

الفصل الرابع

الخواص المغناطيسية للمواد

Magnetic Properties of Materials

1-4 مقدمة

جميع المواد على اختلاف أنواعها سواء الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة لها خواص مغناطيسية، نتيجة لتأثرها بالمجال المغناطيسي، ولكن بدرجات متفاوتة فبعض المواد لها خواص مغناطيسية ضعيفة وبعضها متوسطة وبعضها قوية. كما أن لدرجة الحرارة أثرا كبيرا على هذه الخواص كذلك توجد مواد أخرى لها خواص مغناطيسية عكسية أي أن اتجاه المجال فيها يعاكس المجال المسبب. ونظرا لاستعمال المواد المغناطيسية في كثير من الأجهزة، مثل الميكروفونات والسماعات ووسائل الاتصالات اللاسلكية وكذلك استعمالها في ذاكرات الحاسبات الآلية (computer memory) والدوائر المنطقية (logic circuitry) وتطبيقات الفتح والقطع عالي السرعة للدوائر (high speed switching application) أصبح مهما دراسة بعض القواعد الأساسية لهذه المواد.

2-4 تصنيف المواد Classification of Materials

ذكر في البند السابق أن المواد على اختلاف أنواعها تتأثر بالمجال المغناطيسي الخارجي ولكن بدرجات متفاوتة وللتبسيط يمكن أن نقسم هذه المواد من حيث خواصها المغناطيسية إلى قسمين رئيسيين هما:

1-2-4 مواد بارامغناطيسية Paramagnetic

هذه تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية وبمعنى آخر فإنها تنجذب نحو المغناطيس، وإذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها اتجاهها يوازي المجال. ومن هذه المواد الألومنيوم والتيتانيوم والأكسجين (O, Ti, Al) وأما الحديد والنيكل والكوبالت (Ni, Co, Fe) وسبائكها ومركباتها فإنها مواد بارامغناطيسية قوية جدا لهذا يطلق عليها المواد الحديدومغناطيسية (Ferromagnetic) التي تتميز بكونها معامل النفاذية، والتأثيرية المغناطيسية لها موجبة.

2-2-4 مواد دايامغناطيسية Diamagnetic

وهذه تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه ، وإذا أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط القوى . ومن هذه المواد البزموت والنحاس وتتميز بأن معامل نفاذيتها أقل من الواحد والقابلية المغناطيسية لها سالبة .

تتألف جميع المواد من ذرات بها نواة موجبة الشحنة تدور حولها الكترونات سالبة الشحنة فحركة هذه الشحنات السالبة، تكون تيارات كهربائية صغيرة مما يتسبب في احداث مجال ذري له عزم مغناطيسي ذري.

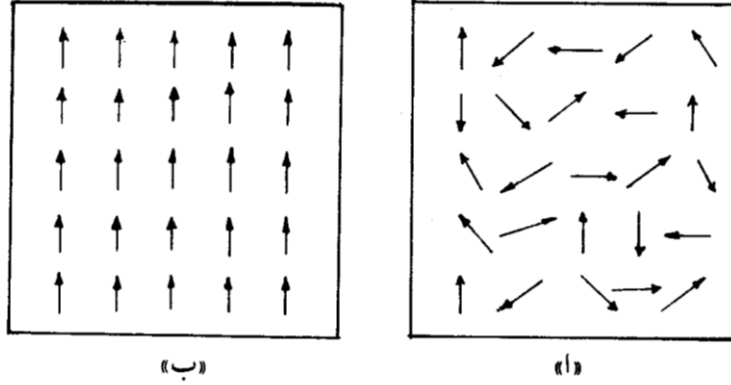
ففي حالة عدم وجود أي مجال مغناطيسي خارجي تكون التيارات الصغيرة في اتجاهات مختلفة عشوائية (random orientation) كما في شكل (1-4) مما يسبب في إحداث مجالات مغناطيسية ذرية محددة في حجم الذرة ومحصلة التيارات والعزم المغناطيسية (magnetic moments) في المادة تلغي بعضها بعضا وبذلك لا يظهر أي أثر للمجال المغناطيسي . ويشذ عن هذه الحالة المغناطيس الدائم (permanent magnet).

أما إذا وضعت المادة في مجال مغناطيسي خارجي (external magnetic field) ، حثه B ، فإن القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنات المتحركة تغير من اتجاه مدار الإلكترونات في الذرات ومسار التيار للإلكترونات الحرة في المعادن ولذلك يتولد مجال مغناطيسي يكون اتجاهه مع اتجاه المجال الخارجي كما في حالة المواد البارامغناطيسية كما في شكل (1-4) أو عكس اتجاه المجال الخارجي كما في حالة المواد الدايامغناطيسية .

والمجالات المغناطيسية الذرية في محيط الذرة تحدث لسببين هما :

(١) الحركة المدارية (orbital motion) للإلكترون حول النواة تسبب تيارا له عزم مغناطيسي .

(٢) للإلكترون عزم مغناطيسي ذاتي (intrinsic magnetic moment) مقترن بالعزم الحركي الزاوي الذاتي (intrinsic angular moment) وهو ما يسمى بغزل الإلكترون (electron spin) حيث يدور الإلكترون حول نفسه كما تدور الأرض حول محورها . وحركة هذه الإلكترونات تشبه حركة تيار كهربائي في ملف ، وفي هذه الحالة يكون الملف على هيئة مغناطيس ذي قطب شمالي في جهة وقطب جنوبي في جهة أخرى .



شكل (1-4) ا - العزوم المغناطيسية في اتجاهات مختلفة عشوائية وذلك قبل وضعها في المجال المغناطيسي الخارجي .
ب - العزوم بعد وضعها في المجال الخارجي .

3-4 شدة التمثغظ Magnetization

يمكن أن نعتبر المواد القابلة للتمغظ مصدرا من مصادر المجالات المغناطيسية لأن لذرات هذه المادة عزوم مغناطيسية، وكما ذكر في البند السابق أن هذه العزوم المغناطيسية الذرية كانت نتيجة لتيارات دائرية نتجت عن حركتي الإلكترون الدائرية والمغزلية فإذا أخذت مادة ممغنطة فإن التيارات الإلكترونية (electronic current) الداخلية سيلاشي بعضها بعضا وتبقى التيارات السطحية .

ويسمى التيار في هذه الحالة بمحصلة التيار المغناطيسي السطحي ويرمز له بالرمز I_m (net surface magnetization current) ويسري حول سطح المادة في الاتجاه المبين في الشكل (2-4) ويعد هذا التيار مصدر المجال المغناطيسي للمادة وكأن المجال ناتج عن عزم مغناطيسي لذي القطبين (dipole magnetic moment) P_m حيث

$$P_m = I_m S \quad (1-4)$$

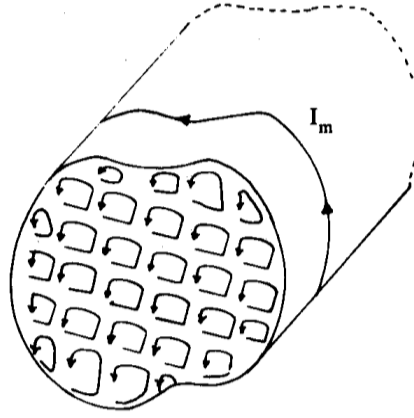
حيث S هو مساحة مقطع المادة .

يمكن تمثيل المجال المغناطيسي بمتجه يسمى متجه التمثغظ ويرمز له بالرمز M حيث:

$$M = \frac{P_m}{V} \quad \text{or} \quad M = \frac{dP_m}{dV} \quad (2-4)$$

حيث V هو حجم المادة الممغنطة و dV عنصر الحجم للمادة الممغنطة .

وواضح من المعادلة (2-4) أن M لها اتجاه dP_m نفسه



شكل (2-4) : التيارات الالكترونية «الذرية» الداخلية تتلاشى وتبقى التيارات السطحية التي تعطى تيارا سطحيا I_m حول السطح الخارجي للمادة.

ويمكن تمثيل شدة المجال المغناطيسي H في حالة المادة المغناطيسية بالعلاقة التالية :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

$$\therefore \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (S.I) \quad \dots \quad (3-4)$$

وهذه المعادلة صحيحة بين B و M لأي وسط مادي وهي تماثل المعادلة التي تربط بين الإزاحة D وشدة المجال الكهربائي E [$E = \frac{1}{\epsilon_0} (D - P)$] حيث E تناظر B و D تناظر H .

وواضح مما سبق ذكره أن B لها علاقة بالتيار الحقيقي I إضافة إلى التيارات الذرية السطحية I_m بينما H لها علاقة بـ I فقط. إذا قورنت هذه الحالة بما وجد بالنسبة للكهرباء الاستاتيكية فإن شدة المجال الكهربائي E كان نتيجة لتوزيع كل الشحنات المستقطبة الناتجة عن استقطاب المواد العازلة وكذلك الشحنات الحرة بينما الإزاحة D تختص فقط بالشحنات الحرة.

4-4 التأثيرية المغناطيسية Magnetic Susceptibility

يتناسب متجه شدة التماغنط M مع شدة المجال المغناطيسي H تناسبا طرديا في معظم المواد حسب المعادلة :

$$M = \chi_m H \quad \dots \quad (4-4)$$

ويسمى معامل التناسب χ_m بالتأثرية المغناطيسية، وهي تمثل أحد العوامل الرئيسة المميزة للمادة المدروسة وكلما كانت قيمة χ_m كبيرة كانت المادة أكثر قابلية للتمغنط في أي مجال مغناطيسي خارجي. وهذا التناسب واضح في المواد الدايمغناطيسية وكذلك البارامغناطيسية ما لم يكن المجال المغناطيسي الخارجي كبيرا ودرجة الحرارة منخفضة، كما سيرد في البند (4-7) أما المواد الحديد ومغناطيسية فليس هناك تناسب طردي بين M و H كما سيرد ذلك في البند (4-8) ويكون اتجاه M هو اتجاه H نفسه في المواد المتجانسة.

ومن المعادلتين (4-3) و (4-4) يمكن الحصول على:

$$B = \mu_0 (H + \chi_m H) = \mu_0 (1 + \chi_m) H \quad \dots \quad (4-5)$$

أو

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu H \quad \dots \dots \quad (4-6)$$

حيث

$$\therefore \mu_r = 1 + \chi_m$$

$$\chi_m = \mu_r - 1 \quad \dots \dots \quad (4-7)$$

$$\therefore \mu_r = \mu / \mu_0$$

$$\therefore \mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \quad \dots \dots \dots \quad (4-8)$$

حيث μ_r النفاذية المغناطيسية النسبية (relative magnetic permeability) و μ نفاذية الوسط و μ_0 نفاذية الفراغ.

والجدول (4-1) يبين بعض قيم χ_m . والاشارة السالبة التي تسبق بعض قيم χ_m ، تدل على أن المادة دايمغناطيسية لأنه كما هو معروف أن التمكنط لهذه المواد يعاكس المجال المغناطيسي الخارجي. ولذلك يمكن القول (إنه بحسب إشارة التأثرية المغناطيسية وقيمتها يمكن تصنيف الأنواع المختلفة للمواد الممغنطة).

وحسب المعادلة (4-8) فإن χ_m لا وحدات لها وبذلك فإن وحدات M هي وحدات H نفسها أي أن وحدات M هي:

$$M = A / m$$

أما μ_0 أو μ فإنه حسب المعادلة (4-7) تكون وحداتها.

$$\mu \text{ or } \mu_0 = \frac{B}{H} = \frac{Wb}{m^2} \div \frac{A}{m} = \frac{Wb}{A \cdot m}$$

$$= H / m$$

$$\therefore \mu_0 = \frac{10^4 G}{4\pi \times 10^{-3} Oe} = \frac{1}{4\pi} \times 10^7 G / Oe$$

$$B = 1 \cdot G = 10^{-4} \text{ tesla (T)}$$

وإذا كانت

$$H = \frac{1}{4\pi \times 10^{-3}} A / m$$

$$\therefore \mu_0 = 10^{-4} \times 4\pi \times 10^{-3} = 4\pi \times 10^{-7} H / m$$

جدول (1-4) : بعض قيم التأثيرية المغناطيسية لبعض المواد.

المادة Substance	التأثيرية المغناطيسية χ_m
ألومنيوم Al	2.3×10^{-5}
بزموت Bi	-1.7×10^{-4}
نحاس Cu	-1.0×10^{-5}
ذهب Au	-3.6×10^{-5}
رصاص Pb	-1.7×10^{-5}
ماغنيسيوم Mg	-1.2×10^{-4}
بلاتين Pt	2.9×10^{-4}
فضة Ag	-2.6×10^{-5}
ماء H ₂ O	-0.88×10^{-5}
فلوريد المنجنيز MnF ₂	4.59×10^{-4}
كلوريد الكوبالت Co Cl ₂	3.38×10^{-4}
كلوريد الحديدك 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 مطاوع Fe - (soft)	5000.
جرمانيوم Ge	-1.5×10^{-5}
تنجستن W	$+ 6.8 \times 10^{-5}$
زجاج 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 ₂ O	2.32×10^{-5}
كبريتات النحاس Cu (SO ₄)·5H ₂ O	1.43×10^{-5}
كبريتات الغادولينيوم Gd ₂ (SO ₄) ₃ ·8H ₂ O	2.21×10^{-4}