

HIỆN TƯỢNG TỪ TÍNH

1.1 MOMEN TỪ

Biểu lộ trực tiếp nhất của từ học là lực hút hoặc đẩy giữa 2 nam châm. Hiện tượng này có thể được diễn tả bằng cách giả sử là có các cực từ tự do trên đầu mỗi thanh nam châm tác dụng lực với nhau. Chúng được gọi là 'lực Coulomb' bởi dựa vào sự tương đồng với lực Coulomb giữa các thể nạp điện tĩnh điện. Xét 2 cực từ với độ lớn lần lượt là m_1 (Wb(weber)) và m_2 (Wb), được tách ra bằng 1 khoảng cách r (m). Lực F (N(newton)) tác dụng lên 1 cực bởi cực khác được tính bởi công thức:

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu_0 r^2}, \quad (1.1)$$

Trong đó μ_0 được gọi là độ từ thẩm của chân không và có giá trị:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ henry trên mét (Hm}^{-1}\text{)} \quad (1.2)$$

Ta cũng thấy rằng dòng điện tác dụng 1 lực lên 1 cực từ. Nói chung vùng không gian trong đó cực từ gây ra lực được gọi là từ trường. một từ trường có thể được tạo ra bởi các cực từ khác hoặc bởi dòng điện. Một từ trường đều tồn tại trong một cuộn dây từ tính mỏng, dài mang dòng điện. Khi 1 dòng điện i (A) chạy trong cuộn dây có n vòng/mét, cường độ từ trường H tại tâm của cuộn dây được định nghĩa:

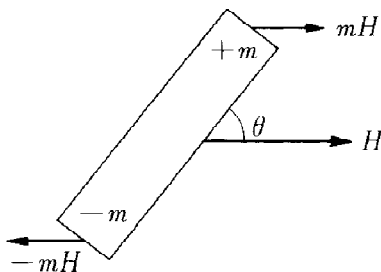
$$H = ni \quad (1.3)$$

Đơn vị của từ trường vì vậy được định nghĩa là ampere/meter hoặc $A.m^{-1}$. Khi 1 cực từ có độ lớn m (Wb) được đưa vào trong từ trường có cường độ H (A/m), lực F (N) tác dụng lên cực từ là:

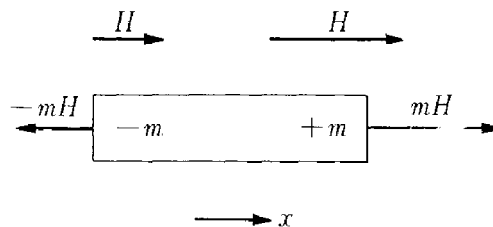
$$F = mH. \quad (1.4)$$

(μ_0 được định nghĩa để tránh hệ số trong (1.4).). Nếu 1 thanh nam châm có chiều dài l (m), với cực m và $-m$ ở 2 đầu của nó, được đặt trong từ trường đều H , mỗi cực từ được biểu diễn bằng 1 lực kí hiệu bằng mũi tên trong hình 1.1, tạo nên ngẫu lực hay moment lực có moment:

$$L = -mlH \sin \theta, \quad (1.5)$$



Hình 1.1 Một nam châm dưới tác động của Momen xoắn trong một từ trường đồng nhất trường có hướng



Hình 1.2 Một nam châm dưới tác động của một lực dịch chuyển trong một từ trường có hướng

trong đó θ là góc giữa hướng của từ trường H và hướng của moment lực ($-m \rightarrow +m$) của nam châm. Vì vậy một từ trường đều tác dụng 1 moment lực lên nam châm nhưng không phải là lực tịnh tiến. 1 lực tịnh tiến tác dụng lên nam châm chỉ khi có một gradient của trường

công thức:

$$F_x = ml \frac{\partial H}{\partial x} \quad (1.6)$$

theo phương x (hình 1.2)

Như đã thấy trong hình (1.5) và (1.6), bất cứ loại lực nào ảnh hưởng đến nam châm bao gồm m và l dưới dạng tích số ml . Ta gọi tích số này :

$$M = ml \quad (1.7)$$

là moment lực từ; nó có đơn vị của weber meter (Wbm)

$$(1 \text{ Wb m} = (1/4\pi) \cdot 10^{10} \text{ gauss cm}^3)$$

Xét về M , moment tác dụng trên một nam châm trong từ trường đều H được cho bởi:

$$L = -MH \cos \theta, \quad (1.8)$$

bất kể dạng nào của nam châm. Nếu lực ma sát không ảnh hưởng tới nam châm, việc thực hiện bằng moment (1.8) là thuận nghịch, tạo nên thế năng,

$$U = -MH \cos \theta, \quad (1.9)$$

Hướng từ cực âm đến cực dương được định nghĩa là hướng của moment từ sao cho phương trình (1.8) và (1.9) có thể biểu thị dùng vectơ moment từ M như

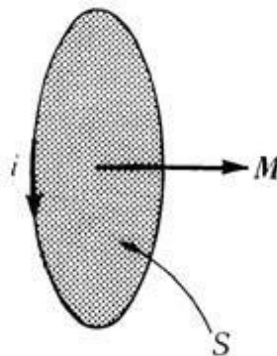
$$L = M \times H \quad (1.10)$$

và

$$U = -M \cdot H \quad (1.11)$$

Mặc dù moment từ ở đây được định nghĩa là (cực từ) \times (khoảng cách giữa các cực), trên thực tế khá khó để xác định vị trí của các cực từ.

MOMEN TỪ



Hình 1.3: Momen từ tạo bởi dòng điện kín

Tuy nhiên momen của lực hay momen lực, L , là đại lượng đo được, do đó ta có thể sử dụng phương trình 1.8 như là 1 định nghĩa của momen từ.

Một momen từ có thể được tạo ra bởi 1 dây dẫn kín mang điện. Momen từ tạo bởi dòng i (A) chạy trong mạch kín hoặc vòng dây kín tiết diện S (m^2) được định nghĩa là

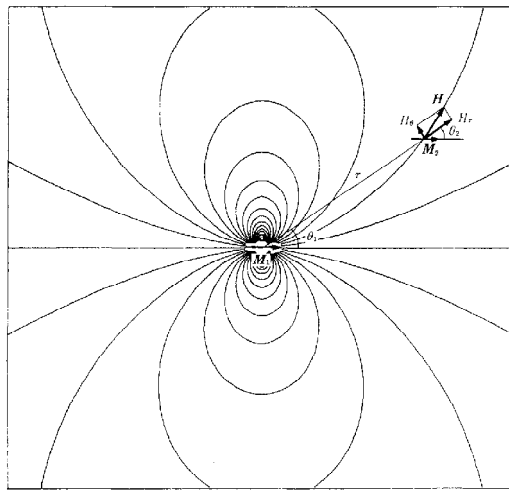
$$M = \mu_0 i S. \quad (1.12)$$

Hướng của momen từ là hướng chuyển động của một cái vận đỉnh ốc thuận khi quay theo chiều của dòng điện trong mạch kín.(Hình. 1.3)

Bây giờ ta hãy xét xem momen từ M_1 của nam châm hay của dòng điện kín tại gốc tọa độ O tạo ra từ trường trong ko gian như thế nào (Hình. 1.4). Xét từ trường tại vị trí P , được biểu diễn bởi (r, θ) trong hệ tọa độ cực. Để cho đơn giản, ta giả sử kích thước của nam châm l hay của vòng dây kín \sqrt{S} là rất nhỏ so với r , có thể bỏ qua. Một nguồn của trường như vậy gọi là lưỡng cực từ. Thành phần của trường tại P được cho bởi

$$\begin{aligned} H_r &= \frac{M_1}{4\pi\mu_0} \frac{2 \cos \theta_1}{r^3} \\ H_\theta &= \frac{M_1}{4\pi\mu_0} \frac{\sin \theta_1}{r^3} \end{aligned} \quad (1.13)$$

Sự phân phối của từ trường trong không gian được cho bởi đường sức từ song song với hướng của H tại mỗi điểm trong không gian. Hình 1.4 là bản vẽ máy tính của đường sức từ tính từ công thức 1.13.



Hình. 1.4 .Bản vẽ máy tính của đường sức từ được tạo bởi một lưỡng cực từ

Nếu ngoài momen từ M_1 tại gốc O, ta thêm tại P một lưỡng cực từ M_2 , tạo 1 góc θ_2 với r (để đơn giản, giả sử rằng 2 lưỡng cực nằm trên cùng 1 mặt phẳng). Sử dụng 1.9, thế năng của hệ được cho bởi

$$U = -M_2 H_r \cos \theta_2 - M_2 H_\theta \sin \theta_2$$

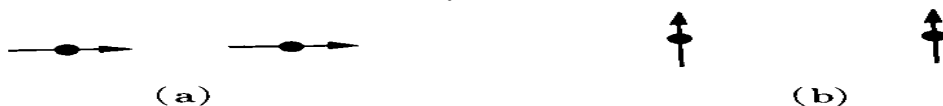
$$= -\frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 r^3} (2\cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2). \quad (1.14)$$

Nếu 2 lưỡng cực từ được có cùng độ lớn song song nhau, tức là $M_1 = M_2 = M$, và $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, như trường hợp của các lưỡng cực nguyên tử riêng biệt trong vật liệu sắt từ, 1.14 trở thành

$$U = -\frac{3M^2}{4\pi\mu_0 r_{12}^3} (\cos^2 \theta - \frac{1}{3}). \quad (1.15)$$

Thế năng cực tiểu tại $\theta = 0$, nên cấu hình ở hình 1.5a là bền vững. Năng lượng cực đại tại $\theta = \pi/2$, cấu hình ở 1.5b là ko bền vững. Tương tác giữa các lưỡng cực gọi là tương tác lưỡng cực.

HỢP CHẤT CÓ TỪ TÍNH VÀ SỰ TỪ HÓA



Hình 1.5: Hai cực sắp xếp theo sự song song: ổn định, không ổn định
Trong hình 1.5(a), nếu chúng ta quay M_1 bởi 1 góc nhỏ θ_1 trong khi vẫn giữ cố định M_2 , ta có, từ (1.14)

$$U = -\frac{M_1 M_2}{2\pi\mu_0 r^3} \cos\theta_1 \quad (1.16)$$

Lấy $M_1=M_2=M=1.2 \times 10^{-29}$ (momen của electron đơn quay trên được thấy(3.7)) và $r=1\text{Å}$, với hệ số trong (1.16) là:

$$\begin{aligned} \frac{M_1 M_2}{2\pi\mu_0 r^3} &= \frac{1.2^2 \times (10^{-29})^2}{8 \times 3.14^2 \times 10^{-7} \times 10^{-30}} = 1.8 \times 10^{-23} \text{ J} \\ &= 0.9 \text{ cm}^{-1} = 1.3 \text{ K} \end{aligned} \quad (1.17)$$

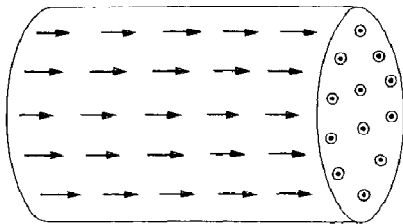
(thấy ở phụ lục 2 trong sự chuyển đổi năng lượng). Nếu M_2 đối song với M_1 , như trong trường hợp trong 2 lưỡng cực nguyên tử trong hợp chất phân thiết từ (thấy được trong chương 7), hệ số trong 1.16 thay đổi biểu hiện:

Trong (1.14), chúng ta giả sử rằng cả M_1 và M_2 trong mặt phẳng x-y. Trong trường hợp chung, năng lượng điện thế của sự tương tác lưỡng cực đã được sinh ra bởi

$$U = \frac{1}{4\pi\mu_0 r^3} \left\{ M_1 \cdot M_2 - \frac{3}{r^2} (M_1 \cdot r)(M_2 \cdot r) \right\} \quad (1.18)$$

1.2. HỢP CHẤT CÓ TỪ TÍNH VÀ SỰ TỪ HÓA

Hợp chất có từ tính là hợp chất được từ hóa mức độ nào đó bởi từ trường. Có những hợp chất từ tính bền vững được hút bởi một nam châm vĩnh cửu và hợp chất có từ tính yếu mà sự từ hóa chỉ có thể phát hiện bằng dụng cụ nhạy.



Hình 1.6. Khái niệm của sự từ hóa như là một tập hợp lưỡng cực từ tính

Hình 1.7. Khái niệm của sự từ hóa như là sự di chuyển mật độ tích từ trường

Khi một hợp chất có từ tính được từ hóa đều, momen từ tính mỗi đơn vị thể tích được gọi là sự phân cực từ tính hoặc cường độ sự từ hóa, luôn luôn

biểu thị bởi I . Nếu có các momen từ tính M_1, M_2, \dots, M_n trong 1 đơn vị thể tích của hợp chất từ tính, cường độ của sự từ hóa được biểu diễn là:

$$I = \sum_{i=1}^n M_i \quad (1.19)$$

Nếu những momen đó có cùng độ lớn, M , và cùng phương với nhau (hình 1.6), (1.19) rút gọn là:

$$I = N.M \quad (1.20)$$

Trong đó N là số momen M trong 1 đơn vị thể tích, đơn vị của N là m^{-3} , ta tìm ra từ (1.20) đơn vị của I là $Wb.m^{-2}$, mà tên khác và đơn giản hơn là Tesla (T) ($1T = 10^4/4\pi \text{ gauss} = 7.9.10^2 \text{ gauss}$). Nếu chúng ta chấp nhận định nghĩa của phương trình (1.7) cho từ trường lưỡng cực, chúng ta có từ (1.20)

$$I = N.m.l \quad (1.21)$$

Trong biểu thức (1.21), $N.m$ biểu thị tổng số cực từ có trong 1 đơn vị thể tích của hợp chất, hoặc mật độ cực từ, ρ (Wb/m^3), do đó ta có:

$$I = \rho.l \quad (1.22)$$

Từ biểu thức (1.22), khái niệm của sự từ hóa cũng được hiểu như là một sự dịch chuyển của mật độ cực từ ρ , liên quan ρ bởi khoảng cách l (Hình 1.7). Do đó mật độ cực từ của bề mặt không được bù:

$$\omega = \rho.l \quad (1.23)$$

Sẽ xuất hiện tại đầu mút của mẫu. So sánh (1.22) với (1.23) ta có:

$$I = \omega \quad (1.24)$$

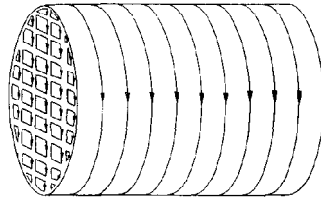
Do đó ta có thể định nghĩa sự từ hóa là số cực từ di chuyển ngang qua một đơn vị tiết diện cắt ngang.

Ta có thể liên kết khái niệm momen từ cơ bản gồm những mạch điện kín với khái niệm của sự từ hóa như thế nào? Giả thiết rằng vật liệu có từ tính được lấp kín bởi nhiều mạch điện kín cơ bản được biểu diễn trong hình 1.8.

Khi dòng điện lân cận khử một dòng khác, chỉ những dòng bề mặt vẫn không được khử. Nếu ta thừa nhận rằng có n lớp dòng điện mỗi đơn vị chiều dài dọc theo hướng của sự từ hóa, và cũng có tiết diện cắt ngang của dòng điện kín cơ bản là S (m^2), ta có $1/S$ mạch điện cơ sở mỗi đơn vị diện tích của tiết diện bề mặt, và do đó n/S mạch điện cơ sở mỗi đơn vị thể tích của hợp chất có tính từ. Dùng phương trình (1.12), ta có từ (1.20)

$$I = \frac{n}{S}(\mu_0 i S) = \mu_0 n i. \quad (1.25)$$

VẬT LIỆU TỪ VÀ TỪ HÓA



Hình 1.8. Khái niệm về từ hóa là một hội đồng nhỏ đóng dòng điện vòng

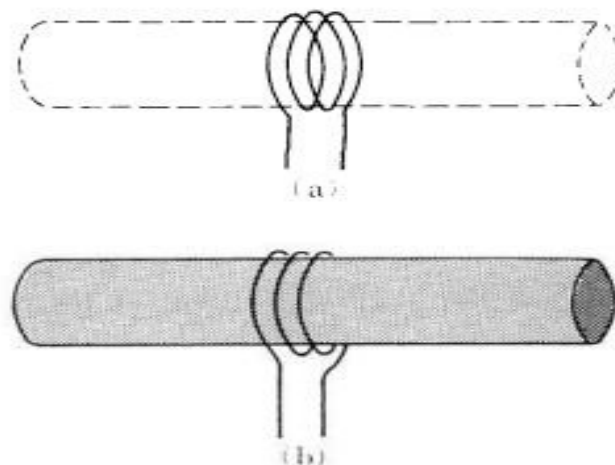
So sánh (1.25) với (1.3), chúng ta thấy rằng từ hóa được đưa ra bởi số lần μ_o mà từ trường H' được sản xuất bởi hiện tại nội tại, hoặc

$$I = \mu_o H' \quad (1.26)$$

Vì vậy chúng ta có khái niệm khác nhau của "từ hóa ": một quần thể của những khoảnh khắc từ tiểu học, chuyển cực từ hiện tại và nội tại. Khi chúng ta tính toán từ trường bên ngoài một vật liệu từ tính, chúng ta có được cùng một kết quả, không có vấn đề mà các khái niệm này chúng tôi sử dụng. Chúng tôi sẽ thảo luận về từ trường bên trong vật liệu từ tính tại mục 1.3.

Cường độ từ hóa có thể được xác định bằng cách đo các lĩnh vực từ sản xuất bên ngoài một mẫu vật từ hoá. Ngoài ra, chúng tôi có một phương pháp khác sử dụng cảm ứng điện từ. Giả sử chúng ta có một cuộn dây tìm kiếm của S diện tích mặt cắt ngang (m^2) và N lượt dây đặt như được hiển thị trong hình 1.9 (a). Nếu chúng ta áp dụng một từ trường H vuông góc với mặt cắt ngang của cuộn dây, điện áp

$$V = -NS\mu_o \frac{dH}{dt} \quad (1.27)$$



Hình 1.9. (a) Một cuộn dây lõi không khí; (b) một cuộn dây cuốn trên một thanh từ.

HIỆN TƯỢNG TỪ TÍNH

Là được tạo ra trên toàn cuộn dây dựa trên định luật cảm ứng điện từ. Nếu chúng ta chèn một vật liệu từ vào các cuộn dây (Hình 1,9 (b)), điện áp được tăng lên

$$V = -NS \frac{dB}{dt} (*) \quad (1.28)$$

Ở đây B là mật độ thông lượng từ tính hoặc cảm ứng từ. Đại lượng B được xác định bởi mối quan hệ:

$$B = I + \mu_o H \quad (1.29)$$

Các đơn vị nếu B là T (1T của B = 10⁴ gauss). Nếu chúng ta sử dụng (1.26) (1.29), chúng ta có:

$$B = \mu_o (H' + H) \quad (1.30)$$

Mối quan hệ này cho chúng ta biết rằng lý do là các điện áp cảm ứng điện từ được tăng lên của một vật liệu từ tính là từ trường được tạo ra bởi hiện tại nội tại thực chất được thêm vào từ trường bên ngoài. Từ một quan điểm

khác nhau, chúng ta cũng có thể giải thích (1.30) có nghĩa là B này có thể được coi như là tổng của sự từ hóa của một vật liệu từ tính và chân không. Các sản phẩm của B và diện tích mặt cắt ngang S được gọi là *từ thông*

$$\Phi = BS \quad (1.31)$$

Đơn vị của từ thông là weber. Sử dụng đại lượng này, (1.28) được viết như là

$$V = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.32)$$

Nếu từ hóa, I, là tỷ lệ thuận với từ trường, H, chúng tôi có

$$I = \chi H \quad (1.33)$$

Trường hợp hệ số tỉ lệ χ gọi là *nhạy cảm từ*. Trong trường hợp này (1.29) được viết như là:

$$B = (\chi + \mu_o)H = \mu H \quad (1.34)$$

Ở đây μ được gọi là *độ từ thẩm*.

Đơn vị của χ và μ đều là $H m^{-1}$, là đơn vị tương tự như μ_o (công thức (1.2)). Vì vậy, chúng ta cũng có thể đo lường χ và μ bằng đơn vị của μ_o . Chúng ta gọi các đại lượng đó là *nhạy cảm từ tương đối* và *độ thẩm tương đối*, tương ứng, và biểu thị cho χ và μ . Từ mối quan hệ trong (1.34), chúng ta có:

$$\bar{\mu} = \bar{\chi} + 1 \quad (1.35)$$

(*) Trong trường hợp này, chúng ta giả định rằng các mặt cắt là các vật liệu từ tính là chính xác giống như các cuộn dây dò tìm. Chúng ta cũng bỏ qua tác dụng của trường khử từ. Đối với một cuộc thảo luận chi tiết hơn về một trường hợp thực tế, phương trình (2.25) trong Chapter 2.

(**) Một số nhà khoa học cảm thấy rằng sự từ hóa của chân không là một thuật ngữ xấu, bởi vì chân không không phải là quan trọng. Nhưng chúng ta phải nhớ rằng vấn đề chính nó là một hiện tượng điện từ, vì vậy mà chúng ta không thể xác định bản chất của chân không trên cơ sở của một khái niệm ngây thơ của vật chất. So sánh phương trình (1.27) và (1.28), chúng ta phải tin chân không là từ hóa được.

SỰ TỪ HÓA CỦA VẬT LIỆU SẮT TỪ

Trong trường hợp vật liệu có tính sắt từ yếu $\bar{\chi}$ và $\bar{\mu}$ thường là trường độc lập, trong khi những vật liệu có từ tính mạnh, I là một hàm số của H (xem mục 1.3), bởi vậy (1.34) ảnh hưởng chỉ giới hạn trong một giới hạn thay đổi của trường.

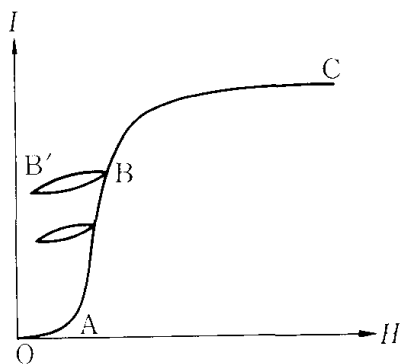
1.3 TỪ TRƯỜNG CỦA NHỮNG VẬT LIỆU CÓ TÍNH SẮT TỪ VÀ KHỦ TỪ TRƯỜNG.

Khi những vật liệu có từ tính có thể được từ hóa rất cao bởi một từ trường, chúng có độ từ thẩm trung bình tương đối lớn $\bar{\mu}$, từ 10^2 đến 10^6 . Từ hóa của chúng bị thay đổi bởi một từ trường, một cách phức tạp nó được mô tả bằng một đường cong như đã chỉ ra trên hình 1.10.

Bắt đầu từ trạng thái khử từ ($I=H=0$) từ tính tăng lên với sự tăng lên của trường dọc theo đường cong OABC và cuối cùng đạt đến sự bão hòa của trường, nó thường được biểu thị bởi I_s . Trong vùng OA quá trình từ hóa gần như đảo ngược; bởi vậy, sự từ hóa trở về số không sau khi loại bỏ các điều kiện này. Độ dốc của đường OA được gọi là cấu hình ban đầu của $\bar{\chi}_a$. Vượt ra vùng này, quá trình của sự từ hóa không thể đảo ngược dài hơn. Nếu trường bị giảm từ một giá trị của nó tại một điểm B, sự từ hóa trở về ban đầu không dọc theo BAO, nhưng dọc theo vòng phụ BB'. Độ dốc BB' được gọi là cấu hình đảo ngược $\bar{\chi}_{rev}$ hoặc cấu hình tăng lên. Độ dốc tại mọi điểm trên sự từ hóa ban đầu của đường cong OABC được gọi là cấu hình khác biệt $\bar{\chi}_{diff}$ và độ dốc của đường được kết nối gốc O với một điểm bất kỳ trên sự từ hóa ban đầu, đường cong được gọi là cấu hình tổng số $\bar{\chi}_{tot}$. Giá trị cực đại của cấu hình tổng số đó là độ dốc về từ tiếp tuyến gốc O đến đường cong của sự từ hóa ban đầu, được gọi là cấu hình cực đại $\bar{\chi}_{max}$; thật là tốt để đo được độ dốc trung bình của đường cong từ hóa ban đầu. Sự thay đổi của $\bar{\chi}_{rev}$, $\bar{\chi}_{diff}$ và $\bar{\chi}_{tot}$ dọc theo đường cong trường ban đầu được chỉ ra trên hình 1.11. Bắt đầu từ giá trị $\bar{\chi}_a$, $\bar{\chi}_{rev}$ giảm sút một cách đơn điệu, trong khi $\bar{\chi}_{diff}$ có một độ nhọn cực đại và $\bar{\chi}_{tot}$ đi đến giá trị cực đại của nó và tụt xuống đến $I=I_s$. Sự khác nhau giữa $\bar{\chi}_{diff}$ và $\bar{\chi}_{rev}$ đặc trưng cho dãy cấu hình đến sự từ

hóa không thể đảo ngược; nó được gọi là cấu hình không thể đảo ngược $\bar{\chi}_{\text{irr}}$; bởi vậy,

$$\bar{\chi}_{\text{diff}} = \bar{\chi}_{\text{rev}} + \bar{\chi}_{\text{irr}} \quad (1.36)$$



Hình 1.10: Độ cong từ hóa ban đầu và đường thứ yếu