

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương 6

NHỮNG TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC CHẤT

Tính chất từ thể hiện qua việc hút các vật liệu Fe

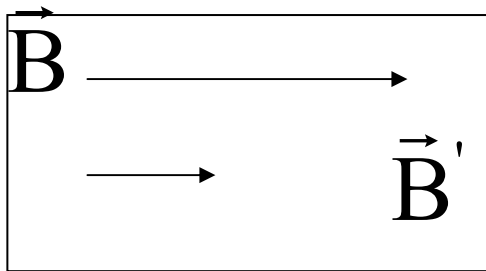
Khi nằm trong từ trường ngoài \vec{B}_0 mọi chất đều bị từ hoá và trong chúng có một từ trường phụ riêng hay véc tơ $c.U$ từ \vec{B}'

=> Từ trường tổng hợp trong chất là:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Thuận từ

$B > B_0$

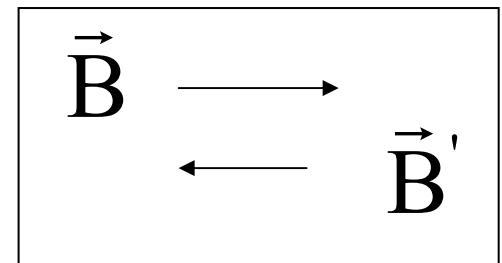


$\vec{B}_0 \uparrow \uparrow \vec{B}'$

Sắt từ $B > B_0$ nhiều

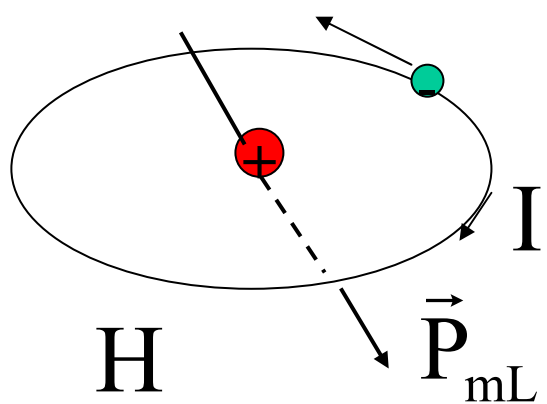
Nghịch từ

$B < B_0$



$\vec{B}_0 \uparrow \downarrow \vec{B}'$

1. Bản chất của từ tính:



Các điện tử quay quanh hạt nhân giống như một dòng điện tròn và gây ra momen từ QUĨ ĐẠO CỦA ĐIỆN TỬ \vec{P}_{mL}

TẦN SỐ QUAY CỦA ĐIỆN TỬ

$$f = \frac{v}{2\pi r}$$

DÒNG DO ĐIỆN TỬ

$$i = ef = \frac{ev}{2\pi r}$$

Momen từ QUĨ ĐẠO của điện tử

$$\vec{P}_{mL} = i\vec{S}_{dt}$$

MÔMEN ĐỘNG LƯỢNG:

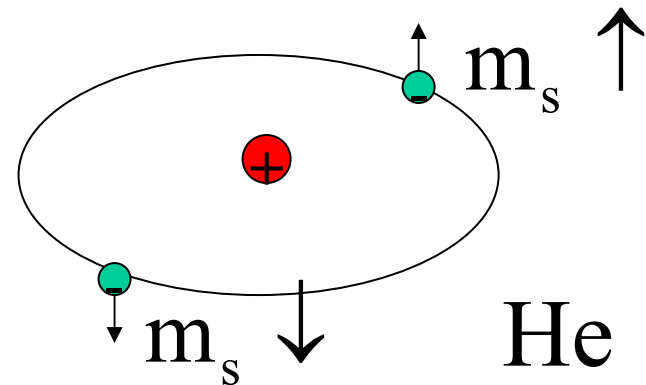
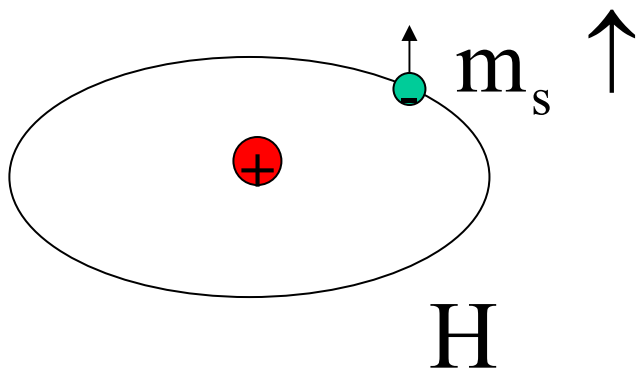
$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

$$P_{mL} = iS_{dt} = \frac{ev}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{evr}{2}$$

$$L = rmv$$

HỆ SỐ TỪ CƠ: $\frac{\vec{P}_{mL}}{\vec{L}} = -\frac{e}{2m}$ $\vec{P}_{mL} = -\frac{e}{2m}\vec{L}$

• Các điện tử có spin với số lượng tử spin $m_s \uparrow$ hoặc $m_s \downarrow$ các momen spin tạo ra các **momen từ spin QUỸ ĐẠO**: $\vec{P}_{mS} = -\frac{e}{m}\vec{S}$



CƠ HỌC LƯỢNG TỬ CHO THẤY:
MÔMEN ĐỘNG LƯỢNG

$$L = \sqrt{l(l+1)}.\hbar$$

MÔMEN SPIN

$$S = \sqrt{s(s+1)}.\hbar$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \text{Hằng số Planck}$$

Tổng hợp các momen từ của điện tử
thành **mômen từ của nguyên tử thứ i** \vec{P}_{ami}

Véc tơ từ hoá = mômen từ của đơn vị thể tích

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{P}_{ami}}{\Delta V}$$

→ Véc tơ từ hoá tổng cộng $\vec{J} = \vec{J}_L + \vec{J}_S$

Dẫn đến tính chất từ của các chất

Dưới tác dụng của từ trường ngoài

$$\vec{J} = \chi_m \vec{H} \quad \vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$$

χ_m Độ từ hoá

2. Nghịch từ: $\chi_M < 0$

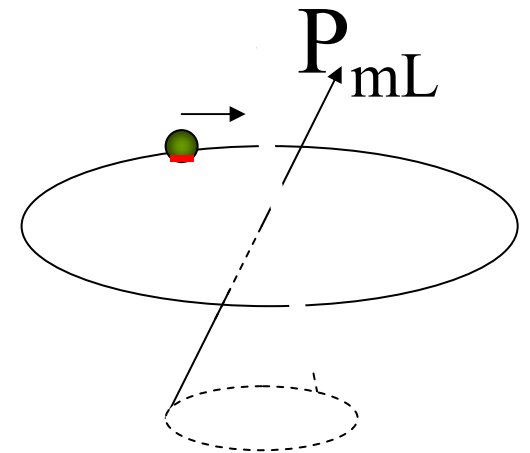
Khi trong từ trường các điện tử có phản ứng như hạt tích điện chuyển động trong từ trường và có thêm phần chuyển động tuế sai

$$\text{Vận tốc góc Larmor } \omega_L = \frac{eB_0}{2m_e}$$

của điện tử chống lại từ trường ngoài (Như ĐL Lenz) dẫn đến tính chất nghịch từ của các chất.

Phần dòng tương ứng **dòng cảm ứng** của nguyên tử

$$\Delta I = (-eZ)\omega_L \frac{1}{2\pi} = -\frac{e^2 Z B_0}{4\pi m_e}$$



Momen từ cảm ứng nguyên tử

$$P_{mCU} = \Delta I \cdot S_{dt} = \Delta I \cdot \pi \rho^2 = -\frac{e^2 Z B_0}{4m_e} \rho^2 = -\frac{e^2 Z B_0}{6m_e} \langle r^2 \rangle$$

$$\langle x^2 \rangle = \langle y^2 \rangle = \langle z^2 \rangle = \langle r^2 \rangle / 3$$
$$\rho^2 = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle = 2 \langle r^2 \rangle / 3$$

Độ từ hoá của vật liệu

Trong đó J mômen từ một đơn vị thể tích mẫu.

$$\chi_m = \frac{\mu_0 J}{B_0}$$

Nếu momen từ quỹ đạo spin bằng không (Trong trường hợp số điện tử luôn chẵn như tinh thể khí trơ He) thì

$$\chi_m = -\frac{n_0 e^2 Z}{6m_e} \langle r^2 \rangle \mu_0 < 0$$

Đây là nghịch từ lý tưởng.

3. Thuận từ:

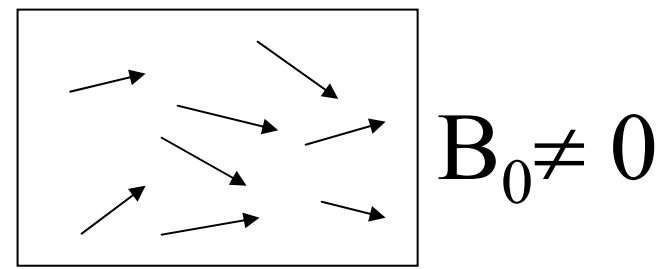
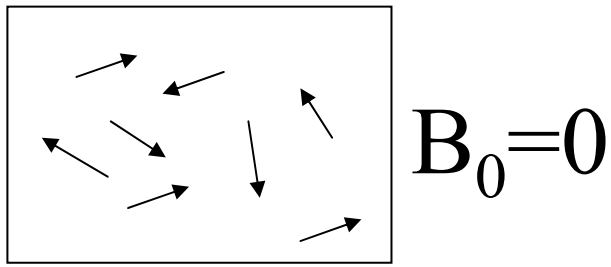
Khi đặt trong từ trường ngoài, momen từ của mạch điện và từ trường tương tác với nhau, năng lượng tương tác bằng: $W_m = -\vec{P}_m \cdot \vec{B}$

Véc tơ từ hoá của nguyên tử

$$\vec{P}_{ma} = \vec{P}_{mL} + \vec{P}_{mS}; \quad P_{ma} = -m\mu_B; \quad \mu_B = \frac{e}{2m_e} \hbar$$

$B_0=0$, do tác động của nhiệt độ các momen từ nguyên tử có định hướng hỗn loạn và tổng của chúng bằng 0.

$B_0 \neq 0$, các mô men từ nguyên tử tương tác với từ trường ngoài như các mô men từ của các dòng điện, tổng hợp các mô men từ khác không.



Năng lượng tương tác: Trong từ trường các momen từ nguyên tử có 2 mức năng lượng

$$\varepsilon = \pm \mu_B \cdot B$$

Phân bố của chúng tuân theo hàm phân bố Boltzmann ở nhiệt độ T , Các hạt có momen từ thuận theo từ trường: $n = n_0 \exp(\mu_B \cdot B / k_B T)$

Trong trường hợp $(\mu_B \cdot B / k_B T) \ll 1$

$$n \approx n_0 (\mu_B \cdot B / k_B T)$$

$$\chi_m = \frac{J}{B} = n_0 \mu_B^2 / k_B T \quad \text{Hay} \quad \frac{J}{B} = \frac{C}{T}$$

Trong đó C là hằng số Curie.

Đây là **định luật Curie**: Độ từ hoá tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối.

4. Từ trường tổng hợp trong chất nghịch từ và thuận từ

Phần đóng góp do các mômen quay theo từ trường ngoài: *cùng chiều với P_m* $\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$

Từ trường tổng hợp $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{J}$

$$\vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \chi_m \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = (1 + \chi_m) \vec{B}_0 = \mu \vec{B}_0 \quad (1 + \chi_m) = \mu$$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \mu \text{ -Độ từ thẩm tỷ đối}$$

Véc tơ cảm ứng từ tổng hợp trong các vật liệu thuận từ và nghịch từ tỷ lệ với véc tơ cảm ứng từ B_0 trong chân không và bằng μ lần B_0

thuận từ	$\chi_m \cdot 10^6$	nghịch từ	$-\chi_m \cdot 10^6$
Nitơ	0,013	Heli	0,063
oxy	1,9	Nước	9,0
Êbonit	14	Thạch anh	15,1
Nhôm	23	Bismut	176
Platin	360		

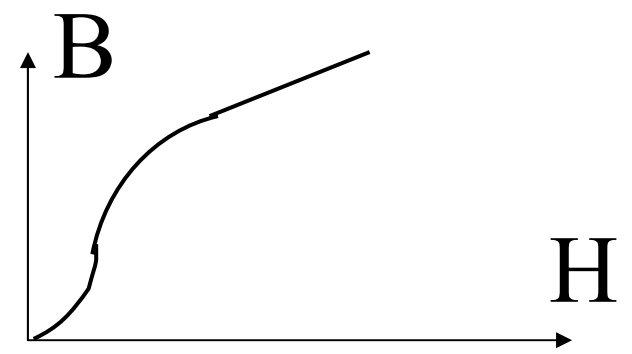
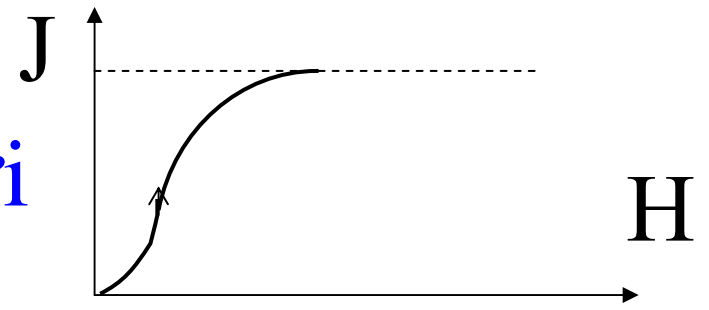
$|\chi_m| \ll 1$ nên đối với các chất thuận từ và nghịch từ $\mu = 1 + \chi_m \approx 1$;

Thuận từ $\mu > 1$, Nghịch từ $\mu < 1$

5. Sắt từ

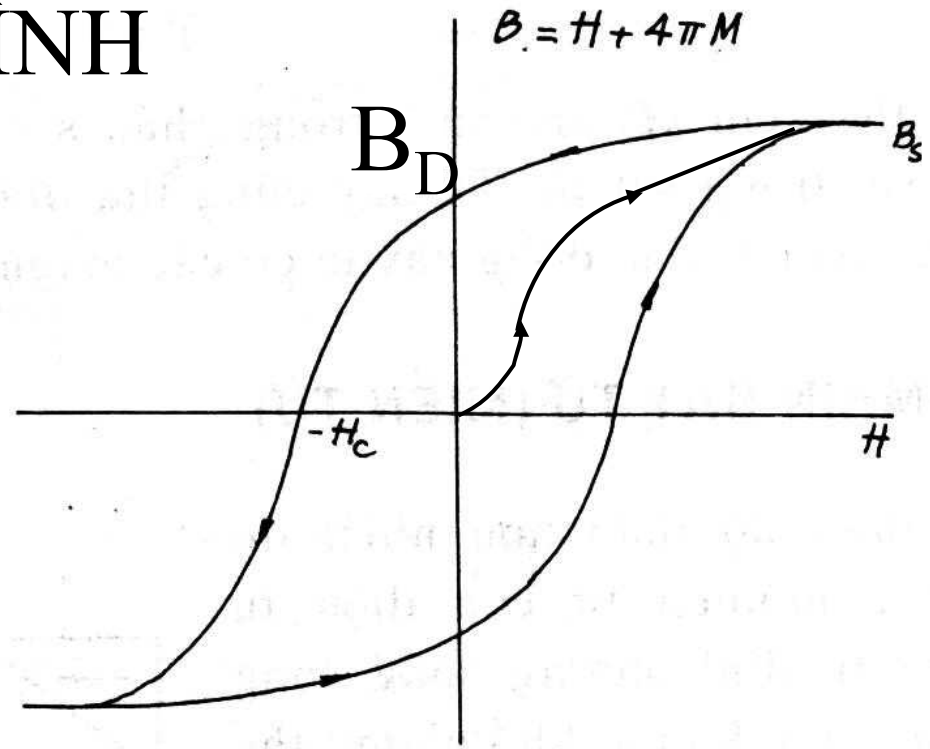
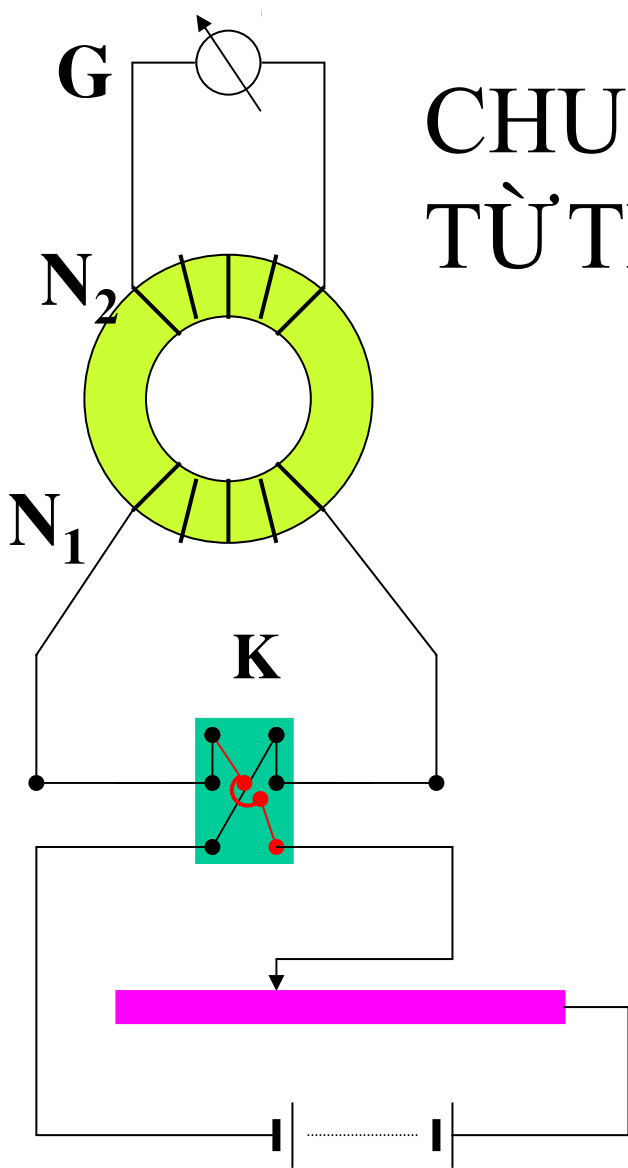
Tính chất sắt từ: $\chi_m > 0$ như thuận từ, **Độ từ hoá lớn** (gấp trăm lần thuận từ)

- Từ độ J không tỷ lệ thuận với véc tơ cường độ từ trường H
- Phụ thuộc cảm ứng từ B vào cường độ từ trường H : Không có đoạn nằm ngang



$$B = \mu_0(H + J); J \rightarrow \text{const}, H \uparrow, B \uparrow$$

CHU TRÌNH TỪ TRỄ

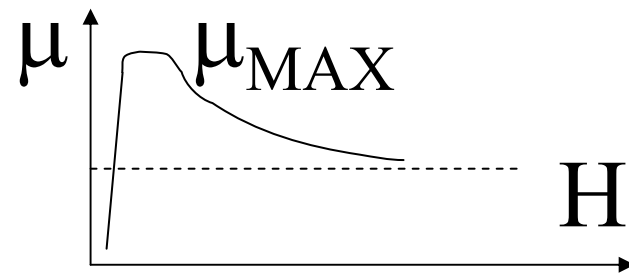


- Mọi chất sắt từ có tính từ dư: $H=0, B_d \neq 0$

B_s Cảm ứng từ bão hoà, H_c Lực khử từ, từ dư B_d , μ_{max} là các đại lượng đặc trưng cơ bản

- **Độ từ thẩm tỷ đối μ** phụ thuộc vào H phức tạp

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{\mu_0 (H + J)}{\mu_0 H} = 1 + \frac{J}{H} \rightarrow 1$$



Các đặc trưng của **sắt từ**

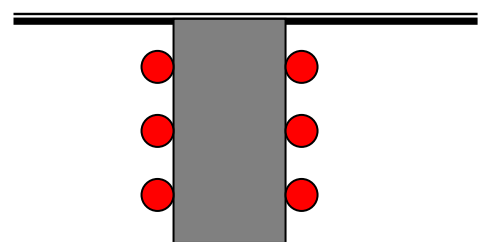
Sắt từ cứng	$B_C = \mu_0 H_C$ Trường khử từ	CU từ dư B_d
FeO, Fe ₂ O ₃	$5 \cdot 10^{-3} T$	0,6T
Thép 1%C	$4 \div 6 \cdot 10^{-3} T$	0,9 ÷ 0,7T

Sắt từ cứng: H_C lớn

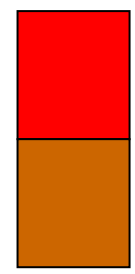
Sắt từ mềm	$B_C = \mu_0 H_C$	CỦ từ dư B_d	μ_{max}
Fe tinh khiết	$2,5 \cdot 10^{-5} T$	0,2T	280000
Fe+4%Si	$3,5 \cdot 10^{-5} T$	0,5T	15000
78%Ni+22%Fe	$6 \cdot 10^{-6} T$	0,5T	80000

• **Nhiệt độ Curi**

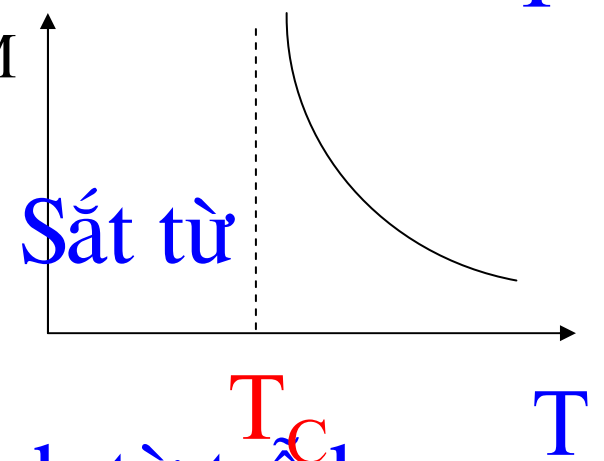
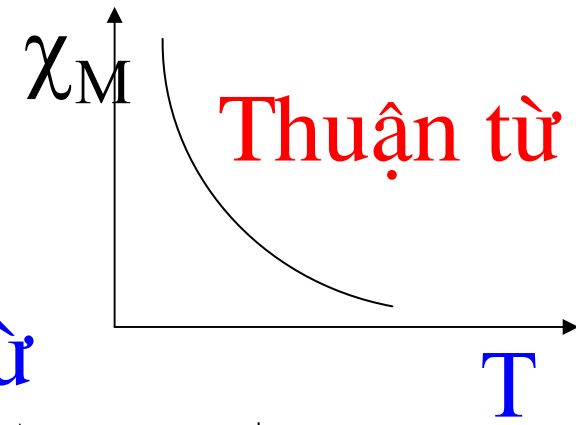
Chất	T_C ($^{\circ}C$)
Fe	770
Co	1127
Ni	357
Tecbi	-43



$T < T_C \Rightarrow$ Sắt từ



$T > T_C \Rightarrow$ Thuận từ



Sắt từ mềm: H_C nhỏ, chu trình từ trễ hẹp

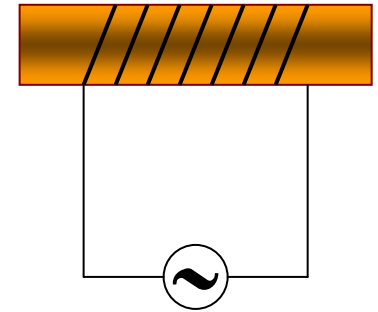
• **Từ giảo:** Khi có từ trường ngoài tác dụng -> Sắt từ biến dạng: $\epsilon_{bd} \sim H$

-> ứng dụng từ giảo để Phát siêu âm công suất lớn: Cho dòng điện xoay chiều trên 20000Hz chạy trong cuộn dây từ hoá sắt từ.

Biến dạng xoay chiều kích động sóng siêu âm.

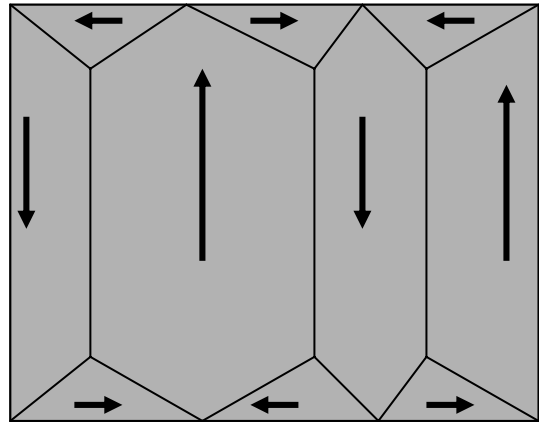
• **Ferrit từ:** Cấu tạo từ các oxýt sắt từ Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , MnO ... Có tính chất như sắt từ, điện trở suất cao

-> Tổn hao ít, dùng trong các biến áp cao tần, Lõi ăng ten

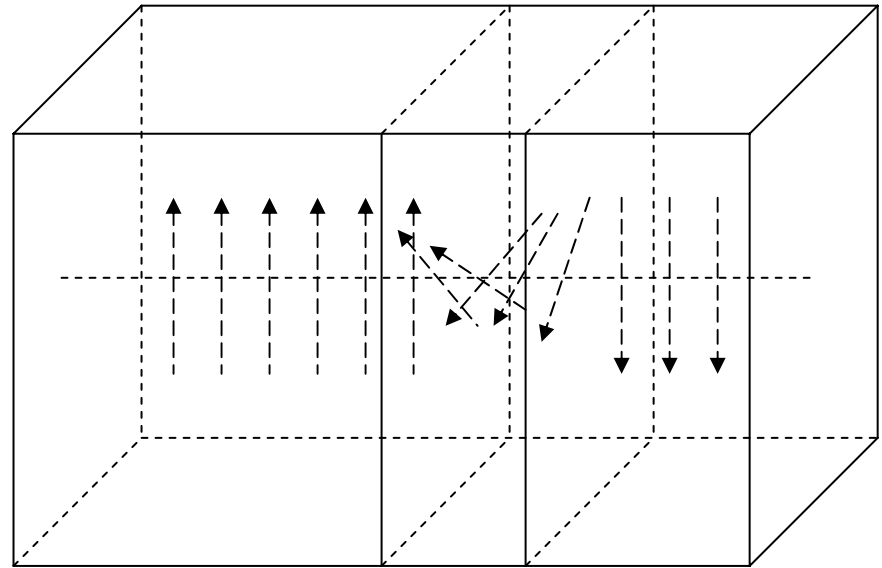


$F > 20000 \text{ Hz}$

Miền từ



Vách miền



B_0

Quay mômen từ độ

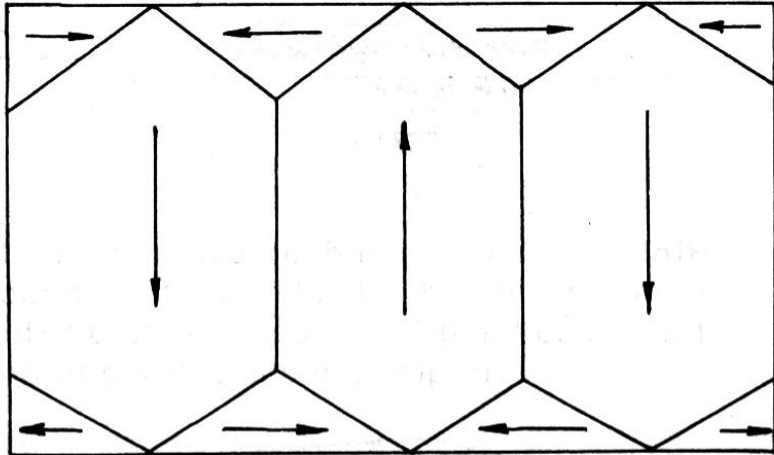
Dịch chuyển vách miền không thuận nghịch

Dịch chuyển vách miền thuận nghịch

B

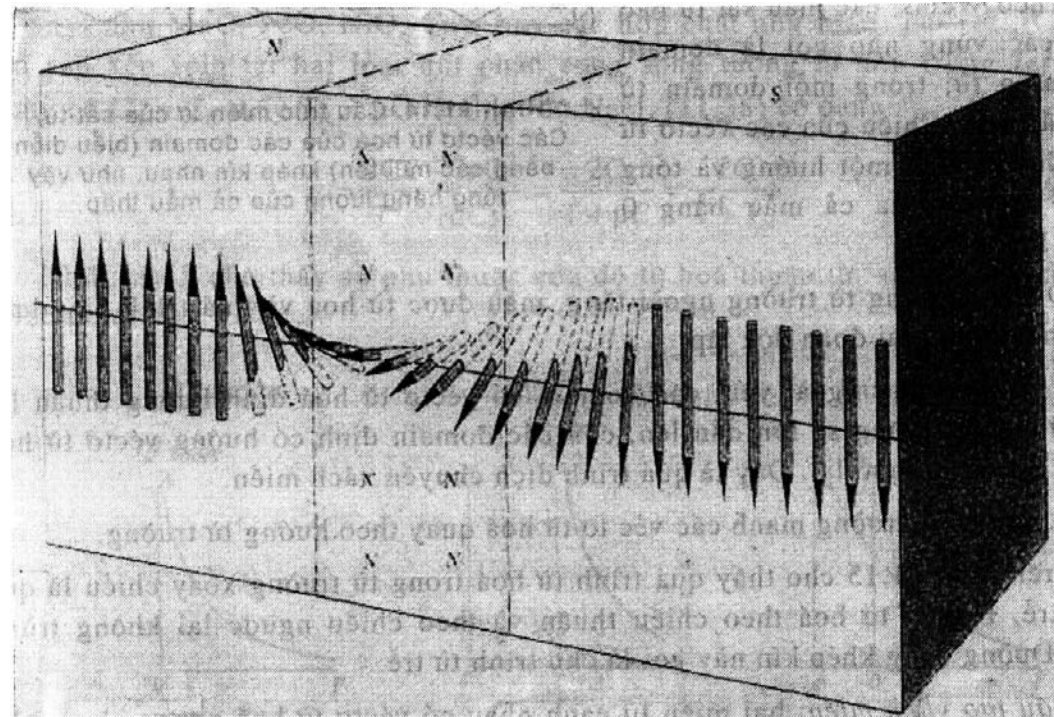
H

Miền từ, cơ chế từ hoá



Hình 11.14. Cấu trúc miền từ của sắt từ. Các vectơ từ hoá của các domain (biểu diễn bằng các mũi tên) khép kín nhau, như vậy tổng năng lượng của cả mẫu thấp.

Vách miền



Hình 11.16. Cấu trúc vách miền Block; vùng chuyển tiếp trong sắt có độ dày cỡ 300 hằng số mạng.