

CHƯƠNG VI

VẬT LIỆU TỪ

§1. Sự từ hóa và phân loại vật liệu từ

§2. Tính chất từ nguyên tử

§3. Nghịch từ và thuận từ

§4. Sắt từ

§1. Sự từ hóa và phân loại vật liệu từ

1. Sự từ hóa

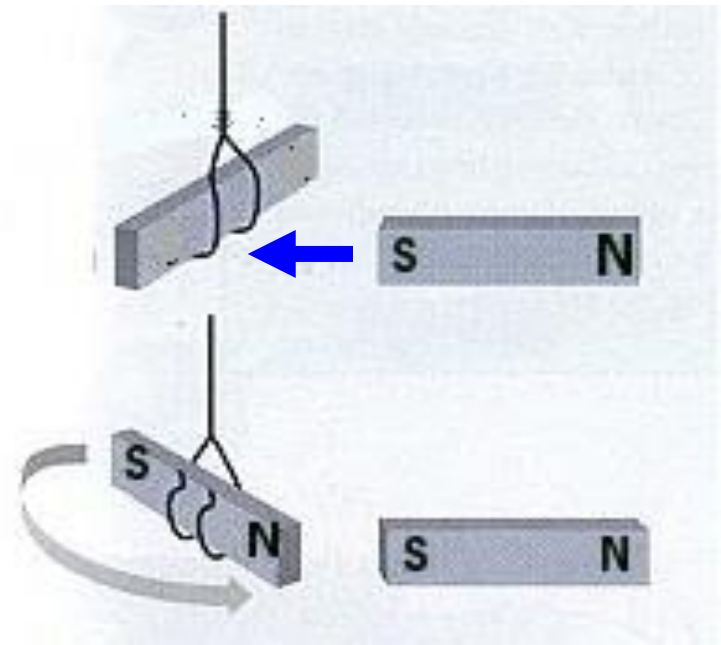
☞ Thanh sắt non bị hút bởi nam châm, sau đó trở thành một thanh nam châm \Rightarrow bị từ hóa!

☞ Mọi chất trong tự nhiên cũng đều chịu tác động của từ trường \Leftrightarrow bị từ hóa, nhưng với mức độ khác nhau.

☞ Vật bị từ hóa trong từ trường ngoài \vec{B}_0

\Rightarrow có từ trường riêng \vec{B}'

☞ Từ trường tổng hợp: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$



§1. Sự từ hóa và phân loại vật liệu từ

2. Vector độ từ hóa (từ độ)

☞ Đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ từ hóa của vật liệu, được xác định bằng số các moment từ trong 1 đơn vị thể tích của khối vật liệu:

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V}$$

☞ *Đơn vị của từ độ*: A/m

☞ $M = \chi_m H$ (với vật liệu nghịch từ và thuận từ)

☞ χ : độ cảm từ (magnetic susceptibility)

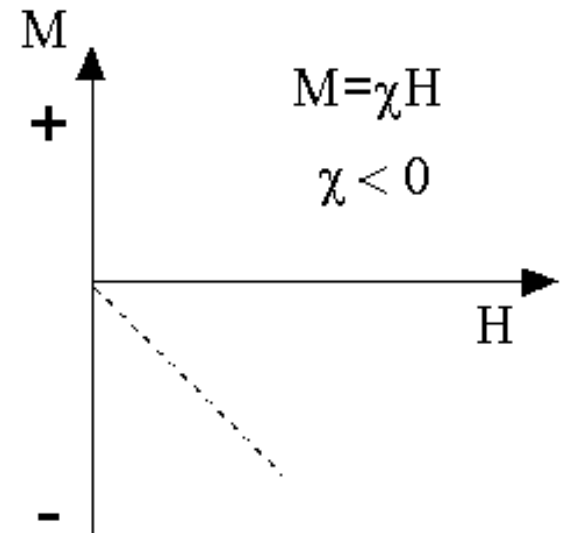
☞ χ và M thể hiện bản chất bên trong của vật liệu

§1. Sự từ hóa và phân loại vật liệu từ

3. Phân loại vật liệu từ

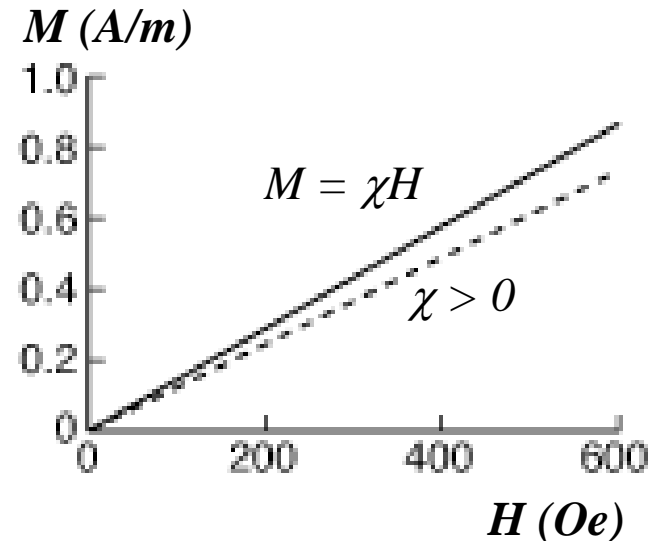
Nghịch từ

- ☞ \vec{B}' (rất nhỏ) ngược chiều $\vec{B}_0 \Rightarrow \vec{B} < \vec{B}_0$
- ☞ Vật liệu bị đẩy bởi trường ngoài
- ☞ Ví dụ: Bismut, đồng (copper - Cu), bạc (silver - Ag), vàng (gold - Au)....



Thuận từ

- ☞ \vec{B}' (rất nhỏ) cùng chiều $\vec{B}_0 \Rightarrow \vec{B} > \vec{B}_0$
- ☞ Ví dụ: Ma-nhê (magnesium - Mg), Mô-líp (molibdenum - Mo), li-ti (lithium - Li)



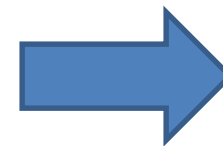
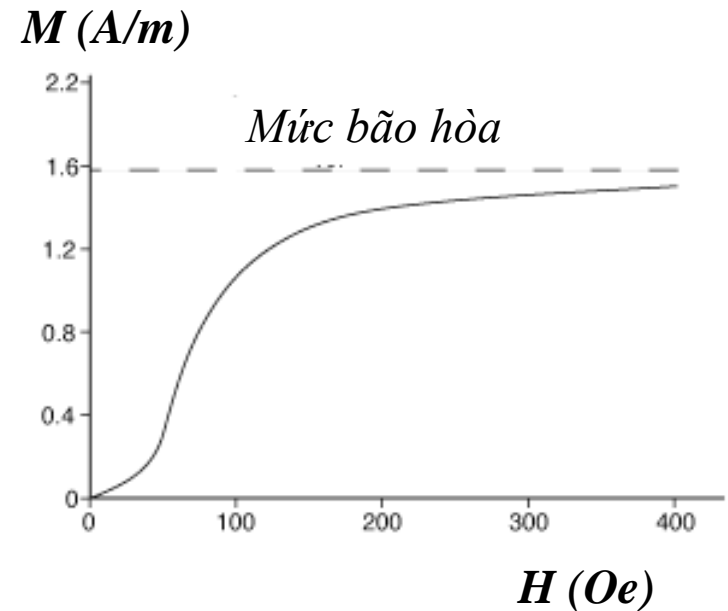
§1. Sự từ hóa và phân loại vật liệu từ

3. Phân loại vật liệu từ

Sắt từ

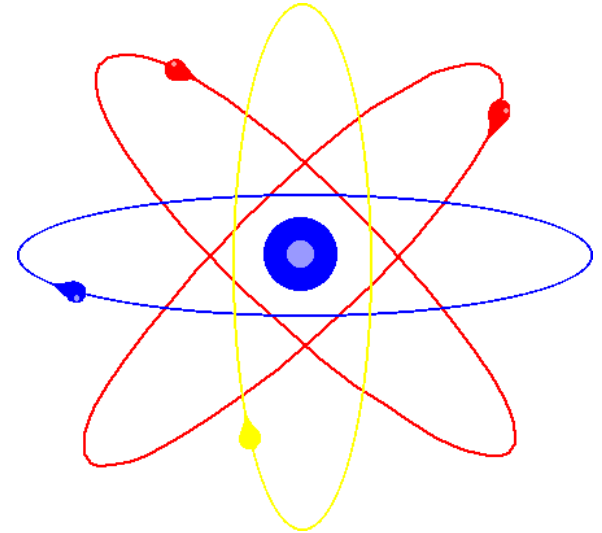
☞ \vec{B}' (lớn) cùng chiều $\vec{B}_0 \Rightarrow \vec{B} \gg \vec{B}_0$

☞ Ví dụ: Sắt (Iron - Fe), ni-ken (nickel - Ni), cô-ban (cobalt - Co), măn-gan (manganese - Mn), các hợp kim của sắt, fer-rít....



§2. Tính chất từ của nguyên tử

- ☞ Từ trường do dòng điện sinh ra,
- ☞ Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của electron (e^-).
- ☞ e^- là thành phần cấu tạo của nguyên tử, CĐ quanh hạt nhân.

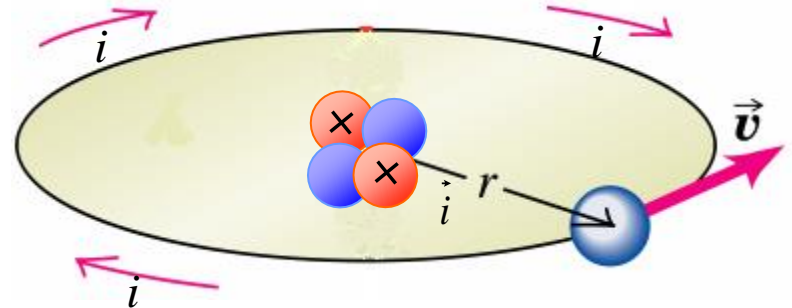


↪ Tính chất từ của vật chất là do sự tồn tại của các moment từ (dipole) hình thành bởi các moment từ spin và moment từ quỹ đạo của các electron bên trong các nguyên tử.

§2. Tính chất từ của nguyên tử

Moment từ quỹ đạo của electron

☞ Xét nguyên tử cô lập ($B_{ngoài} = 0$) có e^- CĐ trên quỹ đạo tròn quanh hạt nhân với vận tốc \vec{v}

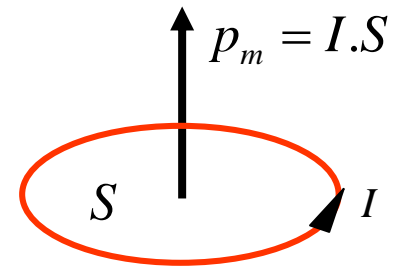


☞ Chu kỳ quay của e^- trên quỹ đạo: $\tau = \frac{2\pi r}{v}$

☞ Dòng điện do CĐ của e^- : $i = \frac{e}{\tau} = \frac{v.e}{2.\pi.r}$

☞ Từ định nghĩa moment từ \Rightarrow moment từ quỹ đạo của e^- :

$$p_{mqđ} = i.S = \frac{ve}{2\pi.r} \pi.r^2 = \frac{ev.r}{2}$$



Moment (lưỡng cực) từ –
Magnetic (dipole) moment

§2. Tính chất từ của nguyên tử

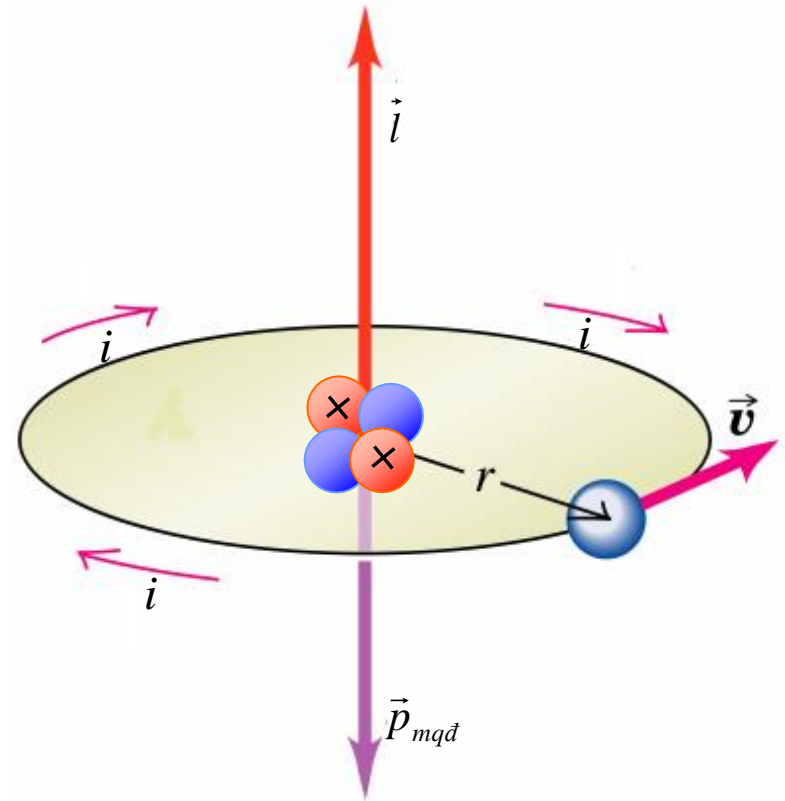
Moment động lượng của electron

☞ Moment động lượng \vec{l} đối với gốc O của e^- khi CĐ trên quỹ đạo với vector vận tốc \vec{v} có chiều ngược với vector moment từ quỹ đạo, có giá trị:

$$l = mv.r = m\omega.r^2$$

☞ Tỉ số giữa moment từ và moment động lượng của e^- gọi là tỉ số từ-cơ quỹ đạo:

$$\frac{\vec{p}_{mqđ}}{\vec{l}} = \frac{-p_{mqđ}}{l} = -\frac{e}{2m}$$



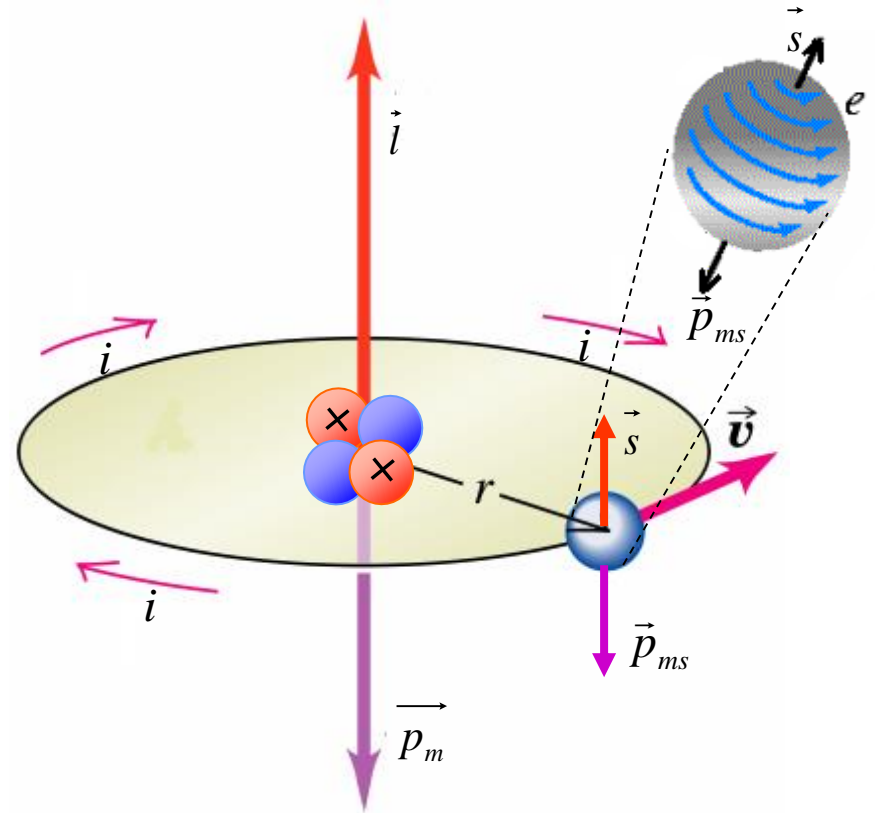
§2. Tính chất từ của nguyên tử

Moment spin electron

☞ e^- vừa CD trên quỹ đạo quanh hạt nhân vừa tự xoay quanh chính mình \Rightarrow moment động lượng riêng - moment spin (\vec{s}) \Rightarrow moment từ spin riêng (\vec{p}_{ms})

☞ Tỉ số giữa moment từ spin và moment spin - tỉ số từ-cơ spin của e^- :

$$\frac{\vec{p}_{ms}}{\vec{s}} = \frac{-p_{ms}}{s} = -\frac{e}{m}$$



§2. Tính chất từ của nguyên tử

Moment từ và moment động lượng nguyên tử

☞ Moment từ nguyên tử:

$$\vec{p}_m = \sum_{\text{Tổng số electron}} (\vec{p}_{mqđ} + \vec{p}_{ms})$$

☞ Moment động lượng nguyên tử:

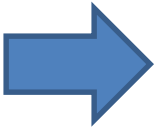
$$\vec{L} = \sum_{\text{Tổng số electron}} (\vec{l} + \vec{s})$$

☞ Tỷ số giữa moment từ và moment động lượng nguyên tử:

$$\frac{\vec{p}_m}{\vec{L}} \sim -\frac{e}{2m} = -g = \text{const}$$

$$\Rightarrow \Delta \vec{p}_m \sim -g \Delta \vec{L}$$

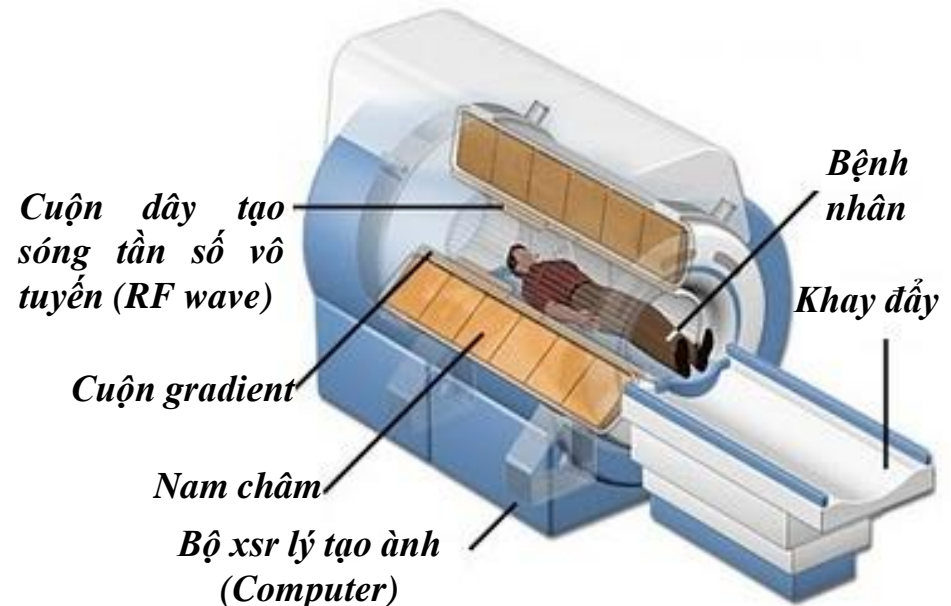
§2. Tính chất từ của nguyên tử



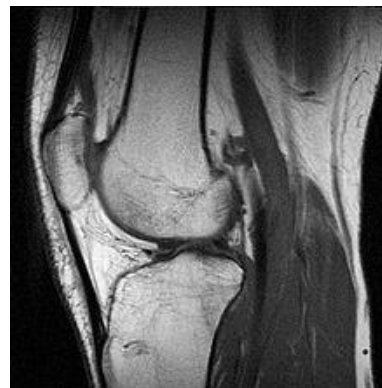
Ứng dụng trong kỹ thuật chụp ảnh cộng hưởng từ (MR)

☞ Sử dụng từ trường mạnh để sắp xếp các moment từ của các nguyên tử H_2 trong cơ thể, sau đó, sóng tần số vô tuyến biến đổi sự sắp xếp này \Rightarrow tạo ra tín hiệu điện được nhận biết bởi bộ xử lý thông tin (computer) dưới dạng hình ảnh của vùng được quét trên cơ thể.

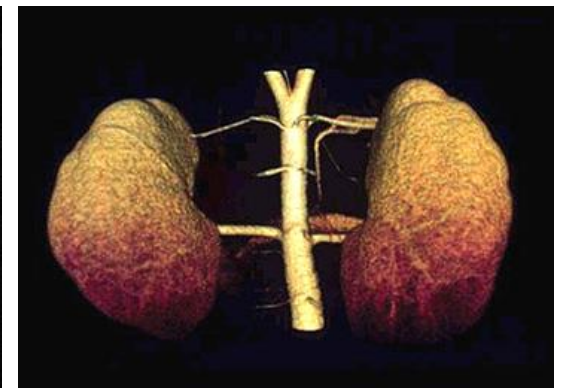
☞ Ứng dụng chụp ảnh các mô mềm:



Não



Đầu gối



Thận

§3. Nghịch từ và thuận từ

1. Hiệu ứng nghịch từ

☞ Xét:

☞ Nguyên tử có 1 e⁻, CĐ trên quỹ đạo quanh hạt nhân \Rightarrow có moment từ \vec{p}_m

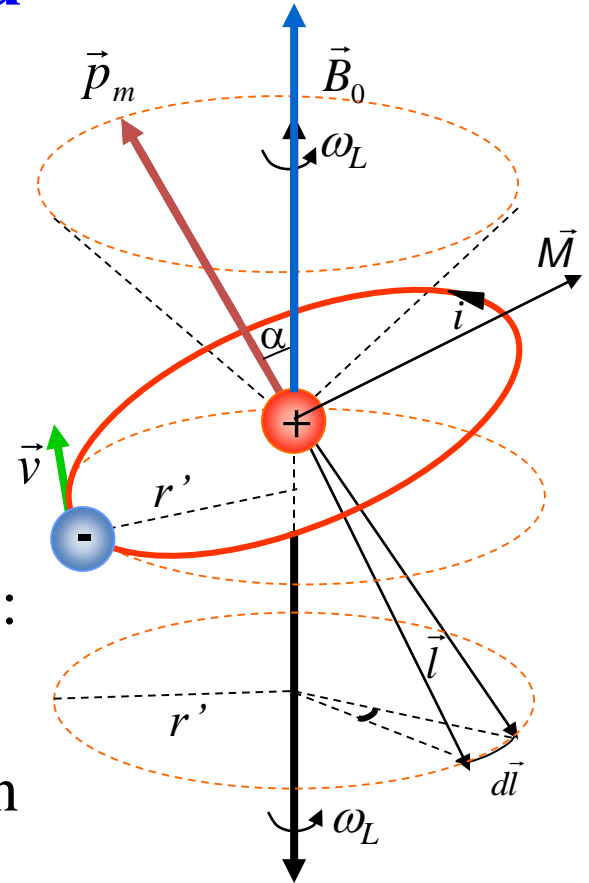
☞ Nguyên tử đặt trong từ trường ngoài \vec{B}_0 , tạo với \vec{p}_m góc α

☞ Từ trường tác dụng moment lực lên \vec{p}_m :

$$\vec{M} = \vec{p}_m \wedge \vec{B}_0 \text{ hay: } M = p_m \cdot B_0 \cdot \sin \alpha$$

☞ CĐ của e⁻ trên quỹ đạo quanh hạt nhân giống CĐ của con quay có trục đối xứng

\equiv moment động lượng quỹ đạo \vec{l} (ngược chiều \vec{p}_m) \Rightarrow e⁻ có thêm CĐ tuế sai quanh phương của \vec{B}_0 với vận tốc góc $\vec{\omega}_L \Rightarrow$ vẽ thành mặt nón tròn xoay với trục \equiv phương của \vec{B}_0 và chiều quay ngược chiều CĐ của e⁻ và có thêm CĐ phụ với quỹ đạo tròn bán kính r' .



§3. Nghịch từ và thuận từ

1. Hiệu ứng nghịch từ

☞ Áp dụng đ/l moment động lượng:

$$d\vec{l} = \vec{M}dt$$

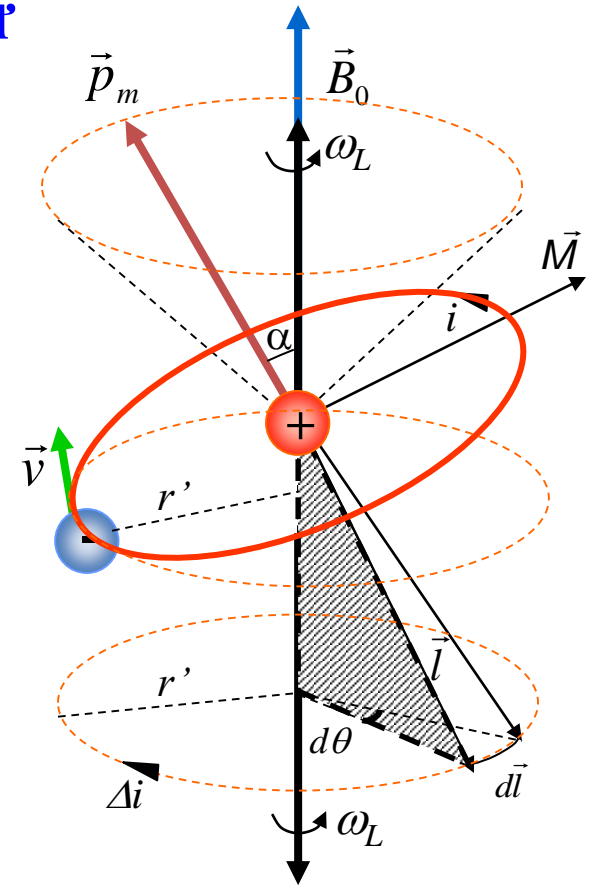
$$\text{Có } d\theta = \frac{|d\vec{l}|}{l \cdot \sin \alpha} = \frac{p_m B_0 \cdot \sin \alpha \cdot dt}{l \cdot \sin \alpha} = \frac{p_m B_0 dt}{l}$$

☞ Vận tốc góc của e^- trên quỹ đạo:

$$\omega_L = \frac{d\theta}{dt} = \frac{p_m}{l} B_0 = \frac{e}{2m} B_0$$

☞ CĐ phụ tạo ra dòng điện tròn phụ: $\Delta i = e \cdot v_L = e \frac{\omega_L}{2\pi} = \frac{e^2 \cdot B_0}{4\pi m}$

☞ Và moment từ phụ: $\Delta p_m = \Delta i \cdot S' = \frac{e^2 B_0 \cdot \pi \cdot r'^2}{4\pi m} = \frac{e^2 r'^2 \cdot B_0}{4m}$



§3. Nghịch từ và thuận từ

1. Hiệu ứng nghịch từ

↪ Do $r' \neq \text{const}$, nên: $\Delta p_m = \frac{e^2 \overline{r'^2} B_0}{4m}$

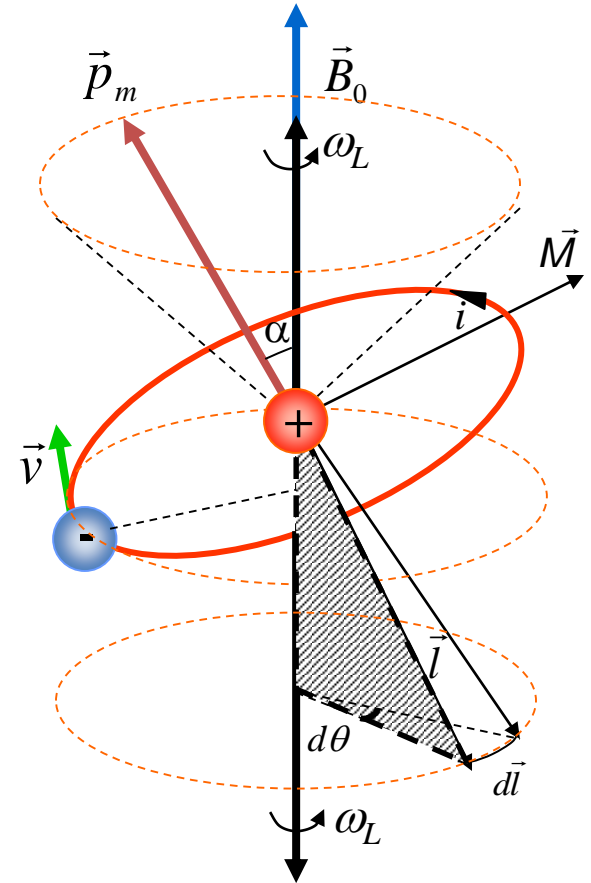
↪ Nguyên tử có Z e⁻ với các quỹ đạo bán kính r_i :

$$\Delta p_m = \frac{e^2 B_0}{4m} \sum_{i=1}^Z \overline{r_i'^2}$$

↪ Trường hợp nguyên tử có đối xứng cầu:

$$\Delta p_m = \frac{e^2 Z \overline{r^2} B_0}{6m}$$

$$\text{Hay: } \Delta \vec{p}_m = -\frac{e^2 Z \overline{r^2}}{6m} \vec{B}_0$$



§3. Nghịch từ và thuận từ

2. Vật liệu nghịch từ trong từ trường ngoài

☞ Xét khối vật liệu nghịch từ có mật độ nguyên tử n_0 :

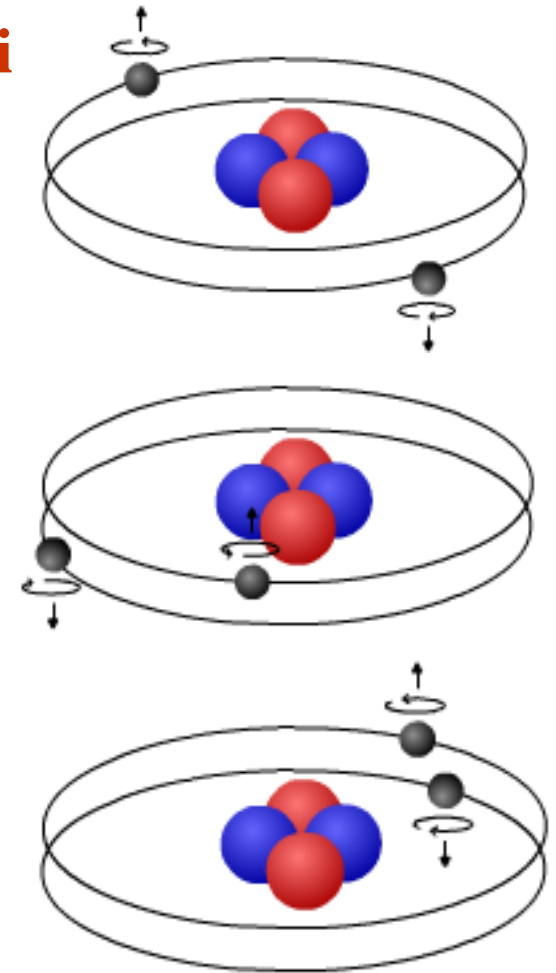
☞ Từ độ: $\vec{M} = n_0 \cdot \Delta \vec{p}_m = -\frac{n_0 e^2 Z \overline{r^2}}{6m} \vec{B}_0$

Mặt khác: $\vec{M} = \chi_m H = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}$

$$\Rightarrow \chi = -\frac{n_0 \mu_0 e^2 Z \overline{r^2}}{6m}$$

☞ Vector từ độ luôn ngược chiều vector cảm ứng từ và luôn có độ cảm từ $\chi < 0 \Rightarrow$ quá trình từ hóa với vật liệu nghịch từ rất yếu.

☞ Nguyên nhân: Không tồn tại moment từ nguyên tử do đặc điểm kết cặp của các điện tử.



§3. Nghịch từ và thuận từ

3. Vật liệu thuận từ trong từ trường ngoài

☞ Trong khối vật liệu thuận từ có tồn tại moment từ nguyên tử (hoặc phân tử) nhưng sắp xếp hỗn loạn do chuyển động nhiệt \Rightarrow moment từ tổng cộng bị triệt tiêu khi từ trường ngoài $\vec{B}_0 = 0$

☞ $\vec{B}_0 \neq 0$: moment từ sẽ sắp xếp theo phương của trường ngoài \Rightarrow khối vật liệu bị từ hóa nhưng sẽ trở lại trạng thái cũ khi $\vec{B}_0 = 0$

☞ Coi α là góc giữa \vec{p}_m và $\vec{B}_0 \Rightarrow$ hình chiếu trung bình của \vec{p}_m trên \vec{B}_0

$$\bar{p}_{mB_0} = p_m \cos \alpha = \frac{p_m^2}{3kT} B_0$$

$$\Rightarrow \vec{M} = n_0 \cdot \bar{p}_{mB_0} = \frac{n_0 p_m^2}{3kT} \vec{B}_0 \Rightarrow \text{Độ cảm từ: } \chi = \frac{n_0 p_m^2 \mu_0}{3kT}$$

☞ Kết luận: $\left\{ \begin{array}{l} + \text{Độ cảm từ} > 0 \text{ và nhỏ} \\ + \text{Quá trình từ hóa phụ thuộc nhiệt độ} \\ + \text{Không có từ dư} \end{array} \right.$

§3. Nghịch từ và thuận từ

4. Từ trường tổng hợp trong vật liệu nghịch từ và thuận từ

- ☞ Khi bị từ hóa, xuất hiện từ trường phụ $B' \Rightarrow \vec{B}'$ có mối liên hệ với \vec{M}
- ☞ Mỗi nguyên tử sinh ra một dòng điện $i \Rightarrow$ cảm ứng từ phụ B' do các dòng điện này sinh ra trong lòng khối vật liệu : $B' = \mu_0 \cdot n_0 \cdot i$
- ☞ Khối vật liệu có: + Tiết diện S , độ dài l ;
+ Mật dòng điện tròn n_0

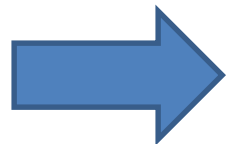
☞ Độ từ hóa của khối vật liệu =
$$\frac{\text{Moment từ của toàn bộ khối vật liệu}}{\text{Thể tích 1 đơn vị dài của khối vật liệu}}$$

Tức là: $M = \frac{n_0 i \cdot S}{S \cdot l} = n_0 i \Rightarrow B' = \mu_0 M$ hay: $\vec{B}' = \mu_0 \vec{M}$

☞ Từ trường tổng hợp trong khối vật liệu: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$

Với: $\vec{M} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$ nên: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \chi_m \vec{B}_0 = (1 + \chi_m) \vec{B}_0$

Đặt $1 + \chi_m = \mu \Rightarrow \vec{B} = \mu \vec{B}_0 = \mu \mu_0 \vec{H}$



§4. Sắt từ

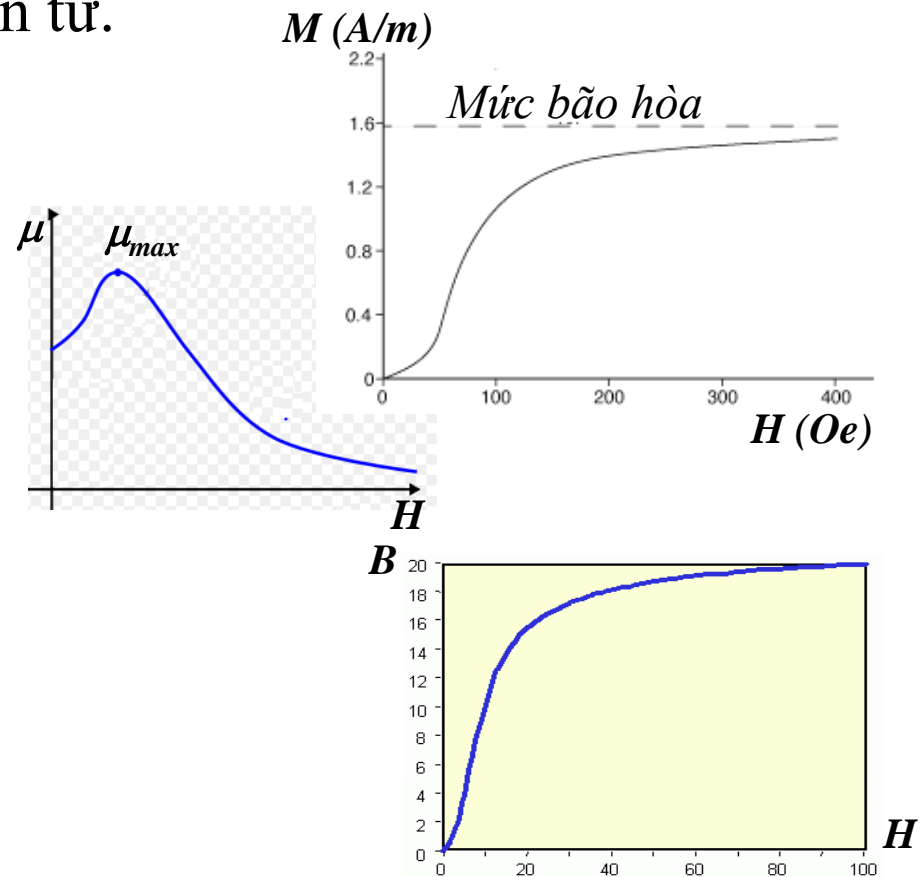
1. Đặc điểm của vật liệu sắt từ

☞ Vật liệu thể hiện tính chất từ mạnh nhất (lực từ hay các đáp ứng với từ trường) \Rightarrow được sử dụng để tạo ra nam châm vĩnh cửu hoặc các cấu trúc mạch dẫn từ.

☞ Độ từ hóa tỉ lệ phi tuyến với trường ngoài.

☞ Từ thẩm phụ thuộc phi tuyến vào trường ngoài.

☞ Cảm ứng từ phụ thuộc phức tạp vào trường ngoài \Rightarrow đường cong từ hóa.



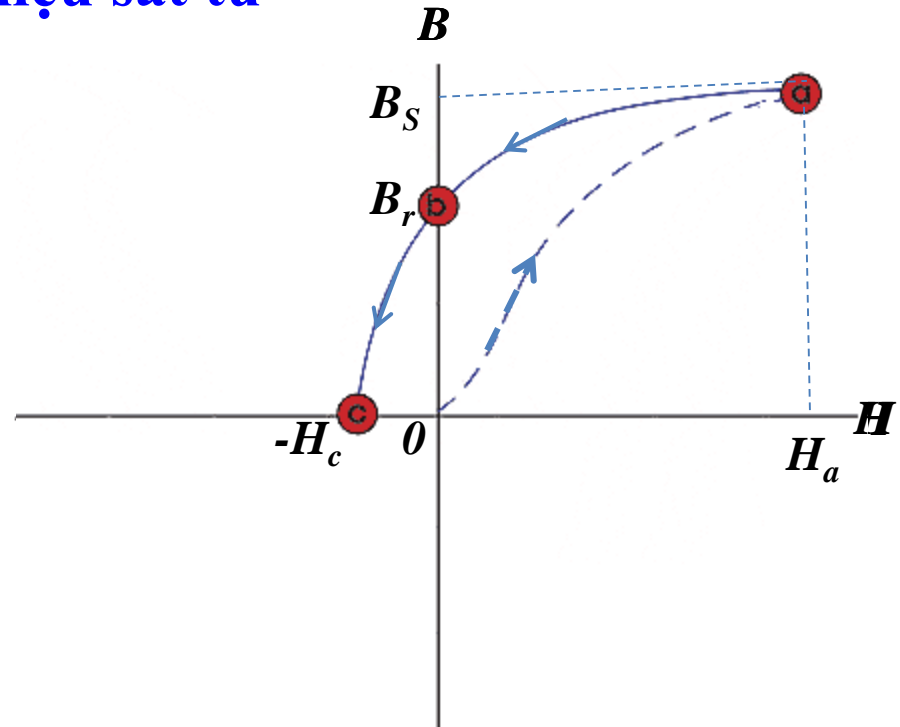
§4. Sắt từ

2. Đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ

☞ H ngoài tăng từ $H = 0$ cho đến khi B đạt giá trị bão hòa B_s tại H_a .

☞ Giảm H ngoài $\rightarrow 0 \Rightarrow B$ còn giá trị $B_r \neq 0 \Rightarrow$ cảm ứng từ dư.

☞ Đảo chiều H ngoài và tiếp tục tăng từ $H = 0$ đến khi $B = 0$ ứng với giá trị $H = H_c \Rightarrow$ cường độ trường khử từ - lực kháng từ.



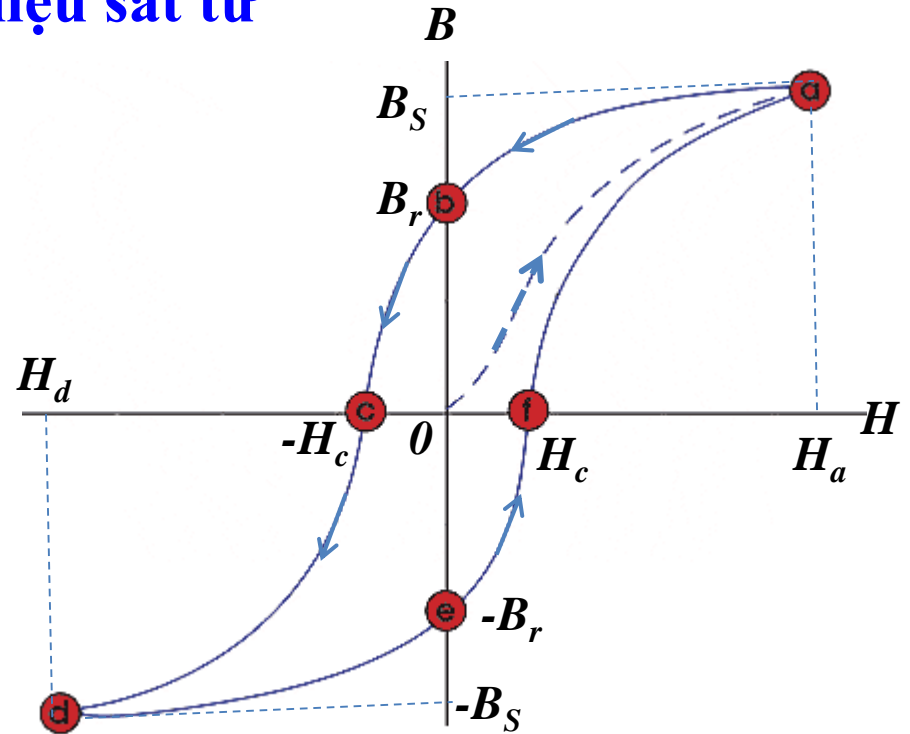
§4. Sắt từ

2. Đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ

☞ Tiếp tục tăng H đến khi B lại đạt giá trị bão hòa $-B_s$ và khi giảm $\rightarrow 0 \Rightarrow$ có giá trị $-B_r$ rồi lại tăng để có giá trị H_c và B_s ban đầu \Rightarrow khép kín một chu trình \Rightarrow đường cong từ trễ.

☞ μ_{\max} , B_s và H_c là các đặc trưng cơ bản của sắt từ.

☞ B_s và H_c quyết định dạng đường cong từ trễ.



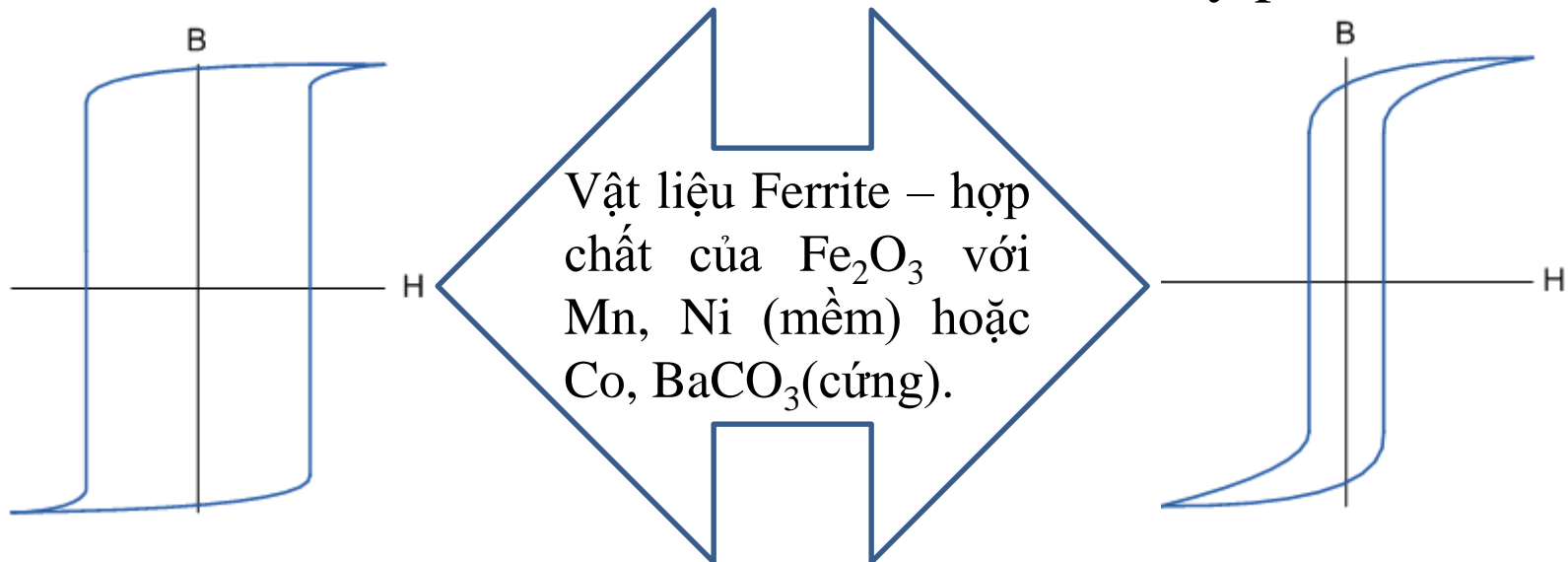
§4. Sắt từ

2. Đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ

☞ Căn cứ đặc điểm đường cong từ trễ \Rightarrow phân loại vật liệu sắt từ.

☞ *Sắt từ cứng*: Chu trình từ trễ rộng (“béo”), B_r bền, và H_c lớn \Rightarrow được sử dụng để làm nam châm vĩnh cửu.

☞ *Sắt từ mềm*: Chu trình từ trễ hẹp (“gầy”), B_r lớn, và H_c nhỏ \Rightarrow được sử dụng để làm mạch dẫn từ trong các bộ biến thế, máy phát điện...



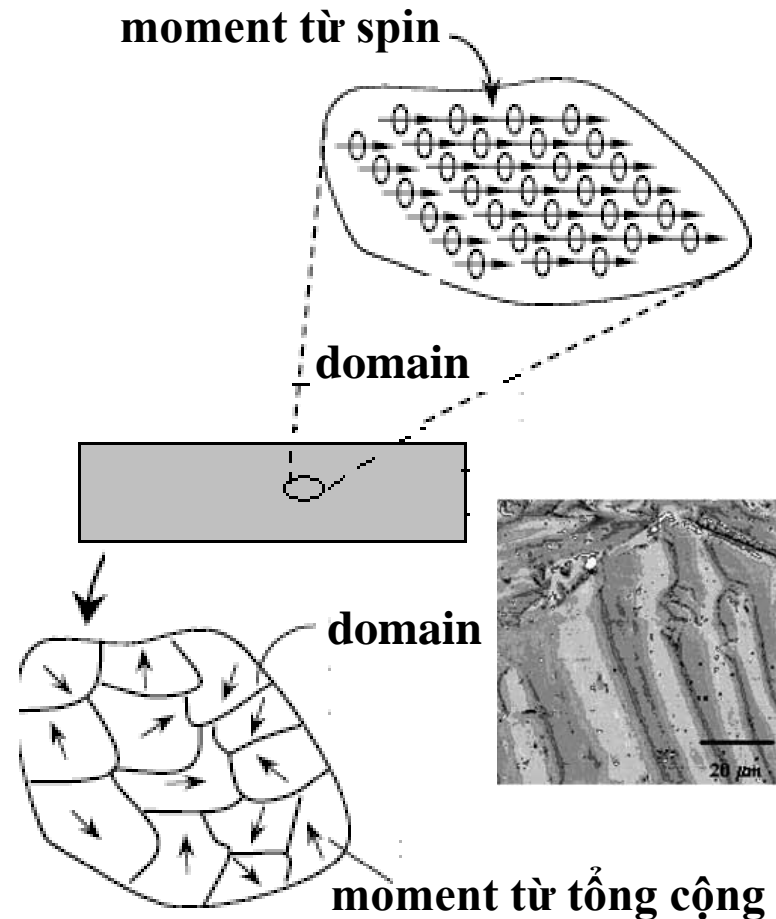
§4. Sắt từ

3. Thuyết miền từ hóa tự nhiên (thuyết domain)

*PIERRE-ERNEST
WEISS (1865 - 1940)*



☞ Trong cấu trúc vật liệu, các của moment từ spin của từng nguyên tử sắp xếp song song với nhau trong từng vùng nhỏ (domain), nhưng moment từ tổng cộng của từng vùng nhỏ này có chiều khác nhau trong toàn bộ khối thể tích \Rightarrow moment từ tổng cộng = 0.



☞ Kích thước 1 domain
 $\sim 10^{-3}$ - 10^{-5} mm, chứa $\sim 10^6$ - 10^9 nguyên tử.

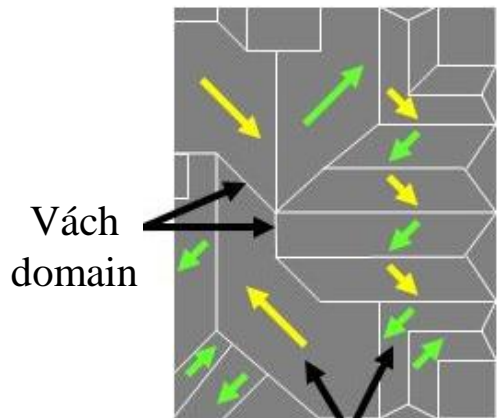
§4. Sắt từ

3. Thuyết miền từ hóa tự nhiên (thuyết domain)

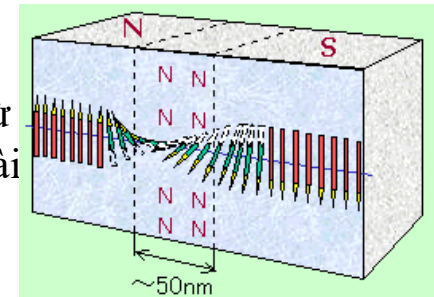
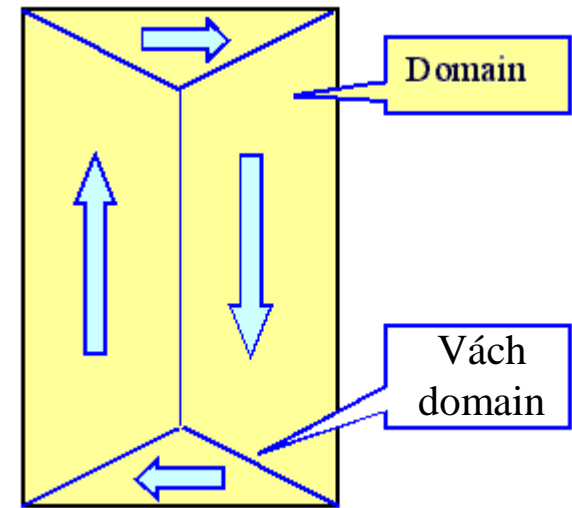
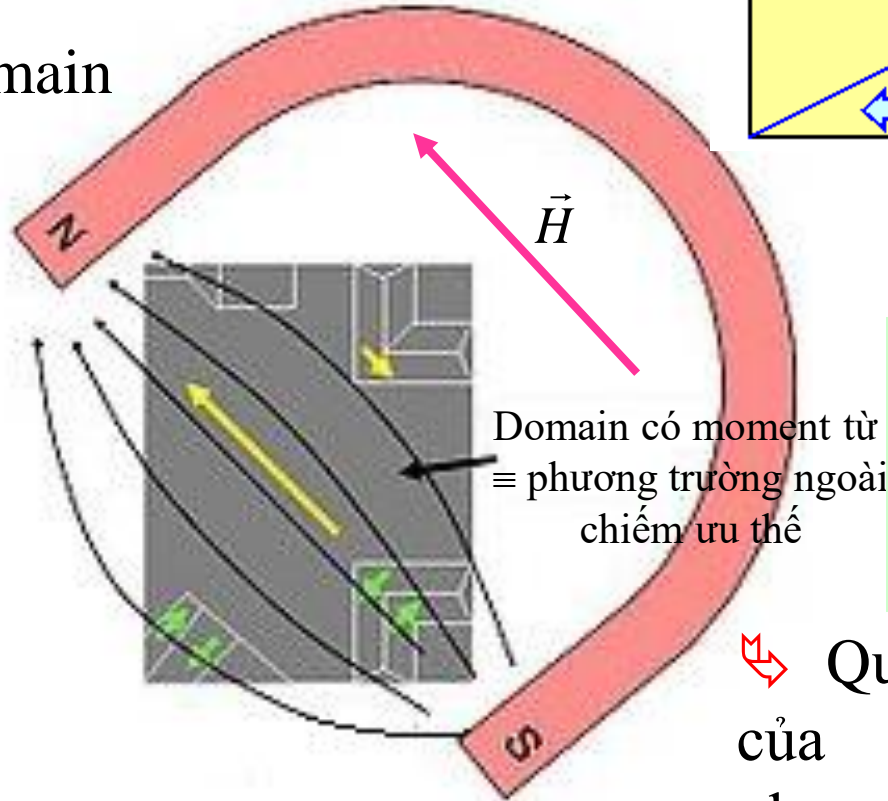
👉 Biên giới giữa các vùng – vách domain

👉 2 cơ chế:

🔴 Dịch vách domain



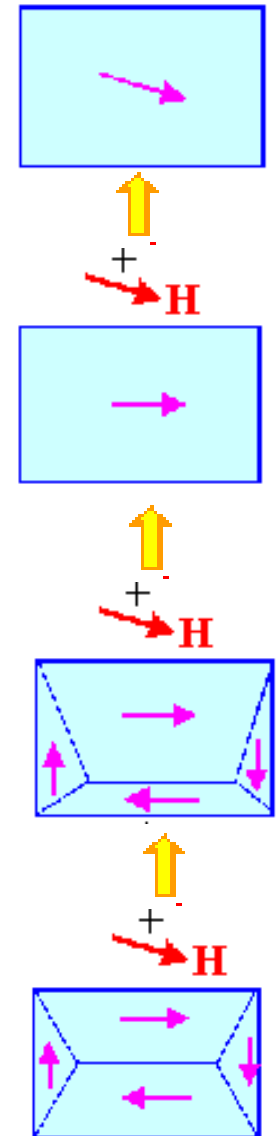
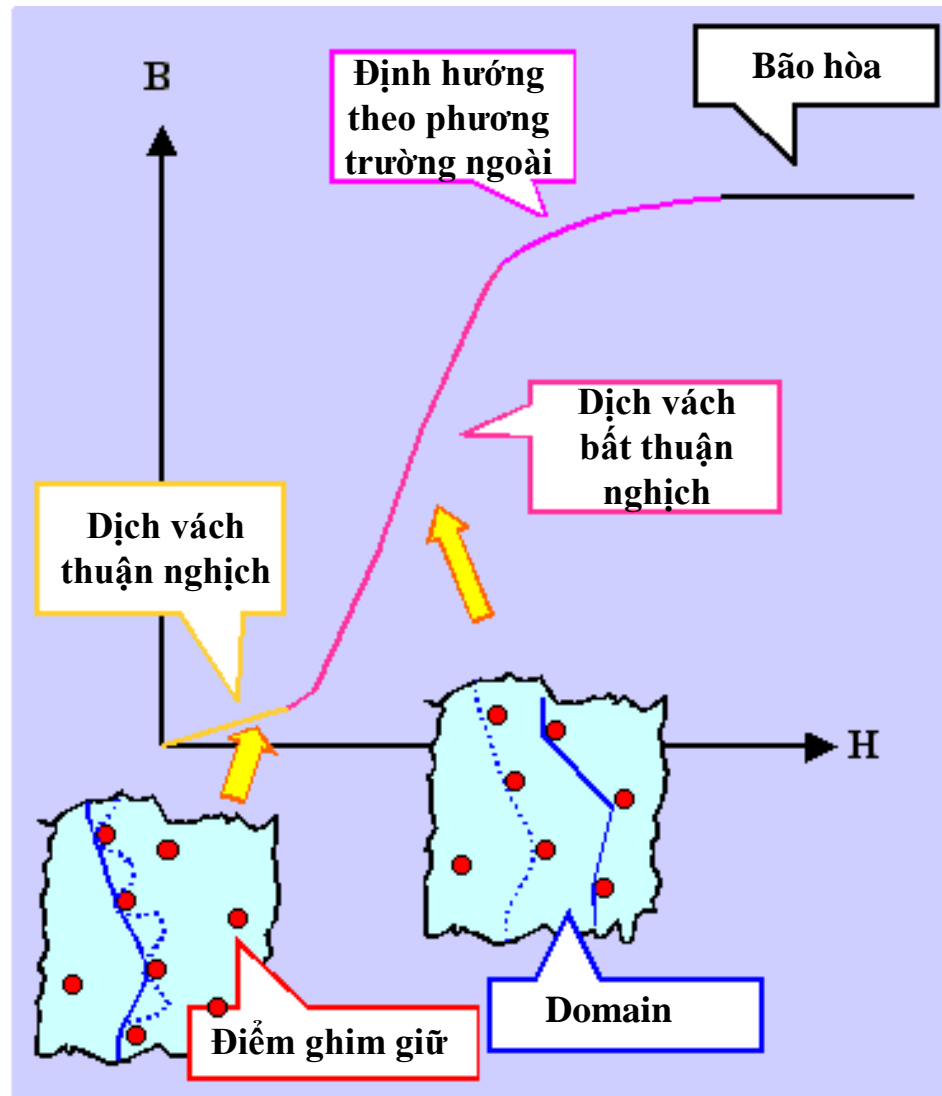
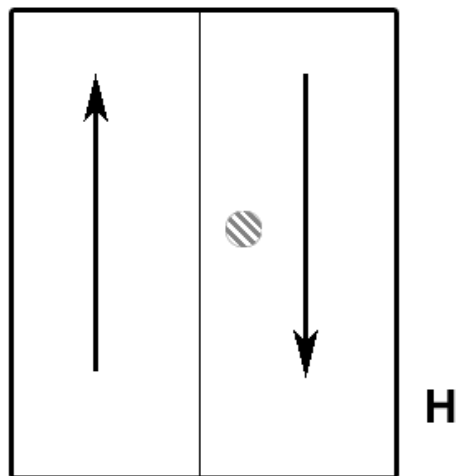
Moment từ tổng cộng trong mỗi domain



🔴 Quay moment từ của domain theo phương trường ngoài

§4. Sắt từ

3. Thuyết miền từ hóa tự nhiên (thuyết domain)



§4. Sắt từ

4. Tính chất từ phụ thuộc nhiệt độ của sắt từ

☞ Tại nhiệt độ tới hạn $T_c \Rightarrow$ tính chất từ dư của sắt từ biến mất \Rightarrow *nhiệt độ Curie*. $\chi \sim \frac{1}{T - T_c}$

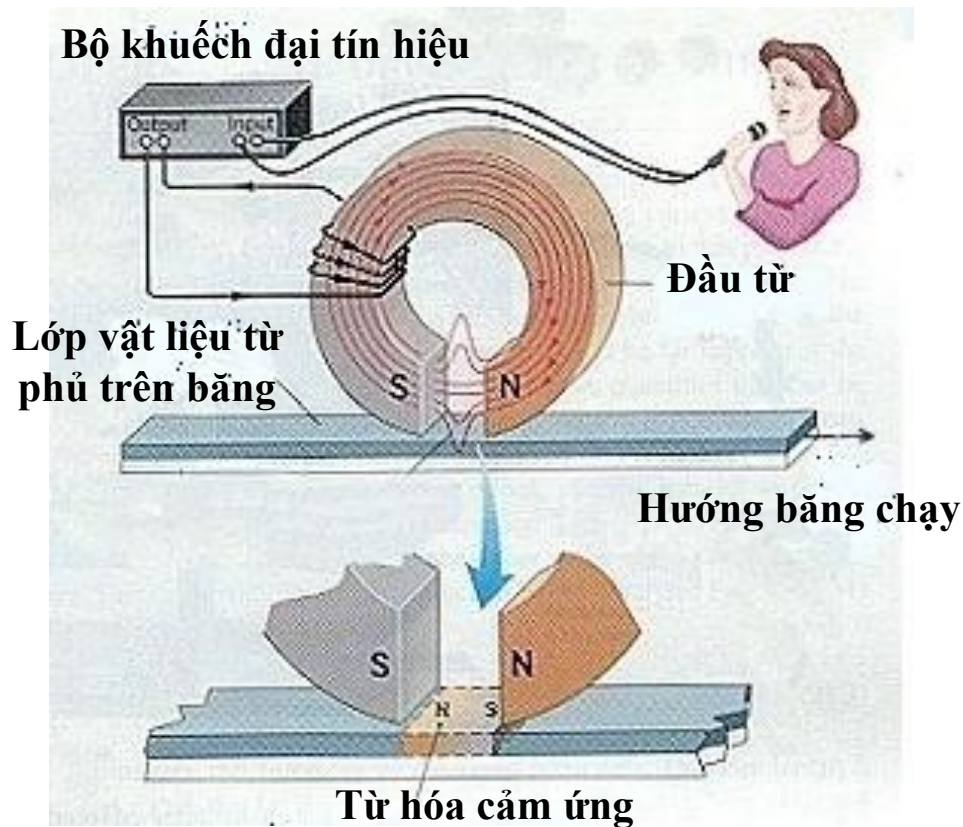
☞ $T > T_c \Rightarrow$ sắt từ trở thành thuận từ khi đặt trong trường ngoài \Rightarrow mất các tính chất đặc trưng của sắt từ cũng như một số tính chất vật lý khác (nhiệt dung, độ dẫn điện...).

☞ $T < T_c \Rightarrow$ các tính chất đặc trưng của sắt từ được khôi phục.

Vật liệu	Nhiệt độ Curie ($^{\circ}\text{C}$)
Sắt	770
Cô-ban	1127
Ni-ken	357
Gadolini	16

§4. Sắt từ

5. Ứng dụng quá trình từ hóa và vật liệu sắt từ trong kỹ thuật



Kỹ thuật ghi âm trên băng từ



Thẻ từ

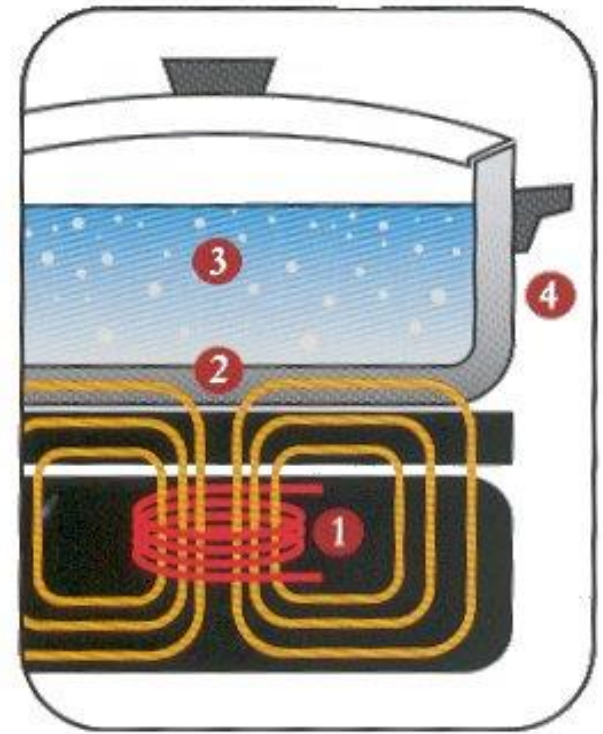
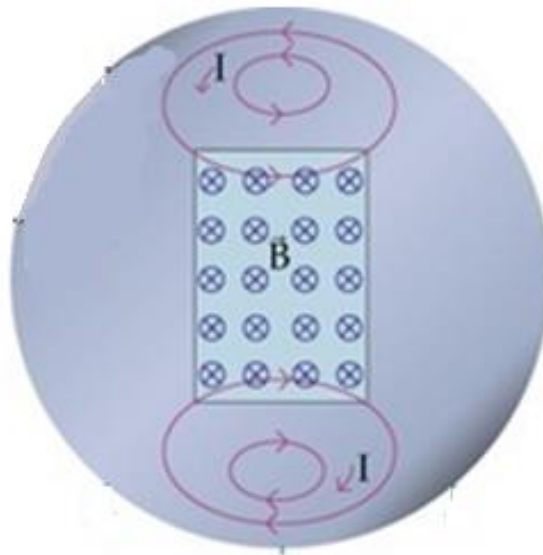
§4. Sắt từ

5. Ứng dụng quá trình từ hóa và vật liệu sắt từ trong kỹ thuật

☞ Bếp từ:

◆ Cuộn dây tạo trường điện từ tần số cao;

◆ Từ trường xuyên qua đáy nồi làm bằng vật liệu từ (sắt từ) \Rightarrow đóng kín mạch từ \Rightarrow hình thành dòng điện xoáy, nguồn gốc tạo ra nhiệt;



◆ Nhiệt sinh ra từ đáy nồi được truyền cho thức ăn đựng trong nồi.

◆ Ngoài ra, nhiệt còn được sinh ra do các tổn hao từ trễ trong vật liệu có độ từ thẩm μ_r lớn dùng để chế tạo xoong, nồi, chảo...).

§4. Sắt từ

6. Hiệu ứng từ giảo (magnetostriction)

☞ Hiện tượng vật liệu sắt từ bị biến dạng (dãn ra, co lại) trong quá trình từ hóa (tương tự hiệu ứng áp điện của vật liệu điện môi).

☞ Đặc trưng bởi tỉ số thay đổi kích thước tương đối (biến dạng) theo phương của từ trường \Rightarrow tỉ lệ bình phương độ từ hóa:

$$\frac{\Delta l}{l} \sim M^2 \sim 10^{-5} \div 10^{-6}$$

☞ Cũng có hiệu ứng nghịch: khi vật liệu bị biến dạng \Rightarrow trạng thái từ hóa của vật liệu bị thay đổi.

☞ Ứng dụng: làm máy phát siêu âm, tạo bộ rung, bộ lọc, thiết bị ổn định tần số,...

