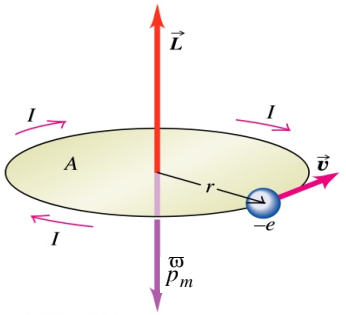
Bài 8

Tính chất từ của chất rắn

Sắt từ

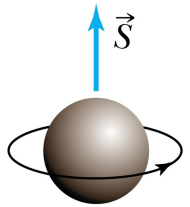
Feri từ

Tính chất từ của các nguyên tử



Mô-men từ quỹ đạo của điện tử p_m trong nguyên tử .

Mô-men từ spin của điện tử trong nguyên tử



Mô-men từ spin của hạt nhân nguyên tử

Mô-men từ tổng cộng của nguyên tử P_J

thành phần chiếu của mô-men từ của nguyên tử lên phương của từ trường ngoài P_{JB} . Có (2J + 1) cách sắp xếp của mô-men từ của nguyên tử trong từ trường ngoài

Magneton Bohr μ_B . Thừa số Landé g

Mô-men từ của nguyên tử

Ba nguồn chính cho mô-men từ của một nguyên tử độc lập:

- spin của electron
- mô-men động lượng quỹ đạo của electron quay quanh hạt nhân
- Sự thay đổi mô-men quỹ đạo trong từ trường ngoài.

Các nguyên tử có các lớp vỏ đầy electron không có mômen từ tổng cộng

Các khí trơ He, Ne, Ar, …

Các phân tử khí H_2, N_2, …

Một số chất rắn liên kết ion NaCl, …

Một số chất rắn đồng hóa trị C, Si, Ge, …

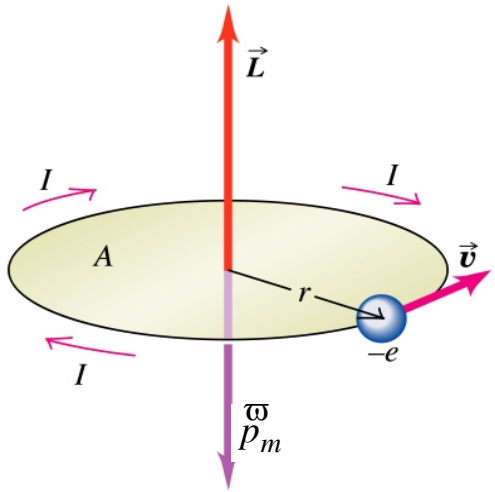
I. Mô-men từ của chất rắn

Xét một chất có thể tích V chứa N nguyên tử . Khi chưa có từ trường ngoài, mô-men từ tổng cộng bằng

$$\vec{\mathcal{M}} = \sum_{k=1}^{N} \vec{p}_{mk}$$

trong đó

$$\vec{p}_m = \sum_{j=1}^{Z} \vec{p}_{mj}$$



là mô-men từ của nguyên tử có Z electron và

$$\vec{p}_m = i\vec{S}$$

là mô-men từ của electron chuyển động trên quỹ đạo.

II. Chất rắn trong từ trường ngoài B_o. Sự từ hóa

Đặt chất rắn vào trong một từ trường ngoài.

- Từ trường ngoài có thể mô tả bởi vec-tơ cảm ứng từ hoặc cường độ từ trường . Trong chân không, giữa hai vec-tơ này có hệ thức

$$\vec{B}_o = \mu_o \vec{H}$$

$\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ T.m/A.

- Từ trường ngoài có tác dụng :

* làm định hướng các mô-men từ của các nguyên tử $\vec{P}_{mk}$ dọc theo phương của từ trường ngoài hoặc

* làm xuất hiện mô-men từ cảm ứng (nếu mô-men từ của các nguyên tử bằng 0 khi không có từ trường ngoài).

⇒ Mô-men từ tổng cộng tăng : Vật chất bị từ hóa và có mô-men từ $\vec{M}$ *dọc theo phương của từ trường ngoài* .

Để đặc trưng cho trạng thái từ hóa của vật chất trong từ trường ngoài, định nghĩa vectơ độ từ hóa

$$\vec{J}_m = \frac{\vec{M}}{V}$$

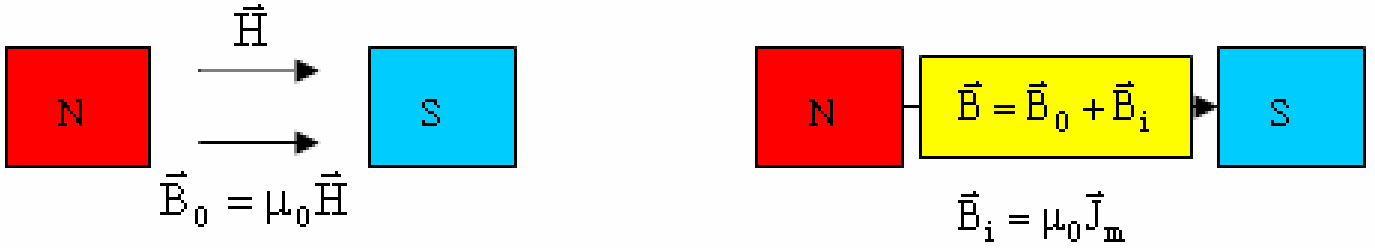
Do có sự từ hóa, bên trong chất rắn xuất hiện từ trường nội $\boldsymbol{B}_i$

Từ trường nội do sự xuất hiện mô-men từ tổng cộng của các nguyên tử khi có $\boldsymbol{B}_o$ hoặc do sự định hướng lại của các mômen từ nguyên tử trong $\boldsymbol{B}_o$.

$$\vec{B}_i = \mu_o \vec{J}_m$$

Khi đó từ trường tổng cộng trong vật liệu

$$\vec{B} = \vec{B}_o + \vec{B}_i$$



$$\vec{B} = \vec{B}_o + \mu_o \vec{J}_m = \mu_o \vec{H} + \mu_o \vec{J}_m$$

$$\vec{B} = \mu_o \mu_r \vec{H}$$

$$\mu_o \mu_r \vec{H} = \mu_o \vec{H} + \mu_o \vec{J}_m = \mu_o \vec{H}(1 + \frac{\vec{J}_m}{\vec{H}})$$

$$\mu_r = 1 + \frac{\vec{J}_m}{\vec{H}} = 1 + \chi$$

$$\chi = \frac{\vec{J}_m}{\vec{H}}$$

được gọi là *độ cảm từ* (magnetic susceptibility) .

μ_r và χ là các đại lượng không có thứ nguyên.

Phân biệt chất nghịch từ, thuận từ và sắt từ theo dấu và độ lớn của χ

Dựa trên phạm vi và bản chất tương tác giữa các electron trong chất rắn và từ trường ngoài, người ta phân chất rắn thành 5 lớp :

Ba lớp - *thuận từ, nghịch từ và phản sắt từ* - gần như không chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, có $|\chi| << 1$.

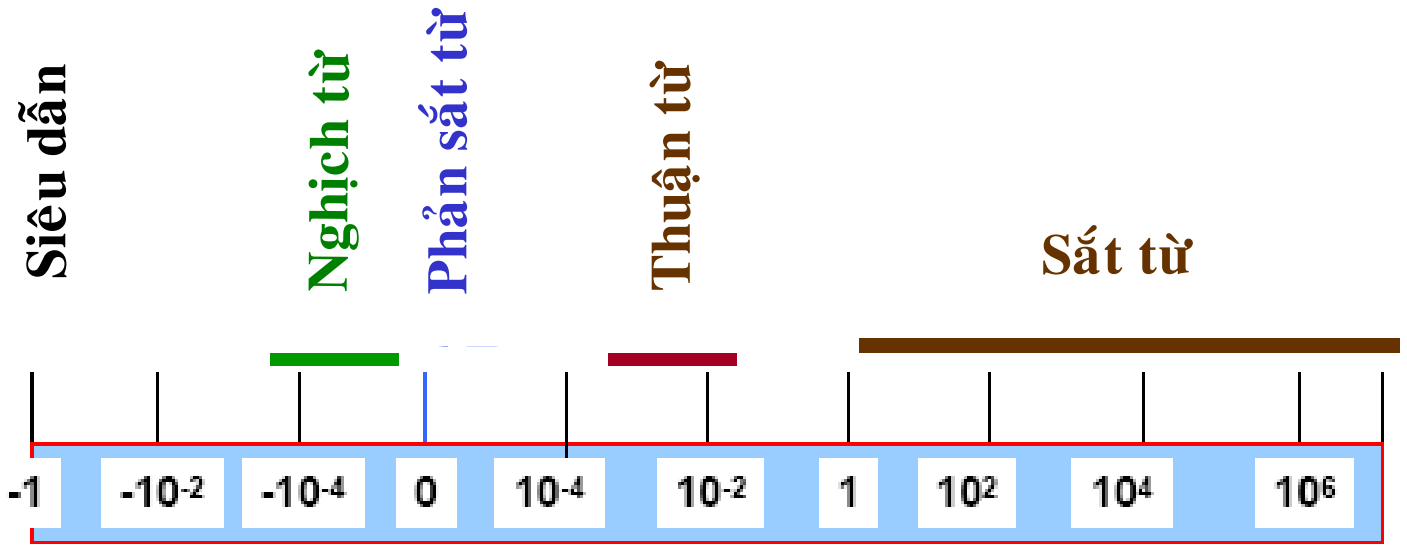
Hai lớp -*sắt từ và ferri-từ* - tác dụng rất mạnh với từ trường ngoài, có $|\chi| >> 1$.

$\chi < 0$ và nhỏ : chất nghịch từ

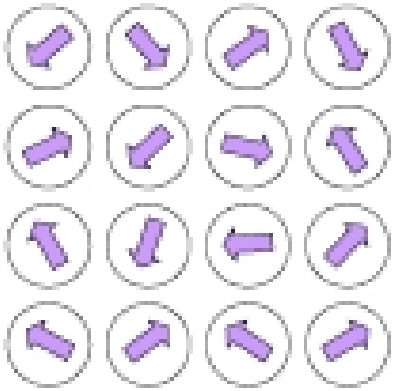
$\chi > 0$ và nhỏ : chất thuận từ

$\chi > 0$ và lớn : chất sắt từ

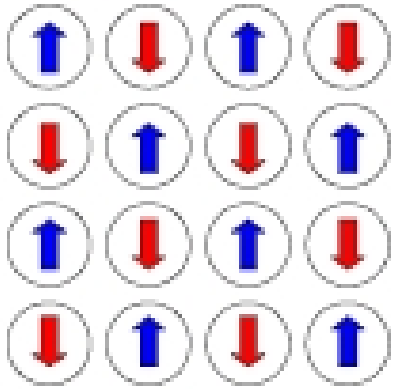
	Chất nghịch từ	Chất thuận từ	Chất sắt từ
Giá trị điển hình của χ_m	$\approx -10^{-5}$	$\approx 10^{-5}$	$\lvert\chi_m\rvert >> 1$
Giá trị điển hình của μ_r	≈ 1	≈ 1	$\lvert\mu_r\rvert >> 1$



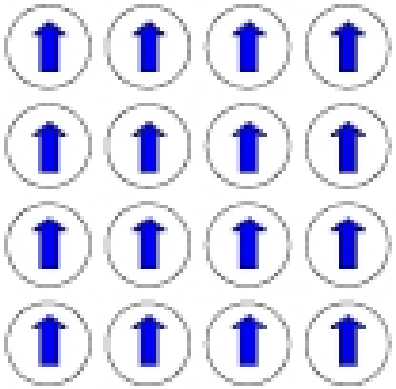
Độ cảm từ , χ



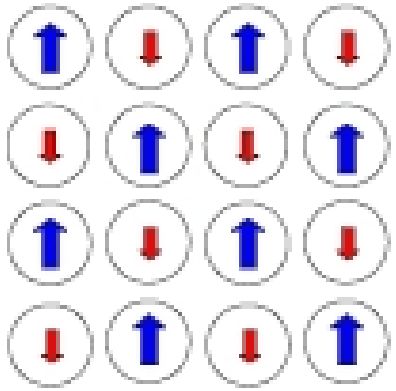
Thuận từ



Phản sắt từ

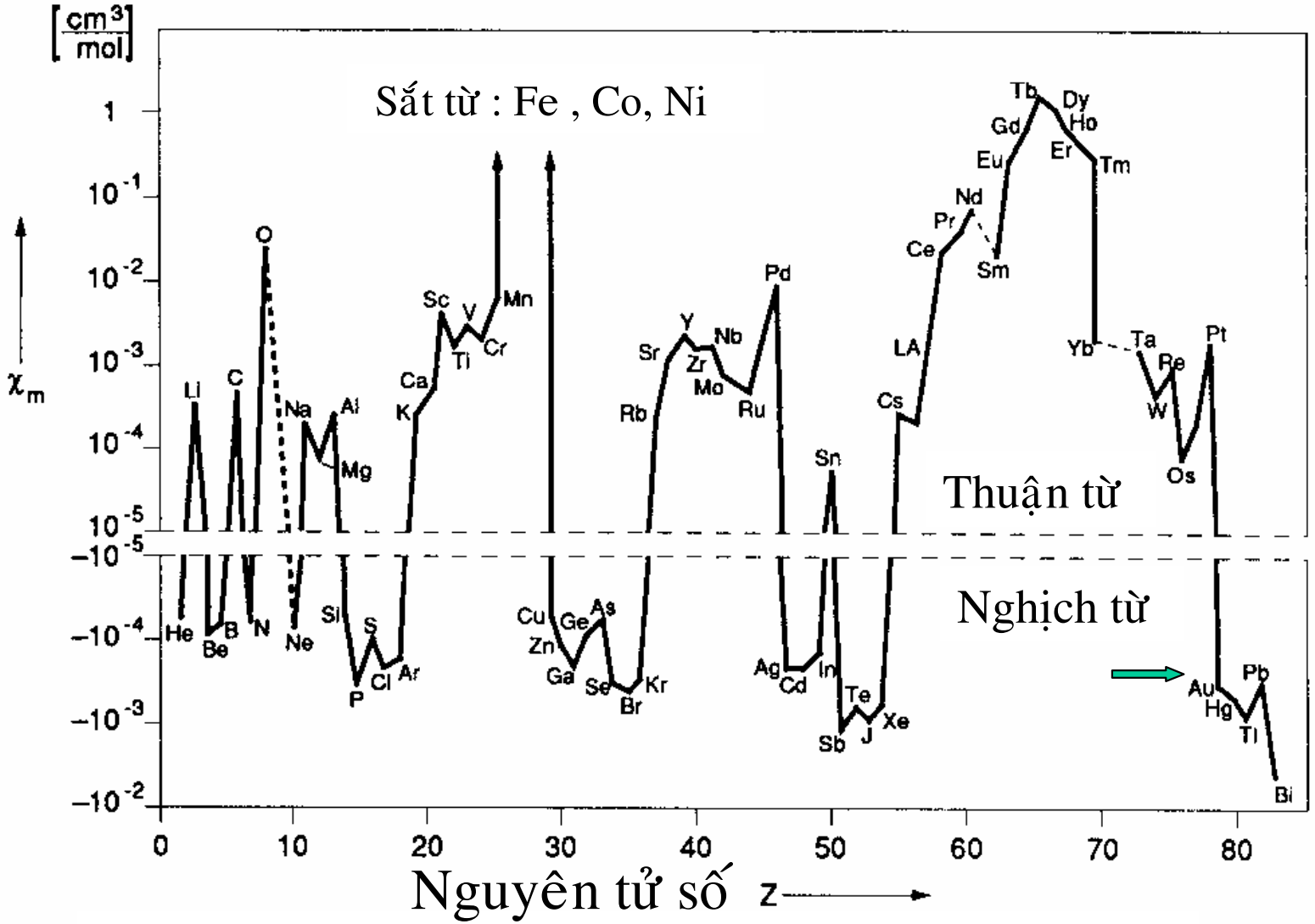


Sắt từ

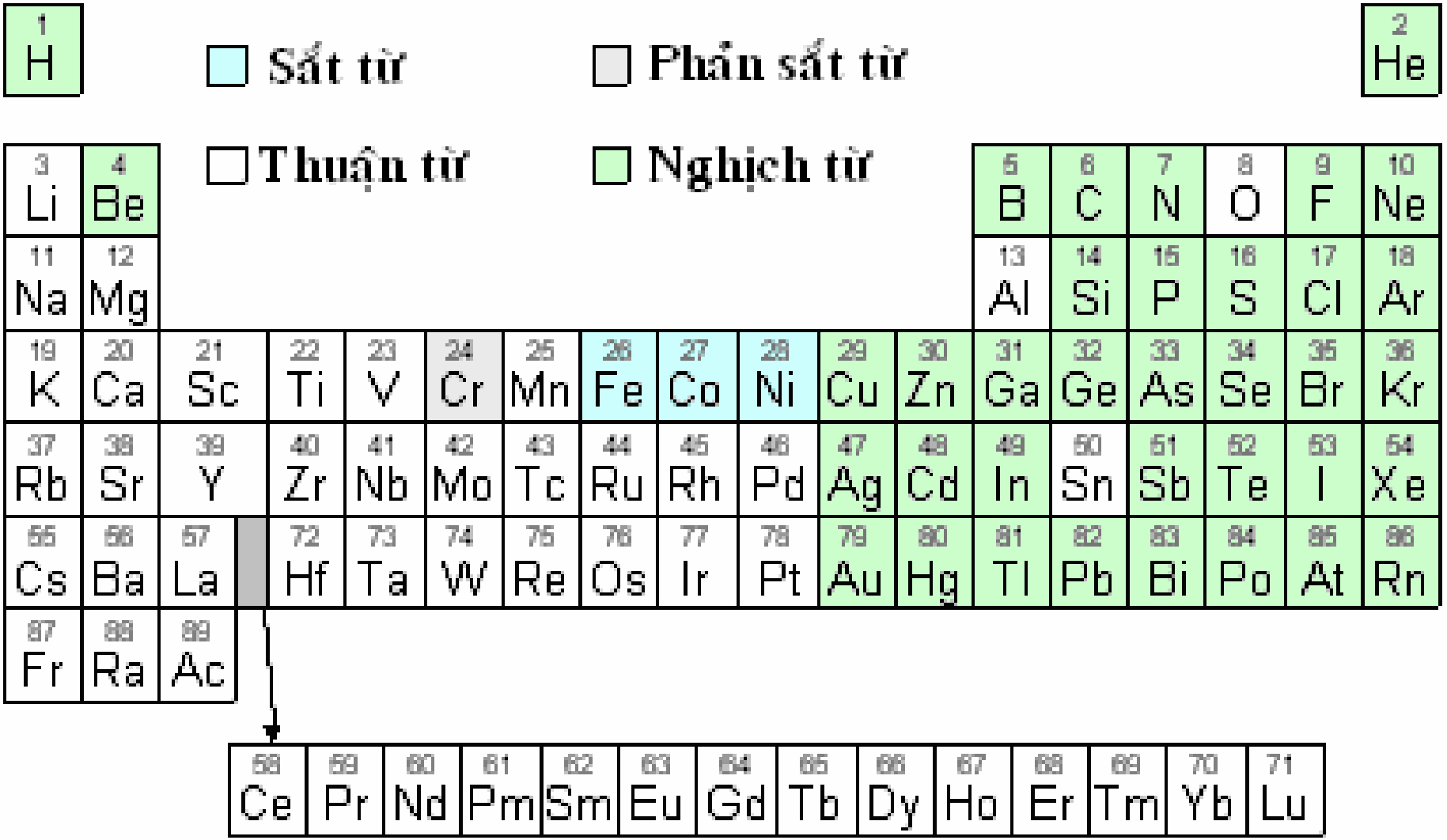


Feri từ

Tính chất từ của các nguyên tố



Tính chất từ của các nguyên tố



Tính chất từ của các nguyên tố

Độ cảm từ

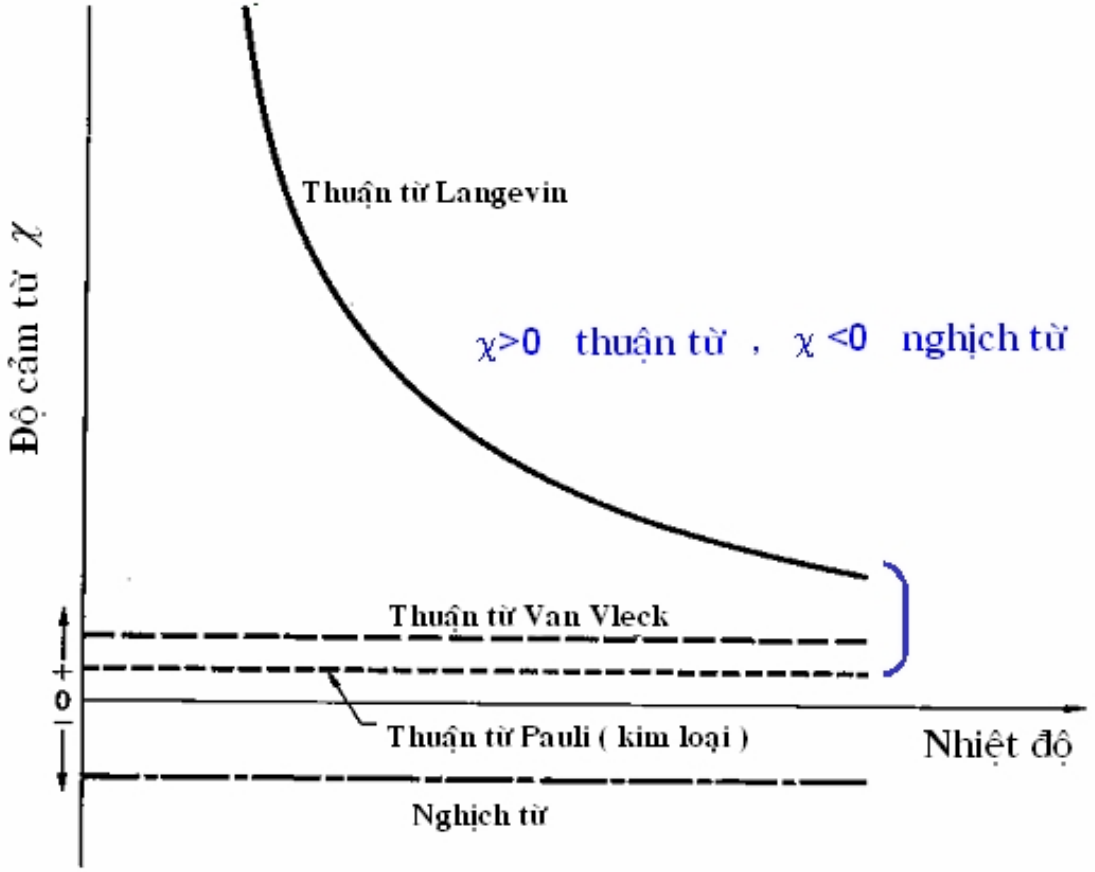
Chất sắt từ

Vật liệu	$\chi = \mu_r - 1$ ($\times 10^{-5}$)
Thuận từ	
Oxid sắt (FeO)	720
Iron amonium alum	66
Uranium	40
Platinum	26
Tungsten	6,8
Cesium	5,1
Aluminum	2,2
Lithium	1,4
Magnesium	1,2
Sodium	0,72
Khí Oxy	0,19

Nghịch từ	
Ammonia	-.26
Bismuth	-16,6
Thủy ngân	-2,9
Bạc	-2,6
C (kim cương)	-2,1
C (graphit)	-1,6
Chì	-1,8
ClNa	-1,4
Đồng	-1,0
Nước	-0,91

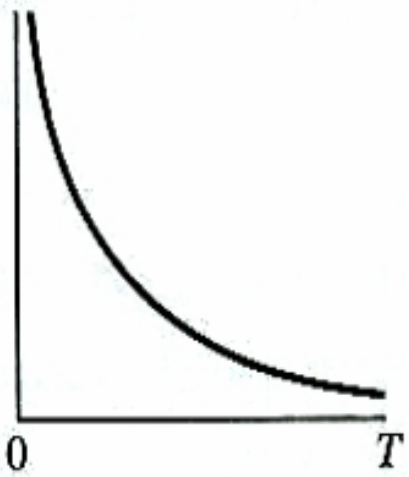
Sự phụ thuộc nhiệt độ của độ cảm từ

1.) Nghịch từ : không phụ thuộc nhiệt độ
2.) Thuận từ : Định luật Curie hoặc Curie-Weiss
3.) Thuận từ Pauli : không phụ thuộc nhiệt độ



Thuận từ

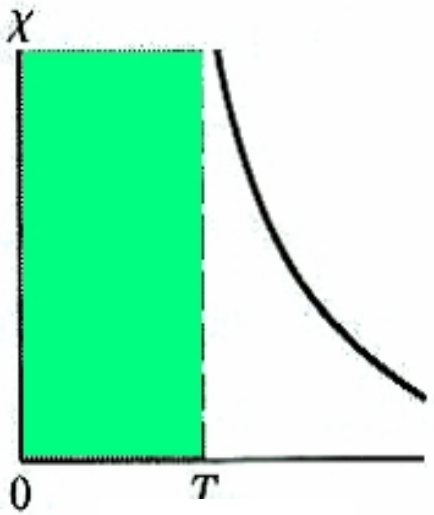
Độ cảm từ χ



$$\chi = \frac{C}{T}$$

Định luật Curie

Sắt từ

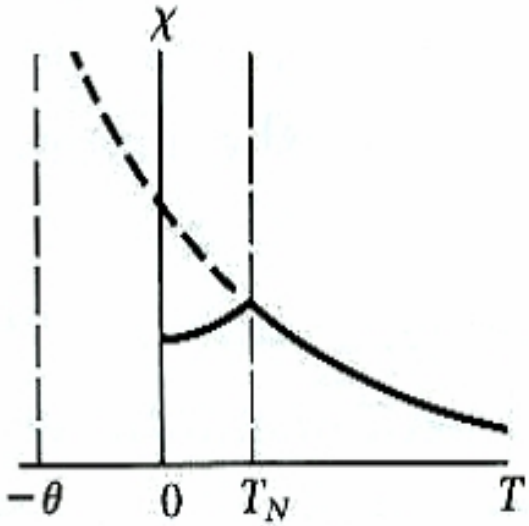


$$\chi = \frac{C}{T-\theta}$$

Định luật Curie-Weiss

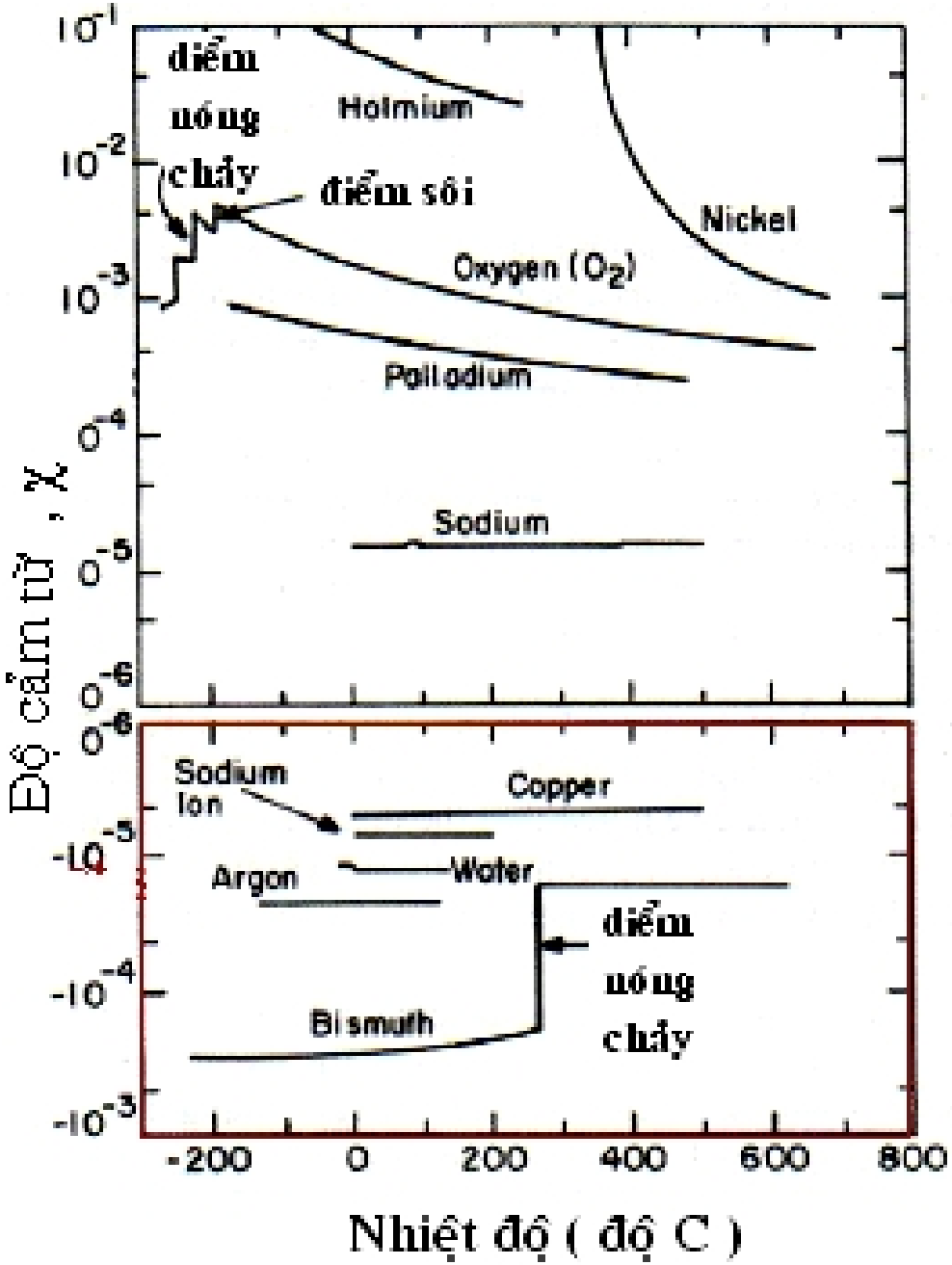
$(T > T_c)$

Phản sắt từ



$$\chi = \frac{C}{T+\theta}$$

$(T > T_N)$

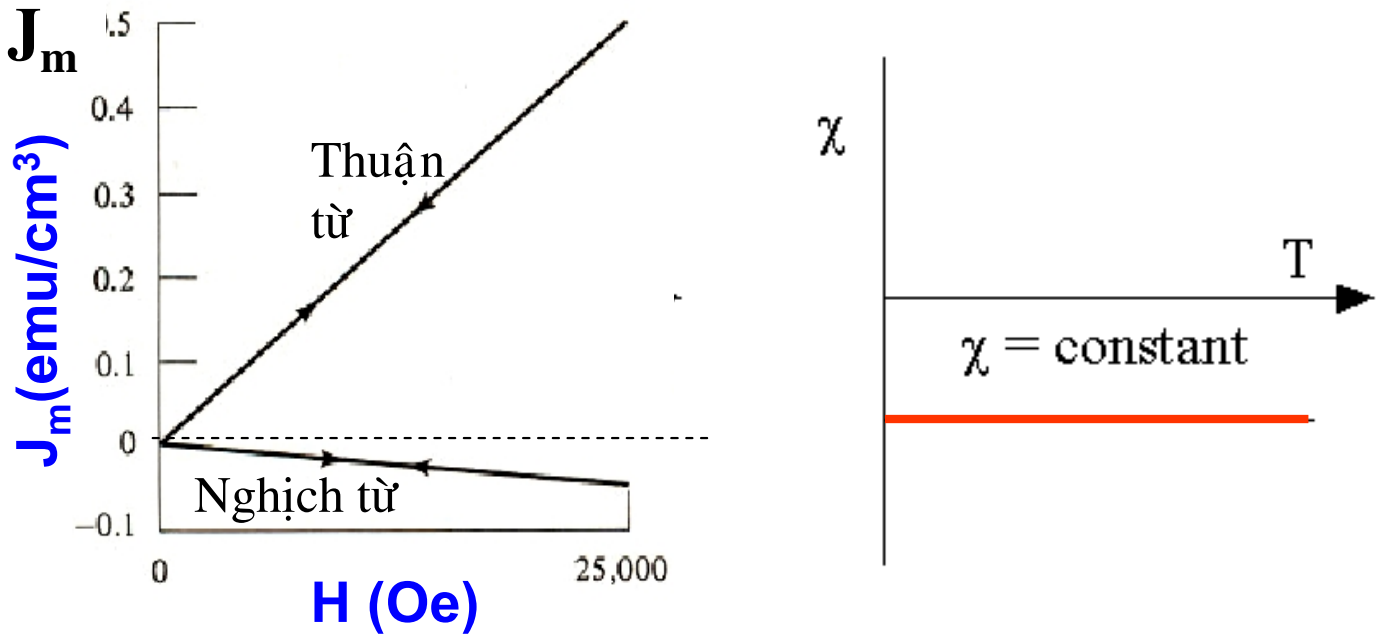

điểm nóng chảy
Holmium
điểm sôi
Nickel
Oxygen (O_2)
Palladium
Sodium
Độ cảm từ , χ
Sodium Ion
Copper
Argon
Water
điểm nóng chảy
Bismuth
-200
0
200
400
600
800
Nhiệt độ (độ C)

III- Hiện tượng nghịch từ

1) Một số tính chất của chất nghịch từ

$$J_m = \chi H$$

χ âm và nhỏ, không phụ thuộc nhiệt độ và H



Các nguyên tử trong chất nghịch từ không có mô-men lưỡng cực từ vĩnh cửu .

- Tính nghịch từ là đặc trưng cho các nguyên tố và hợp chất trong đó tất cả các electron của chúng đều có đôi.

- Nếu chỉ có 1 electron trên quỹ đạo, chuyển động của nó gây ra dòng điện kín và do đó tạo ra một từ trường. Khi 2 electrons có đôi với spin ngược nhau : từ trường sinh ra bởi 1 electron bị triệt bởi từ trường do electron kia. Do đó khi tất cả các electron của nguyên tử đều có đôi sẽ không có từ trường tổng cộng.

Khi đặt vật liệu đó vào trong từ trường , nó bị đẩy.

- Tất cả các chất đều thể hiện tính nghịch từ ở một mức độ nào đó. Tuy nhiên hiện tượng này trong nhiều vật liệu thường bị che lấp bởi các tính chất từ khác.

2) Nghịch từ của gốc nguyên tử

Hiện tượng nghịch từ xuất hiện do sự thay đổi của chuyển động quỹ đạo của các electron dưới tác dụng của từ trường ngoài. Mọi chất đều có hiện tượng nghịch từ nhưng thường bị che lấp bởi các hiện tượng thuận từ hay sắt từ mạnh hơn. Vì vậy, hiện tượng nghịch từ thường được phát hiện trong các chất có mô-men từ của nguyên tử bằng 0.

1. Sự tiến động của quỹ đạo electron trong từ trường ngoài

· khi không có từ trường ngoài, electron chuyển động trên quỹ đạo dưới tác dụng của lực hướng tâm

$$F_{ht} = m\frac{v_o^2}{r} = m\omega_o^2 r$$

· Trong từ trường ngoài, khi chuyển động trên quỹ đạo, ngoài lực hướng tâm , electron còn chịu tác dụng của lực Lorentz

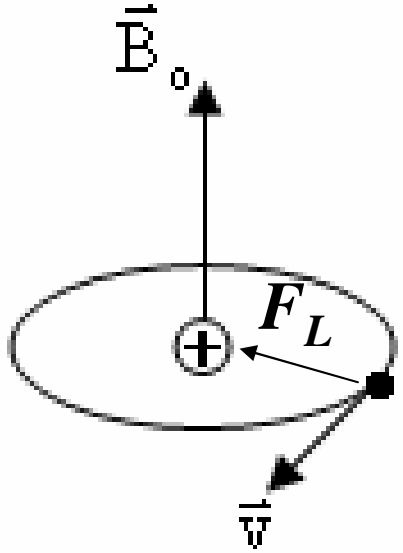
$$\vec{F}_L = e[\vec{v} \times \vec{B}]$$

Xét chuyển động của electron trên quỹ đạo trong hai trường hợp sau :

a) $\boldsymbol{B_o}$ vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo.

Lực Lorentz $F_L = ev_0B_0$ tác dụng lên electron hướng theo bán kính của quỹ đạo.

Xác định chiều của lực $\vec{F}_B = e[\vec{v} \times \vec{B}]$



* **bằng quy tắc bàn tay trái**

* **bằng quy tắc vặn nút chai**
(xiết ốc)

Lực hướng tâm bằng tổng $F = F_{ht} + F_L$

hay $m\omega^2 r = m\omega_0^2 r + e\omega_0 r B_0$.

Suy ra

$$mr(\omega^2 - \omega_0^2) = mr(\omega-\omega_0)(\omega + \omega_0) + e\omega_0 r B_0 \approx 2mr\omega_0\omega_L = e\omega_0 r B_0$$

$$\omega_L = (\omega - \omega_o) = \frac{e}{2m} B_o$$

được gọi là *tần số Larmor*.

- Từ trường làm thay đổi tần số quay của electron trên quỹ đạo.
- Tần số Larmor như nhau cho mọi electron không phụ thuộc vào bán kính của quỹ đạo và vận tốc chuyển động của chúng.

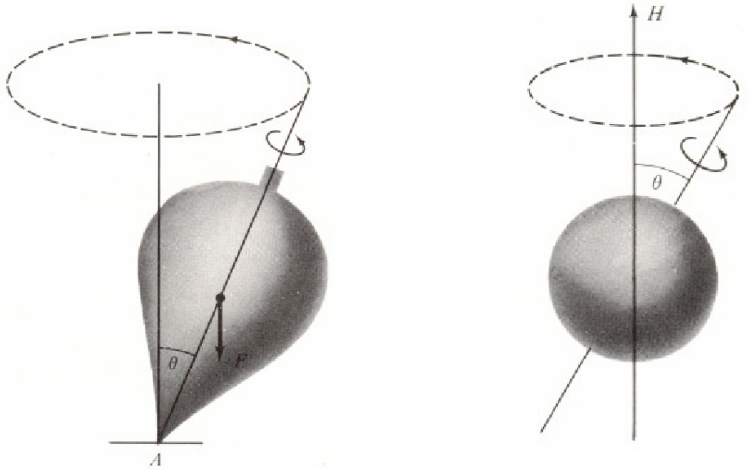
***B*$_o$** không vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo.

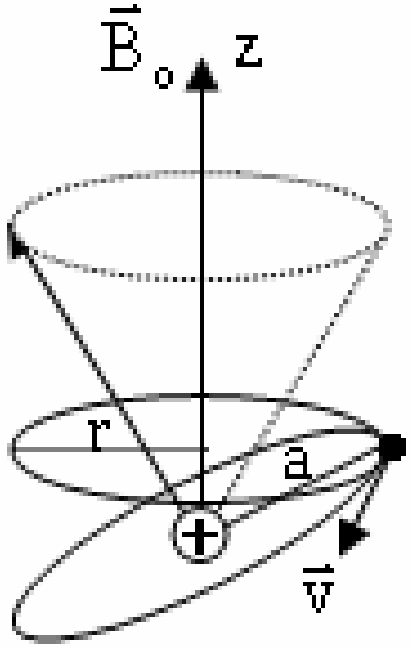
Từ trường làm cho quỹ đạo chuyển động tiến động quanh từ trường

Pháp tuyến của mặt phẳng quỹ đạo vạch một mặt nón quanh từ trường.

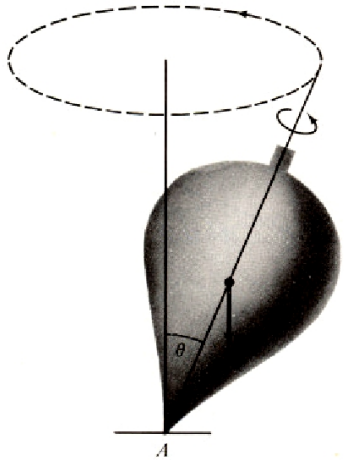
Tính toán cho thấy, tần số góc của chuyển động tiến động đó cũng bằng tần số Larmor.

→ Sự tiến động của quỹ đạo electron làm xuất hiện một thành phần chuyển động của electron vuông góc với từ trường với tần số ω_L.



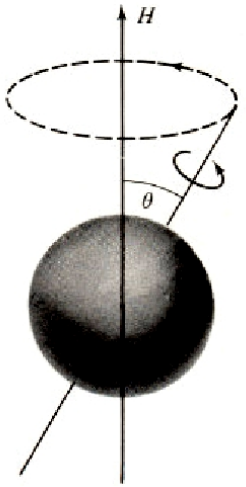


$$\vec{\tau} = \vec{r} \times m\vec{g} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$



Sự tiến động của con quay trong trọng trường

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{H}$$



Sự tiến động của mô-men từ quanh từ trường ngoài H,

- Nếu là nguyên tử riêng biệt thì khi tăng H chỉ làm tăng tốc độ tiến động nhưng không làm thay đổi góc θ.

- Với hệ gồm nhiều nguyên tử dao động nhiệt , có sự trao đổi nhiệt giữa các nguyên tử. Khi có từ trường ngoài H, dao động nhiệt ảnh hưởng đến chuyển động tiến động làm cho giá trị của θ của các nguyên tử hơi bị giảm đến 1 giá trị tương ứng với từ trường và nhiệt độ cho trước.

2. Tính độ từ hóa và độ cảm từ χ

Dưới tác dụng của từ trường ngoài, vật liệu bị từ hóa.

Theo định nghĩa

$$\vec{J}_m = \frac{\vec{M}}{V}$$

trong đó $M = P_{1mB} + P_{2mB} + \ldots + P_{NmB} =$

$$= N\frac{P_{1mB} + P_{2mB} + \ldots + P_{NmB}}{N} = N\overline{P}_{mB} = ZN\overline{p}_m$$

N là số nguyên tử có trong thể tích V, Z là số electron của một nguyên tử.

Trước hết, tính mô-men từ trung bình $\overline{p}_m$ của một electron trong trường hợp đang xét.

Dưới tác dụng của từ trường, chuyển động tiến động nói trên dẫn đến dòng điện kín

$$i = -e\nu_L = -e\frac{\omega_L}{2\pi} = -\frac{e^2}{4\pi m}B_o$$

Dòng này sinh ra mô-men từ

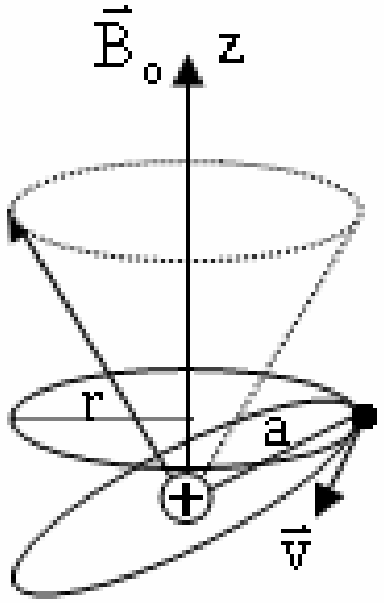
$$p_m = iS = -\frac{e^2 S}{4\pi m}B_o$$

trong đó S là diện tích của vòng tiến động của electron quanh từ trường

$$S = \pi r^2 = \pi (x^2 + y^2)$$

Mô-men từ trung bình của electron

$$\overline{p}_m = -\frac{e^2\pi(\overline{x}^2 + \overline{y}^2)}{4\pi m} B_o$$



Nếu sự phân bố của electron trong nguyên tử có tính đối xứng cầu thì

$$\overline{x}^2 = \overline{y}^2 = \overline{z}^2 = \frac{a^2}{3}$$

trong đó a là giá trị trung bình của khoảng cách từ electron đến tâm nguyên tử

$$\overline{p}_m = -\frac{e^2}{4m}\frac{2}{3}a^2 B_o = -\frac{e^2 a^2}{6m} B_o$$

Độ từ hóa của mẫu

$$J_m = nZ\overline{p}_m = -\frac{nZe^2a^2}{6m}B_o$$

$$\chi = \frac{J_m}{H} = -\frac{nZe^2a^2}{6m}\mu_o$$

Với $a \approx 10^{-10}$ m , $n \approx 5.10^{28}$ m^{-3} , ta tính được $\chi \approx -10^{-6}$ Z

Kết quả tính toán phù hợp với thực nghiệm về độ lớn và dấu. Độ cảm từ không phụ thuộc nhiệt độ và từ trường H và tỷ lệ với số electron Z có trong một nguyên tử .

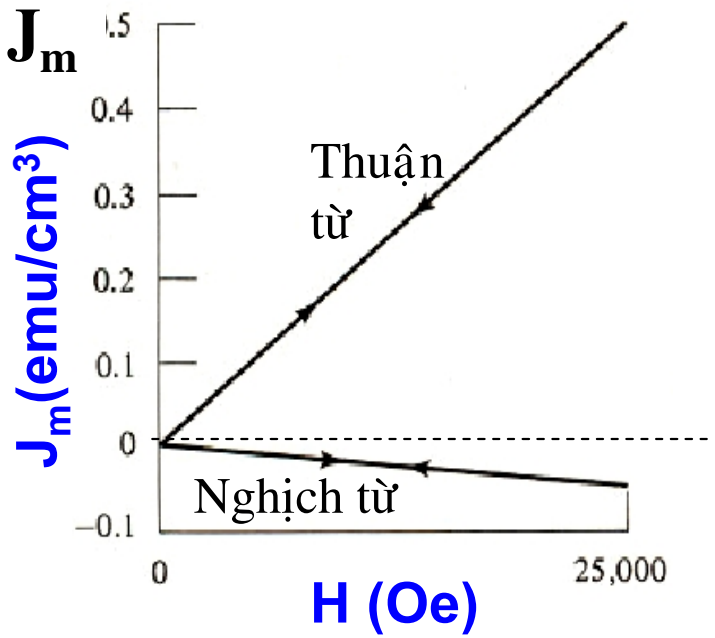
- Chất siêu dẫn là chất nghịch từ lý tưởng : $\chi = -1$
- Hiệu ứng Meissner

IV- Hiện tượng thuận từ

1) *Một số tính chất của chất thuận từ*

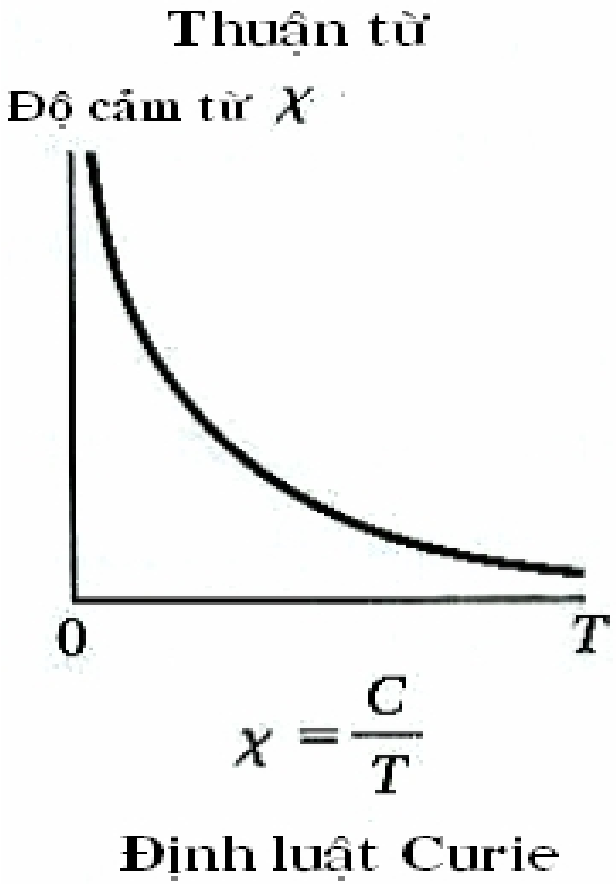
* χ dương và nhỏ

* từ trường ngoài yếu và nhiệt độ cao : $\mathbf{B_i}$ phụ thuộc tuyến tính vào $\mathbf{B_o}$



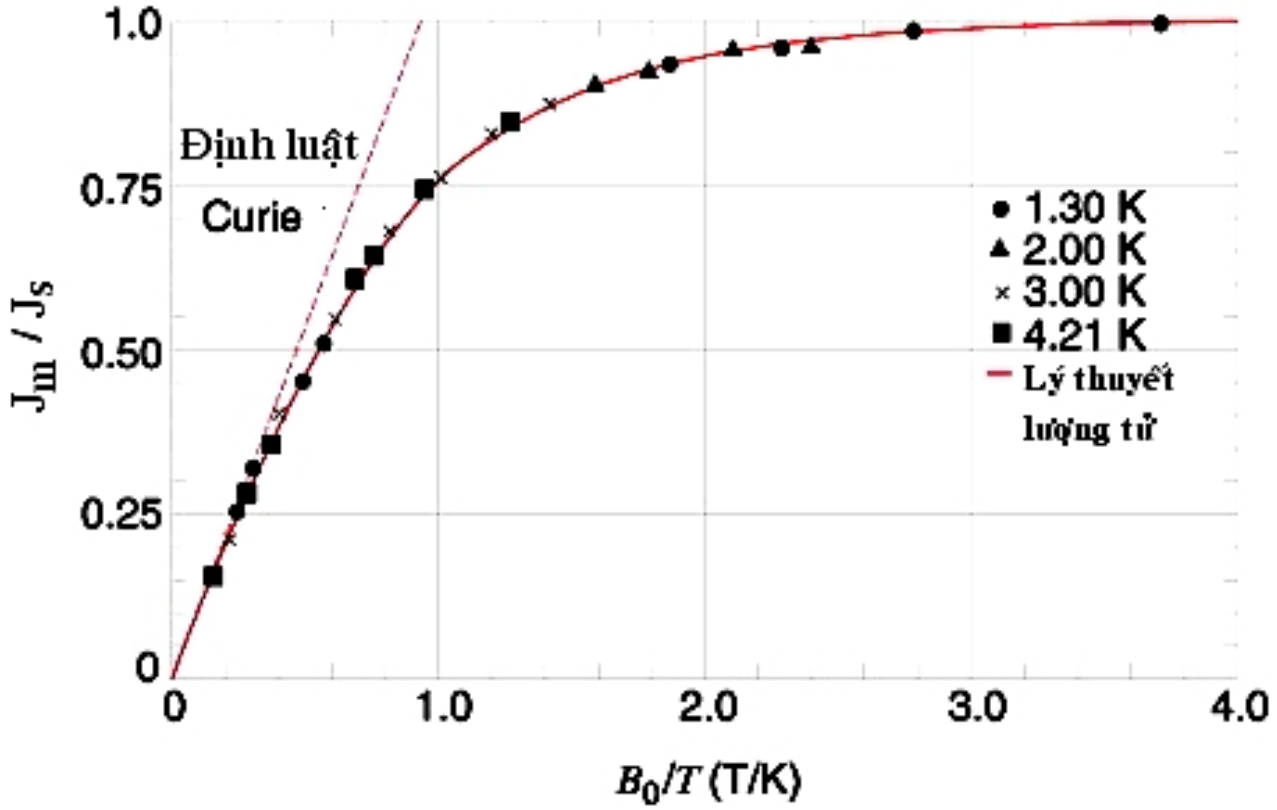
Vật liệu thuận từ

* χ phụ thuộc nhiệt độ : Định luật Curie $\chi = \frac{C}{T}$



Vật liệu thuận từ

* từ trường ngoài mạnh và nhiệt độ thấp : đường phụ thuộc của $\mathbf{B_i}$ vào $\mathbf{B_o}$ tiệm cận đến giá trị bão hòa $\mathbf{B_s}$.



Đường cong từ hóa của chất thuận từ

Khác với các chất nghịch từ, các chất thuận từ thường là các chất hoặc hợp chất có các electron chưa có đôi.

Nhiều hợp chất chứa sắt, palladium, platinum, và các nguyên tố đất hiếm có các electron không có đôi tạo ra một từ trường nhỏ nào đó.

Trong các trường hợp này, nguyên tử như một nam châm vĩnh cửu nhỏ . Nếu một chất chứa các nguyên tử như vậy được đặt vào trong từ trường ngoài , trường của các nguyên tử được định hướng theo từ trường ngoài .

2) *Thuận từ của các gốc nguyên tử*

1. Lý thuyết thuận từ cổ điển của Langevin

•***Cơ sở lý thuyết***.

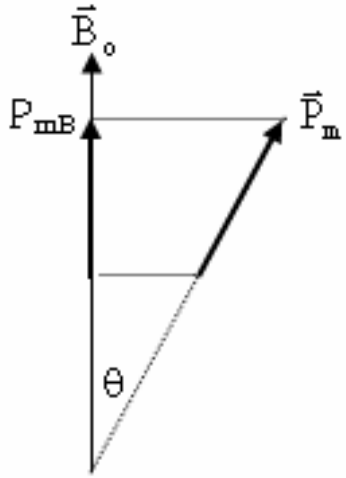
- Các nguyên tử của chất thuận từ có mô-men từ P_m không đổi (được xem là các lưỡng cực từ không đổi).

•Tương tác giữa các lưỡng từ đó rất yếu, có thể bỏ qua.

- Lưỡng cực từ trong từ trường $\mathbf{B_o}$ có thế năng

$$W_m = -\mathbf{P_m B_o} . = -P_m.B_0.\cos\theta$$

trong đó θ là góc giữa 2 vectơ $\mathbf{P_m}$ và $\mathbf{B_o}$.



W_m cực tiểu khi θ = 0 : lưỡng cực từ định hướng theo từ trường.

- Năng lượng của hệ sẽ thấp nhất khi tất cả các mô-men từ đều định hướng theo từ trường ngoài.

- Từ trường ngoài có xu hướng hướng các lưỡng cực từ theo chiều của từ trường.

- Trên thực tế, do chuyển động nhiệt của các nguyên tử, bao giờ cũng có một số lưỡng cực bị lệch khỏi chiều của từ trường.

- Mô-men từ tổng cộng của chất rắn bằng tổng các thành phần chiếu của mô-men từ của các nguyên tử lên chiều của từ trường ngoài : $M = P_{m1B} + P_{m2B} + \ldots\ldots + P_{mNB} = NP_{mB}$

trong đó thành phần chiếu lên từ trường bằng

$$P_{mB} = P_m.\cos\theta$$

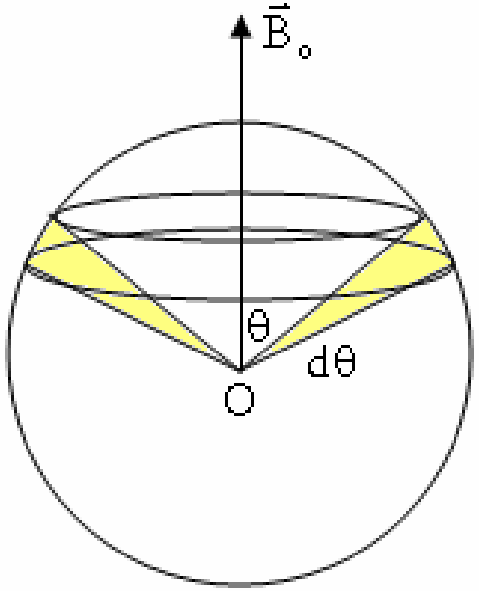
⇒ Bài toán tính độ từ hóa của chất rắn dẫn đến việc tính giá trị trung bình của mô-men từ tổng cộng của các nguyên tử *dọc theo phương của từ trường ngoài* P_{mB} khi có sự cân bằng giữa tác dụng định hướng của từ trường sự phá vỡ sự định hướng đó do chuyển động nhiệt của các nguyên tử .

Langevin đã giải bài toán này theo phương pháp thống kê cổ điển.

Theo đó, $\mathbf{P_m}$ có thể định hướng một cách tùy ý trong từ trường, nghĩa là góc θ có thể lấy mọi giá trị.

Xác suất để cho lưỡng cực từ định hướng (so với chiều của từ trường) dưới các góc nằm giữa θ và θ + dθ (trong góc khối dΩ) hay xác suất để lưỡng cực có năng lượng W_m trong từ trường được xác định bằng hàm phân bố Boltzmann

$$\omega = A\,exp - \frac{W_m}{kT} d\Omega = A\,exp \frac{P_m B_o \cos\theta}{kT} d\Omega$$



trong đó A là một hằng số và

$$d\Omega = 2\pi.\sin\theta.d\theta$$

$$\omega = C\,exp \frac{P_m B_o \cos\theta}{kT} \sin\theta d\theta$$

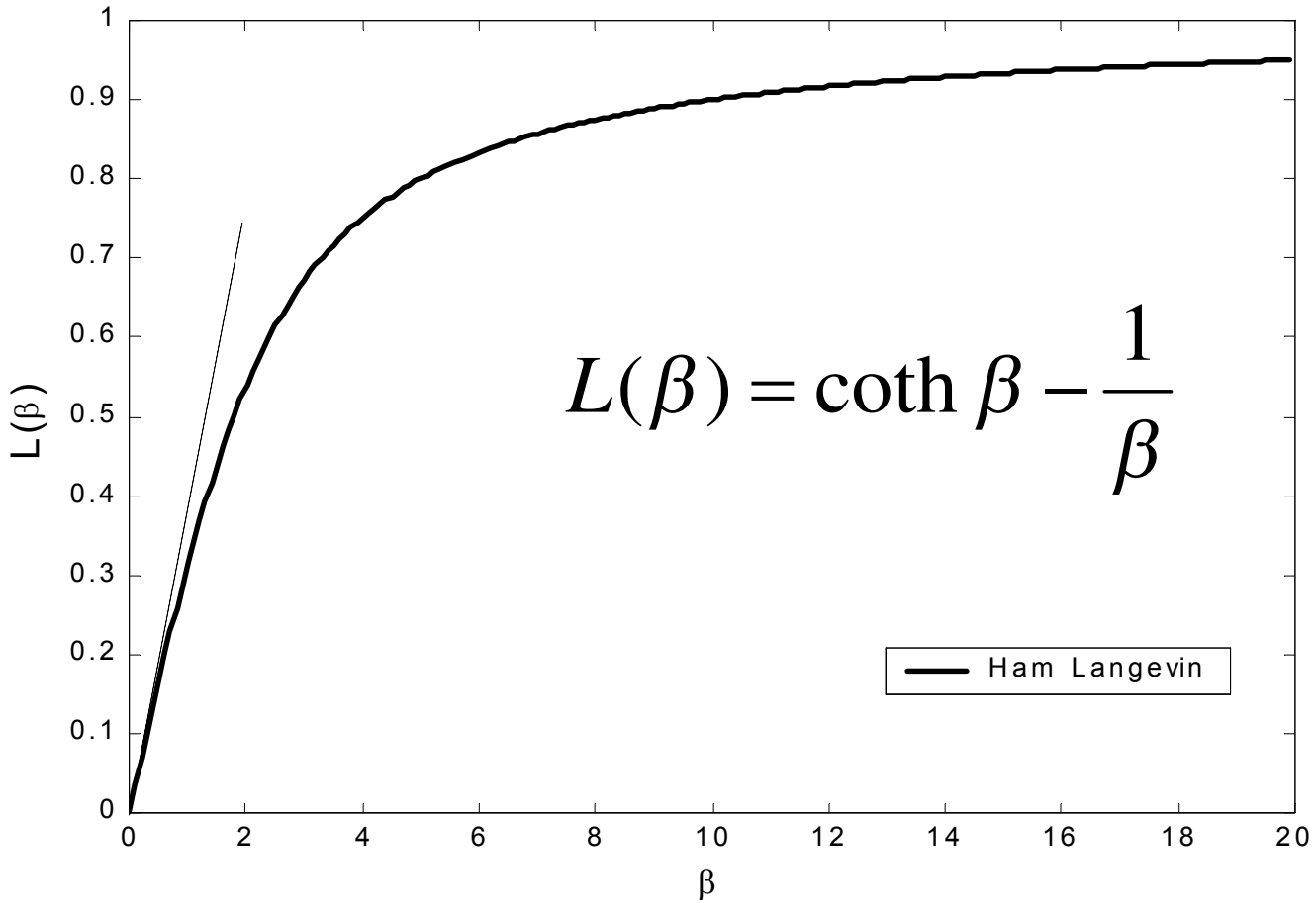
* tính giá trị trung bình

$$\overline{P}_{mB} = \overline{P_m \cos\theta} = P_m \frac{\int_0^{\pi} \cos\theta \exp\frac{P_m B_o \cos\theta}{kT} \sin\theta d\theta}{\int_0^{\pi} \exp\frac{P_m B_o \cos\theta}{kT} \sin\theta d\theta}$$

Đặt X = cosθ và $\beta = \frac{P_m B_o}{kT}$

Hàm Langevin $L(\beta) = \coth\beta - \frac{1}{\beta}$

$$coth\,\beta = \frac{e^{\beta} + e^{-\beta}}{e^{\beta} - e^{-\beta}} = \frac{1}{\beta} + \frac{\beta}{3} - \frac{\beta^2}{45} + \ldots$$



Đường biểu diễn của hàm Langevin L(β)

* Tính

$$J_m = n\overline{P}_{mB} = nP_m L(\beta)$$

$$\chi = \frac{J_m}{H} = \frac{nP_m L(\beta)}{H}$$

· Trường hợp từ trường yếu và nhiệt độ cao : $\beta << 1$,

$$L(\beta) \approx \frac{\beta}{3} = \frac{P_m B_o}{3kT} = \frac{P_m \mu_o H}{3kT}$$

$$\chi = \frac{n\mu_o P_m^2}{3kT}$$ không phụ thuộc H

Với các nguyên tử, $P_m \approx \mu_B = 9{,}2.10^{-24}$ J/Tesla

$P_m B_0 = 9{,}2.10^{-24}.4\pi.10^{-7}.10^6$

$kT = 3.10^{-21}$ J (ở nhiệt độ phòng)

Suy ra

$$\beta = \frac{P_m B_o}{kT} = \frac{10^{-23} J}{3.10^{-21} J} << 1$$

nghĩa là giả thiết $\beta << 1$ nói trên được thỏa mãn trên thực tế.

Với các số liệu trên , tính được $\chi \approx 354.10^{-6}$ vào cỡ độ lớn đo được bằng thực nghiệm

Từ $$\chi = \frac{n\mu_o P_m^2}{3kT}$$

χ phụ thuộc nhiệt độ T theo dạng $$\chi = \frac{C}{T}$$

trong đó hằng số $$C = \frac{n\mu_o P_m^2}{3k}$$

· Trường hợp từ trường mạnh và nhiệt độ thấp :

$\beta \to \infty$, $L(\beta) \to 1$

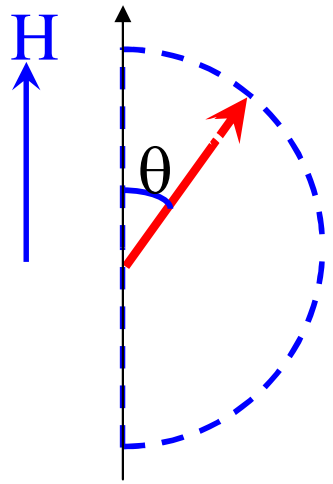
$$J_m = nP_m = J_s$$

Mô-men từ của tất cả các nguyên tử đều định hướng theo từ trường ngoài.

2. Lý thuyết lượng tử

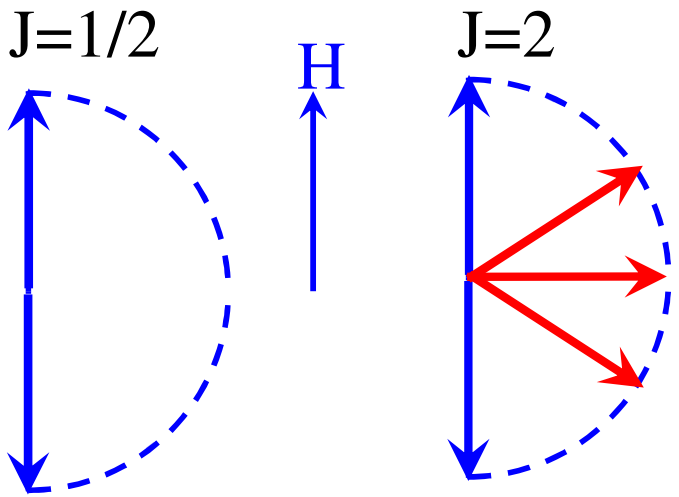
Giả thuyết quan trọng của lý thuyết lượng tử : **năng lượng của một hệ là gián đoạn.**

L T Cổ điển



θ thay đổi liên tục

L T Lượng tử



θ có giá trị gián đoạn xác định.

Lượng tử hóa không gian

* Tính giá trị trung bình của mô-men từ tổng cộng của nguyên tử (theo 2J+1 cách sắp xếp) dọc theo phương của từ trường ngoài P_{JB}

Xác suất của mỗi cách định hướng đó được xác định bởi hàm phân bố Boltzmann

$$\omega = C \exp \frac{P_{JB} B_o}{kT}$$

$$\overline{P}_{JB} = \frac{\sum_{m_J=-J}^{J} P_{JB} \, exp \frac{P_{JB} B_0}{kT}}{\sum_{m_J=-J}^{J} exp \frac{P_{JB} B_0}{kT}} = g J \mu_B B_J(\beta)$$

trong đó $$\beta = \frac{g J \mu_B B_o}{kT}$$

Hàm Brillouin : $B_J(\beta) = (\frac{2J+1}{2J})\coth(\frac{2J+1}{2J})\beta - \frac{1}{2J}\coth(\frac{1}{2J})\beta$

* Tính $$J_m = n\overline{P}_{JB} = ngJ\mu_B B_J(\beta)$$

$$\chi = \frac{J_m}{H} = \frac{ngJ\mu_0\mu_B}{B_0} B_J(\beta)$$

Trường hợp từ trường yếu và nhiệt độ cao : $\beta << 1$, khai triển hàm $B_J(\beta)$ cho

$$B_J(\beta) \approx \frac{J+1}{3J}\beta$$

$$\chi = \frac{ngJ\mu_0\mu_B}{B_0}\frac{J+1}{3J}\frac{Jg\mu_B B_0}{kT}$$

$$\chi = \frac{ng^2\mu_B^2 J(J+1)\mu_0}{3kT}$$

không phụ thuộc H và phụ thuộc nhiệt độ T theo dạng $\chi = \frac{C}{T}$

với $$C = \frac{ng^2\mu_B^2 J(J+1)\mu_0}{3k}$$

· Trường hợp từ trường mạnh và nhiệt độ thấp :

$$\beta \to \infty \text{ , } B_J(\beta) \to 1.$$

Sự từ hóa đạt trạng thái bão hòa

$$\boldsymbol{J_s = n\, g\, J\, \mu_B}$$

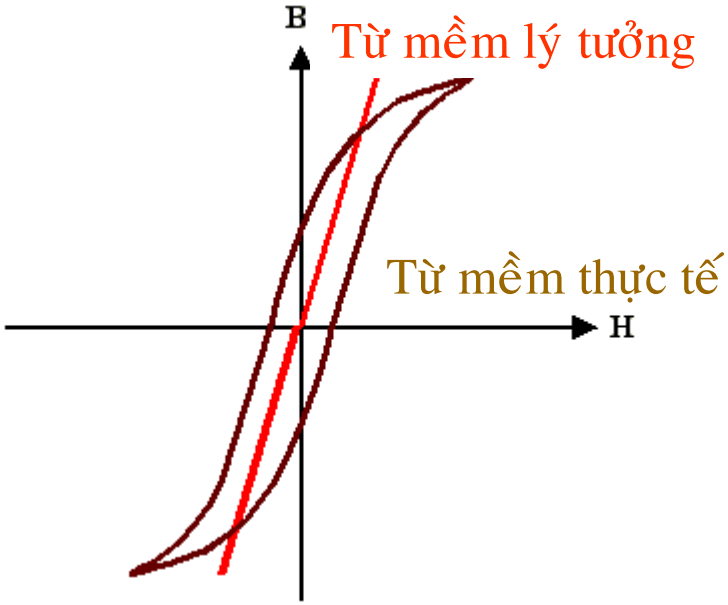
V- Hiện tượng sắt từ

1) *Một số tính chất của chất sắt từ*

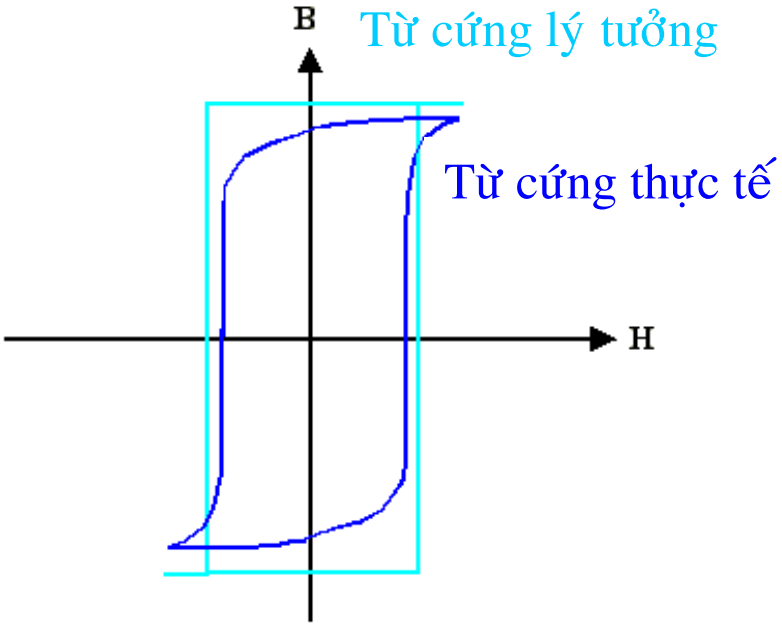
* χ dương và lớn.

- Khác biệt quan trọng nhất giữa sắt từ và thuận từ hay nghịch từ là cường độ tương tác giữa các mô-men từ nguyên tử lân cận. Trong khi các mô-men từ gần như độc lập với nhau trong các chất thuận từ thì trong các chất sắt từ, chúng tương tác mạnh với nhau. Ở nhiệt độ thấp, tương tác trao đổi giữa các mô-men từ nguyên tử lân cận (xuất hiện do các spin không có đôi) trong các chất sắt từ đủ mạnh để thắng các thăng giáng nhiệt có xu hướng làm cho các mô-men từ định hướng hỗn loạn. Nhờ đó ngay cả khi không có từ trường ngoài, các mô-men lân cận định hướng cùng nhau.

* χ phụ thuộc vào từ trường ngoài : đường cong từ trễ

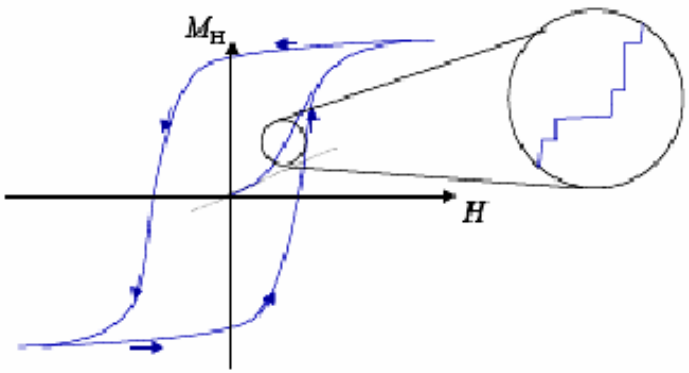


Từ mềm



Từ cứng

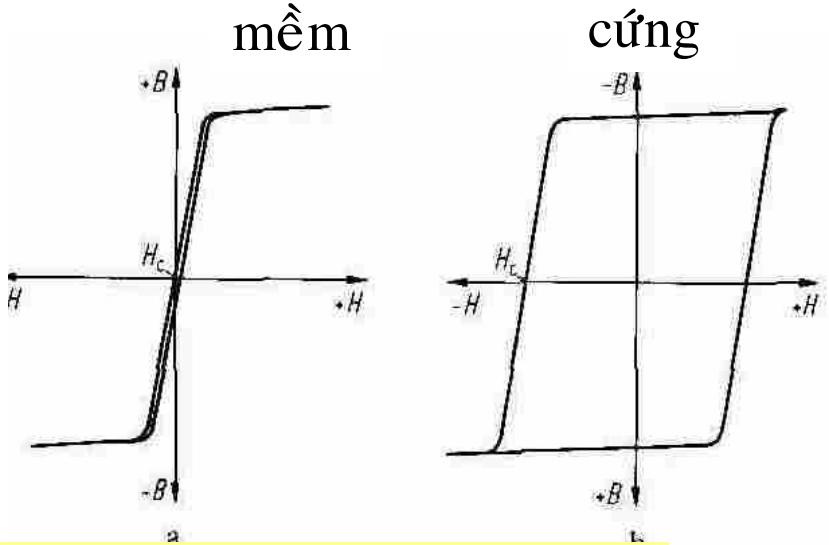
Hiệu ứng Barkchausen



Vật liệu từ cứng và từ mềm

Từ mềm : biến thế , nam châm điện , lõi các cuộn dây , ...

Từ cứng : các băng từ , nam châm vĩnh cửu, ...



Vật liệu từ mềm kim loại :

- α-Fe, Ni, Co và một số hợp kim của chúng
- Các hợp chất và hợp kim Fe – Si và Fe – Ni

(ví dụ : Fe / 6%Si)

Vật liệu gốm từ mềm (Ferrites) : oxide spinels lập phương hay perowskites, garnets ($Y_3Fe_5O_{12}$)

- **spinel** : các mô-men từ của các ion ở các vị trí tứ diện và bát diện *đối song song*.

Vật liệu từ cứng và từ mềm

Vật liệu từ cứng kim loại :

a) Hợp kim Fe/Cos, Permalloy (hợp kim Fe/Ni)

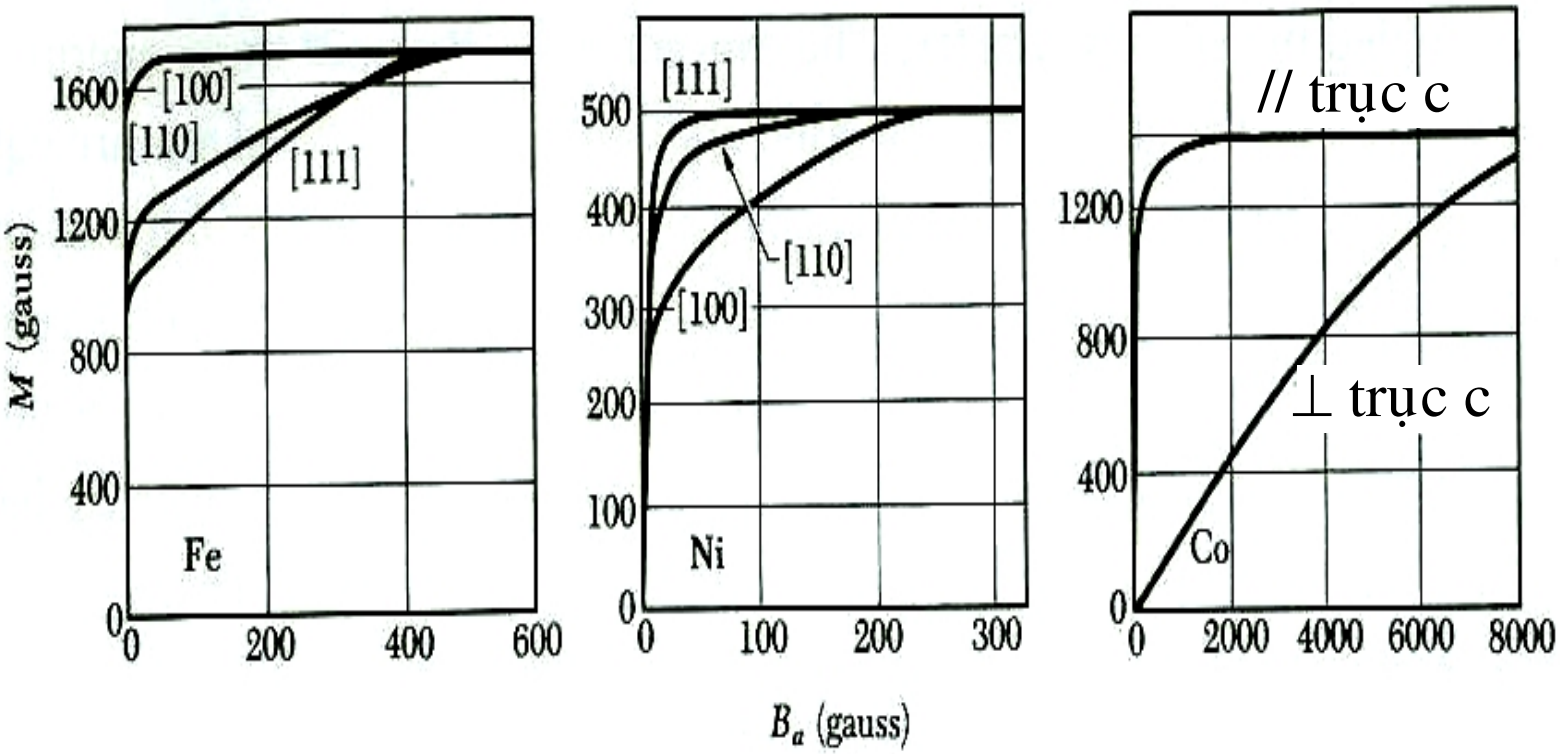
b) Alnico (Al/Ni/Co)

c) $SmCo_5$ cấu trúc lục giác với sự dị hướng từ mạnh

- có độ từ hóa bão hòa cao, lực kháng từ lớn
- dùng trong các loa , nam châm làm lệch hướng ...

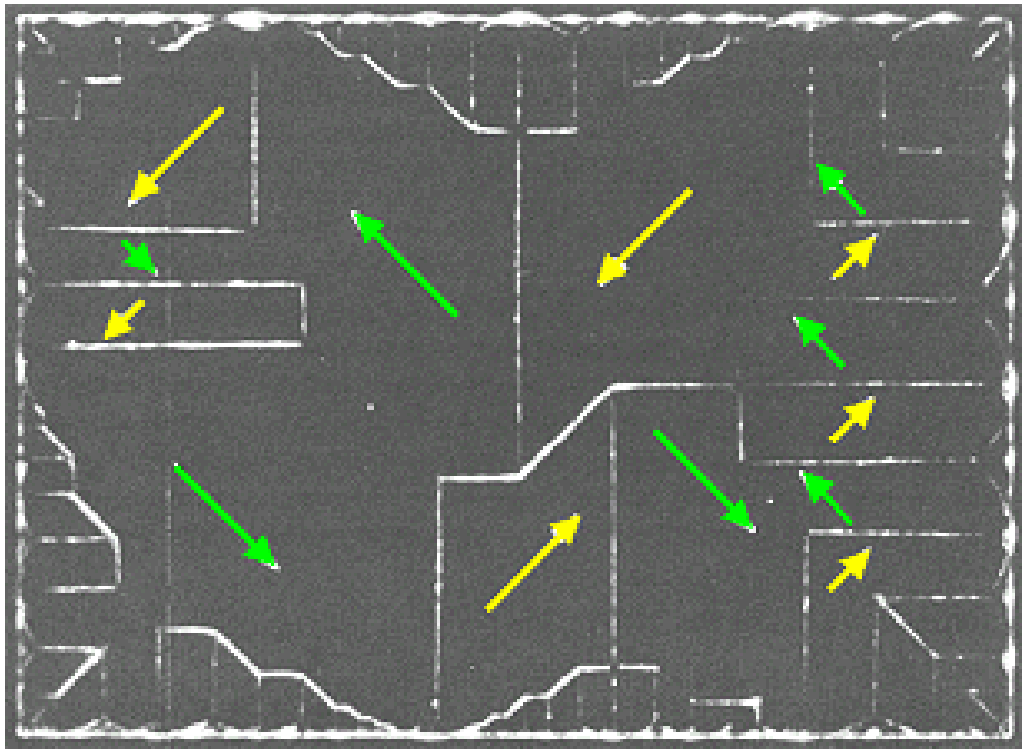
Sự từ hóa dị hướng.

Đa số tinh thể có tính dị hướng. Một minh chứng cho sự dị hướng đó là theo các chiều tinh thể khác nhau vật liệu bị từ hóa khác nhau. Như vậy, trong tinh thể có các chiều dễ từ hóa và chiều khó từ hóa.

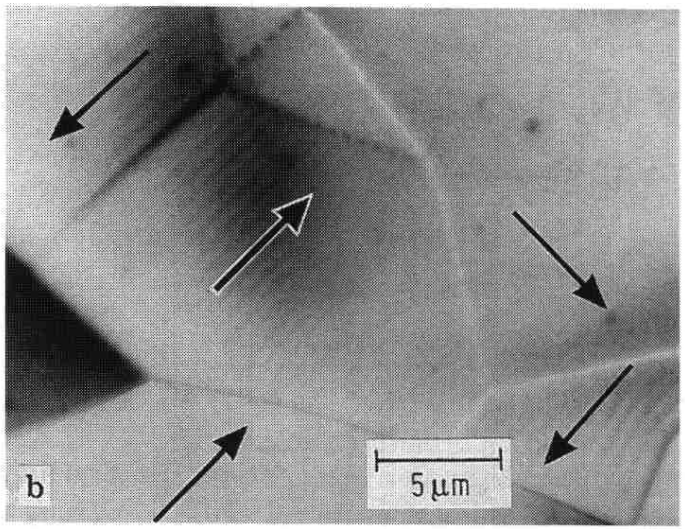


Chiều dễ từ hóa của các tinh thể Fe, Ni và Co

Cấu trúc đô-men



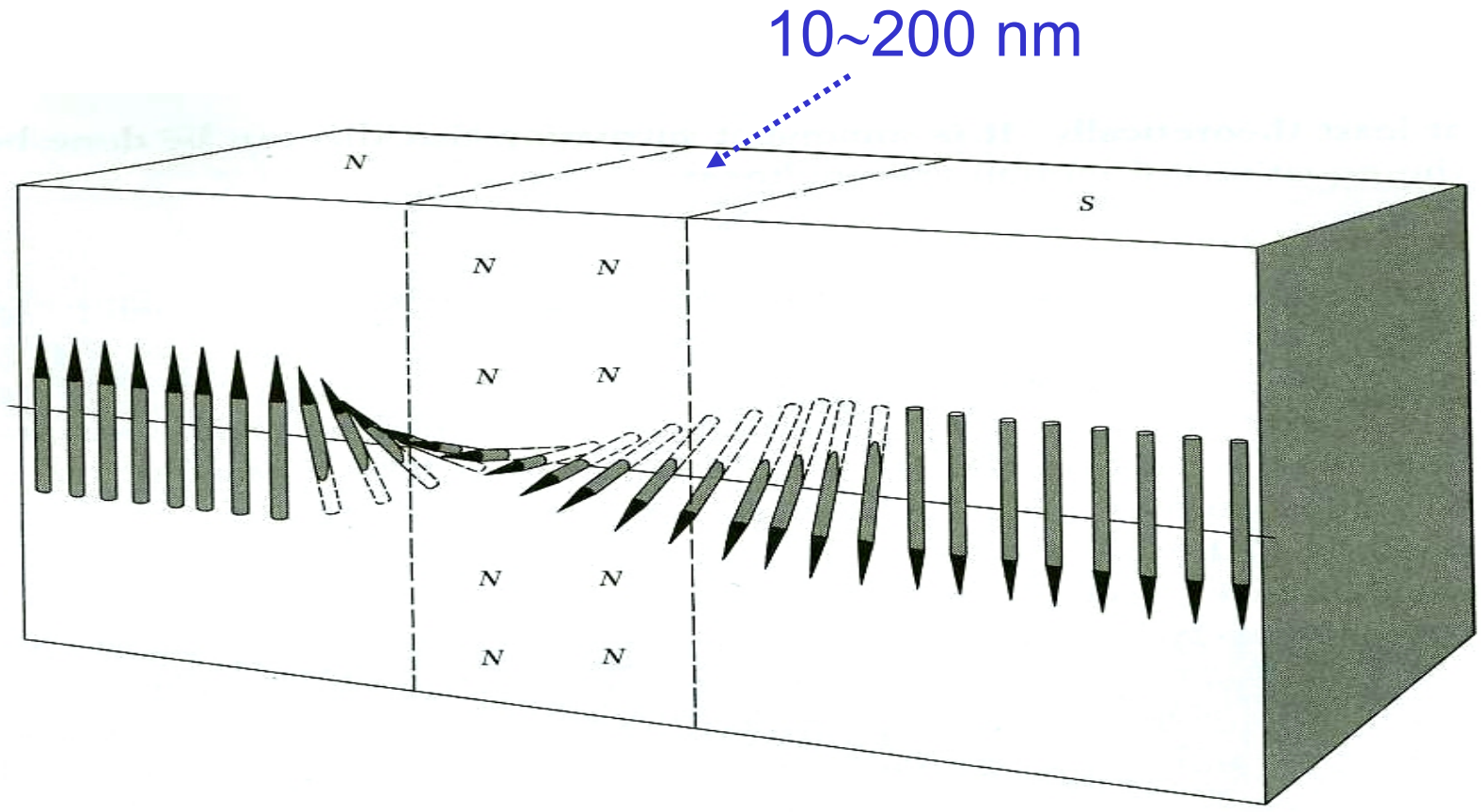
Các đô-men trên mặt của một mẫu đơn tinh thể Ni.

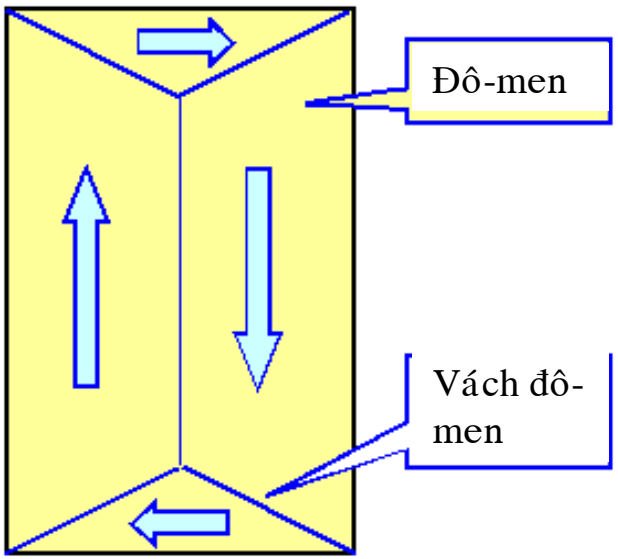


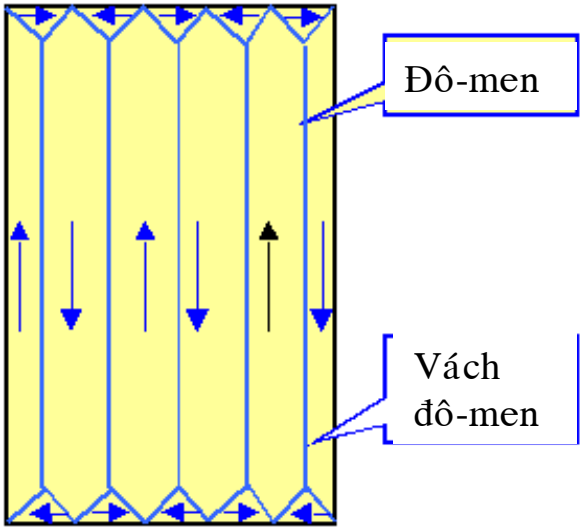
Biên hạt và vách Bloch trong α-Fe

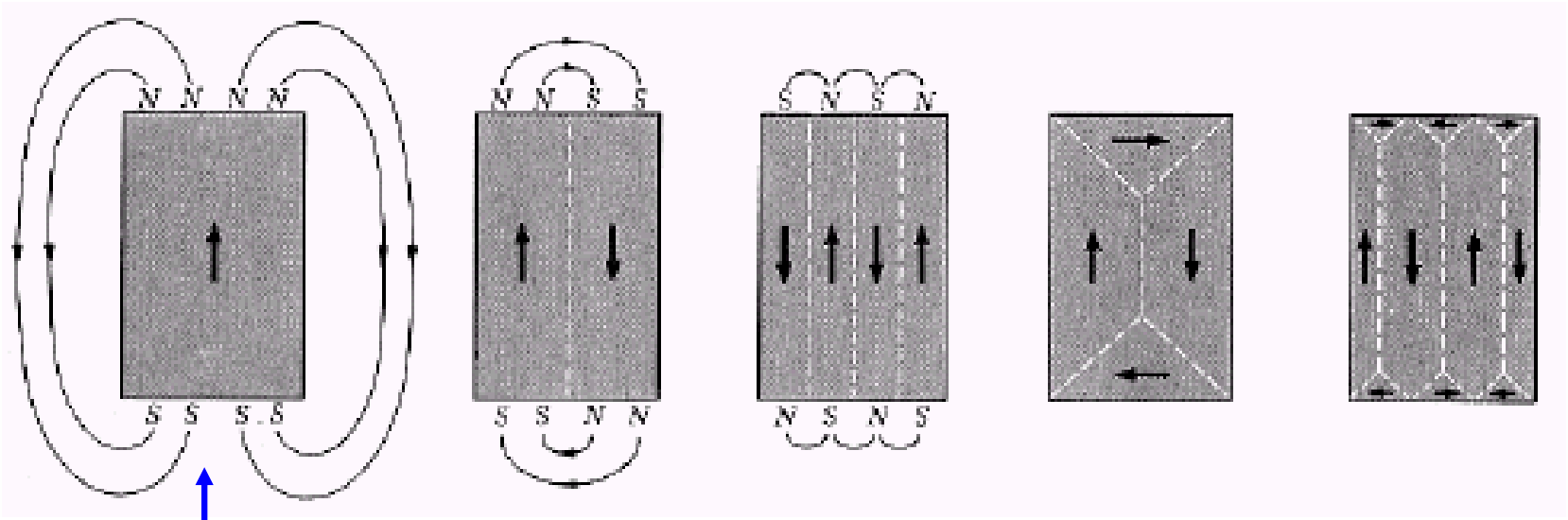
Sự định hướng của các mô-men từ trong một đô-men thường theo một chiều dễ từ hóa của tinh thể khi không có từ trường ngoài.

Vách đô-men









Năng lượng tương đối cao

Hiện tượng từ giảo

Hiện tượng từ giảo (phát hiện năm 1842) là sự thay đổi hình dạng và kích thước của vật liệu sắt từ khi bị từ hóa.

Trong vật liệu sắt từ như Fe, Ni, Co và một số các hợp kim và ferrite, độ từ giảo có giá trị đáng kể (khoảng 10^{-6}-10^{-2}).

Sự từ hóa kèm theo sự quay các đô-men gây nên sự thay đổi kích thước của chất sắt từ.

Hiện tượng từ giảo có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật :

Các bộ biến đổi từ giảo, đường trễ , bộ phát và thu sóng siêu âm, các bộ lọc và ổn định tần số, …

Tiếng kêu của biến thế hay con chuột của đèn ống

Hiện tượng từ giảo

Hệ số từ giảo Λ được định nghĩa bằng phần độ dài thay đổi khi sự từ hóa tăng từ 0 đến giá trị bão hòa của nó.

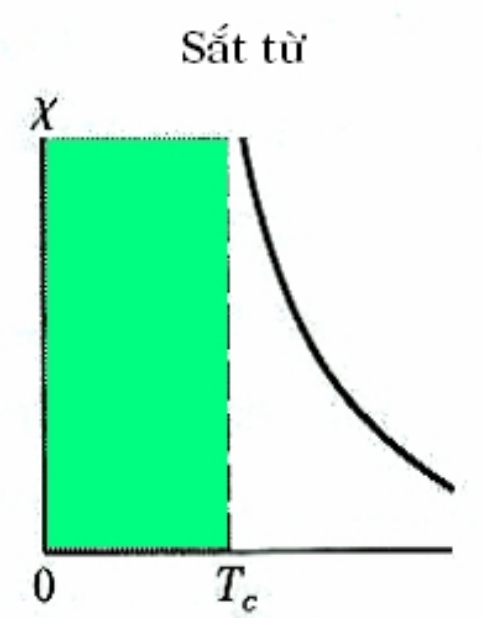
Vật liệu	Trục tinh thể	Độ từ giảo bão hòa Λ (x 10^{-5})	Độ biến đổi của suất Young $\Delta E/E$
Fe	100	+(1.1-2.0)	...
Fe	111	-(1.3-2.0)	...
Fe	Đa tinh thể	-.8	0.002-0.003
Ni	100	-(5.0-5.2)	...
Ni	111	-2.7	...
Ni	Đa tinh thể	-(2.5-4.7)	0.07
Co	Đa tinh thể	-(5.0-6.0)	

* χ phụ thuộc nhiệt độ T

Khi $T > T_C$ (nhiệt độ Curie) chất sắt từ chuyển thành thuận từ

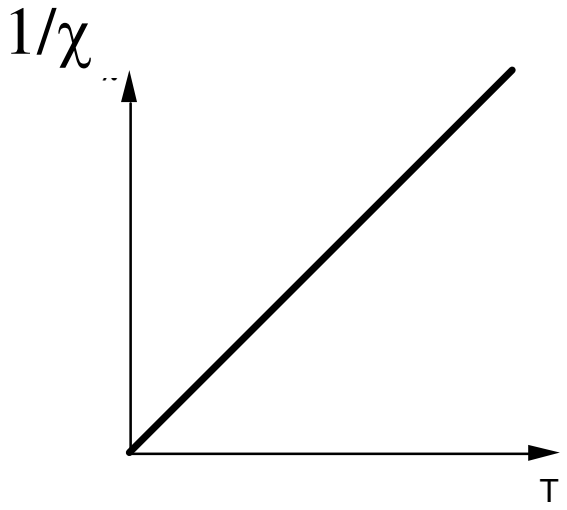
Khi $T > T_C$: Định luật Curie - Weiss

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

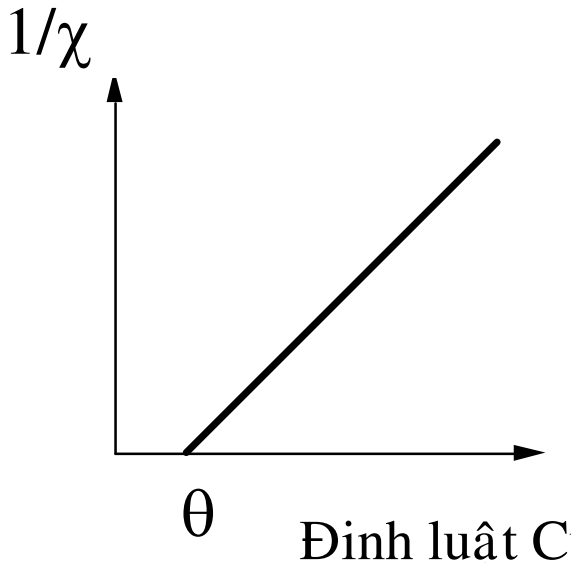


$$\chi = \frac{C}{T - \theta}$$

Định luật Curie-Weiss
$(T > T_c)$



Định luật Curie



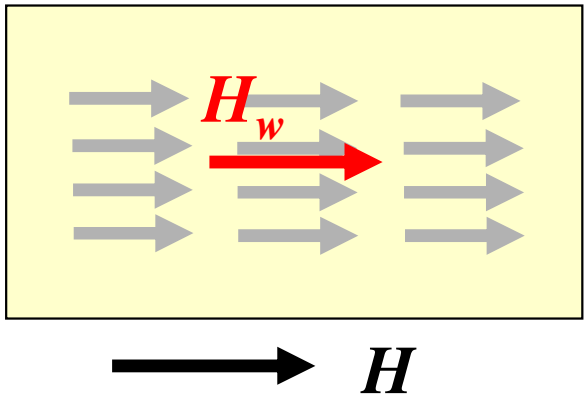
Định luật Curie - Weiss

2) *Lý thuyết hiện tượng luận*

Năm1907, Weiss phát triển lý thuyết của trường hiệu dụng (trường phân tử)

* Trường phân tử Weiss $H_W = bJ_m$

Các mô-men từ (spins) trong chất sắt từ được định hướng trong trường Weiss.
Khi đặt vào trong từ trường ngoài H :



$$H_{hd} = H + b J_m$$

Suy ra $$J_m = \frac{1}{b}(H_{hd} - H)$$

* Tính $\mathbf{J_m}$.

+ Áp dụng kết quả tính toán của Langevin cho chất thuận từ nhưng thay H bằng H_{hd} :

$$J_m = nP_m L\left(\frac{P_m \mu_o H_{hd}}{kT}\right) = nP_m L(a) \Rightarrow \frac{J_m}{nP_m} = L(a)$$

$$a = \frac{P_m \mu_o H_{hd}}{kT}$$

Từ $J_m = \frac{1}{b}(H_{hd} - H)$ thay H_{hd} tính theo a

$$\frac{J_m}{nP_m} = \frac{1}{bnP_m}(H_{hd} - H) = \frac{kT}{nb\mu_o P_m^2} a - \frac{H}{nbP_m}$$

$$\frac{J_m}{nP_m} = \frac{kT}{nb\mu_o P_m^2}a - \frac{H}{nbP_m} = L(a)$$

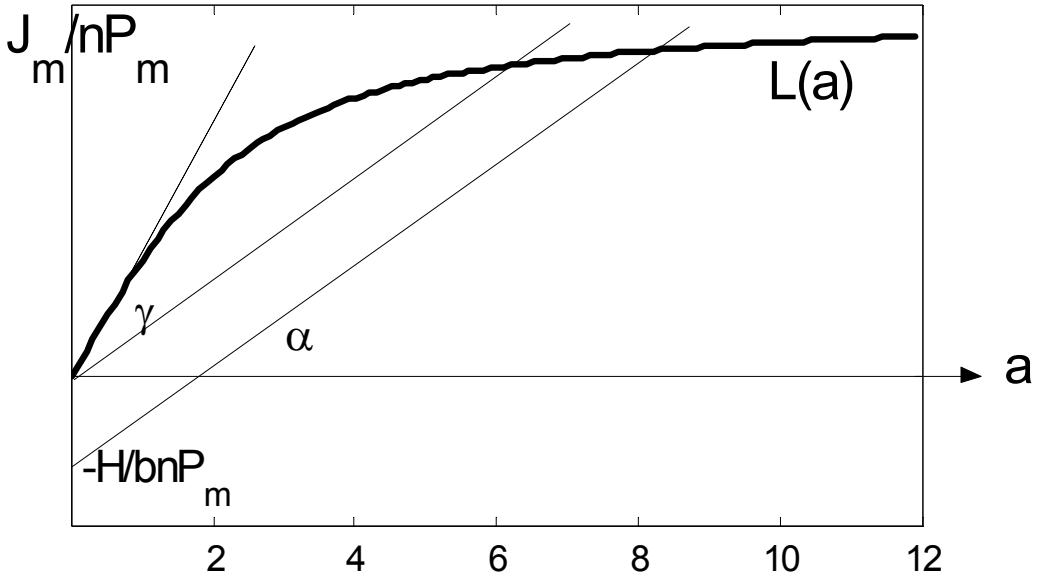
Biểu diễn sự phụ thuộc của $\frac{J_m}{nP_m}$ theo a được 2 đường :

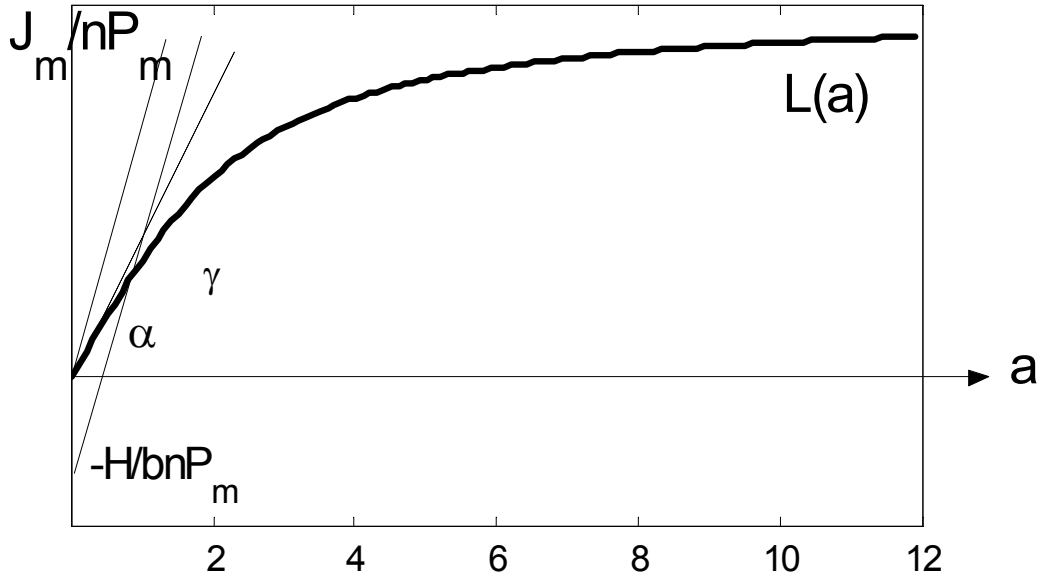
đường cong L(a) và một đường thẳng .

Giao điểm của hai đường này cho phép xác định J_m ứng với một giá trị nào đó của từ trường ngoài H.

Giảm H từ giá trị đó về 0. Do hệ số góc của đường thẳng không phụ thuộc H nên khi đó đường thẳng dịch chuyển song song với chính nó.

Hệ số góc của đường tiếp tuyến với đường L(a) ở gốc tọa độ bằng 1/3.


J m /nP m
L(a)
γ
α
a
-H/bnP m
2
4
6
8
10
12


J m /nP m
L(a)
γ
α
a
-H/bnP m
2
4
6
8
10
12

+ Trường hợp hệ số góc của đường thẳng $\frac{kT}{nb\mu_o P_m^2} < \frac{1}{3}$

(nhiệt độ thấp), khi H = 0 hai đường cắt nhau tại điểm có J_m khác 0 : chất sắt từ vẫn còn bị từ hóa (có độ từ hóa tự phát)

+ Trường hợp hệ số góc của đường thẳng $\frac{kT}{nb\mu_o P_m^2} > \frac{1}{3}$

(nhiệt độ cao), khi H = 0 hai đường cắt nhau tại điểm có $J_m = 0$: vật liệu không bị từ hóa (không có độ từ hóa tự phát).

Khi $T < T_C$: sắt từ

Khi $T > T_C$: thuận từ

$$T_C = \frac{nb\mu_o P_m^2}{3k}$$

$$T_C = \frac{nb\mu_o P_m^2}{3k}$$

Sắt (Fe) : T_c=1063 K
Cobalt (Co) : T_c=1404 K
Nickel (Ni) : T_c= 631K

Với sắt (Fe) : T_c=1063 K (thực nghiệm), P_m=2,2μ_B (thực nghiệm), và n = 8,54 x 10^{28} m^{-3}

tính được b = 3,9 x 10^8

và H_w=0,85 x 10^9 A/m (10^7 Oe)

* Tính χ trong trạng thái thuận từ ($T > T_C$, $a < 1$)

$$J_m = nP_m L(a) \approx nP_m \frac{a}{3} = \frac{n\mu_o P_m^2 H_{hd}}{3kT} = \frac{n\mu_o P_m^2 H}{3kT} + \frac{n\mu_o P_m^2 b J_m}{3kT}$$

$$J_m(1 - \frac{n\mu_o P_m^2 b}{3kT}) = \frac{n\mu_o P_m^2 H}{3kT}$$

$$J_m = \frac{\frac{n\mu_o P_m^2}{3k} H}{T - \frac{n\mu_o b P_m^2}{3k}} = \chi H$$

$$\chi = \frac{\frac{n\mu_o P_m^2}{3k}}{T - \frac{n\mu_o b P_m^2}{3k}} = \frac{C}{T-\theta}$$

Suy ra

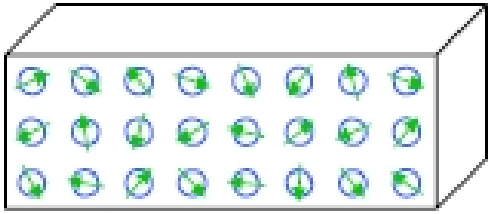
$$C = \frac{n\mu_o P_m^2}{3k}$$

$$\theta = \frac{n\mu_o b P_m^2}{3k}$$

Lý thuyết Weiss là lý thuyết hiện tượng luận của từ học.
Nhưng nó không giải thích được sự xuất hiện của trường Weiss lớn .

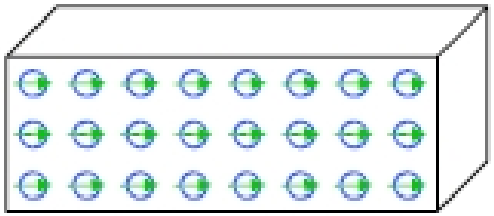
3) Quá trình từ hóa chất sắt từ

Khử từ



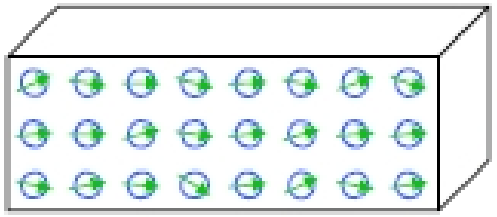
$\sum m_i = 0$

Bão hòa

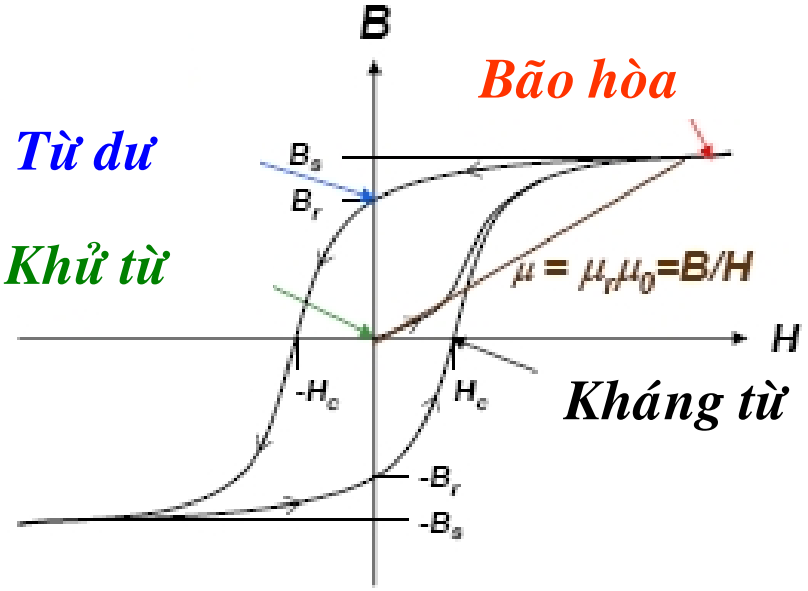


$\sum m_i = M_s$

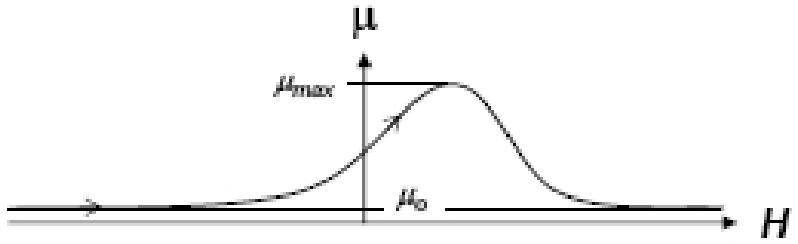
Từ dư

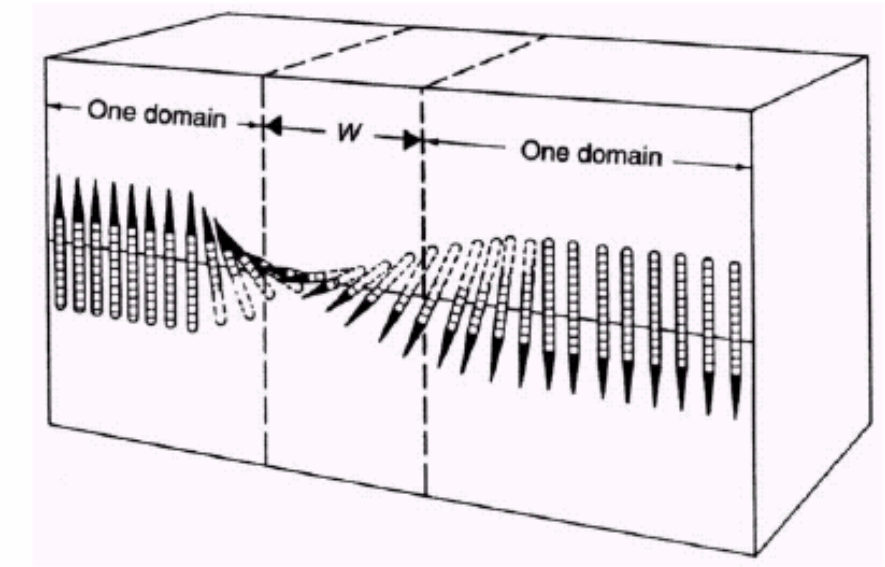


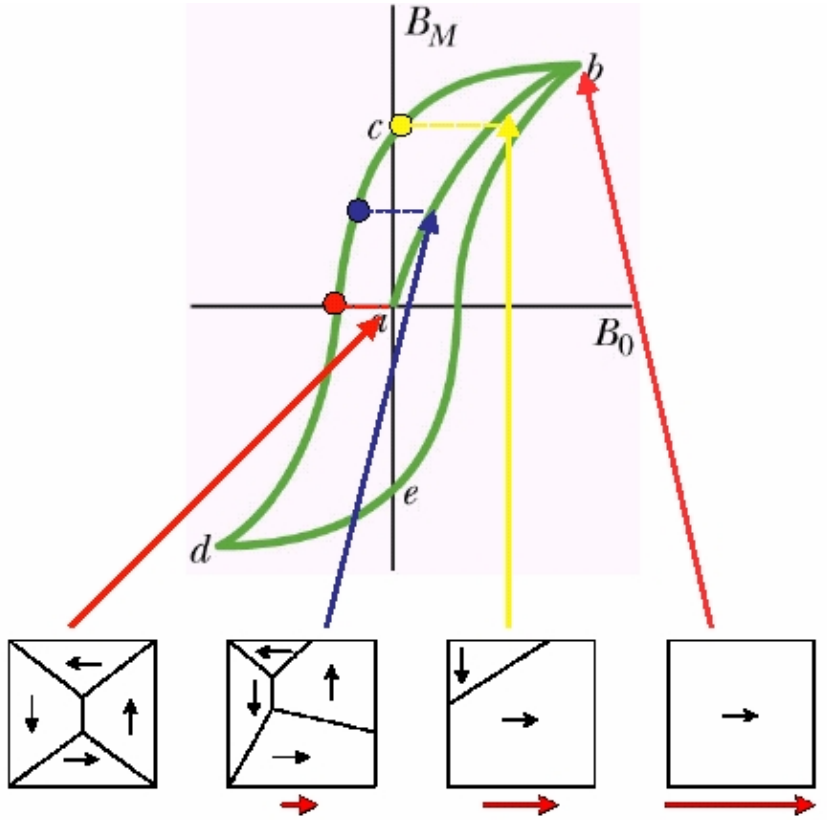
$\sum m_i = M_r$

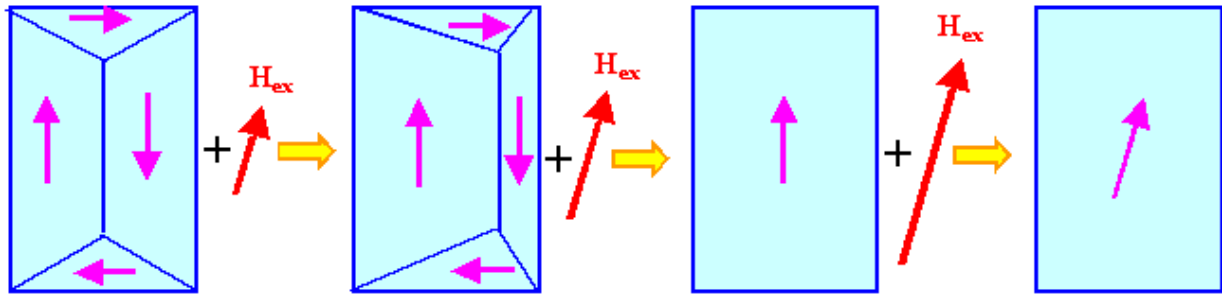


$$B = \mu_r \mu_o H$$









Dịch chuyển của đô-men trong từ trường ngoài.

Độ lớn của từ trường

A/m	Oe	T	
10 A/m	0.126 Oe	12.6 μT	Từ trường Trái đất 0,15 – 0,3 Oe
10 - 100 kA/m	126 - 1260 Oe	12.6-126 mT	Từ trường nam châm vĩnh cửu
1 MA/m	12.6 kOe	1.26 T	Từ trường nam châm điện
10 MA/m	126 kOe	12.6 T	Từ trường nam châm siệu dẫn