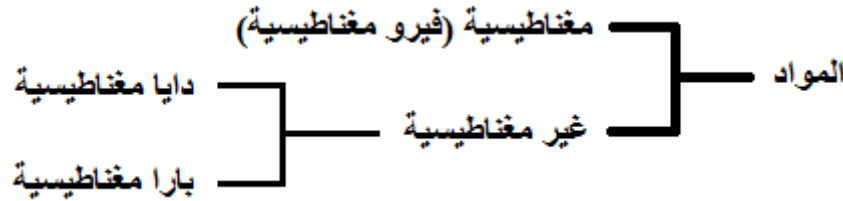


اكتشف الإنسان منذ عدة قرون خاماً حديدياً مغناطيسياً في مدينة مغنيسيا بتركيا والذي يعرف بالمغناطيس الطبيعي ، إذا علق حراً في حركته فإنه يتجه باتجاه المجال المغناطيسي للأرض ، وقد استخدم كبوصلة مغناطيسية .

هناك مواد كالحديد المطاوع والفولاذ تنجذب نحو المغناطيس بقوة ، أما الكوبلت والنيكل فإنهما ينجذبان ولكن بدرجة أقل . وإن المواد التي تسلك في مغناطيسيتها سلوك الحديد توصف بأنها حديدية التمغنط (فيرو مغناطيسية) Ferromagnetic ، وهناك مواد تأثرها غير واضح وهي المواد غير المغناطيسية . ولكن الحقيقة أنه لا توجد مادة لا تتأثر بالمغناطيس أو المجالات المغناطيسية ، أما تسميتها بغير المغناطيسية فسببها أن هذه المواد لا تتأثر إلا بالمغناطيس القوية جداً أو المجالات المغناطيسية عالية الشدة. وقد ظهر فيما بعد أن نوعاً من هذه المواد متى وضع على مقربة من مغناطيس قوي أظهر تنافراً ضعيفاً ، وإذا علق في مجال مغناطيسي شديد أثر عليه عزم وأوقفه بحيث يكون محوره الطويل عمودياً على خطوط المجال ، مثل هذه المواد تسمى الدايا مغناطيسية Diamagnetic ، وهي تشمل النحاس والذهب والبرصموث والماء .

وهناك نوعاً آخر من المواد غير المغناطيسية ، إذا وضع بالقرب من مغناطيس قوي أظهر نحوه إنجذاباً ضعيفاً ، وإذا علق في مجال مغناطيسي أثر عليه عزم وأوقفه بحيث يكون محوره الطويل موازياً لخطوط المجال مثل هذه المواد تسمى بالمواد البارامغناطيسية Paramagnetic ، وهي تشمل الألمنيوم والبلاتين والأكسجين السائل وغيرها .



تتأثر صفة الفيرومغناطيسية تأثراً كبيراً بدرجة الحرارة فكلما ارتفعت درجة الحرارة ضعفت صفة الفيرو مغناطيسية ، والسبب يرجع إلى أن ارتفاع درجة الحرارة يهيج ذرات هذه المواد داخل الجزيئات إلى حد يصعب معه التحكم في تلك الذرات بواسطة المجال الخارجي لتوجيهها وجهة معينة . ولكل مادة فيرو مغناطيسية درجة حرارة معينة تفقد عندها كل صفاتها المغناطيسية ، تسمى هذه الدرجة بدرجة حرارة كوري نسبة إلى مكتشفها بير كيوري . وهي للحديد  $770^{\circ}\text{C}$ .

#### أصل المغناطيسية:

تنتج المغناطيسية من حركة الإلكترونات داخل ذرات المواد ، لذلك فإن المغناطيسية صفة من صفات الشحنات المتحركة ، وعلى ضوء الفكرة الحديثة عن المغناطيسية هناك نوعان من حركة الإلكترونات هما :

أولاً :- دوران الإلكترونات حول نواة الذرة يعطي خصائص مغناطيسية لتكوين الذرة. وأن دوران الإلكترون حول النواة مشابهاً لحركة تيار إلكتروني في حلقة موصلة مغلقة.

وحركة الإلكترون المدارية لها عزم مغناطيسي مداري  $\mu$  يساوي حاصل ضرب شدة التيار الناتج عن حركة الإلكترون  $I \times$  المساحة التي يمسحها  $A$ .

$$\mu = IA, \quad A = \pi r^2$$

فإذا كان عدد دورات الإلكترون حول النواة في ثانية واحدة (التردد) ، فإن

$$I = e\nu \quad \longrightarrow \quad \mu = e\nu\pi r^2$$

$$M = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad \text{مغناطيسية المادة}$$

إذا دار الكترونان حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه وبنصف قطر واحد للمدار ، ينتج عن ذلك أن الخاصية المغناطيسية لأحدهما تلغي تأثير الأخرى. أما إذا انفرد الإلكترون بدورانه حول النواة في الذرة اكسبها صفة مغناطيسية جاعلاً من الذرة أو الأيون دايبولاً (مغناطيس صغير ثنائي القطب).

ثانياً :- دوران الإلكترون حول محوره (البروم) يعتبر كحركة تيارات متناهية في الصغر تولد مجالاً مغناطيسياً ، وهناك إتجاهان لدوران الإلكترون حول محوره ، يعتبر الاول موجب والثاني سالب.

وعليه فالإلكترونان اللذان يدور كل منهما حول محوره بإتجاه معاكس لدوران الآخر يؤلف إزدواج إلكتروني يلغي احدهما الخصائص المغناطيسية للآخر ، أما إذا انفرد الكترون أو أكثر بدورانه حول محوره أو حول النواة جعل الذرة تبدو وكأنها مغناطيس ضعيف يسمى دايبول.

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

يمكن وصف المجال المغناطيسي بواسطة متجه شدة الفيض المغناطيسي (الحث المغناطيسي)  $\vec{B}$  وهو عبارة عن عدد الخطوط المغناطيسية العمودية على وحدة المساحات. ووحدة قياسه هي  $\frac{wb}{m^2}$  أو T.

متجه شدة المجال المغناطيسي  $\vec{H}$  وهو عبارة عن المجال الممغنط ، وهو بالنسبة للملف يساوي مقدار التيار المار فيه لوحدة الطول منه.

$$H = \frac{nI}{l} \quad \frac{A}{m}$$

أن العلاقة التي تربط بين  $\vec{B}$  و  $\vec{H}$  هي :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

حيث  $\mu_0$  هي النفاذية المغناطيسية للفراغ وقيمتها  $4\pi \times 10^{-7} \left( \frac{wb}{Am} \right)$  or  $\frac{H}{m}$

وعندما نضع مادة في مجال مغناطيسي فإنها تتمغنط ، وتمغنط هذه المادة يمكن وصفه بمتجه التمغنط  $\vec{M}$  ، وعليه فإن الحث المغناطيسي يصبح :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

أي أن الحث المغناطيسي يتكون من جزئين الأول  $\mu_0 \vec{H}$  يتولد من مصدر خارجي ، والثاني  $\mu_0 \vec{M}$  ينتج من تمغنط المادة أو الوسط . وقد لوحظ أن التمغنط يتناسب طردياً مع المجال الممغنط لكثير من المواد.

$$\vec{M} \propto \vec{H} \quad \Longrightarrow \quad \vec{M} = \chi \vec{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

حيث  $\chi$  تسمى بالقابلية المغناطيسية للمادة أو التأثيرية المغناطيسية وهي بدون وحدات. وهي عبارة عن استجابة الوسط الحاوي للتأثر بالمجال المغناطيسي الخارجي.

$$\vec{M} = \frac{\mu}{V} \text{ هو العزم المغناطيسي لوحدة الحجم}$$

وبذلك ترتبط  $\chi$  ارتباطاً وثيقاً بخواص ذرات وجزئيات الوسط.

وبالتعويض عن  $\vec{M}$  من معادلة (2) في معادلة (1) نحصل على :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi \vec{H} \quad \Longrightarrow \quad \vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

من معادلة (3) يمكن تعريف خاصية أخرى نطلق عليها النفاذية المغناطيسية للمادة

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ أي أن } \mu = \frac{B}{H}$$

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

إن وحدات  $\mu$  هي نفسها وحدات  $\mu_0$  ( $\frac{wb}{Am}$  or  $\frac{H}{m}$ ) وبذلك تصبح معادلة (3)

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

إن النسبة بين النفاذية المغناطيسية للمادة والنفاذية المغناطيسية للفراغ تسمى النفاذية النسبية  $\mu_r$  أي أن :

$$\mu_r = 1 + \chi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

إن قيمة  $\mu_r$  للفراغ مساوية للواحد ، بينما قيمتها للمواد البارامغناطيسية والفيرومغناطيسية أكثر من واحد ، وللمواد الدايا مغناطيسية أقل من واحد ، وهكذا فإن الخواص المغناطيسية للمادة يمكن أن تحدد كلياً بمعرفة قيمة احد المقادير ( $\mu_r$  ،  $\mu$  ،  $\chi$ ).

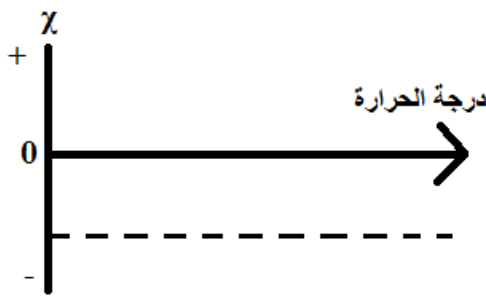
إن ظاهرة التمغنط للمادة نتيجة وقوعها تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي يعود الى سببين ، الاول : هو التغير الذي يحدث في حركة الالكترونات في ذرات المادة والثاني : هو إنتظام الذرات أو الجزيئات التي تمتلك عزم مغناطيسي دائم .

تصنيف المواد المغناطيسية : تصنف المواد المغناطيسية إلى العديد من الاصناف ، منها الاصناف التالية:

**1- المواد الدايا مغناطيسية:**

تكون  $\chi$  لهذه المواد سالبة وهذا يعني ان المواد الدايا مغناطيسية تحاول اضعاف المجال المغناطيسي المسلط عليها ، أي أن العزوم المغناطيسية المتكونة داخل المادة تتجه باتجاه معاكس لإتجاه خطوط الفيض المغناطيسي.

إن اصل الخاصية الدايا مغناطيسية هو الحركة المدارية للالكترونات التي تستحث نتيجة تسليط المجال المغناطيسي الخارجي على المادة ، وأن هذا المجال يحدث تغيراً في حركة الالكترونات . وأن العزم المغناطيسي الناتج عن هذا التغير هو السبب في تكوين الخاصية الدايا مغناطيسية (يكون هذا العزم ، عزم مغناطيسي محتث ويكون باتجاه يعاكس تأثير المجال المغناطيسي الخارجي).



إن خاصية الدايا مغناطيسية هي صفة مؤقتة تدوم أو تستمر باستمرار وجود المجال المغناطيسي الخارجي ، وتختفي عند إزالة هذا المجال. أي أنها تمثل رد الفعل المعاكس على تأثير المجال الخارجي المسلط عليها. ومن أهم المواد الدايا مغناطيسية هي الغازات الخاملة والمركبات ذات المدارات الالكترونية المشبعة والكثير من المركبات العضوية.

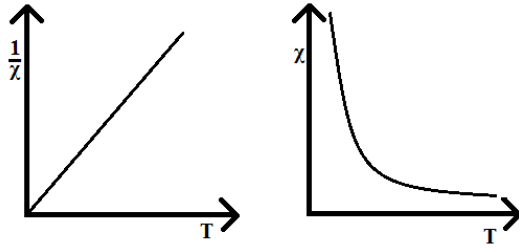
**اهم خواص المواد الدايا مغناطيسية :**

- ١- إن هذه الصفة لا تعتمد على اتجاه العزوم المغناطيسية في المادة.
- ٢- لا تعتمد  $\chi$  على  $T$ .
- ٣- جميع المواد تصبح دايا مغناطيسية بدرجات الحرارة العالية.
- ٤- صفة الدايا مغناطيسية صفة مؤقتة تزول بزوال المجال المغناطيسي المسلط.
- ٥-  $\chi$  سالبة وقليلة جداً.

**2- المواد البارامغناطيسية:**

تظهر الخاصية البارامغناطيسية في الذرات أو الجزيئات التي تمتلك عدداً فردياً من الالكترونات التي تعمل على اعطاء عزم مغناطيسي دائم للذرة أو الجزيئة. والشكل المجاور يوضح ترتيب العزوم المغناطيسية للمادة البارامغناطيسية. ان الاتجاهات المبعثرة للعزوم سيجعل المغناطيسية للمادة مساوية للصفر في حالة عدم وجود المادة داخل المجال المغناطيسي المؤثر.

في حالة وجود مجال مغناطيسي ذي قيمة معقولة (ولكنها ضعيفة) فإن علاقة التأثيرية المغناطيسية ودرجة الحرارة تكون خطية وتعطى بالعلاقة :  $\chi = \frac{C}{T}$



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

### اهم خواص المواد البارامغناطيسية :

- 1-  $\chi$  موجبة وقليلة تتراوح بين  $10^{-3}$  الى  $10^{-5}$ .
- 2- الخاصية البارامغناطيسية صفة متأصلة في المادة ولا تستحث نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي الخارجي المؤثر عليها.
- 3- تتناسب التأثيرية المغناطيسية لهذه المواد تناسباً عكسياً مع درجة الحرارة أي أن:  $\chi \propto \frac{1}{T}$

### 3- المواد الفيرومغناطيسية :

ان وجود مواد ذات مغناطيسية دائمية في درجة حرارة الغرفة معروف منذ زمن بعيد ، ومن اشهر هذه المواد الحديد وأوكسيدته  $Fe_2O_3$  ، إذ استخدمنا منذ العصور القديمة من قبل البحارة في إيجاد الاتجاه ، وذلك لإملاكه المغناطيسية الدائمة التي تتأثر بالمجال المغناطيسي الارضي. إن التأثيرية المغناطيسية للمادة في الدرجات الحرارية الأعلى من درجة حرارة كوري تتغير مع درجة الحرارة بحسب قانون كوري-وايز  $\chi = \frac{C}{T - \theta_c}$  ، حيث ان  $\theta_c$  تمثل درجة حرارة موجبة.

تتصرف العزوم المغناطيسية بإتجاه واحد عندما تكون درجة حرارة المادة اقل من درجة حرارة كوري ، وبإتجاه عشوائي عندما تكون درجة حرارة المادة اكبر من درجة حرارة كوري كما في الشكل A. وتتغير التأثيرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية مع درجة الحرارة كما في الشكل B.

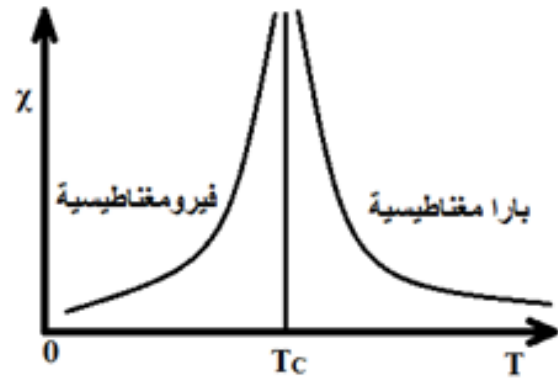


$T < T_c$



$T > T_c$

A



B

اهم خواص المواد الفيرو مغناطيسية :

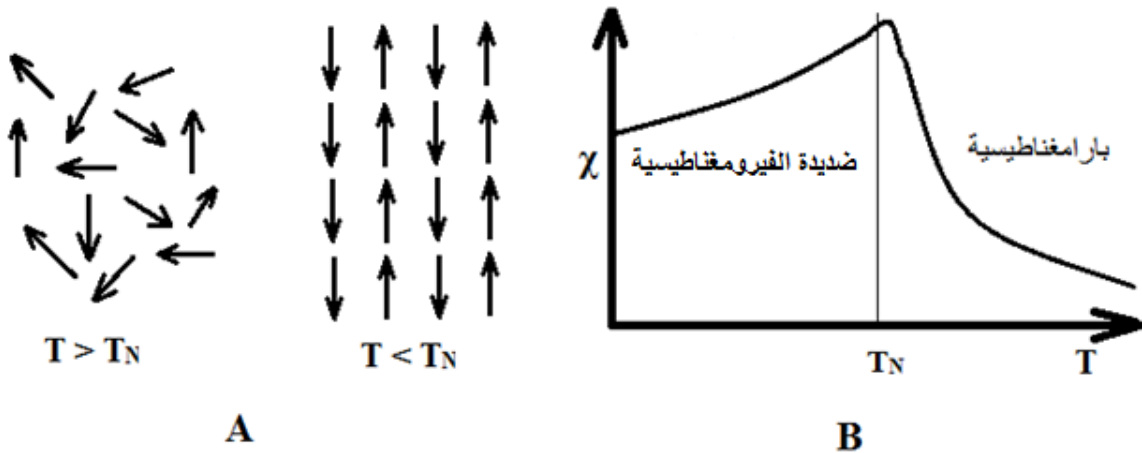
- ١- تنشأ الخاصية الفيرو مغناطيسية من الالكترونات المنفردة ذات العزم المغناطيسي الدائم ، أو من تراصف هذه العزوم باتجاه واحد.
- ٢- تتحول المواد الفيرو مغناطيسية الى مواد بارامغناطيسية إذا أصبحت درجة حرارتها اكبر من درجة حرارة كوري.
- ٣- عند تبريدها الى اقل من درجة حرارة كوري فإنها تتحول مرة ثانية الى صفة الفيرو مغناطيسية.
- ٤- إن التأثيرية المغناطيسية للمادة في الدرجات الحرارية الاعلى من درجة حرارة كوري تتغير مع درجة الحرارة بحسب قانون كوري - وايز.

4- المواد ضديدة الفيرو مغناطيسية :

تمتلك هذه المواد درجة حرارة حرجة تسمى درجة حرارة نيل  $T_N$  ، إذ تكون المادة تحت هذه الدرجة مادة ضديدة الفيرو مغناطيسية وتترتب العزوم كما في الشكل A ، أما إذا كانت المادة عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة نيل فإن المادة تتحول الى الطور البارامغناطيسي كما في الشكل B. وينطبق عليها قانون كوري - وايز  $\chi = \frac{C}{T - \theta_N}$  ، حيث ان  $\theta_N$  تمثل درجة حرارة سالبة.

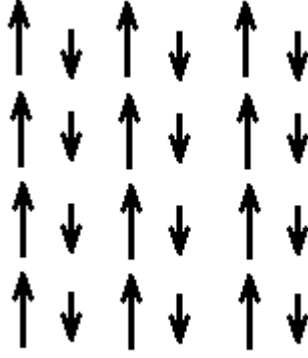
اهم خواص المواد ضديدة الفيرو مغناطيسية :

- ١- تأثيريتها قليلة لكنها موجبة.
- ٢- العزوم المغناطيسية مرتبة بشكل صفوف متوازية متشابهة ولكنها متضادة عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة نيل كما في الشكل A.
- ٣- مغناطيسية هذه المواد ضعيفة (صفر تقريباً) لكشابه العزوم المتضادة.
- ٤- تقل التأثيرية المغناطيسية كلما انخفضت درجة الحرارة في الطور ضديدة الفيرو مغناطيسي كما في الشكل B.



**5- المواد الفيرومغناطيسية :**

وهي حالة خاصة للمواد صديدة الفيرو مغناطيسية ، وتعتبر مجموعة الفيروايت أهم المواد الفيرومغناطيسية. وتستخدم المواد الفيرومغناطيسية في صناعة لب المواد الحثية ومخازن المعلومات (الذاكرة).

**اهم خواص المواد الفيرومغناطيسية :**

$$T < T_c$$

- ١- كل صفيين متجاورين من العزوم المغناطيسية متعاكسين في الاتجاه ، لكنها غير متساوية في المقدار ، كما في الشكل المجاور. ولذلك ستمتلك المادة الفيرومغناطيسية مغناطيسية ذاتية.
- ٢- تقل تأثيريتها كلما ارتفعت درجة الحرارة (أعلى من درجة حرارة كوري).
- ٣- العلاقة بين مقلوب التأثيرية المغناطيسية ودرجة الحرارة لا تكون خطية.

**العناصر المغناطيسية :**

- ١- العناصر المغناطيسية الإنتقالية : وأصل المغناطيسية فيها هو الالكترونات غير المزدوجة في المدار الثانوي 3d غير المشبع الذي يشكل المدار الخارجي لها. ومن أهم عناصرها الحديد والنيكل والكوبلت التي تكون فيرو مغناطيسية عند درجة حرارة الغرفة ، أما بقيت عناصر هذه المجموعة فتكون بارامغناطيسية.
- ٢- العناصر المغناطيسية النادرة : أصل المغناطيسية فيها هو الالكترونات غير المزدوجة في المدار الثانوي 4f غير المشبع ، والذي يقع داخل المدارات المشبعة 5s , 5p. وتكون عناصر هذه المجموعة بارامغناطيسية في درجة حرارة الغرفة.

\* للمزيد من المعلومات انظر تصنيف المواد المغناطيسية : صفحة (٢٠٩-٢٢١) في الكتاب.