغناطيس وإذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها باتجاه يوازي المجال المغناطيسي المؤثر. ومن هذه المواد (الألمنيوم والتنجستين والكالسيوم والصوديوم والأكسجين والتيتانيوم).,

وتتميز هذه.المواد بأن:-

1- معامل نفاذيتها أكبر من الواحد .

2- التأثيرية المغناطيسية لها موجبة .

3- تمتلك عزوم مغناطيسية دائمة تأخذ اتجاه موازي للمجال المغناطيسي (H نفس اتجاه M) .

- يمكن مغنطتها حيث أن استجابتها للمغنطة متوسطة.

ويلاحظ إن التأثيرية المغناطيسية تعتمد على درجة الحرارة في حالة المواد البارامغناطيسية إذ نجد أنها تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة (تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة) ويرجع ذلك إلى إن الإثارة الحرارية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة تعمل على بعثرة اتجاه العزوم المغناطيسية بينما يعمل المجال المغناطيسي على انتظامها في اتجاهه ومن ثم تعاكس الحرارة عملية انتظام العزوم المغناطيسية التي يسببها المجال المغناطيسي.

وفي حالة وجود مجال مغناطيسي ذي قيمة معقولة فان علاقة التأثيرية المغناطيسية مع درجة الحرارة ستكون علاقة خطية .

$$X = \frac{C}{T}$$

ويعرف هذا القانون بقانون كوري .

عندما (C) ثابت التناسب أو ثابت كوري .

(T) درجة حرارة المادة.

(X) التأثيرية المغناطيسية .

المواد الفيرومغناطيسية Ferromagnetic Material

وهي المواد التي تمتلك مغناطيسية دائمة والتي تتاثر بالمجال المغناطيسي الأرضي وتنشا الخاصية الفيرومغناطيسية من الالكترونات المنفردة ذات العزم المغناطيسي الدائم او من تراصف هذه العزوم و بقوة وباتجاه واحد .

مثل الحديد والكوبالت والنيكل والتي تمتلك درجات حرارة كوري (1034 k) ، (1395k) ،(637k) على التوالي ، وان التأثيرية المغناطيسية للمادة في مثل تلك الدرجات الحرارية (الأعلى من درجة حرارة كوري) فإنها تتغير مع درجة الحرارة بحسب قانون خاص يدعى قانون كوري – وايز :-

$$X = \frac{C}{T - \theta}$$

عندما(θ) تمثل درجة حرارية موجبة .

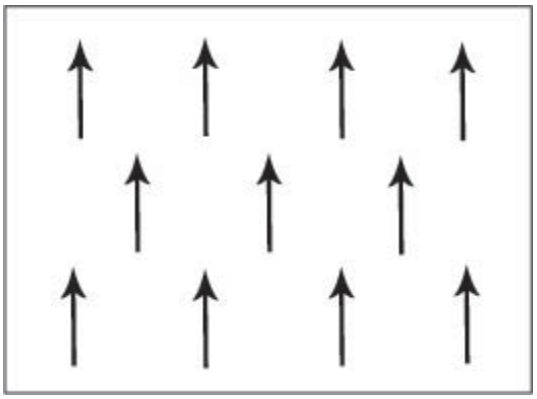
و تتحول المواد الفيرومغناطيسية إلى مواد بارا مغناطيسية أذا أصبحت درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة كوري وعند تبريدها فإنها سوف ترجع إلى الصفة الفيرومغناطيسية .

وتتميز المواد الفيرومغناطيسية بالاتي :-

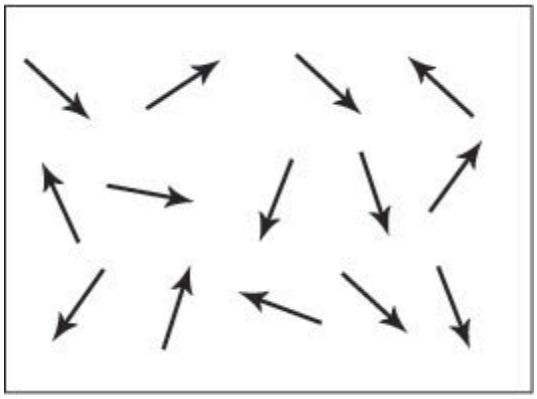
1- معامل نفاذيتها كبير جدا . $\mu >>>1$

2- التأثيرية المغناطيسية لها موجبة.

تتراصف العزوم المغناطيسية عندما تكون درجة حرارة المادة



درجة الحرارة اعلي من درجة حرارة كوري



درجة الحرارة اقل من درجة حرارة كوري

التخلف المغناطيسي

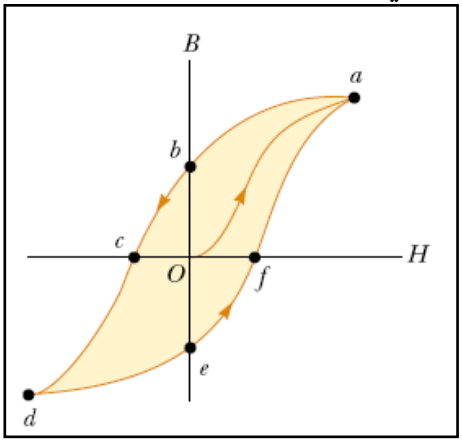
إن التخلف المغناطيسي ظاهرة هامة وهي تشير إلي عدم إمكانية عكس عمليتي المغنطة وإزالة المغنطة . فالمادة التي تظهر درجة من عدم إمكانية عكس هاتين العمليتين تسمي مادة متخلف مغناطيسيا.

دورة التخلف المغناطيسي

إذا وضعت مادة في مجال مغناطيسي خارجي فإن الحث المغناطيسي (B) تتوقف قيمتها على نوع المادة وشدة المجال المغناطيسي (H) وكذلك درجة الحرارة.
وتنقسم المواد الحديدومغناطيسية من حيث تأثير المجال المغناطيسي الخارجي عليها الى قسمين رئيسين هما:

1) مواد حديدومغناطيسية صلبة:

وهي نوع من انواع الفولاذ فإذا سلط عليها مجال مغناطيسي خارجي فانها تحتفظ ببعض مغناطيسيتها حتى بعد زوال المجال الخارجي. فإذا وضعت مادة حديدومغناطيسية صلبة في مجال مغناطيسي (H) ناتج عن تيار كهربي
مار في ملف حلقي فإن العلاقة بين الحث المغناطيسي للمادة (B) والمجال المغناطيسي (H) المسلط عليها
يوضحه الشكل المجاو ادناه.
وبتتبع سلوك التمغنط من البداية حيث تكون (B = 0) عندما (H = 0) نجد انه اذا زاد المجال المغناطيسي فإن العزوم الذرية ستوجه نفسها مع المجال المغناطيسي وتزداد هذه العزوم مع زيادة (H) ويزداد لذلك الحث المغناطيسي (B) حتى يصل الى قيمة معينة عند النقطة (a) حيث تصبح كل العزوم متجهة مع المجال المغناطيسي ولا يمكن بعدها زيادة (B) بزيادة (H) وتسمى هذه الحالة بالتشبع المغناطيسي.
فإذا نقصت (H) فإن (B) تنقص ولكن على خط عودة آخر. فإذا اصبحت (H = 0) نجد ان هناك مغنطة متبقية ممثلة بالنفطة (b) اى انه رغم زوال المجال المغناطيسي فإن المادة مازالت ممغنطة بمغناطيسيتها وهذا يعني ان بعض العزوم الذرية مازالت باقية على اتجاهها ويتولد ما نسميه بالمغانط الدائمة (المغنطة المتخلفة) ولازالته يجب تسليط مجال مغناطيسي معاكس حتى تصل الى النقطة (c) وعندما تنعدم المغنطة (B) رغم وجود مجال مغناطيسي يسمى المجال في هذه الحالة بالمجال القاهر الذي يزيل المغطة. وبزيادة المجال المغناطيسي الخارجي في الاتجاه المعاكس يمكن الوصول الى حالة التشبع (d) واذا عكس المجال المغناطيسي مرة اخرى فإنه يمكن الحصول على النقطتين (e, f) المناظرتين لـ (b, c) ثم الى النقطة (a) مرة اخرى.
وتسمى هذه الظاهرة بالتخلف المغناطيسي وتسمى الدورة الكاملة المغلقة بدورة التخلف المغناطيسي ويعتمد حجمها على نوع المادة.



2) مواد حديدومغناطيسية رخوة (مطاوع):

مثل الحديد المطاوع وهذه المواد تتكغنط بسهولة في المجال المغناطيسي الخارجي ولكنها تفقده بسهولة عند زواله أى لا تبقى اى اثر للمغناطيسية بعد زوال المسبب. اما المواد الحديدومغناطيسية الرخوة (مطاوعه) فإن السلوك المثالي للدورة المغناطيسية الذي يمثله الشكل المجاور بحيث تكون دورة التخلف المغناطيسي للمواد الحديدومغناطيسية الرخوة تكون ضيقة.