6 - المواد الدايامغناطيسية Diamagnetic materials

المواد الدايامغناطيسية هي تلك المواد التي لا تمتلك ذراتها عزم ثنائي قطب مغناطيسي دائمي بشرط عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي، وهذا يعني أن محصلة العزوم المغناطيسية لجميع الالكترونات المائدة لكل ذرة من ذرات المادة تساوي صفر.

لقد أثبتت التجارب العملية أن كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر $\vec{B}_m$ داخل المادة أقل من كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي بمعنى آخر أن التمغنط المتولد داخل المادة يكون مجال مغناطيسي معاكس لاتجاه المجال المغناطيسي الخارجي وهذا يتطلب ان يكون كل من عزم ثنائي القطب المغناطيسي المحدث داخل المادة والتمغنط باتجاه معاكس لاتجاه كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي.

وأذا سلط مجال مغناطيسي على الذرة ينشأ فيها عزم مغناطيسي محدث أتجاهه يعاكس أتجاه المجال الذي ولده وبما أن الذرة تمتلك أكثر من الكترون فأن العزم المغناطيسي الكلي المحدث يكون مساوي الى

$$\Delta m_a = \frac{e^2 B_m \sum_i r_i^2}{4 m_e} \quad \text{.....(54)}$$

Δm_a العزم المغناطيسي الكلي للذرة

حيث أن:

$\sum_i$ يعني الجمع على كل الالكترونات داخل الذرة.

m_e كتلة الالكترون، r_i نصف قطر مدار الالكترون.

واذا فرضنا أن N يمثل عدد الذرات لوحدة الحجم يصبح التمغنط M مساوي الى:

$$M = N \Delta m_a = \frac{e^2 N B_m \sum_i r_i^2}{4 m_e} \quad \text{---(55)}$$

وبما أن $\vec{B}_m = \mu_0 \vec{H}_m$ ---(56)

$\vec{B}_m$: كثافة التيار المغناطيسي داخل المادة (وسيطلق أيضاً كثافة التيار المغناطيسي الجزيئي)

$\vec{H}_m$: حقل المجال المغناطيسي الجزيئي المؤثر على الجزيء لوحده داخل المادة

μ_0: تعني أنه تم اعتبار جزيئات المادة منتشرة في حيز في الفراغ

μ_0: هي النفاذية المغناطيسية للفراغ.

أذن العلاقة (55) تصبح

$$M = \frac{e^2 N \mu_0 \sum_i r_i^2}{4me} H_m \quad \text{--- 57}$$

وبما أنه في مواد الدايامغناطيسية يكون فيها H_m مساوي تقريباً الى H فأن العلاقة الأخيرة عكنه أن تكتب كالآتي:

$$M \simeq \frac{\mu_0 e^2 N \sum_i r_i^2}{4me} H \quad \text{--- 58}$$

ملاحظة حول العلاقة (56)

المادة المغناطيسية حيز تنتشر فيه الجزيئات واذا سلط عليها مجال مغناطيسي يتولد عن ذلك مجال مغناطيسي جديد يحيط بكل جزيئة من هذه الجزيئات لايساوي المجال المغناطيسي H الذي اشرنا أليه في بداية دراستنا للخواص المغناطيسية للمادة.

المجال المغناطيسي الذي يحيط بكل جزيئة يرمز له بالرمز H_m والذي يعني أنه بشكل عام

$$H_m \neq H$$

وبما أن اتجاه $\vec{M}$ يعاكس اتجاه $\vec{H}$ في المواد الدايامغناطيسية
∴ العلاقة الاخيرة يمكن ان تكتب كالآتي :

$$\vec{M} = -\frac{e^2 \mu_0 N \sum_i r_i^2}{4 m_e} \vec{H} \quad \text{--- 59}$$

أما التأثرية المغناطيسية χ_m للمادة الدايامغناطيسية :

$$\chi_m = \frac{M}{H} = -\frac{e^2 \mu_0 N \sum_i r_i^2}{4 m_e} \quad \text{---- 60}$$

وبما كانت جميع المدارات العائدة للالكترونات الذرة لا تترتب بأتجاه عمودي على المجال المغناطيسي فأن :

1- يجب استبدال r_i^2 في العلاقة الأخيرة تستبدل بمتوسط مربع جميع المساقط لأنصاف أقطار المدارات المختلفة على المستوى العمودي على B_m . لذلك نضرب الطرف الايمن من العلاقة (60) بـ $\left(\frac{2}{3}\right)$.

2- أن هذه المدارات ليست جميعها دائرية فهناك الكثير منها يكون بهيئة مدارات بيضوية (قطوع ناقص) ذات ابعاد مختلفة . وعليه يجب ان نأخذ متوسط قيم $\sum_i r_i^2$ لجميع هذه المدارات . ويتطلب هذا استبدال الكمية $\sum_i r_i^2$ بالكمية $\langle \sum_i r_i^2 \rangle_{av}$

أن القيم المتوقعة $\langle \sum_i r_i^2 \rangle_{av}$ يمكن ايجادها بأستخدام طرق الميكانيك الكمي .

وعليه نحصل على

$$\chi_m = -\frac{e^2 \mu_0 N \langle \sum_i r_i^2 \rangle_{av}}{6m} \quad \text{--- (61)}$$

الواضح من العلاقة (61) أن χ_m لها قيم سالبة للمواد الدايامغناطيسية .

الملاحظات : حول العلاقة (51)

1- قيم χ_m تكون سالبة
2- لا تعتمد على صغيرة على درجة الحرارة
3- قيم χ_m المواد الدايا مغناطيسية تكون صغيرة جداً وعليه فأنه وضع اي مادة من هذه المواد في مجال مغناطيسي يقلل من كثافة الفيض المغناطيسي بمقدار ضئيل جداً.

7 - المواد البارامغناطيسية Paramagnetic materials

أن خصائص البارامغناطيسية تلاحظ في المواد التي تمتلك ذراتها أو جزيئاتها عزماً مغناطيسياً دائماً ناتج من الحركة المغزلية والمدارية الالكترونات الغائبة لتلك الذرات ووفقاً لمبادئ الميكانيك الكم فأن لهذه الالكترونات ميل شديد في أن تتواجد أزواجاً كل زوج عبارة عن الكترونين يؤثر أحدهما على الآخر بحيث تتعادل عزمه المغناطيسي مع العزم المغناطيسي للآخر وبذلك تكون محصلة العزم المغناطيسي لهذه الالكترونات مساوية للصفر وفقاً لمبدأ باولي الذي ينص على أنه لا يجوز أن يكون للالكترونين نفس الصفات الحركية في آن واحد.

* فالذرة التي فيها عدد فردي من الالكترونات كذرة الصوديوم مثلاً، تمتلك عزماً مغناطيسياً يرجع لوجود الكتروناً فردياً في القشرة الخارجية لتلك الذرة.
* وفي حالة المركبات التي تحتوي على ذرات مختلفة فأنه لالكترونات العزمية الواقعة في المدارات الخارجية لهذه الذرات تزدوج مع بعض في تلك المركبات بحيث تكون محصلة العزم المغناطيسي صفراً.

* اما الجزيئات فلا تمتلك عزم مغناطيسي عدا في حاله واحدة وهي اذا كانت قشره الالكترونات الداخليه في الذرات المكونه لها ممتلئه جزيئياً وتبقى هذه الجزيئات محتفظه بعزمها المغناطيسي حتى لو أزدوجت الالكترونات الواقعه في المدارات الخارجيه بالطريقه المنوه عنها اعلاه لبعض الذرات .

الجدير بالذكر أن العزم المغناطيسي المتولد من المواد الصلبه يرجع فقط الى الصفه البرميه للألكترونات وذلك لأنه المجالات الكهربائيه داخل المادة الصلبه تجعل متجه العزم المغناطيسي المداري يدور بسرعه فائقه بحيث يكون معدل العزم المغناطيسي المداري مساوي للصفر .

أن العزوم المغناطيسيه لذرات المواد البارامغناطيسيه تكون موزعه عشوائياً نتيجه للاهتزازات الحراريه وهذا يجعل تلك المادة تحت الظروف الاعتياديه لاتمتلك عزماً مغناطيسياً .

عندما تتعرض المادة البارامغناطيسيه الى مجال مغناطيسي خارجي تظهر عزماً ازدواجياً Torque يؤثر على ذراتها بسبب عزمها المغناطيسي والتأثير الذي يحدثه هذا العزم هو تراصف العزوم المغناطيسيه لجميع ذرات المادة مع أتجاه المجال المغناطيسي الخارجي المؤثر ونتيجه لذلك تحتفظ الماده بهذا الأتجاه (اي بأتجاه المجال) . وعليه تكون كثافه الفيض المغناطيسي الجزيئي B_M داخل المادة اكبر من المجال المغناطيسي الخارجي . وهذا يفسر صفه البارامغناطيسيه لهذه المادة .

أن كل من التمغنط M والتأثريه المغناطيسيه χ_m مثل هذه المواد يعتمد على درجة حرارة الماده وهكذا فأن اي زياده في الحركه الجزيئيه التي تحدث عند درجات الحراره العاليه تسبب أضطراباً في تراصف العزوم المغناطيسيه. وبما أن $\vec{M}$ و $\vec{B}_m$ وكذلك $\vec{H}_m$ كلها تكون بأتجاه واحد في المواد البارامغناطيسيه فأن التأثريه المغناطيسيه لها تكون ذات قيم موجبه.

وبالاستفاده من الفقره (8) من الفصل الثالث لحساب الاستقطاب المحث في المواد العطيه تحت تأثير مجال كهربائي خارجي، وبأستبدال $\vec{E}$ بالكميه $\vec{B}_m$ و كذلك $\vec{P}$ بالكميه $\vec{m}$ نحصل على:

$$M = n m \left\{ \coth \frac{mB_m}{kT} - \frac{1}{\frac{mB_m}{kT}} \right\} \quad \text{---- 62}$$

التمغنط ↗

m يمثل عزم ثنائي القطب المغناطيسي للذره البارامغناطيسيه.
n عدد الذرات او الجزيئات لوحدة الحجم.

ولو فرضنا أن

$$u = \frac{mB_m}{kT}$$

فأن

$$M = nm \left\{ \coth u - \frac{1}{u} \right\} \quad \text{--- 63}$$

وعند الظروف الاعتياديه تكون u والصغيره والدالة $\coth u - \frac{1}{u}$ والتي تسمى عادتاً دالة لانجفن Langevin function تساوي تقريباً $\frac{u}{3}$.

وعليه يأخذ صيغة المعنط الصيغة التالية :

$$M = \frac{nm\mu}{3} = \frac{nm^2 B_m}{3kT} \quad \text{--- 64}$$

وبما أن $B_m = \mu_0 H_m$

$$\therefore M = \frac{\mu_0 nm^2}{3kT} H_m \quad \text{--- 65}$$

أذن التأثيرية المغناطيسية تعتمد على الوحدة :

$$\chi_m = \frac{M}{H_m} = \frac{\mu_0 nm^2}{3kT} \quad \text{--- 66}$$

الملاحظات :

1 - تكون قيم χ_m موجبة

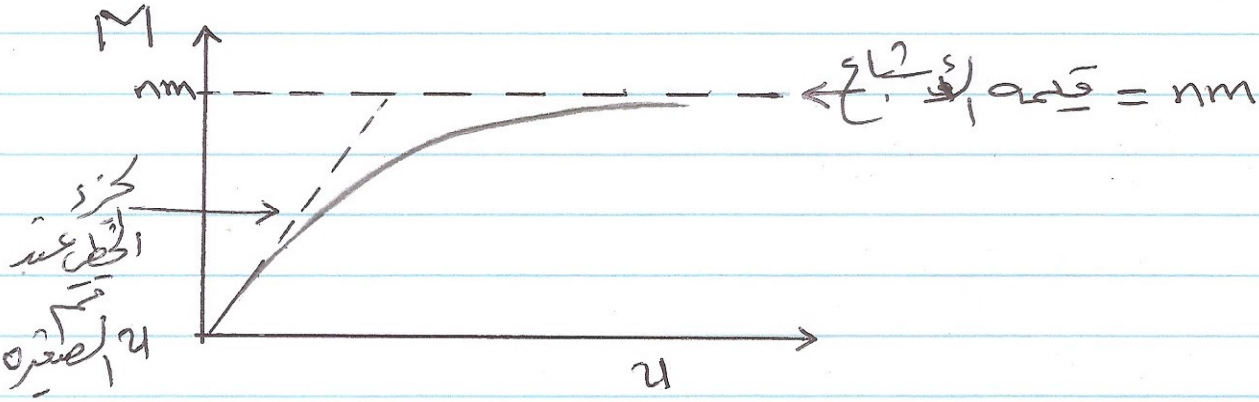
2 - أن χ_m تتناسب عكسياً مع T عندما تكون قيم μ صغيرة :

$$\chi_m \propto \frac{1}{T}$$

وهذا يطابق الجزء الخطي من الشكل الموضح أدناه

3 - بما أن قيم χ_m للمواد البارا مغناطيسية تكون موجبة وعليه فأن الفيض المغناطيسي الخارجي يكون أصغر بقليل من الفيض المغناطيسي المؤثر.

* الشكل يمثل العلاقة بين M و μ



سؤال ؟

ناقش الحالة عندما تكون قيمة u عالية

الجواب /

بما أن $u = \frac{m B_m}{kT}$ فأنه عندما تكون u كبيرة فأنه درجة الحرارة تكون منخفضة جداً بحيث يمكن أن تهمل الاهتزازات الحرارية التي تؤثر على تراصف العزوم المغناطيسية.

وعندما تكون قيمة u عالية فأنه دالة لانجفن ستكون مساوية للواحد الصحيح

$$\coth u - \frac{1}{u} = 1$$

وعليه فأن التمغنط يكون مساوي الى

$$M = nm$$

وهذا يعني أن جميع العزوم المغناطيسية تحت هذه الظروف تتراصف بإتجاه المجال المغناطيسي الخارج وأن التمغنط يصل الى قيمة عظمى هي قيمة الاشباع الموضحة في الشكل اعلاه.