Chapter Four الفصل الرابع

المواد المغناطيسية

Magnetic Materials

Sequence:34

- المقدمة.
- المواد الفيرومغناطيسية/ الجزء الثاني.
- ظاهرة التخلف المغناطيسي.
- الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية.
- المواد المضادة للفيرومغناطيسية.

المقدمة

- يوجد في المواد الفيرومغناطيسية مثل الحديد (Fe) والنيكل (Ni) والكوبالت (Co) تفاعل قوي بين العزوم المغناطيسية للذرات المتجاورة فيما بينها بحيث يمكن للعزوم الذرية من توجيه نفسها بصورة متوازية تحت تسليط مجال مغناطيسي خارجي بسيط أو بدونه. ولذلك فالمواد الفيرومغناطيسية لها نفاذية مغناطيسية كبيرة جدا ويمكن ان تتمغنط بصورة دائمة. وطالما ان العزوم المغناطيسية تكون جميعها تقريبا في اتجاه واحد بمجرد تسليط مجال خارجي بسيط فإن قيمة التشبع يمكن الوصول اليها عند قيم صغيرة للشدة المغناطيسية وفي هذه الحالة فإن العلاقة بين التمغنط (M) والمجال الخارجي المسلط (H) ليست علاقة خطية. وبالتالي فإن التأثيرية المغناطيسية (χ_m) للمواد الفيرومغناطيسية ليسن ثابتة ولكنها تتغير مع شدة المجال الخارجي (H).
- يمكن القول كمحاولة اولى لتفسير هذه الظاهرة ان القوة التي اعطت التوجيه المغناطيسي للمواد الفيرومغناطيسية هي تأثير القوى المغناطيسية الثنائية للمغانط الذرية الاحادية بعضها على بعض ولكن هذه القوى ليست اكبر في المواد الفيرومغناطيسية منها في المواد البارامغناطيسية فهي ضعيفة حتى انها غير قادرة على مقاومة التأثيرات العشوائية الناشئة عن حركات الجزيئات او الذرات المثارة حراريا ولذلك تكون العزوم الذرية في المواد الفيرومغناطيسية ضعيفة جدا وغير قادرة على توجيه نفسها.

- لقد دلت الفحوص المجهرية على ان منحنيات التمغنط للمادة الفيرومغناطيسية تشير الى ان عملية التمغنط هذه ليست عملية مستمرة وتدريجية ويرجع ذلك الى الحركة العشوائية التي تحدث بين حدود المناطق المغناطيسية. وهذا التأثير يسمى تأثير بارك هوسن .
- أن التأثرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسة ترتبط مع درجة الحرارة بموجب العلاقة التالية:

$$\chi_m = \frac{C}{T - \theta} \qquad \text{..... (43)}$$

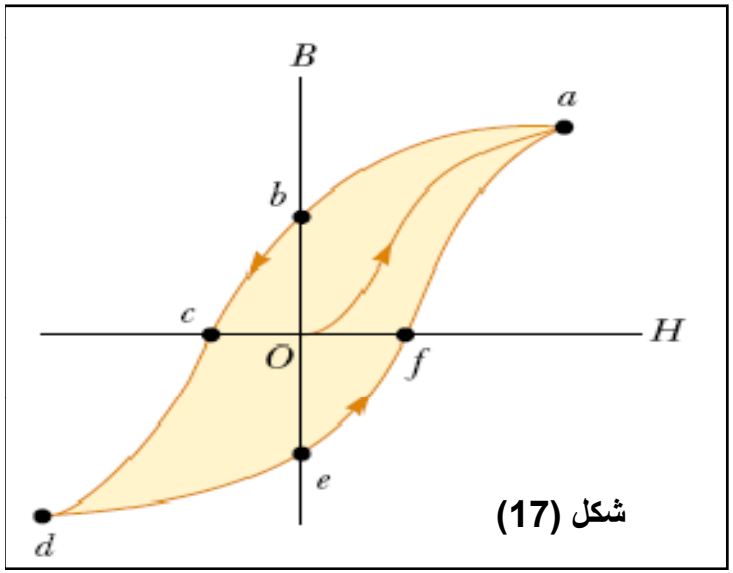
- اذ ان C ثابت كوري وان (θ) درجة حرارة كوري. والمعادلة (43) تسمى بقانون كوري – فايس .
- نجد من هذه المعادلة انه عندما $(T \rangle \theta)$ تتحول صفات المادة الفيرومغناطيسية إلى بارامغناطيسية، اما اذا اصبحت درجة حرارة المادة الفيرومغناطيسية اقل من درجة حرارة كوري اي ان $(T \langle \theta)$ فلا يمكن في هذه الحالة استخدام قانون كوري-فايس وضمن هذه الحدود من درجة الحررة نرى ان المادة الفيرومغناطيسة تبقى ممغنطة بعض الشيء حتى لو كان المجال المغناطيسي المسلط على المادة يساوي صفراً. ويسمى هذا التمغنط بالتمغنط الذاتي.

Phenomenon of Hysterics Magnetic ظاهرة التخلف المغناطيسي

- إذا وضعت مادة في مجال مغناطيسي خارجي فإن الحث المغناطيسي (B) تتوقف قيمتها على نوع المادة وشدة المجال المغناطيسي (H) وكذلك درجة الحرارة. وتنقسم المواد الفيرومغناطيسية من حيث تأثير المجال المغناطيسي الخارجي عليها الى قسمين رئيسين هما:

- ***1) مواد فيرومغناطيسية صلبة:***

- وهي نوع من انواع الفولاذ فإذا سلط عليها مجال مغناطيسي خارجي فانها تحتفظ ببعض مغناطيسيتها حتى بعد زوال المجال الخارجي. فإذا وضعت مادة فيرومغناطيسية صلبة في مجال مغناطيسي (H) ناتج عن تيار كهربائي مار في ملف حلقي فإن العلاقة بين الحث المغناطيسي للمادة (B) والمجال المغناطيسي (H) المسلط عليها يوضحه الشكل رقم (17). وبتتبع سلوك التمغنط من البداية حيث تكون (B = 0) عندما (H = 0) نجد انه اذا عند زيادة المجال المغناطيسي فإن العزوم الذرية ستوجه نفسها مع المجال
- المغناطيسي وتزداد هذه العزوم مع زيادة (H) ويزداد لذلك الحث
- المغناطيسي (B) حتى يصل الى قيمة معينة عند النقطة (a) حيث
- تصبح كل العزوم متجهة مع المجال المغناطيسي ولا يمكن بعدها
- زيادة (B) بزيادة (H) وتسمى هذه الحالة بالتشبع المغناطيسي.

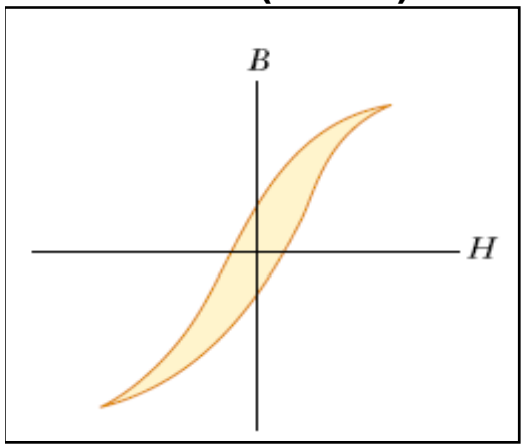


شكل (17)

- فإذا نقصت (H) فإن (B) تنقص ولكن على خط عودة آخر. فإذا اصبحت (H = 0) نجد ان هناك مغنطة متبقية ممثلة بالنفطة (b) اى انه رغم زوال المجال المغناطيسي فإن المادة مازالت ممغنطة بمغناطيسيتها وهذا يعني ان بعض العزوم الذرية مازالت باقية على اتجاهها ويتولد ما نسميه بالمغانط الدائمة (المغنطة المتخلفة) ولإزالته يجب تسليط مجال مغناطيسي معاكس حتى تصل الى النقطة (c) وعندما تنعدم المغنطة (B) رغم وجود مجال مغناطيسي يسمى المجال في هذه الحالة بالمجال القاهر الذي يزيل المغنطة. وبزيادة المجال المغناطيسي الخارجي في الاتجاه المعاكس يمكن الوصول الى حالة التشبع (d) واذا عكس المجال المغناطيسي مرة اخرى فإنه يمكن الحصول على النقطتين (e, f) المناظرتين لـ (b, c) ثم الى النقطة (a) مرة اخرى. وتسمى هذه الظاهرة بالتخلف المغناطيسي وتسمى الدورة الكاملة المغلقة بدورة التخلف المغناطيسي ويعتمد حجمها على نوع المادة.

- ***2) مواد فيرومغناطيسية رخوة (مطاوع):***

- مثل الحديد المطاوع وهذه المواد تتمغنط بسهولة في المجال المغناطيسي الخارجي ولكنها تفقده بسهولة عند زواله أى لا تبقي اى اثر للمغناطيسية بعد زوال المسبب. اما المواد الفيرومغناطيسية الرخوة (مطاوعه) فأن السلوك المثالي للدورة المغناطيسية الذي يمثله الشكل المجاور بحيث تكون دورة



- التخلف المغناطيسي للمواد الفيرومغناطيسية الرخوة تكون ضيقة.

- ****** & *****

الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية

- لحساب الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية نفرض ان طول الملف (ℓ) ومساحة مقطعه (S) وان التيار المار به (I) وعدد لفاته (N) وتكون شدة المجال المغناطيسي كما سبق هو: $H = \frac{N.I}{\ell}$
- فإذا زاد التيار زيادة مقدارها (dI) في زمن قدره (dt) فإن المجال المغناطيسي
- يزداد مقداراً قدره (dH) وكذلك الحث المغناطيسي (dB) وبذلك تكون الزيادة في الفيض المغناطيسي هي:
- $d\phi = S.dB$
- وحيث ان التغير في الفيض يصحبه قوة دافعة كهربائية محتثة تكون قيمتها حسب المعادلة هي: $\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$
- وبالتعويض عن (dϕ) في المعادلة الاخيرة نحصل على:
- $\varepsilon = -N.S\ \frac{dB}{dt}$
- وتكون الطاقة المغناطيسية المبددة (المستهلكة) في زمن قدره (dt) تبعا لقانون حفظ الطاقة هي:
- $dU + \varepsilon\ I\ dt = 0$
- ومنها يكون شكل المعادلة هو: $dU = -\varepsilon\ I\ dt$

- وبالتعويض عن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε) نحصل على:

$$dU = N.S\frac{dB}{dt}.I.dt = N.S.I.dB$$

- ثم بالتعويض عن (N.I) نحصل على المعادلة: $dU = S\,\ell\,H\,dB$
- وحيث ان حجم الملف هو($V = S.\ell$) تكون العلاقة: $dU = V\,H\,dB$
- وتكون التغير في الطاقة المغناطيسية لوحدة الحجوم داخل المادة الممغنطة الناتج عن تغير في مغناطيسيتها:

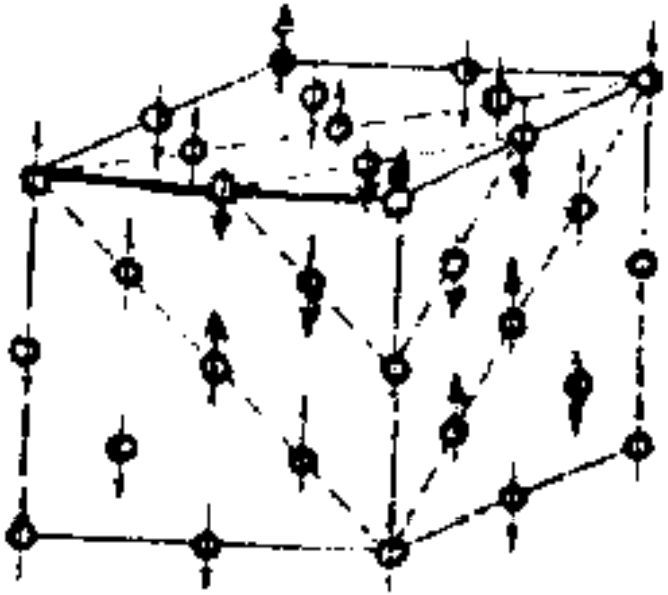
$$\frac{U}{V} = \int H.dB$$

- ويكون التكامل يمثل المساحة الموجودة داخل نطاق دورة التخلف المغناطيسية بين (H, B) وهذه الطاقة تختزن جزئيا كطاقة وضع والجزء الآخر يتبدد طاقة حرارية تتولد داخل المادة الممغنطة.
- أي ان:..... [الحرارة لوحدة الحجوم لدورة كاملة = المساحة الكلية داخل دورة التمغنط]

Anti-Ferromagnetic Materials مواد الأنتيفيرومغناطيسية

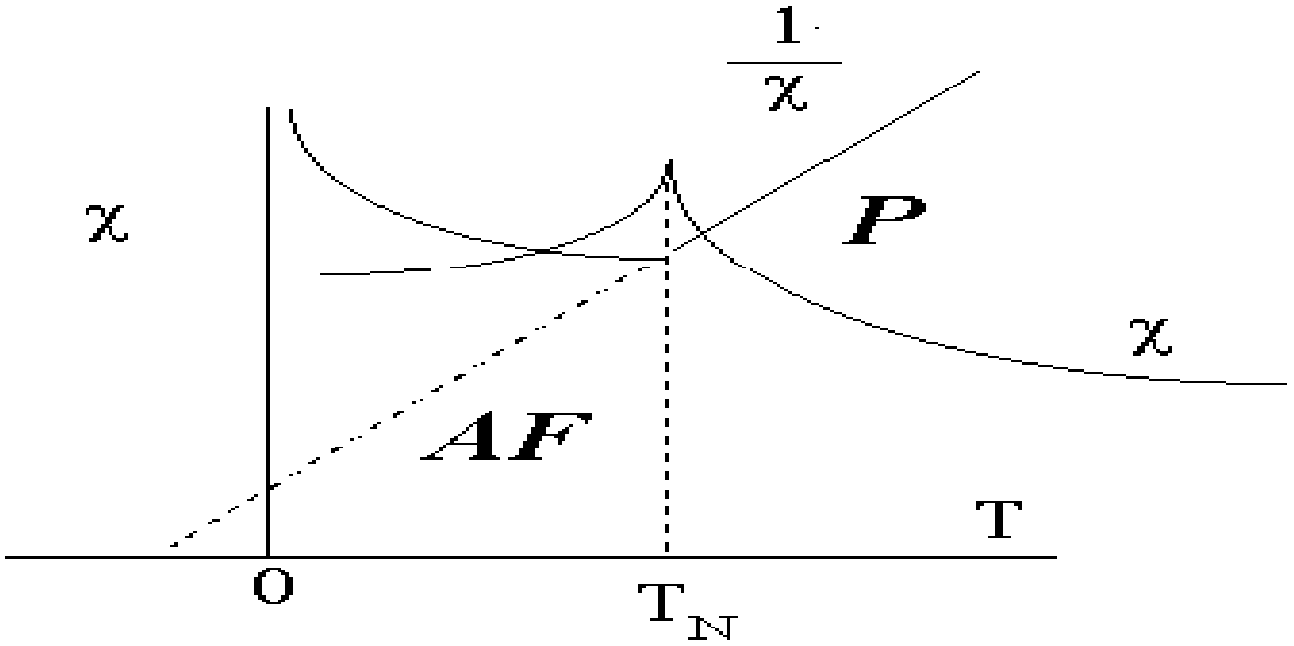
- هي نوع من المواد المقاومة للفيرومغناطيسية، عند وجود هذه المواد في مجال مغناطيسي فإن ذرات ثنائي القطب فيها تُرتب نفسها في إتجاه مضاد للحقل المغناطيسي المؤثر، بحيث تلغي المغناطيسية الناشئة عن المجال الخارجي ولا توجد أي مغناطيسية حيث أنه عندما تكون طاقة التبادل سالبة فإن التوجيه المفضل للحركة المغزلية في مواقع الشبكة المجاورة هي حالة التوازي المضاد وفي هذه الحالة يمكن أن يصبح ترتيب البرم منتظما لكنه لا توجد مغنطة تلقائية لأن عزوم الحركة المغزلية في الشبكات المجاورة تكون في حالة تواز مضاد ويعادل بعضها البعض الآخر، ويوضح الشكل (18) التركيب المغناطيسي للمنغنيز (MnO) الذي تم تعينه بالاستعانة بالطيف النيوتروني (الذرات الموضحة في الشكل هي فقط ذرات المنغنيز النشطة تلقائيا).

- يمثل كل من عنصري الكروم والمنغنيز في حالتيهما
- الجامدة عند درجة حرارة الغرفة المواد المضادة
- للفيرومغناطيسية وهما عنصران ذات طاقة تبادل
- سالبة، ويرجع ذلك إلى أن المسافة الذرية
- (المسافة بين الذرات إلى قطر المدار
- الفرعي 3d أقل من حوالي 1.4 بعكس
- كل من الحديد والكوبلت والنيكل)



شكل (18): التركيب المغناطيسي للمنغنيز (MnO).

- يوجد مثل هذه التراكيب فقط تحت درجة حرارة معينة تسمى نقطة كيري للمادة المضادة للمغناطيسية، وفي هذه المواد تصل القابلية المغناطيسية إلى نهاية عظمى التي توافق درجة حرارة T_N تسمى درجة حرارة نيل والتي ينعدم عندها الترتيب وتتحول المادة المضادة للمغناطيسية إلى مادة بارامغناطيسية.
- بارتفاع درجة الحرارة للمادة المضادة للمغناطيسية فوق درجة حرارة نيل فإن القابلية المغناطيسية في هذه الحالة
- تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة، يوضح المنحنى البياني (19) تغيرات كل من القابلية المغناطيسية ومقلوبها بدلالة درجة الحرارة.



شكل (19): تغيرات كل من القابلية المغناطيسية ومقلوبها بدلالة درجة الحرارة.

مثـــــــال :

1) ما هي العلاقة بين التمغنط M والمجال الخارجي المسلط H ؟

2) هل ان التأثرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية ترتبط مع درجة الحرارة؟

3) ماذا تعني هذه العلاقة $(T \langle \theta)$ وهل يمكن تطبيق قانون كوري-فايس؟ وما هو التمغنط الذاتي؟

الحـــــــل:

1) أن العلاقة بين التمغنط (M) والمجال الخارجي المسلط (H) ليست علاقة خطية. وبالتالي فإن التأثيرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسية ليسن ثابتة ولكنها تتغير مع شدة المجال الخارجي (H).

2) نعم ، أن التأثرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسة ترتبط مع درجة الحرارة بموجب المعادلة رقم (43):

$$\chi_m = \frac{C}{T - \theta}$$

3) العلاقة $(T \langle \theta)$ تعني أنه اصبحت درجة حرارة المادة الفيرومغناطيسية اقل من درجة حرارة كوري، ولايمكن في هذه الحالة استخدام قانون كوري-فايس وضمن هذه الحدود من درجة الحررة نرى ان المادة الفيرومغناطيسة تبقى ممغنطة بعض الشيء حتى لو كان المجال المغناطيسي المسلط على المادة يساوي صفراً. ويسمى هذا التمغنط بالتمغنط الذاتي.

الخلاصة Summary

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- - ان منحنيات التمغنط للمادة الفيرومغناطيسية تشير الى ان عملية التمغنط هذه ليست عملية مستمرة وتدريجية ويرجع ذلك الى الحركة العشوائية التي تحدث بين حدود المناطق المغناطيسية. وهذا التأثير يسمى تأثير بارك هوسن
- - أن التأثرية المغناطيسية للمواد الفيرومغناطيسة ترتبط مع درجة الحرارة .
- - إذا وضعت مادة في مجال مغناطيسي خارجي فإن الحث المغناطيسي (B) تتوقف قيمتها على نوع المادة وشدة المجال المغناطيسي (H) وكذلك درجة الحرارة. وتنقسم المواد الفيرومغناطيسية من حيث تأثير المجال المغناطيسي الخارجي عليها الى قسمين رئيسين هما: 1) مواد فيرومغناطيسية صلبة و 2) مواد فيرومغناطيسية رخوة.
- - تم حساب الطاقة اللازمة لمغنطة المواد الفيرومغناطيسية في ملف.
- - ان ارتفاع درجة الحرارة للمادة المضادة للمغناطيسية فوق درجة حرارة نيل فإن القابلية المغناطيسية في هذه الحالة
- تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة.
- مثـــــال .
- أختبـــار.

Start Formative Assessment