

www.mientayvn.com

Dịch tiếng anh chuyên ngành khoa học tự nhiên và kỹ thuật.

Dịch các bài giảng trong chương trình học liệu mở của học viện MIT, Yale.

Tìm và dịch tài liệu phục vụ cho sinh viên làm seminar, luận văn.

Tại sao mọi thứ đều miễn phí và chuyên nghiệp ???

Trao i tr c tuy n t i:

www.mientayvn.com/chat_box_li.html

Chương 13

TỪ TRƯỜNG TĨNH

§ 13.1 TƯƠNG TÁC TỪ - ĐỊNH LUẬT AMPÈRE

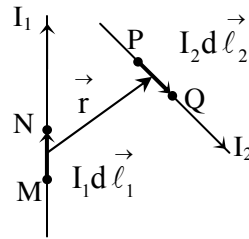
1 – Tương tác từ:

Các hiện tượng về điện, từ đã được con người biết đến từ lâu, nhưng không biết chúng có liên quan với nhau. Mãi đến năm 1820, Oersted, nhà vật lý người Đan Mạch phát hiện ra hiện tượng dòng điện đặt gần kim la bàn làm kim la bàn không chỉ theo hướng Bắc – Nam nữa mà bị lệch đi thì người ta mới biết rằng điện và từ có liên quan với nhau. Sau đó Ampère, nhà vật lý người Pháp, phát hiện rằng, các dòng điện cũng tương tác với nhau.

Như vậy, về phương diện từ thì một dòng điện cũng có thể coi như một nam châm. Nói cách khác tương tác giữa nam châm với nam châm, nam châm với dòng điện, dòng điện với dòng điện cùng chung một bản chất. Ta gọi đó là **tương tác từ**.

2 – Định luật Ampère về tương tác giữa hai phần tử dòng điện:

Phần tử dòng điện (hay còn gọi là *yếu tố dòng điện*) là một đoạn dòng điện chạy trong dây dẫn hình trụ có chiều dài $d\ell$ và tiết diện ngang dS rất nhỏ. Phần tử dòng điện được đặc trưng bởi tích $I d\vec{\ell}$, trong đó I là cường độ dòng điện qua tiết diện dS và $d\vec{\ell}$ là vector có độ lớn bằng $d\ell$ và có chiều là chiều của dòng điện (xem hình 13.1).

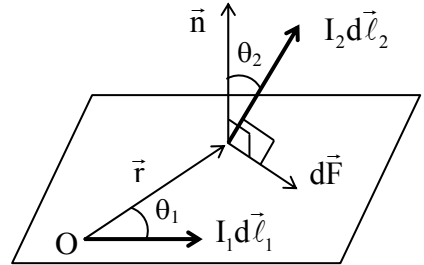


Hình 13.1: Phần tử dòng

Xét hai phần tử dòng điện $I_1 d\vec{\ell}_1$ và $I_2 d\vec{\ell}_2$ của hai dòng điện I_1 và I_2 đặt trong chân không. Gọi \vec{r} là vector khoảng cách hướng từ $I_1 d\vec{\ell}_1$ đến $I_2 d\vec{\ell}_2$. Vẽ mặt phẳng (P) chứa $I_1 d\vec{\ell}_1$ và \vec{r} . Qui ước pháp vector đơn vị \vec{n} của mặt phẳng (P) có chiều sao cho khi xoay cái đinh ốc từ vector $I_1 d\vec{\ell}_1$ đến vector \vec{r} theo góc nhỏ nhất thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của vector \vec{n} (xem hình 13.2). Định luật Ampère được phát biểu như sau:

Lực từ do phần tử dòng điện $I_1 d\vec{\ell}_1$ tác dụng lên phần tử dòng điện $I_2 d\vec{\ell}_2$ là một vector $d\vec{F}$ có:

- **Phương:** vuông góc với mặt phẳng chứa yếu tố dòng $I_2 d\vec{\ell}_2$ và vector \vec{n}
- **Chiều:** xác định theo qui tắc cái đinh ốc: xoay cái đinh ốc từ vector $I_2 d\vec{\ell}_2$ đến vector \vec{n} theo góc nhỏ nhất thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của vector $d\vec{F}$.



Hình 13.2: Lực từ $d\vec{F}$ do phần tử dòng điện $I_1 d\vec{\ell}_1$ tác dụng lên phần tử $I_2 d\vec{\ell}_2$

- **Độ lớn:**
$$dF = \frac{\mu_0 I_1 I_2 d\ell_1 d\ell_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2}{4\pi r^2} \tag{13.1}$$

- **Điểm đặt:** tại yếu tố dòng $I_2 d\vec{\ell}_2$.

Trong (13.1), μ_0 là hằng số từ, có giá trị: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (H / m)}$.

Có thể biểu diễn định luật Ampère bằng biểu thức vector:

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_2 d\vec{\ell}_2 \times (I_1 d\vec{\ell}_1 \times \vec{r})}{r^3} \tag{13.2}$$

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, nếu hai dòng điện và I_2 đặt trong môi trường đồng chất đẳng hướng thì lực từ thay đổi μ lần so với khi chúng đặt trong chân

không:

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I_2 d\vec{\ell}_2 \times (I_1 d\vec{\ell}_1 \times \vec{r})}{r^3} \tag{13.3}$$

Trong đó μ được gọi là hệ số từ thẩm của môi trường. Đối với chân không: $\mu = 1$; các chất sắt từ: $\mu \gg 1$; đối với các chất thuận từ hoặc nghịch từ (đọc thêm chương 14) thì giá trị μ dao động hơn kém xung quanh đơn vị một lượng nhỏ ($\mu \approx 1$). Vì thế, trong đa số các trường hợp, ta bỏ qua hệ số μ .

Về hình thức, điện và từ giống như hai bàn tay của một cơ thể người. Mỗi đại lượng đặc trưng cho điện đều tương ứng với một đại lượng đặc trưng cho từ. Ví dụ: hằng số điện ϵ_0 tương ứng với hằng số từ μ_0 ; hệ số điện môi ϵ tương ứng với hệ số từ thẩm μ ; định luật Ampère có vai trò như định luật Coulomb; các yếu tố dòng điện có vai trò như những điện tích điểm; ... Nắm được tính chất này, bạn đọc có thể nghiên cứu từ trường một cách hiệu quả hơn.

§ 13.2 TỪ TRƯỜNG

1 – Khái niệm từ trường:

Tương tác giữa hai phần tử dòng điện được hiểu theo quan điểm tương tác gần. Nghĩa là sự có mặt của dòng điện I_1 đã làm biến đổi môi trường xung quanh nó, ta nói dòng điện I_1 gây ra xung quanh nó một từ trường và chính từ trường này mới tác dụng lực từ lên yếu tố dòng $I_2 d\ell_2$.

Vậy từ trường là môi trường vật chất đặc biệt tồn tại xung quanh các dòng điện (hay xung quanh các điện tích chuyển động) và tác dụng lực từ lên các dòng điện khác đặt trong nó.

2 – Vectơ cảm ứng từ:

Tương tự như cường độ điện trường, để đặc trưng cho từ trường tại mỗi điểm, người ta định nghĩa vectơ cảm ứng từ \vec{B} . Từ công thức (13.3), ta thấy đại

$$\text{lượng: } d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I_1 d\vec{\ell}_1 \times \vec{r}}{r^3} \quad (13.4)$$

chỉ phụ thuộc vào phần tử $I_1 d\vec{\ell}_1$ sinh ra từ trường và phụ thuộc vào vị trí của điểm M, nơi đặt yếu tố dòng $I_2 d\vec{\ell}_2$ mà không phụ thuộc vào phần tử $I_2 d\vec{\ell}_2$ chịu tác dụng của từ trường đang xét. Nên $d\vec{B}$ được gọi là vectơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I_1 d\vec{\ell}_1$ gây ra tại điểm M.

Tổng quát, vectơ cảm ứng từ do yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$ gây ra tại điểm M cách nó một khoảng \vec{r} là:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \quad (13.5)$$

Biểu thức (13.5) đã được Biot, Savart và Laplace rút ra từ thực nghiệm, nên còn được gọi là định luật Biot – Savart – Laplace.

Vậy: vectơ $d\vec{B}$ có:

- **Phương:** vuông góc với mặt phẳng chứa ($I d\vec{\ell}$ và \vec{r}).
- **Chiều:** tuân theo qui tắc cái đinh ốc: *xoay cái đinh ốc quay từ yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$ đến \vec{r} theo góc nhỏ nhất thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của vectơ $d\vec{B}$.*

- **Độ lớn:**
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\ell \sin \theta}{r^2} \quad (13.6)$$

- **Điểm đặt:** tại điểm khảo sát.

Trong (13.6) thì θ là góc giữa $Id\vec{\ell}$ và \vec{r} .

Từ trường cũng tuân theo nguyên lý chồng chất. Do đó, để tính cảm ứng từ do một dòng điện bất kì gây ra, ta lấy tích phân(13.5) trên cả dòng điện:

$$\vec{B} = \int_{\text{ca dòng điện}} d\vec{B} \quad (13.7)$$

Nếu có nhiều dòng điện thì cảm ứng từ tổng hợp là:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum \vec{B}_i \quad (13.8)$$

Trong đó \vec{B}_i là cảm ứng từ do dòng điện I_i gây ra.

3 – Vector cường độ từ trường:

Vector cảm ứng từ \vec{B} phụ thuộc vào bản chất của môi trường khảo sát. Do đó khi đi từ môi trường này sang môi trường khác vector \vec{B} sẽ biến đổi đột ngột tại mặt phân cách. Do đó, người ta còn định nghĩa vector cường độ từ trường \vec{H} :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \quad (13.9)$$

Vector cường độ từ trường \vec{H} có vai trò tương tự như vector điện dịch \vec{D} trong điện trường và vector cảm ứng từ \vec{B} có vai trò tương tự như vector cường độ điện trường \vec{E} . (Do đó nếu gọi chính xác thì \vec{H} phải là vector cảm ứng từ, còn \vec{B} là vector cường độ từ trường. Nhưng do yếu tố lịch sử, người ta vẫn giữ nguyên cách gọi sai này).

Trong hệ SI, đơn vị đo cảm ứng từ là tesla (T); cường độ từ trường là ampe trên mét (A/m).

3 – Các ví dụ về xác định vector cảm ứng từ:

Ví dụ 13.1: Xác định vector cảm ứng từ do dòng điện có cường độ I chạy trong đoạn dây dẫn thẳng AB gây ra tại điểm M cách dây AB một khoảng h .

Giải:

Xét một yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$ bất kì trên đoạn AB. Vector cảm ứng từ do yếu tố $I d\vec{\ell}$ gây ra tại M là: $d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$.

Theo nguyên lí chồng chất, vector cảm ứng từ do đoạn

AB gây ra tại M là:
$$\vec{B} = \int_A^B d\vec{B}$$

Dùng qui tắc *cái đinh ốc*, suy ra $d\vec{B}$ luôn hướng vuông góc với mặt phẳng hình vẽ (13.3) và đi vào

phía trong. Vậy cảm ứng từ tổng hợp \vec{B} cũng có phương chiều như vậy và có độ lớn là:

$$B = \int_A^B dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \int_A^B \frac{I d\ell \cdot \sin \theta}{r^2} \quad (13.10)$$

Để tính được tích phân (13.10), ta đổi về biến số θ . Gọi O là chân đường vuông góc hạ từ M xuống đoạn AB, h là khoảng cách từ O đến yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$ và θ là

góc hợp bởi hướng của dòng điện với đoạn r nối điểm M với yếu tố $I d\vec{\ell}$. Ta có:

$$h = r \cot \theta \Rightarrow dl = \frac{h d\theta}{\sin^2 \theta} \quad (\text{Lưu ý: } dl \text{ là độ dài của đường đi nên trong biểu}$$

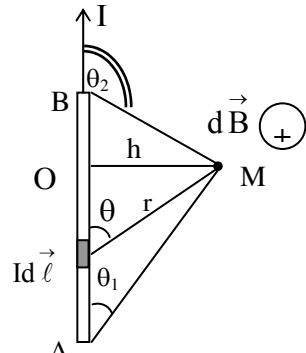
thức vi phân ta đã bỏ qua dấu trừ, chỉ lấy độ lớn). Mà $r = \frac{h}{\sin \theta}$. Do đó (13.10) trở

$$\text{thành: } B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \int_A^B I \frac{h d\theta}{\left(\frac{h}{\sin \theta}\right)^2} \cdot \sin \theta = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi h} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta$$

$$\text{Suy ra: } B = \frac{\mu \mu_0 I}{4\pi h} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (13.11)$$

$$\text{Ở dạng vector, ta có: } \vec{B} = \frac{\mu \mu_0 I}{4\pi h} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \cdot \vec{n} \quad (13.12)$$

Trong đó: \vec{n} là pháp vector đơn vị của mặt phẳng tạo bởi đoạn AB với điểm khảo sát M, chiều của \vec{n} tuân theo qui tắc cái đinh ốc: "Xoay cái đinh ốc sao cho nó tiến theo chiều dòng điện thì chiều quay của cái đinh ốc là chiều của \vec{n} , cũng chính là chiều của \vec{B} ".



Hình 13.3: cảm ứng từ gây bởi đoạn dòng điện thẳng

Hệ quả: Các trường hợp đặc biệt của cảm ứng từ (xem hình 13.4)

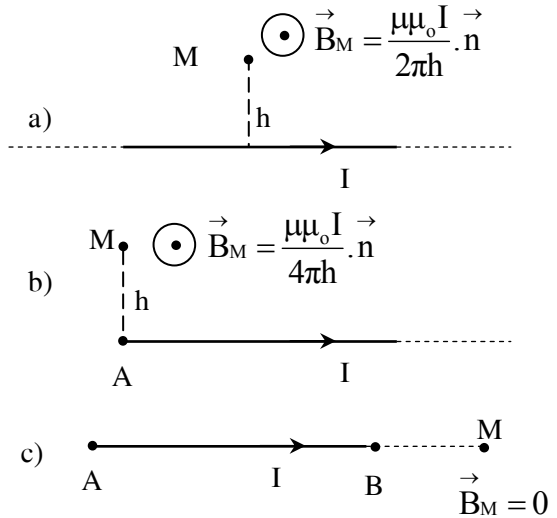
- a) Nếu dây AB rất dài, hoặc điểm khảo sát rất gần đoạn AB thì $\cos\theta_1 = 1$ và $\cos\theta_2 = -1$. Khi đó ta có:

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi h} \cdot \vec{n} \quad (13.13)$$

- b) Nếu AB rất dài và điểm khảo sát M nằm trên đường vuông góc với AB tại một đầu mút thì :

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h} \cdot \vec{n} \quad (13.14)$$

- c) Nếu điểm khảo sát M nằm trên đường thẳng AB thì vectơ $I d\vec{\ell}$ luôn cùng phương với vectơ \vec{r} , do đó vectơ $d\vec{B}$ luôn bằng không và vectơ cảm ứng từ tổng hợp tại M cũng bằng không.



Hình 13.4: Các trường hợp đặc biệt:

- a) Dây AB rất dài;
 b) Nửa đường thẳng;
 c) Điểm M nằm trên đường thẳng AB

Ví dụ 13.2: Hãy xác định vectơ

cảm ứng từ do dòng điện cường độ I chạy trong vòng dây dẫn tròn tâm O, bán kính R gây ra tại điểm M nằm trên trục của vòng dây, cách tâm O một khoảng h.

Giải:

Xét một yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$ bất kì trên vòng dây. Nó gây ra cảm ứng từ tại M là: $d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$, có độ lớn $dB = \frac{\mu\mu_0 I d\ell}{4\pi r^2}$ (do $I d\vec{\ell}$ luôn vuông góc với \vec{r}).

Vectơ $d\vec{B}$ được phân tích thành hai thành phần: $d\vec{B}_n$ hướng theo pháp tuyến của mặt phẳng vòng dây và $d\vec{B}_t$ hướng song song với mặt phẳng vòng dây (hình 13.5). Suy ra cảm ứng từ do toàn vòng dây gây ra tại M là:

$$\vec{B}_M = \oint_{(C)} d\vec{B} = \oint_{(C)} (d\vec{B}_n + d\vec{B}_t) = \oint_{(C)} d\vec{B}_n + \oint_{(C)} d\vec{B}_t$$

Các tích phân lấy trên toàn bộ vòng dây.

Vì lý do đối xứng trục, nên ta luôn tồn tại yếu tố dòng $I d\vec{\ell}'$ đối xứng với $I d\vec{\ell}$ qua tâm O và nó gây ra tại M cảm ứng từ $d\vec{B}'$ đối xứng với $d\vec{B}$ qua trục OM. $d\vec{B}$ và $d\vec{B}'$ có các thành phần tiếp tuyến triệt tiêu nhau nên $\oint_{(C)} d\vec{B}_t = 0$. Suy ra:

$$\vec{B}_M = \oint_{(C)} d\vec{B}_n = \vec{n} \oint_{(C)} dB_n = \vec{n} \oint_{(C)} dB \cdot \cos\beta = \vec{n} \oint_{(C)} \frac{\mu\mu_0 I d\ell}{4\pi r^2} \cdot \cos\beta \quad (13.15)$$

với \vec{n} là pháp vector đơn vị của mặt phẳng vòng dây, có chiều tuân theo quy tắc cái đinh ốc: “*Xoay cái đinh ốc theo chiều dòng điện trong vòng dây thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của vector \vec{n}* ”.

Vì: $\cos\beta = \frac{R}{r}$, $r = \sqrt{R^2 + h^2}$ không đổi nên thay vào (13.15) rồi lấy tích phân, ta

$$\text{có: } \vec{B}_M = \vec{n} \frac{\mu\mu_0 I R}{4\pi r^3} \oint_{(C)} d\ell = \vec{n} \frac{\mu\mu_0 I R}{4\pi(R^2 + h^2)\sqrt{R^2 + h^2}} 2\pi R$$

$$\text{Vậy: } \vec{B}_M = \frac{\mu\mu_0 I S}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \cdot \vec{n} \quad (13.16)$$

Với $S = \pi R^2$ là diện tích giới hạn bởi vòng dây.

Gọi: $\vec{S} = \pi R^2 \vec{n}$ là vector diện tích giới hạn bởi vòng dây

$$\text{Và: } \vec{P}_m = I \vec{S} \quad (13.17)$$

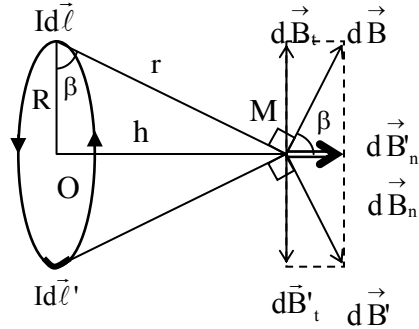
là mômen từ của dòng điện trong vòng dây, thì ta có:

$$\vec{B}_M = \frac{\mu\mu_0 I \vec{S}}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{\mu\mu_0 \vec{P}_m}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (13.18)$$

Hệ quả: Khi $h = 0$, ta có vector cảm ứng từ tại tâm O của vòng dây:

$$\vec{B}_O = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \cdot \vec{n} = \frac{\mu\mu_0 I \vec{S}}{2\pi R^3} = \frac{\mu\mu_0 \vec{P}_m}{2\pi R^3} \quad (13.19)$$

Ví dụ 13.3: Xác định cảm ứng từ tại điểm M trên trục của ống dây (hình 13.6).



Hình 13.5: Cảm ứng từ gây bởi dòng điện tròn

Giải

Xét một đoạn $d\ell$ rất nhỏ. Gọi n là mật độ vòng dây quấn trên ống dây thì $n d\ell$ là số vòng dây quấn trên đoạn $d\ell$. Khi đó cảm ứng từ tại M do dòng điện chạy trong các vòng dây của đoạn $d\ell$ gây ra được suy ra từ (13.18):
$$dB = \frac{\mu\mu_0 IR^2}{2(R^2 + \ell^2)^{3/2}} \cdot n d\ell$$

Từ đó tính được cảm ứng từ do toàn ống dây gây ra tại M :

$$B = \int_{(1)}^{(2)} dB = \frac{\mu\mu_0 n I R^2}{2} \int_{(1)}^{(2)} \frac{d\ell}{(R^2 + \ell^2)^{3/2}} \tag{13.20}$$

Theo hình 13.6, ta có: $\ell = R \tan \theta \Rightarrow d\ell = \frac{R d\theta}{\cos^2 \theta}$.

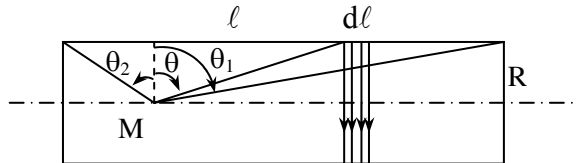
Thay vào (13.20) và chú ý rằng $1 + \tan^2 \theta = \frac{1}{\cos^2 \theta}$, ta được:

$$B = \frac{\mu\mu_0 n I}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos \theta d\theta = \frac{\mu\mu_0 n I}{2} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \tag{13.21}$$

Trong công thức (13.21), θ_1 và θ_2 là các góc định hướng.

Nếu ống dây rất dài hoặc đường kính ống dây rất nhỏ so với chiều dài của ống dây thì góc $\theta_1 = -90^\circ$ và $\theta_2 = 90^\circ$. Khi đó ta có:
$$B = \mu\mu_0 n I \tag{13.22}$$

Người ta chứng minh được, vectơ cảm ứng từ trong lòng ống dây dài không thay đổi tại mọi điểm. Từ trường có tính chất đó gọi là từ trường đều.



Hình 13.6: Ống dây dài (solenoid)

§ 13.3 CÁC ĐỊNH LÝ QUAN TRỌNG VỀ TỪ TRƯỜNG

1 – Đường cảm ứng từ:

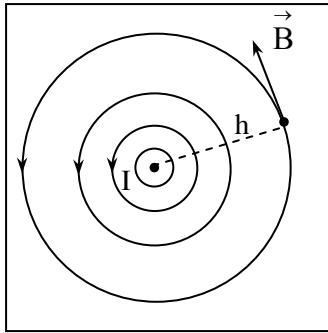
Cũng giống như đường sức điện trường, để mô tả từ trường một cách trực quan, người ta dùng các đường cảm ứng từ. Đường cảm ứng từ (hay đường sức của từ trường) là đường vẽ trong từ trường sao cho tiếp tuyến với nó tại mỗi điểm trùng với phương của vectơ cảm ứng từ tại điểm đó, chiều của đường cảm ứng từ là chiều của vectơ \vec{B} .

Tính chất của đường cảm ứng từ:

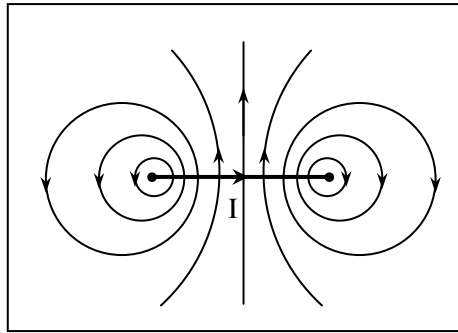
- Qua bất kì một điểm nào trong từ trường cũng vẽ được một đường cảm ứng từ.
- Các đường cảm ứng từ không cắt nhau.

Qui ước: vẽ số đường cảm ứng từ xuyên qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với các đường cảm ứng từ bằng độ lớn của vectơ cảm ứng từ tại diện tích đó. Như vậy, nơi nào từ trường mạnh, các đường sức từ sẽ sít nhau; nơi nào từ trường yếu, các đường sức từ sẽ thưa và đối với từ trường đều thì các đường sức từ sẽ song song và cách đều nhau.

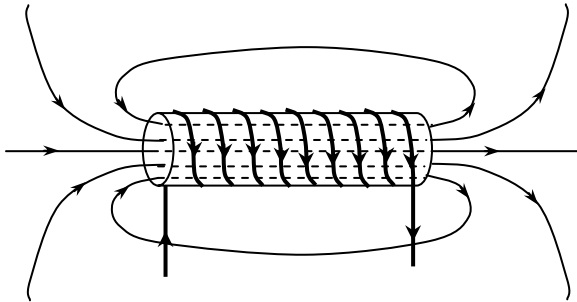
Tập hợp các đường cảm ứng từ gọi là *phổ của từ trường* hay *từ phổ*. Hình 13.7 cho ta biết vài dạng từ phổ của dòng điện.



a) Từ phổ của dòng điện thẳng



b) Từ phổ của dòng điện trong vòng dây tròn



c) Từ phổ của dòng điện trong ống dây dài (solenoid)

Hình 13.7:
Vài dạng từ phổ

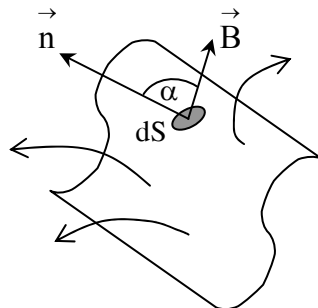
2 – Từ thông (hay thông lượng từ trường):

Tương tự như khái niệm điện thông, từ thông gửi qua diện tích vi cấp dS là đại lượng:

$$d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS_n = B dS \cos \alpha \quad (13.23)$$

Và từ thông gửi qua một mặt (S) bất kì là:

$$\Phi_m = \int_S d\Phi_m = \int_S B dS_n = \int_S B dS \cos \alpha \quad (13.24)$$



Hình 13.8: Từ thông

Trong đó α là góc tạo bởi vectơ cảm ứng từ \vec{B} với pháp vectơ đơn vị của mặt (S) tại điểm khảo sát. Qui ước chọn chiều của pháp vectơ đơn vị \vec{n} như sau: nếu mặt (S) là kín thì vectơ \vec{n} hướng từ trong ra ngoài; nếu (S) là mặt hở thì \vec{n} chọn tùy ý.

Trường hợp đặc biệt, mặt (S) là phẳng, đặt trong từ trường đều thì từ thông gởi qua (S) là:
$$\Phi_m = BS \cos \alpha \tag{13.25}$$

Từ thông là đại lượng vô hướng, có thể dương, âm hoặc bằng không. Giá trị tuyệt đối của từ thông cho biết số lượng đường sức từ gởi qua mặt (S). Trong hệ SI, đơn vị đo từ thông là vèbe (Wb).

3 – Định lý O – G đối với từ trường:

Ta đã biết rằng, đối với điện trường, định lí O – G được phát biểu “Điện thông gởi qua mặt kín bất kì thì bằng tổng các điện tích chứa trong mặt kín đó chia cho hằng số điện ϵ_0 ”. Bằng cách suy luận tương tự, đối với từ trường ta cũng có thể phát biểu định lí O – G như sau: Từ thông gởi qua mặt kín bất kì thì bằng tổng các từ tích chứa trong mặt kín đó chia cho hằng số từ μ_0 . Tuy nhiên, sự khác nhau căn bản giữa điện trường và từ trường ở chỗ điện trường (tĩnh) được gây bởi các điện tích đứng yên, còn từ trường được gây ra bởi các điện tích chuyển động. cho tới ngày nay, người ta chưa hề tìm thấy các từ tích trong tự nhiên.

Vì lí do đó định lí O – G đối với từ trường được phát biểu như sau: “ Từ thông gởi qua bất kỳ mặt kín nào cũng bằng không”.

Biểu thức:
$$\oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \tag{13.26}$$

Hay ở dạng vi phân:
$$\text{div } \vec{B} = 0 \tag{13.27}$$

Các công thức (13.26) và (13.27) chứng tỏ đường sức của từ trường phải là đường khép kín. Ta nói từ trường là một trường xoáy.

4 – Định lý Ampère về lưu thông của vectơ cường độ từ trường:

Xét một đường cong kín (C) bất kì nằm trong từ trường. Trên (C), ta lấy một đoạn cung $d\ell = \widehat{MN}$ đủ nhỏ, tích phân $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell}$ được gọi là lưu thông của vectơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C).

Trong trường hợp đơn giản, (C) bao quanh dòng điện I chạy trong dây dẫn thẳng dài và giả sử (C) nằm trong mặt phẳng vuông góc với dây dẫn (xem hình (13.9)). Ta có: $\vec{H} \cdot d\vec{\ell} = H d\ell \cos \alpha$, với α là góc giữa \vec{H} và $d\vec{\ell}$

Vì $d\ell = \widehat{MN}$ rất nhỏ nên $r = r'$; $d\ell \cos \alpha = HM' = r' \sin(d\varphi) = rd\varphi$.

$$\text{Mặt khác: } H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{I}{2\pi r}$$

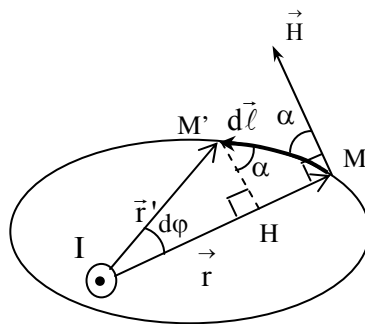
$$\text{Suy ra: } \vec{H} d\vec{\ell} = \frac{I}{2\pi r} \cdot r d\varphi = \frac{I d\varphi}{2\pi}$$

Từ đó tính được lưu thông của vector \vec{H} dọc theo đường cong (C) :

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = \frac{I}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi = I \quad (13.28)$$

Kết quả (13.28) là ta đã lấy tích phân theo chiều thuận với chiều của vector \vec{H} . Trong

trường hợp tính tích phân theo chiều ngược lại thì góc $\alpha > 90^\circ$ và $\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = -I$.



Hình 13.9: Lưu thông của vector cường độ từ trường

Nếu đường cong kín (C) không bao quanh dòng điện I $\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = 0$.

Trong trường hợp đường cong kín (C) bao quanh nhiều dòng điện thì từ nguyên lí chồng chất suy ra, lưu thông của vector \vec{H} sẽ bằng tổng đại số các dòng điện đó.

Từ những điều phân tích ở trên, ta đi đến một định lí tổng quát về lưu thông của vector cường độ từ trường – còn gọi là định lí Ampère hay định lí dòng toàn phần. Nội dung định lí được phát biểu như sau:

“Lưu thông của vector cường độ từ trường \vec{H} dọc theo một đường cong kín (C) bất kỳ bằng tổng đại số các cường độ của các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín đó”.

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = \sum_{k=1}^n I_k \quad (13.29)$$

Trong (13.29) ta qui ước như sau: Chiều lấy tích phân là chiều thuận đối với dòng điện I_k nếu xoay cái đinh ốc theo chiều này thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của dòng điện I_k . Khi đó dòng I_k sẽ mang dấu dương. Trái lại nó mang dấu âm.

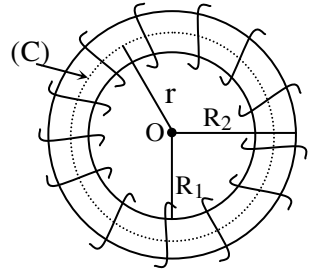
Ví dụ 13.4 : Ứng dụng định lí dòng toàn phần để tính cảm ứng trong lòng ống dây hình xuyên (toroid).

Xét một ống dây hình xuyên, bán kính trong R_1 , bán kính ngoài R_2 , trên đó quấn N vòng dây có dòng điện I chạy qua (xem hình 13.10). Để tính cảm ứng từ trong lòng ống dây, ta xét một đường cong kín (C) là đường tròn tâm O, bán kính r

nằm trong ống dây ($R_1 < r < R_2$). Vì lý do đối xứng quanh tâm O của hình xuyên nên cường độ từ trường tại mọi điểm trên đường cong kín (C) đều có độ lớn bằng nhau và có phương tiếp tuyến với (C).

Do đó lưu thông của vectơ \vec{H} dọc theo đường cong kín (C), lấy theo chiều thuận của các dòng điện là:

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = \oint_{(C)} H d\ell = H \oint_{(C)} d\ell = H \cdot 2\pi r$$



Hình 13.9: Ống dây toroid

Mặt khác, tổng dòng điện xuyên qua diện tích giới

hạn bởi đường cong kín (C) là: $\sum_{k=1}^N I_k = NI$

Mà theo định lý O – G : $\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = \sum_{k=1}^N I_k$

Nên ta có: $H \cdot 2\pi r = NI$

Vậy cường độ từ trường trong ống dây là : $H = \frac{NI}{2\pi r} = nI$ (13.30)

và cảm ứng từ trong ống dây là : $B = \mu\mu_0 H = \mu\mu_0 nI$ (13.31)

Trong đó : $n = \frac{N}{2\pi r}$ chính là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài hay mật độ vòng dây quấn trên ống dây.

Bằng cách chọn đường cong kín (C) ở bên ngoài ống dây ($r < R_1$ hoặc $r > R_2$) ta sẽ chứng minh được $H = 0$.

Kết luận : bên ngoài ống dây toroid không có từ trường. Nói cách khác, từ trường của dòng điện quấn trên ống dây hình xuyên bị « nhốt » ở bên trong lòng ống dây.

§ 13.4 TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN DÒNG ĐIỆN

1 – Lực từ tác dụng lên dòng điện – công thức Ampère:

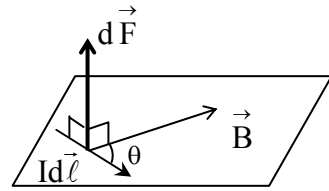
Khi có dòng điện I đặt trong từ trường thì lực do từ trường tác dụng lên một phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ được xác định bởi biểu thức:

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}$$
 (13.32)

Vectơ $d\vec{F}$ có:

- **Phương:** vuông góc với mặt phẳng chứa hai vectơ $Id\vec{\ell}$ và \vec{B} .

- **Chiều:** tuân theo qui tắc cái đinh ốc:
“Xoay cái đinh ốc quay từ vector $I d\vec{\ell}$ đến vector \vec{B} theo góc nhỏ nhất thì chiều tiến của cái đinh ốc là chiều của vector $d\vec{F}$.
- **Độ lớn:** $dF = Id\ell B \sin \theta$ (13.33)
- với θ là góc tạo bởi hai vector $I d\vec{\ell}$ và \vec{B}
- **Điểm đặt:** Tại trung điểm của đoạn $d\ell$.



Hình 13.10: Lực từ tác dụng lên yếu tố dòng $I d\vec{\ell}$

Tích phân (13.32) trên toàn bộ dòng điện, ta có lực từ tác dụng lên cả dòng điện I:
$$\vec{F} = \int_{\text{toàn dd}} d\vec{F} \quad (13.33)$$

Dưới đây khảo sát vài trường hợp đặc biệt của lực từ.

2 – Tác dụng của từ trường đều lên một đoạn dòng điện thẳng:

Xét một đoạn dây dẫn thẳng, có chiều dài ℓ đặt trong từ trường đều có vector cảm ứng từ \vec{B} . Khi đó lực từ tác dụng lên đoạn dây có biểu thức :

$$\vec{F} = \int_{\text{doan dây}} d\vec{F} = \int_{\text{doan dây}} (I d\vec{\ell} \times \vec{B}) = I \vec{\ell} \times \vec{B} \quad (13.34)$$

Dễ dàng suy ra lực từ có phương: vuông góc với mặt phẳng $(I \vec{\ell}, \vec{B})$; có chiều: theo qui tắc cái đinh ốc hoặc qui tắc bàn tay trái: “Đặt bàn tay trái sao cho các đường cảm ứng từ đâm xuyên vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến các ngón tay chỉ chiều của dòng điện, ngón cái choãi ra 90° sẽ chỉ chiều của lực từ”; có điểm đặt tại trung điểm của đoạn dây ℓ ; và có độ lớn được tính bởi công thức:

$$F = BI \ell \sin \theta \quad (13.35)$$

Trong đó, θ là góc tạo bởi chiều của dòng điện và vector \vec{B} .

Trường hợp đặc biệt : nếu đoạn dây ℓ đặt vuông góc với đường sức từ trường thì lực từ tác dụng lên đoạn dây đạt giá trị lớn nhất: $F = BI \ell$ (13.36)

Và nếu đoạn dây đặt song song với các đường cảm ứng từ thì lực từ bằng không.

3 – Tác dụng của từ trường đều lên khung dây có dòng điện:

Xét dòng điện I chạy trong khung dây cứng, hình chữ nhật ABCD có độ dài các cạnh là a và b đặt trong từ trường đều \vec{B} có các đường sức từ vuông góc

với trục quay Δ của khung dây. Gọi góc hợp bởi vectơ pháp tuyến \vec{n} của khung dây và vectơ cảm ứng từ \vec{B} là α (hình 13.11). Ta có:

* Lực từ tác dụng lên mỗi cạnh AD và BC có phương song song với trục quay Δ , nhưng ngược chiều. Cặp lực này sẽ tự cân bằng lẫn nhau mà không tạo mômen làm quay khung dây.

* Cặp lực từ tác dụng lên cạnh AB và CD ngược chiều nhau, có cùng độ lớn:

$$F = B i a \sin 90^\circ = B i a$$

sẽ tạo thành ngẫu lực làm quay khung dây. Mômen của ngẫu lực là:

$$M = F \cdot d = F \cdot b \sin \alpha = B i a b \sin \alpha$$

Mà $i a b = I S = p_m$

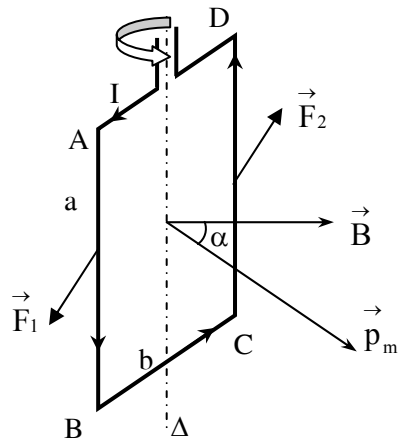
$$\text{Nên: } M = p_m B \sin \alpha. \quad (13.37)$$

Trong đó $S = a b$ là diện tích khung dây và $p_m = I S$ là mômen từ của dòng điện trong khung dây. Chiều của vectơ mômen lực hướng vuông góc với mặt phẳng chứa vectơ \vec{B} và \vec{p}_m . Do đó ta có biểu thức vectơ mômen lực từ:

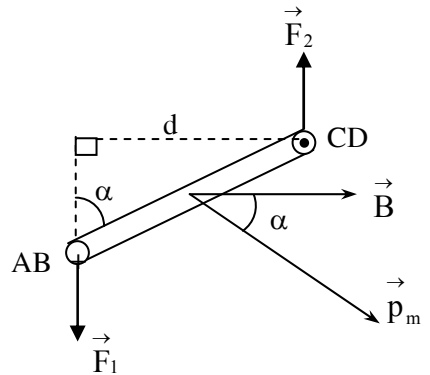
$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B} \quad (13.38)$$

Ngẫu lực sẽ làm quay khung về vị trí sao cho vectơ mômen ngẫu lực bằng không,

khi đó \vec{p}_m định hướng song song với \vec{B} , tức là góc $\alpha = 0$ hoặc $\alpha = 180^\circ$. Khi $\alpha = 0$ thì khung dây ở vị trí cân bằng bền; $\alpha = 180^\circ$ thì khung dây ở vị trí cân bằng không bền. Muốn cho khung dây quay liên tục, ta phải đổi chiều của dòng điện hoặc đổi chiều của \vec{B} mỗi khi mômen quay triệt tiêu. Đó chính là nguyên tắc để chế tạo ra các động cơ điện.



Hình 13.11: Lực từ tác dụng lên khung dây

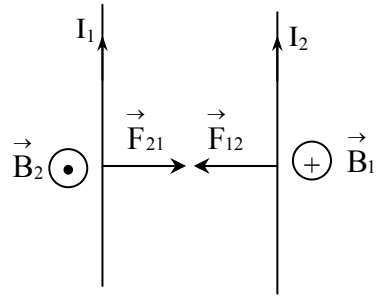


Hình 13.12: Mômen lực từ

4 – Tác dụng tương hỗ của hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn:

Xét hai dây dẫn thẳng song song dài vô hạn, đặt cách nhau một khoảng d , có hai dòng điện cường độ I_1 và I_2 cùng chiều chạy qua. Dòng điện I_1 gây ra xung

quanh nó từ trường \vec{B}_1 và dòng điện I_2 đặt trong từ trường \vec{B}_1 nên chịu tác dụng của lực từ \vec{F}_{12} . Tương tự, dòng điện I_2 cũng gây ra xung quanh nó từ trường \vec{B}_2 và dòng điện I_1 đặt trong từ trường \vec{B}_2 nên chịu tác dụng của lực từ \vec{F}_{21} . Hình 13.13 cho thấy hai lực \vec{F}_{12} và \vec{F}_{21} ngược hướng. Kết quả hai dòng điện I_1, I_2 hút nhau.



Hình 13.13: Hai dòng điện song song cùng chiều thì hút nhau

Lập luận tương tự ta cũng rút ra kết luận: hai dòng điện song song ngược chiều thì đẩy nhau (hình 13.14).

Độ lớn của lực tương tác trên một đoạn có chiều dài ℓ là:

$$F = F_{12} = B_1 I_2 \ell = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi d} = F_{21} \quad (13.39)$$

Vậy lực tương tác trên mỗi đơn vị chiều dài là:

$$f = \frac{F}{\ell} = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \quad (13.40)$$

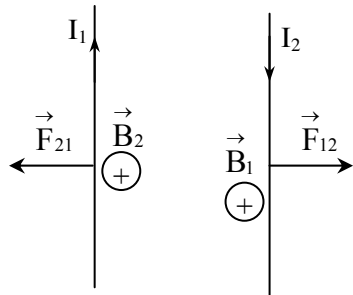
5 – Công của lực từ:

Xét mạch điện có cường độ I không đổi, đặt trong từ trường đều \vec{B} có các đường sức từ vuông góc với mặt phẳng mạch điện như hình (13.15). Đoạn thẳng $MN = \ell$ có thể trượt tịnh tiến trên hai thanh ray cố định. Lực từ tác dụng lên đoạn MN có độ lớn là $F = BI\ell$ và có chiều như hình vẽ. Công của lực từ sinh ra trong quá trình đoạn MN dịch chuyển một quãng nhỏ dx là:

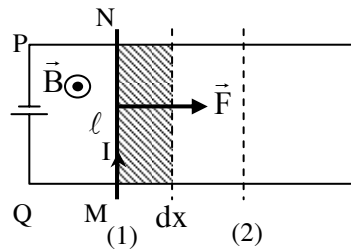
$$dA = F \cdot dx = BI\ell \cdot dx = BI \cdot dS = I \cdot d\Phi_m \quad (13.41)$$

Nếu MN dịch chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) thì công của lực từ là:

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \int_1^2 d\Phi_m = I\Delta\Phi_m \quad (13.42)$$



Hình 13.14: Hai dòng điện song song ngược chiều thì đẩy nhau



Hình 13.15: Công của lực từ

Trong đó $\Delta\Phi_m$ là độ biến thiên của từ thông qua mạch, chính là từ thông gửi qua diện tích quét bởi đoạn MN trong quá trình dịch chuyển.

Công thức (13.42) đúng trong cả trường hợp một mạch kín bất kỳ chuyển động trong từ trường không đều.

Vậy công của lực từ trong sự dịch chuyển một mạch điện bất kì trong từ trường bằng tích số giữa cường độ dòng điện trong mạch với độ biến thiên của từ thông qua diện tích của mạch kín đó.

Hệ quả: Một mạch kín tịnh tiến trong từ trường đều thì công của lực từ bằng không.

§ 13.5 CHUYỂN ĐỘNG CỦA ĐIỆN TÍCH TRONG TỪ TRƯỜNG

1 – Tác dụng của từ trường lên điện tích chuyển động - lực Lorentz:

Giả sử hạt mang điện tích q chuyển động trong từ trường \vec{B} với vận tốc \vec{v} . Trong thời gian dt , nó dịch chuyển được một đoạn $d\vec{\ell} = \vec{v} dt$. Nhân hai vế của phương trình này với q rồi chia cho dt , ta có: $\frac{q}{dt} d\vec{\ell} = q \vec{v}$. Mà q/dt chính là cường độ dòng điện I .

Vậy: $I d\vec{\ell} = q \vec{v}$ (13.43)

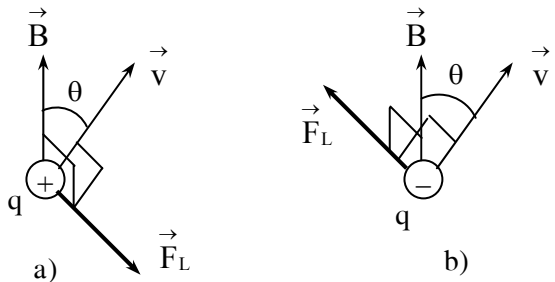
Nói cách khác, một hạt điện tích chuyển động thì tương đương với một phần tử dòng điện.

Ta đã biết rằng, phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ đặt trong từ trường \vec{B} sẽ bị từ trường tác dụng lực là $d\vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B}$. Vậy điện tích q chuyển động trong từ trường cũng bị lực từ

tác dụng một lực là: $\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B} = q[\vec{v}, \vec{B}]$ (13.44)

Lực từ trong trường hợp này được gọi là lực Lorentz. Lực Lorentz có:

- Phương: vuông góc với \vec{v} và \vec{B} ;
- Chiều: sao cho ba vectơ $q \vec{v}$, \vec{B} và \vec{F}_L theo thứ tự đó lập thành một tam diện thuận (xem hình 13.16). Trong thực hành, người ta thường dùng qui tắc bàn tay trái để xác định chiều của lực Lorentz tác dụng lên điện tích



Hình 13.16: Lực Lorentz tác dụng lên:
 a) điện tích dương
 b) điện tích âm

đương và qui tắc bàn tay phải đối với điện tích âm: “*Đặt bàn tay trái (hoặc phải) sao cho các đường cảm ứng từ xuyên qua lòng bàn tay, chiều đi từ cổ tay đến bốn ngón tay là chiều \vec{v} , thì ngón cái choãi ra 90° sẽ chỉ chiều của lực Lorentz*”.

$$\text{- Độ lớn: } F_L = |q|Bv\sin\theta \quad (13.45)$$

với θ là góc giữa \vec{v} và \vec{B} .

- Điểm đặt: tại điện tích q .

Từ (13.45) suy ra, khi hạt mang điện chuyển động vuông góc với các đường sức từ thì lực Lorentz có giá trị lớn nhất: $F_L = |q|Bv$ (13.46)

Và khi hạt mang điện chuyển động song song với các đường sức từ thì lực Lorentz bằng không.

Lực Lorentz luôn vuông góc với vectơ vận tốc của hạt điện tích, nghĩa là vuông góc với đường đi nên không sinh công. Vì thế động năng của hạt không đổi. Như vậy, tác dụng của lực Lorentz chỉ làm cho vectơ vận tốc của hạt điện tích thay đổi về phương mà không thay đổi về độ lớn.

2 – Chuyển động của hạt điện tích trong từ trường đều:

a) Trường hợp 1: Vectơ vận tốc ban đầu của hạt điện tích vuông góc với đường sức từ trường.

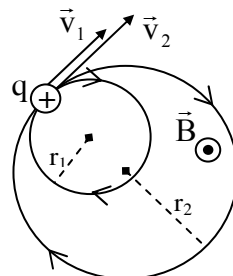
Lực Lorentz trong trường hợp này là $F_L = |q|Bv = \text{const}$. Vì thế quỹ đạo của hạt phải là đường tròn và \vec{F}_L đóng vai trò là lực hướng tâm. Ta có:

$$F_L = ma_n \Leftrightarrow |q|Bv = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{|q|B} \quad (13.47)$$

Vậy hạt điện tích sẽ chuyển động tròn đều trong từ trường với vận tốc bằng vận tốc ban đầu khi được bắn vào từ trường. Bán kính quỹ đạo tròn được xác định bởi (13.47). Chu kì quay của hạt là:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B} \quad (13.48)$$

Ta thấy rằng, chu kỳ T không phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của hạt. Suy ra, nếu bắn cùng một loại hạt điện tích (q và m như nhau) với các vận tốc khác nhau vào từ trường đều theo phương vuông góc với đường cảm ứng từ thì chúng chuyển động đều theo hai quỹ đạo tròn có bán kính tỷ lệ với vận tốc của chúng với cùng chu kỳ (hình 13.18).



Hình 13.18:
Bán kính quỹ đạo
tỷ lệ với vận tốc
của hạt

b) Trường hợp 2: Vectơ vận tốc ban đầu của hạt điện tích không vuông góc với đường sức từ trường.

Ta phân tích vectơ \vec{v} thành hai thành phần: thành phần song song với đường sức từ trường và thành phần vuông góc với đường sức từ trường: $\vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel$

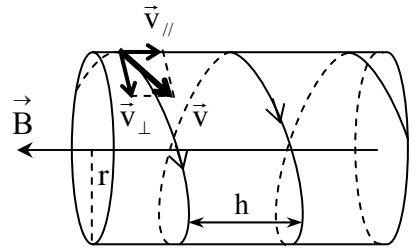
Ta có: $v_\perp = v \sin\theta$ và $v_\parallel = v \cos\theta$.

Thành phần \vec{v}_\parallel không bị ảnh hưởng bởi lực Lorentz (vì \vec{v}_\parallel song song \vec{B}) nên $v_\parallel = \text{const}$.

Còn thành phần \vec{v}_\perp chịu tác dụng của lực Lorentz làm nó chuyển động tròn đều.

Kết quả: quỹ đạo của hạt là một đường xoắn lò xo nằm trên mặt trụ có trục song song với \vec{B} . Bán kính vòng xoắn: $r = \frac{mv_\perp}{|q|B} = \frac{mv \sin\theta}{|q|B}$ (13.49)

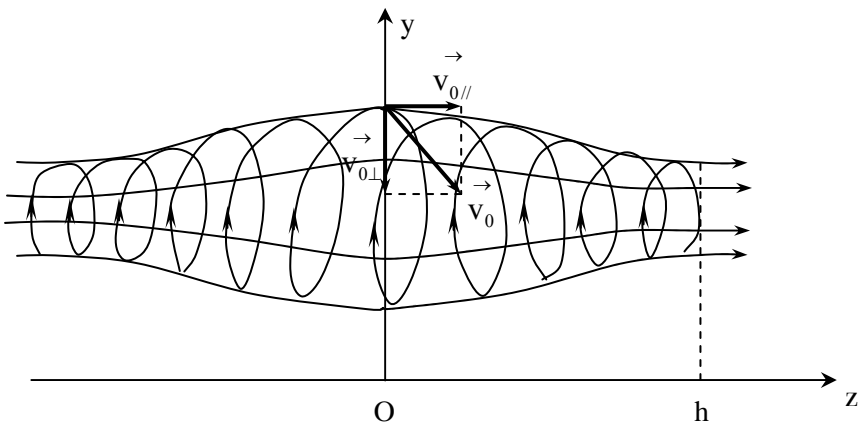
Bước xoắn:
$$h = v_\parallel \cdot T = \frac{2\pi m v \cos\theta}{|q|B}$$
 (13.50)



Hình 13.19: Điện tích chuyển động theo đường xoắn lò xo trong từ trường đều

3 – Chuyển động của hạt điện tích trong từ trường không đều – bẫy từ:

Giả sử hạt điện tích chuyển động trong từ trường không đều, có các đường sức từ mô tả như hình 13.20. Giả sử hạt rơi vào từ trường tại điểm O có cảm ứng từ B_0 với vận tốc ban đầu \vec{v}_0 . Tại mỗi điểm trên quỹ đạo của hạt, ta luôn phân tích



Hình 13.20: Hạt điện tích chuyển động trong bẫy từ

vector vận tốc của hạt thành hai thành phần: $\vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel$. Thành phần \vec{v}_\perp vuông góc với đường sức từ trường, thành phần \vec{v}_\parallel song song với đường sức từ trường. Tương tự như kết quả trên, quỹ đạo của hạt sẽ là đường xoắn ốc (cycloid). Bán kính vòng xoắn tại thời điểm t là: $r_c = \frac{mv_\perp}{|q|B(z)}$

Mặt khác, theo định luật bảo toàn mômen động lượng, ta có: $mv_\perp r_c = \text{const}$

$$\text{Hay } \frac{m^2 v_\perp^2}{|q|B(z)} = \text{const} \Rightarrow \frac{v_\perp^2}{B(z)} = \text{const} \Rightarrow \frac{v_\perp}{B(z)} = \frac{v_{0\perp}}{B_0}$$

$$\text{Suy ra: } v_\perp = v_{0\perp} \left(\frac{B(z)}{B_0} \right)^{1/2} \quad (13.51)$$

Vì lực Lorentz không làm thay đổi độ lớn của vector vận tốc, nên ta có:

$$v^2 = v_\perp^2 + v_\parallel^2 = v_0^2 \quad (13.52)$$

Gọi θ và θ_0 là góc tạo bởi các vector vận tốc \vec{v} và \vec{v}_0 với vector cảm ứng từ thì:

$$v_\parallel = v \cos \theta; \quad v_\perp = v \sin \theta; \quad v_{0\parallel} = v_0 \cos \theta_0; \quad v_{0\perp} = v_0 \sin \theta_0 \quad (13.53)$$

$$\text{Kết hợp (13.51), (13.52) và (13.53) ta có: } v_\parallel = v_0 \left(1 - \frac{B(z)}{B_0} \sin^2 \theta_0 \right)^{1/2} \quad (13.54)$$

Từ (13.54) suy ra rằng, hạt điện tích không thể xuyên qua miền có $B(z)$ lớn tùy ý, nếu hướng chuyển động của nó không hoàn toàn song song với đường sức từ. Nó sẽ bị phản xạ ngược trở lại tại điểm giới hạn có tọa độ z_h có cảm ứng từ $B(z) = B_h$

$$\text{thỏa điều kiện: } B_h = \frac{B_0}{\sin^2 \theta_0} \quad (13.55)$$

Như vậy, nếu từ trường không đều, có dạng đối xứng qua mặt phẳng $z = 0$ như hình (13.20) thì bất kì hạt điện tích nào rơi vào từ trường này đều có thể bị bắt bẫy, nó chuyển động xoắn ốc qua lại giữa hai mặt phẳng $z = h$ và $z = -h$. Ta nói hạt điện tích bị rơi vào *bẫy từ*. Từ (13.55) suy ra, hạt nào chuyển động theo hướng có góc θ_0 lớn thì càng dễ mắc bẫy.

Các electron, proton, ion sinh ra trong khí quyển cũng bị từ trường của Trái Đất bắt bẫy như thế. Kết quả chúng chuyển động qua lại giữa địa cực Bắc và Nam trong vài giây, làm ion hóa chất khí, kèm theo sự phát sáng. Do đó tên bầu trời Cực Bắc và Cực Nam của Trái Đất thường có các vòng cực quang rất sáng vào ban đêm.

4 – Hiệu ứng Hall:

Cho dòng điện có dòng điện mật độ \vec{j} chạy qua một vật dẫn kim loại có dạng hình hộp chữ nhật, bề dày d . Khi chưa có từ trường ngoài (hình 13.21a), thì các mặt trên và dưới có cùng điện thế. Khi khối vật dẫn đặt trong từ trường ngoài có vector cảm ứng từ \vec{B} hướng nằm ngang và vuông góc với vector mật độ dòng \vec{j} thì giữa hai mặt trên và dưới của vật dẫn xuất hiện một hiệu điện thế U_H . Hiện tượng này được E.H.Hall, nhà vật lý người Mỹ phát hiện năm 1879 nên được gọi là hiệu ứng Hall; giá trị hiệu điện thế U_H gọi là *hiệu điện thế Hall*.

Thực nghiệm chứng tỏ U_H tỉ lệ với mật độ dòng điện j , với cảm ứng từ B và khoảng cách d giữa hai mặt trên – dưới: $U_H = RdjB$, trong đó R là hệ số tỉ lệ.

Nguyên nhân gây ra hiệu ứng Hall là do lực Lorentz $F_L = qvB$ tác dụng lên các electron đang chuyển động có hướng tạo thành dòng điện, làm cho các electron này có chuyển động phụ đi lên (hình 13.21b). Kết quả mặt trên dư electron nên tích điện âm, mặt dưới thiếu electron nên tích điện dương và giữa hai mặt hình thành hiệu điện thế U_H .

Khi xuất hiện các điện tích trái dấu ở hai mặt trên và dưới thì đồng thời hình thành điện trường \vec{E} hướng từ mặt (+) sang mặt (-). Điện trường này tạo ra lực điện trường $\vec{F}_d = -q\vec{E}$ cản trở chuyển động phụ của các electron, nghĩa là lực điện trường ngược chiều với lực Lorentz. Khi trạng thái cân bằng được thiết lập thì $qE = qvB$.

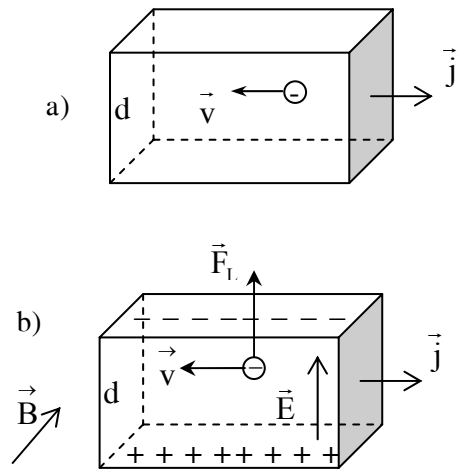
Do đó hiệu điện thế Hall có giá trị là: $U_H = Ed = vdB$. Mà: $j = n_0qv$

Vậy:
$$U_H = \frac{djB}{n_0q} = RdjB \quad (13.56)$$

Với:
$$R = \frac{1}{n_0q} \quad (13.57)$$

là hằng số Hall, phụ thuộc vào mật độ hạt mang điện tự do n_0 trong vật dẫn.

Hiệu ứng Hall không chỉ xảy ra đối với kim loại mà còn đối với cả chất bán dẫn. Nó được ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực *vật lý chất rắn, vật lý bán dẫn và vật liệu điện*.



Hình 13.21: Hiệu ứng Hall
 a) Chưa có từ trường
 b) Có từ trường

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 13

13.1 Bốn dòng điện thẳng, dài, song song, cường độ bằng nhau $I = 20A$, đặt tại 4 đỉnh của hình vuông ABCD, cạnh $a = 20cm$, và vuông góc với mặt phẳng (ABCD). Xác định cảm ứng từ tại tâm hình vuông trong trường hợp:

- Cả 4 dòng điện cùng chiều.
- Một dòng điện có chiều ngược với 3 dòng kia.

13.2 Hai dòng điện thẳng, dài, song song, cách nhau một khoảng d , cường độ $I_1=2I_2$. Trên đường thẳng nối chúng, vuông góc với chúng, từ trường triệt tiêu tại đâu? Xét khi chúng cùng chiều và ngược chiều nhau.

13.3 Đoạn dây thẳng AB có dòng điện $I = 20A$ chạy qua. Xác định cường độ từ trường tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB, cách dòng điện 5cm và nhìn AB dưới góc 60° .

13.4 Hai vòng dây dẫn tròn, bằng nhau, bán kính 10cm đặt song song, trục trùng nhau, khoảng cách hai tâm là 20cm, có dòng điện cùng cường độ 3A chạy qua. Hãy xác định cảm ứng từ tại tâm của mỗi vòng dây và tại trung điểm đường nối tâm, biết:

- Hai dòng điện cùng chiều nhau.
- Hai dòng điện ngược chiều nhau.

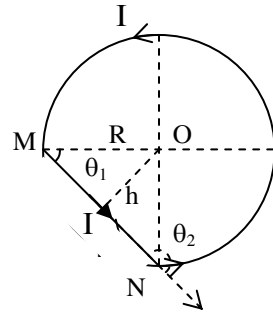
13.5 Dòng điện gồm $3/4$ cung tròn bán kính $R = 10cm$ và một đoạn thẳng MN, có dòng điện $I = 10A$ chạy qua như hình 13.22. Xác định cảm ứng từ tại tâm O.

13.6 Dòng điện cường độ $I = 10A$ chạy dọc theo thành của một ống thẳng, mỏng, hình trụ tròn bán kính $R_2 = 5cm$, sau đó chạy ngược lại dọc theo dây dẫn đặc, hình trụ tròn, bán kính $R_1 = 1mm$ đặt trùng với trục của ống (hình 13.23). Coi ống dài vô hạn và bỏ qua từ trường trong lòng kim loại. Xác định cường độ từ trường tại:

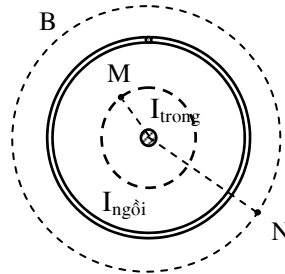
- điểm N cách trục O một khoảng $r_N = 6cm$.
- điểm M cách trục O một khoảng $r_M = 2cm$.

13.7 Ba vectơ trong biểu thức $\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$ thì cặp vectơ nào luôn vuông góc với nhau, cặp nào có thể lập với nhau một góc tùy ý?

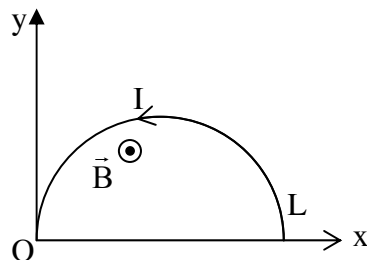
13.8 Người ta đặt trong từ trường đều có $B = 0,1T$ một đoạn dây dẫn thẳng, dài $L = 70cm$, có dòng điện $I = 70A$ chạy qua sao cho dây



Hình 13.22



Hình 13.23

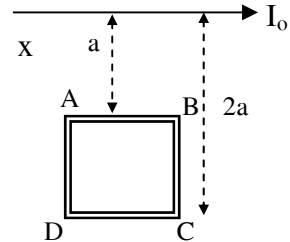


Hình 13.24

hợp với đường cảm ứng từ góc $\alpha = 30^\circ$. Hãy xác định lực từ tác dụng lên đoạn dòng điện đó.

13.9 Trong mặt phẳng vuông góc với các đường cảm ứng từ của trường đều $B = 0,1T$ có đặt một sợi dây dẫn dài $L = 63cm$ có dạng nửa vòng tròn, dòng điện $I = 20A$ chạy qua (hình 13.24). Xác định lực từ tác dụng lên dây, coi dây cứng và không biến dạng.

13.10 Cạnh dòng điện I_0 thẳng, rất dài, có khung dây ABCD phẳng, vuông, dòng điện $I \ll I_0$. Khung có thể quay quanh trục song song với I_0 . Khi khung dây cân bằng thì nó nằm cùng một mặt phẳng với I_0 . Khoảng cách từ cạnh khung dây đến dòng I_0 là a và $2a$ (hình 13.25).



Hình 13.25

- Phải cho dòng điện I chạy trong khung có chiều thế nào để khung cân bằng bền?
- Tính từ thông do từ trường của I_0 gửi qua khung.
- Tính lực do từ trường của I_0 tác dụng lên khung dây.

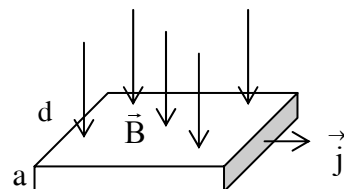
13.11 Quỹ đạo của chùm electron chuyển động trong từ trường đều $H = 5,56.10^3 A/m$ là một đường tròn bán kính $R = 3cm$. Hãy xác định các yếu tố sau đây đối với mỗi electron: Vận tốc dài v ; Động năng W_d ; Chu kỳ quay T ; Mômen xung lượng L .

13.12 Một electron chuyển động trong từ trường đều $B = 2.10^{-3}T$ theo đường xoắn ốc hình trụ tròn bán kính $R = 2cm$ và bước ốc $h = 5cm$. hãy xác định phương chiều độ lớn của vận tốc ban đầu v_0 của electron đó (khi nó bắt đầu bay vào từ trường)?

13.13 Không gian có từ trường đều $B = 5.10^{-4}T$ vuông góc với điện trường đều $E = 10^3V/m$. Bắn một chùm electron bay vào đó với vận tốc \vec{v} theo phương vuông góc với mặt phẳng chứa \vec{B} và \vec{E} .

- Vẽ hình mô tả điện-từ trường đó và phương vector \vec{v} .
- Phải bắn với vận tốc \vec{v} theo chiều nào, độ lớn bao nhiêu để cho chùm electron đi thẳng (quỹ đạo không lệch)?
- Tính bán kính R khi tắt điện trường (chỉ còn từ trường).

13.14 Vòng dây tròn bán kính $r = 2cm$ có dòng điện $I = 2A$ được treo trong từ trường đều $B = 0,2T$ sao cho mặt phẳng vòng dây vuông góc với các đường sức từ trường. Hãy tính:



Hình 13.26

- Từ thông gửi qua vòng dây.
- Công cần thiết để xoay vòng dây đi một góc 90° quanh trục đi qua một đường kính.

13.15 Lá kim loại mỏng, bề dày $a = 10\mu m$,

rộng $d = 1,0\text{cm}$, đặt trong từ trường đều $B = 1,5\text{T}$ vuông góc với mặt phẳng của nó. Khi cho dòng điện $I = 3,0\text{A}$ chạy theo chiều dài của lá kim loại thì đo được hiệu điện thế Hall là $U = 10\mu\text{V}$ (hình 13.26).

- a. Phân tích quá trình hình thành và ổn định U .
- b. Tính vận tốc chuyển động định hướng và mật độ electron tự do của kim loại đó.

13.16 Có một thanh *nam châm* và một thanh *thép* giống hệt nhau, sơn đen kịt, đặt trên bàn. Làm thế nào phân biệt chúng? Điều kiện: không được sử dụng bất kỳ vật nào khác.