

# Chapter Four **الفصل الرابع**

## المواد المغناطيسية

## Magnetic Materials

**Sequence:32**

- المقدمة.
- المواد البارامغناطيسية.

# المقدمة

كثير من مركبات العناصر الإنتقالية (إن لم تكن معظمها) تعتبر مركبات بارا مغناطيسية ، وكثير من المعلومات عن كيمياء العناصر الانتقالية أمكن استنتاجها من الخواص المغناطيسية لهذه المركبات. وهناك أربعة أنواع من السلوك المغناطيسي وهي: الدايا مغناطيسية ، والبارا مغناطيسية ، و الفيرو مغناطيسية ومضادة الفيرو مغناطيسية. وسوف نبدأ أولاً بالبارا مغناطيسية. المادة البارا مغناطيسية هي المادة التي تنجذب إلى المجال المغناطيسي ، فحينما يطبق المجال المغناطيسي على مادة بارا مغناطيسية فإن هناك قابلية الأقطاب المغناطيسية في المادة أن تتجه في اتجاه المجال المغناطيسي ويحدث السلوك البارا مغناطيسي نتيجة وجود إلكترونات غير مزدوجة في الأيونات أو الذرات أو الجزيئات ، حيث يكون هناك عزم بارا مغناطيسي في غياب مجال مغناطيسي خارجي.

أما المواد الدايا مغناطيسية فهي تتنافر مع المجال المغناطيسي. وينتج السلوك الدايا مغناطيسي نتيجة تكون عزوم مغناطيسية صغيرة تنشأ عند تطبيق المجال المغناطيسي ، وهذه العزوم تكون معاكسة للمجال المغناطيسي المطبق ، ومن هنا يحدث التنافر. وهناك الصور الأكثر تعقيداً وهو الفيرو مغناطيسية ومضادة الفيرو مغناطيسية ، كما أن هناك صوراً أخرى سوف لا نناقشها في هذا المقرر.

## السلوك البارامغناطيسي:

تتحكم الإلكترونات السلوك المغناطيسي للمواد وذلك بطريقتين.

(أ) الطريقة الأولى هي أن كل إلكترون يعتبر مغناطيسياً في حد ذاته. حيث أن الإلكترون يعتبر كرة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة تدور حول محورها ، ومن المعروف من وجهة نظرية الميكانيكا الكلاسيكية أن دوران مثل هذه الشحنة ينتج عزم مغناطيسي.

(ب) الطريقة الثانية هي أن دوران الإلكترون حول النواة سوف ينتج عنه أيضاً عزم مغناطيسي تماماً كما يفعل التيار الكهربائي المار في سلك ملفوف.

ومن هنا نجد أن الخواص المغناطيسية لأي ذرة أو أيون ما هي إلا محصلة لهاتين الخاصيتين ، أي إلى "العزم المغزلي" و"العزم المداري" للإلكترون. ويعبر عن العزوم المغناطيسية للذرات والأيونات والجزيئات في العادة بوحدات "بور ماجنتون" وتختصر B.M. ويعرف البور ماجنتون بالثوابت الأساسية كما في المعادلة التالية:

$$1 \text{ B.M.} = eh/4\pi m_e c$$

حيث e هي الشحنة الإلكترونية ، h ثابت بلانك ،  $m_e$  كتلة الإلكترون ، c هي سرعة الضوء.

• ان خصائص المواد البارامغناطيسية تلاحظ في المواد التي تمتلك ذراتها او جزيئاتها عزمًا مغناطيسياً دائماً ناتجاً عن الحركة المغزلية والمدارية للالكترونات العائدة لتلك الذرات. وكما جاء في فيزياء الكم فان لهذه الالكترونات ميلاً شديداً في ان تظهر أزواجاً كل زوج عبارة عن الكترونين يؤثر احدهما على الاخر بطريقة بحيث يتعادل عزمه المغناطيسي مع العزم المغناطيسي للاخر وتكون عندئذ محصلة العزم المغناطيسي لهذين الالكترونين صفراً طبقاتاً لمبدأ باولي الذي ينص على عدم جواز وجود الكترونين في آن واحد او اكثر بنفس الصفات الحركية. فالذرة التي فيها عدد فردي من الالكترونات كذرة الصوديوم مثلاً فأنها تمتلك عزمًا مغناطيسياً يرجع لوجود الكترون فردي في القشرة الخارجية لتلك الذرة. ان العزم المغناطيسي المتولد في المواد الصلبة يرجع فقط الى الصفة المغزلية للالكترونات، وذلك لان المجالات الكهربائية داخل المادة الصلبة تجعل متجه العزم المغناطيسي المداري يدور بسرعة فائقة بحيث يكون معدل العزم المغناطيسي المداري يساوي صفراً.

• هذه المواد تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية وبمعنى آخر فإنها تتجذب نحو المغناطيس وإذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها باتجاه يوازي المجال المغناطيسي المؤثر. ومن هذه المواد (الألمنيوم والتنكستين والكالسيوم والصوديوم والأوكسجين 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 بنفس اتجاه التمغنت M.

• 4- يمكن مغنتها حيث أن استجابتها للمغطة متوسطة.

• \*\*\*

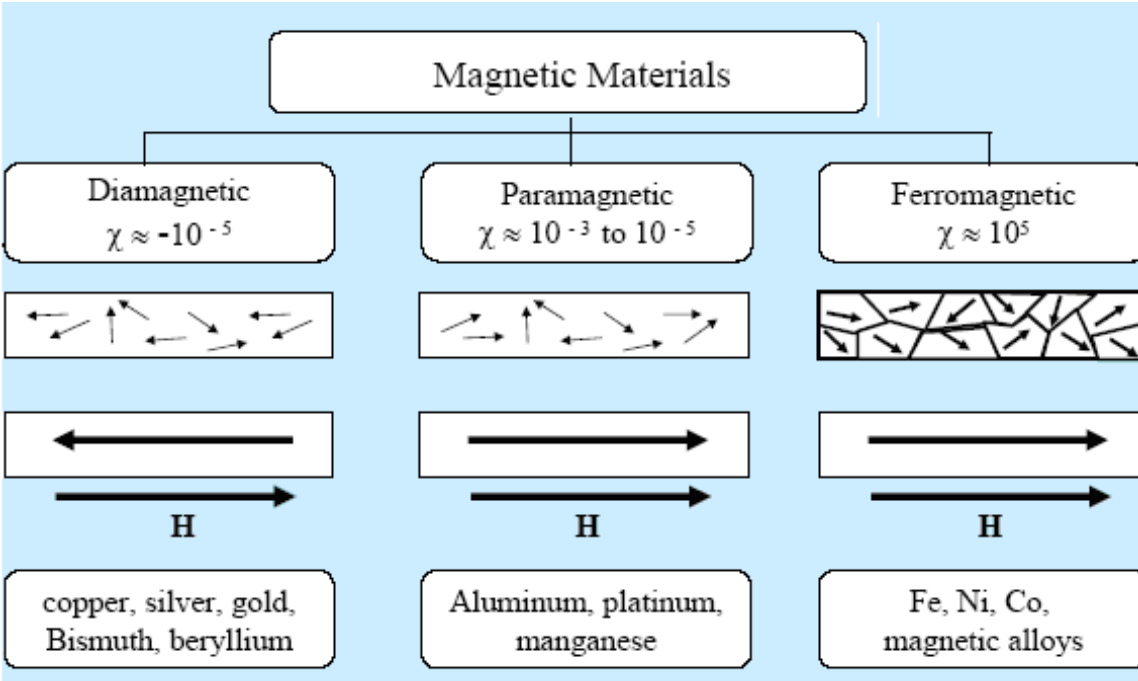
• ويلاحظ إن التأثيرية المغناطيسية تعتمد على درجة الحرارة في حالة المواد البارامغناطيسية إذ نجد أنها تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة ( تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة ) ويرجع ذلك إلى إن الإثارة الحرارية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة تعمل على بعثرة اتجاه العزوم المغناطيسية بينما يعمل المجال المغناطيسي على انتظامها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

• وفي حالة وجود مجال مغناطيسي ذي قيمة معقولة فإن علاقة التأثيرية المغناطيسية مع درجة الحرارة ستكون علاقة خطية . وهكذا فإن التأثيرية المغناطيسية للمادة البارامغناطيسية تتناقص مع الارتفاع في درجة الحرارة. وفي حالة وجود مجال مغناطيسي ذي قيمة معقولة فإن علاقة التأثيرية المغناطيسية مع درجة الحرارة ستكون علاقة خطية. ولكثير من المواد نجد ان اعتماد درجة الحرارة يُمكن ان يمثل بصورة مقنعة حسب العلاقة التالية والتي تسمى بقانون كوري :

$$\chi_m = \frac{C}{T} \quad \text{..... (39)}$$

• إذ ان C كمية ثابتة تسمى بثابت كوري وان T هي درجة الحرارة المطلقة.

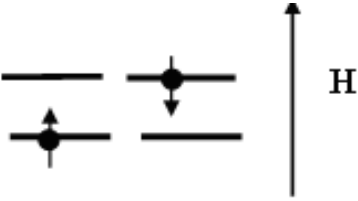
- في تصنيف حالة المواد من ناحية خواصها المغناطيسية نود أن نوضح أن النظرية التقليدية تنسب المجالات المغناطيسية للمواد إلى حركة شحناتها الكهربائية. بالمقياس الذري، فإن الذرات المنفصلة ينشأ عنها مجالات مغناطيسية حينما تمتلك إلكتروناتها عزما مغناطيسيا ، يسمى عزم ثنائي القطب، ناتج من كمية حركتها الدورانية أو المغزلية أو الاثنين معاً. والعزوم المغناطيسية الناتجة عن الحركتين المدارية والمغزلية للإلكترونات يلغي بعضها بعضاً في أغلب الذرات. وإذا لم يكن التلاشي في العزوم تاماً فإن المادة عندئذ تُسمى بارامغناطيسية.
- وان من المواد البارامغناطيسية هي الألمونيوم والتيتانيوم، وهي المواد التي تنجذب للمناطق القوية في المجال المغناطيسي. ان الشكل رقم (10) يظهر ثلاثة أنواع من المواد المغناطيسية المهمة وخواصها ومدى تأثرها بالمجال المغناطيسي الخارجي.



شكل (10): ملخص للصفات المغناطيسية لبعض المواد.

ان المخطط الموضح في الشكل المجاور يبين ملخص لبعض الصفات المغناطيسية لبعض المواد. ومنها قيم التأثيرية المغناطيسية وكيفية انتظام ثنائيات القطب فضلا عن انتظام المجال المغناطيسي الخارجي مع اتجاه المجال المغناطيسي داخل المادة المغناطيسية.

## الوصف النوعي للتمغنت

$$\begin{aligned} \epsilon_{\downarrow} &= \mu H \\ \epsilon_{\uparrow} &= -\mu H \end{aligned}$$


شكل(11): يصف وضع ثنائي القطب في مجال مغناطيسي خارجي

• عند التأثير بمجال مغناطيسي خارجي  $H$  ، كما بالشكل(11)، على

• الذرات ذات عزم ثنائي القطب المغناطيسي  $\mu$  فإن العزوم المغناطيسية

•  $\mu$  تترتب إما موازية لاتجاه المجال ، ولها الطاقة المغناطيسية :

$$\epsilon_{\uparrow} = \mu_{\uparrow} \cdot H = -\mu \cdot H$$

• أو عكس اتجاه المجال ، ولها الطاقة المغناطيسية :

$$\epsilon_{\downarrow} = \mu_{\downarrow} \cdot H = \mu \cdot H$$

## الوصف الكمي للتمغنت

• ولحساب الصفات المغناطيسية للمواد دعونا نعرف النسبة بالصيغة التالية:

$$\eta = \beta \mu H = \frac{\mu H}{k_B T} = \frac{\text{magnetic energy}}{\text{thermal energy}} = \frac{\text{ة مغناطيسية}}{\text{ناقة حرارية}}$$

• وان  $\eta$  هي نسبة عديمة الوحدات حيث إنها تقيس النسبة بين طاقتين: الأولى هي الطاقة المغناطيسية المسؤولة

عن محاذاة العزم المغناطيسي مع المجال الخارجي، والثانية هي الطاقة الحرارية المسؤولة عن توجيه العزم المنفرد

بشكل عشوائي.

$$\overline{M} = n\overline{\mu}_H = \begin{cases} n\mu\eta = \chi H & \text{for } \eta \ll 1 \\ n\mu & \text{for } \eta \gg 1 \end{cases} \dots (40)$$

• وأن القيمة المتوسطة للتمغظ  $M$  باتجاه  $H$  هي:

• حيث الرمز  $n = \frac{N}{V}$  يدل على عدد العزوم المغناطيسية لوحدة

• الحجم. الشكل (12) يوضح تغير  $\frac{\overline{M}}{n\mu}$  مع  $\eta$  ..

• من الشكل يتضح أنه:

• عند درجات الحرارة المنخفضة ( $T \ll 1$ ،  $\eta \gg 1$ ) نجد أن

•  $M$  لا تعتمد على  $H$  وتصل إلى درجة التشبع المغناطيسي . ودرجة

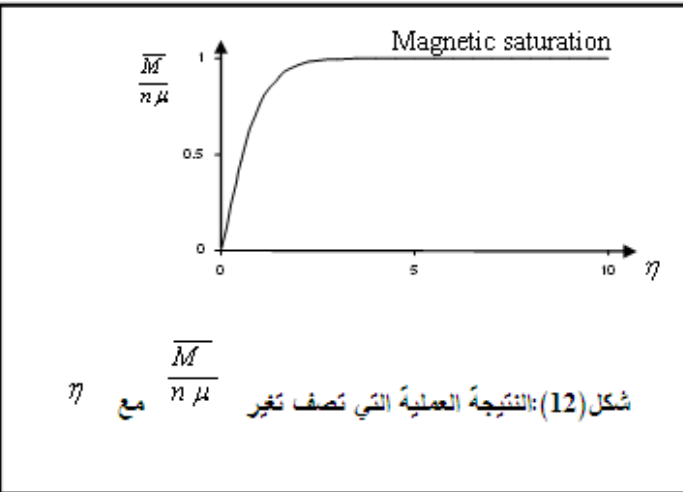
• التشبع المغناطيسي تعني أن العزوم المغناطيسية تأخذ الاتجاه الموازي للمجال الخارجي، وهذا معناه أن النظام يوجد بحالة مرتبة . ونجد أيضاً أن العزوم كلها تصبح موازية للمجال. وهذا الوصف ينطبق أيضاً على المجالات الخارجية المرتفعة .

• عند درجات الحرارة المرتفعة (وأيضاً المجالات المنخفضة) نجد أن  $M$  تعتمد على  $H$  ويصبح النظام بحالة غير مرتبة . ولذلك نجد أن .

• والمعادلة (40) تتفق مع الوصف التجريبي للمواد البارامغناطيسية، ومنه نجد أن:

$$\chi = \frac{\overline{M}}{H} = \frac{n\mu^2}{k_B T} \dots (41)$$

• وان المعادلة الاخيرة تعرف بـ "قانون كوري" وقد تم التحقق منه عملياً.



شكل (12): النتيجة العملية التي تصف تغير  $\frac{\overline{M}}{n\mu}$  مع  $\eta$



## مثال :

قارن بين المواد الدايمغناطيسية والبارامغناطيسية من حيث الخواص التالي : (1) قابلية التمغنت (2) كيفية التمغنت (3) الاحتفاظ بالمغطة بعد زوال المجال المؤثر (4) أمثلة.

## • الحل:

الخاصية	بارامغناطيسية	دايا مغناطيسية
(1) قابلية التمغنت:	صغيرة جداً وموجبة.	صغيرة جداً وسالبة.
(2) كيفية التمغنت:	(1) التمغنت ضعيف وفي اتجاه المجال . (2) تنجذب قليلاً نحو مناطق المجال الأقوى.	(1) التمغنت ضعيف وفي عكس اتجاه المجال (2) تبتعد عن مناطق المجال الأقوى .
(3) الاحتفاظ بالمغطة بعد زوال المجال المؤثر	لا تحتفظ بجزء من المغطة.	لا تحتفظ .
(3) أمثلة	المنيوم - بلاتين - مغنسيوم.	نحاس - جرمانيوم سيليكون - بزموت

## Summary

## الخلاصة

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- التعرف على المواد البارامغناطيسية وهي تلك المواد التي تتميز بما يلي:
  ١. قابليتها المغناطيسية موجبة وأقل من واحد صحيح " صغيرة جدا" .
  ٢. تنجذب نحو المناطق القوية في المجال المغناطيسي أي تتمغظ بالتأثير مكونة قطبا مخالفا قريبا من القطب المؤثر وبذلك يحدث التجاذب بينهما.
  ٣. تمتلك ذرات هذه المواد عزومًا مغناطيسية دائمة.
  ٤. نفاذيتها المغناطيسية تزداد بانخفاض درجة الحرارة.
  ٥. يكون محصلة العزوم المغناطيسية في أي اتجاه يساوي صفرًا حتى في درجات الحرارة العادية.
  ٦. من الأمثلة عليها الزنك و الألمنيوم والزجاج والبلاتين و المغنيسيوم و الأوكسجين .
- مثال .
- اختبار.

# Start Formative Assessment