جامعة الانبار

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

محاضرات

خواص مادة

البروفيسور الدكتور

وليد بديوي

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الفصل السادس

الخواص المغناطيسية للمواد

The Magnetic Properties of Materials

المقدمة

عرفت المواد المغناطيسية منذ زمن بعيد، واول ماعرف منها حجر المنغنايت (Fe_3O_4) في مقاطعة مغنيسيا.

وتم استخدام الصفة المغناطيسية من قبل البحارة لتحديد الاتجاه، وذلك بتعليقهم قطعة مغناطيسية بخيط في الهواء فتتجه باتجاه القطب الشمالي والقطب الجنوبي للمجال المغناطيسي الارضي.

وتطلق اليوم كلمة المغناطيسية على المواد التي تظهر استجابة واضحة للمجال المغناطيسي الخارجي المسلط عليها. ومن اهم المواد المغناطيسية المعروفة الحديد والنيكل والكوبلت ومادة المنغنايت. وقد وجد بان الخاصة المغناطيسية تتأثر كثيراً بدرجات الحرارة.

يتناول هذا الفصل اساسيات الخاصية المغناطيسية والتاثرية المغناطيسية وانواع المواد المغناطيسية كما يتناول هذا الفصل الخواص المغناطيسية الاساس للمواد، مثل التأثرية المغناطيسية والعلاقة بينها وبين المغناطيسية. كما تم التطرق في هذا الفصل الى طريقة تصنيف المواد المغناطيسية والى الخواص المهمة لكل صنف منها.

وكذلك الى اهم المجموعات المغناطيسية في الجدول الدوري. تناول هذا الفصل الخواص الاساس ولم يتطرق الى التفاصيل الاخرى المتعلقة بالمواد المغناطيسية ودراستها، لان تقع خارج مضامين هذا الفصل.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

6–1 العزم المغناطيسي للالكترون (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 ان

$$\mu = I\,A \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6.1)$$

اذ ان

$$A = \pi r^2$$

ان دوران الالكترونات حول النواة يمثل التيار الكهربائي المذكور. ان قيمة التيار الكهربائي الناشيء عن دوران الكترون واحد (e–) بمقدار (ν) دورة في الثانية يكافيء تيار كهربائي مقداره I ، اي ان

$$I = -e\nu$$

وبالتعويض عن قيم كل من A و I في المعادلة (6.1) نحصل على مايأتي :

$$\mu = -e\nu\pi r^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6.2)$$

يطلق على μ مصطلح العزم المغناطيسي للالكترون

6–2 الزخم الزاوي للالكترون (L) The Angular Momentum of Electron

يمكن ايجاد قيمة الزخم الزاوي للالكترون من معرفة سرعة الالكترون. ان السرعة الخطية للالكترون يمكن حسابها من العلاقة الآتية :

السرعة الخطية = محيط الدائرة × عدد دورات الالكترون حول النواة في الثانية

$$\upsilon = 2\pi r\nu$$

وبما ان الزخم الزاوي للالكترون (L) يساوي

$$L = m\omega$$

اي ان

$$L = m\upsilon r \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6.3)$$

وبالتعويض عن قيمة υ في المعادلة (6.3) نحصل على

$$L = 2\pi r^2 m\nu \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6.4)$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

6–3 العلاقة بين (μ) و L The relation between (μ) and L

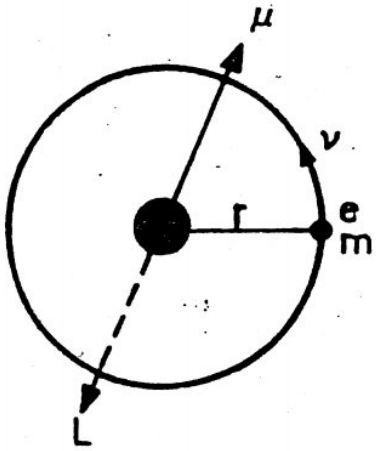
هناك علاقة مهمة بين العزم المغناطيسي (μ) والزخم الزاوي (L) للالكترون يمكن ايجادها من مقارنة المعادلتين (6.2) و (6.4) وهي كما يأتي :

$$\mu = \frac{-e}{2m} L \quad \text{.....(6.5)}$$

اي ان

$$\frac{\mu}{L} = -\frac{e}{2m} \quad \text{.....(6.6)}$$

ان نسبة العزم المغناطيسي (μ) الى الزخم الزاوي (L) تساوي نسبة شحنة الالكترون (e) الى ضعف كتلته (2 m). اما الاشارة السالبة فتعني ان اتجاه العزم المغناطيسي يكون معاكساً لاتجاه الزخم الزاوي ، كما في الشكل (6.1).



الشكل (6.1) : علاقة العزم المغناطيسي بالزخم الزاوي للالكترون.

وحسب نظرية بور Bohr theory فان الزخم الزاوي للالكترون يكون محدداً (مكماً) وحسب المعادلة الاتية :

$$L = n\hbar \quad \text{.....(6.7)}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

n تمثل عدداً صحيحاً

وان

و h تمثل ثابت بلانك (Blank's Constant)

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وهكذا فان قيم العزم المغناطيسي ستكون مكممة ايضاً ، اي ان

$$|\mu| = \frac{e}{2m} n\hbar \qquad \ldots\ldots\ldots (6.8)$$

ان اصغر قيمة لـ (μ) تحدث عندما تكون قيمة (n) مساوية للواحد الصحيح ، اي ان عندما $n = 1$

فان

$$\mu = \frac{e\hbar}{2m} \qquad \ldots\ldots\ldots (6.9)$$

ان القيمة الصغرى للعزم المغناطيسي ($\frac{e\hbar}{2m}$) تسمى بمغنيط بور (Bohr magneton) ويرمز لها بـ (μ_B) وقيمتها تساوي 9.27×10^{-24} جول لكل تسلا (J/T) ، اي ان

$$\mu_B = 9.72 \times 10^{-24}\ J/T$$

ومثلما كانت قيمة شحنة الالكترون ممثلة لاصغر قيمة للشحنة الكهربائية فان قيمة مغنيط بور ستكون ممثلة لاصغر قيمة للعزم المغناطيسي أو المغناطيسية .

ان المغناطيسية (M) او العزم المغناطيسي لوحدة الحجم يمكن ايجادها من اضافة جميع عزوم الذرات الموجودة في وحدة الحجم ، اي ان

$$M = \sum_i \mu_i \qquad \ldots\ldots\ldots (6.10)$$

اذ ان i تمثل عدداً صحيحاً يبدأ من 1 الذي يمثل الالكترون الاول وينتهي برقم آخر الكترون

ترتبط المغناطيسية M بالمجال الممغنط H من خلال العلاقة الاتية

$$M = \chi H \qquad \ldots\ldots\ldots (6.11)$$

اذ ان χ تمثل التأثيرية المغناطيسية . وهناك المجال المغناطيسي B الذي يعطى بالعلاقة الاتية

$$B = \mu_v H + \mu_v M \qquad \ldots\ldots\ldots (6.12)$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

حيث ان μ_v تمثل سماحية الفراغ Permeability of vacuum . وهناك السماحية النسبية μ_r relative permeability التي تعرف بالعلاقة الاتية:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_v} \quad \text{.....(6.13)}$$

وقد وجد ان هناك علاقة بين التأثرية المغناطيسية والسماحية النسبية تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\chi = \mu_r - 1 \quad \text{.....(6.14)}$$

اما بالنسبة للوحدات فانها تختلف بحسب النظام المستخدم . ففي نظام المتر–كغم– ثا تكون وحدات كل من B و H Weber/m² و Amper – turn/m على التوالي . اما سماحية الفراغ فانها تعطى بوحدات Henry /m.

6–4 التأثرية المغناطيسية TheMagnetic Susceptibility (χ)

تعرف التأثرية المغناطيسية على انها نسبة المغناطيسية او العزم المغناطيسي لوحدة الحجم الى المجال المغناطيسي المؤثر (H) ، اي ان

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

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

6–5 تصنيف المواد المغناطيسية Classification of Magnetic Materials

واعتماداً على قيم التأثرية المغناطيسية للمواد وعلاقتها بدرجة الحرارة يمكن تصنيف المواد المغناطيسية الى الاصناف الرئيسية الاتية:

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

1 – المواد الدايامغناطيسية.
2 – المواد البارامغناطيسية
3 – المواد الفيرومغناطيسية
4 – المواد ضديدة الفيرومغناطيسية
6 – المواد الأخرى.

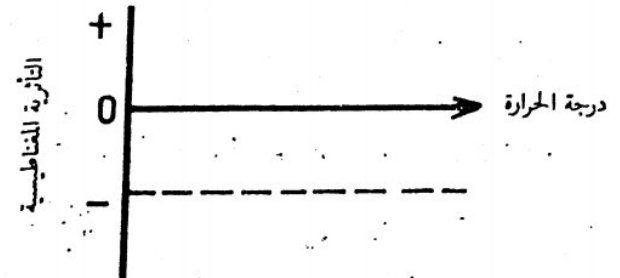
1 – 5 – 6 المواد الدايامغناطيسية The Diamagnetic Materials

وهي المواد التي تكون تأثريتها المغناطيسية

1 – سالبة

2 – قليلة جداً (10^{-5}).

ان أصل الخاصية الدايامغناطيسية هو الحركة المدارية لالكترونات الاغلفة المشبعة حول النواة والتي تستحدث نتيجة تسليط مجال مغناطيسي مؤثر على المادة. اذ ان المجال المؤثر يحدث تغيراً في حركة الالكترونات والذي يعني احداث تغير في العزم المغناطيسي لهذه الالكترونات ، وهذا معناه ان ذرات المادة الدايامغناطيسية لاتملك عزوم مغناطيسية دائمة ، بل تمتلك عزوم مغناطيسية محثة ضعيفة غير دائمية تزول بزوال تأثير المجال المغناطيسي المسلط على المادة. ان اتجاه العزم المغناطيسي المحث يكون معاكساً لاتجاه المجال المغناطيسي المسلط. ومن أشهر المواد الدايامغناطيسية الغازات الخاملة والمركبات ذات المدارات الالكترونية المغلقة ومعظم المواد الصلبة الايونية والجزيئية والمركبات العضوية. وان الخاصية الدايامغناطيسية لاتعتمد على اتجاه العزوم داخل المادة ولا تعتمد على درجة الحرارة. ان جميع المواد على اختلاف انواعها تمتلك الخاصية الدايامغناطيسية ولكنها قد تكون ضعيفة جداً واقل بكثير من الخواص المغناطيسية الأخرى ، فضلاً عن ان جميع المواد تصبح دايامغناطيسية في درجات الحرارة العالية جداً. ان الصفة الدايامغناطيسية صفة مؤقتة تزول بزوال المجال المغناطيسي المؤثر المسلط على المادة ، وتظهر مجدداً بوجود المجال المذكور. الشكل (6.2) يبين علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة.



الشكل (6.2) : علاقة التأثرية المغناطيسية مع درجة الحرارة للمواد الدايامغناطيسية.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الجدول (6.1): يبين قيم التأثرية المغناطيسية لبعض المواد الدايامغناطيسية

المادة	التأثرية المغناطيسية χ_m $\times 10^{-5}$
البزموث Bi	− 16
الزئبق Hg	− 2.9
الكالسيوم Ca	− 2.3
النحاس Cu	− 1.0
السليكون Si	− 0.4
الذهب Au	− 3.6
الماء H_2O	− 9.0
الهيدروجين H_2	− 0.2
النتروجين N_2	− 5.0

2−5−6 المواد البارامغناطيسية The Paramagnetic Materials

وهي المواد التي تتصف تأثريتها المغناطيسية بما يأتي :

1− موجبة.

2− قليلة تتراوح بين 10^{-3} الى 10^{-5}

تظهر الخاصية البارامغناطيسية في الذرات او الجزيئات التي تمتلك عدداً فردياً من الالكترونات التي تعمل على اعطاء عزم مغناطيسي دائم للذرة او 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 حالة وجود المجال المذكور فان معدل اتجاهات العزوم سيأخذ اتجاهاً موازياً لاتجاه المجال المسلط والمؤثر على المادة. ان المغناطيسية الناتجة عن هذا الاصطفاف للعزوم المغناطيسية تكون ضعيفة ، والسبب في ذلك يعود الى ان العزوم المذكورة تكون ضعيفة ومتباعدة عن

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner