

## Chương 30

# NGUỒN CỦA TỪ TRƯỜNG

**T**rong chương trước chúng ta chủ yếu khảo sát lực do từ trường tác dụng lên một điện tích chuyển động hoặc lên vật dẫn có dòng điện chạy qua. Chương này sẽ xét tới nguồn gốc của từ trường. Ngoài ra, chương này cũng đề cập đến các quá trình phức tạp xảy ra bên trong vật liệu từ. Mọi hiệu ứng từ bên trong vật liệu có thể được giải thích trên cơ sở mômen từ nguyên tử, phát sinh từ cả hai chuyển động quỹ đạo của các electron và tính chất của các điện tử được gọi là spin.

- Nguồn gốc của từ trường là do sự chuyển động của các hạt mang điện.
- Có thể tính toán cảm ứng từ do sự phân bố các dòng khác nhau.
- Định luật Ampere để tính toán cảm ứng từ của một cấu hình đối xứng cao mang dòng.
- Hiệu ứng từ trong vật liệu có thể được giải thích trên cơ sở của mômen từ nguyên tử.

### 30.1. ĐỊNH LUẬT BIOT-SAVART

Biot và Savart đã tiến hành thí nghiệm về lực tác dụng bởi một dòng điện lên một nam châm đặt gần nó. Từ kết quả thí nghiệm, Biot và Savart đã đưa ra định luật nhằm tính vi phân cảm ứng từ  $d\vec{B}$  tại một điểm P trong không gian gây bởi một vi phân dòng điện  $I d\vec{s}$  có chiều dài  $ds$  của một sợi dây mang dòng điện không đổi I.

**Định luật Biot – Savart:** Vi phân cảm ứng từ  $d\vec{B}$  được tạo bởi vi phân dòng điện  $I d\vec{s}$  có biểu thức như sau:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (30.1)$$

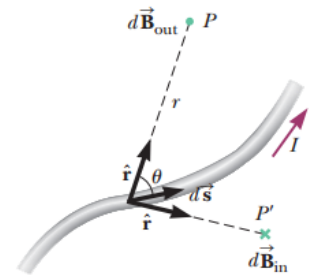
Với  $\hat{r}$  là vec-tơ đơn vị có chiều từ phần tử vi phân dòng điện đến điểm tính cảm ứng từ và  $|\hat{r}| = 1$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  là hằng số từ thẩm đối với chân không (*permeability of free space*) hay thường gọi là *hằng số từ*.

- Độ lớn của  $d\vec{B}$  được xác định bằng biểu thức :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot ds \cdot \sin\theta}{r^2} \quad (30.2)$$

Với  $\theta$  là góc hợp bởi  $d\vec{s}$  và  $\vec{r}$

- Phương của  $d\vec{B}$  : vuông góc với mặt phẳng chứa  $d\vec{s}$  và  $\vec{r}$
- Chiều của  $d\vec{B}$  được xác định bằng quy tắc bàn tay phải (hay quy tắc vắn định ốc) khi xác định chiều của tích hữu hướng ( $d\vec{s} \times \vec{r}$ ) như trên hình 30.1.



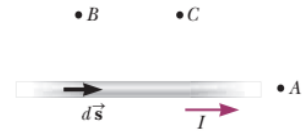
Hình 30. 1 Từ trường gây ra bởi vi phân dòng điện tại điểm P có chiều hướng ra và tại điểm P' có chiều hướng vào.

**Cảm ứng từ gây ra bởi cả dòng điện I:** lấy tích phân biểu thức (30.1) dọc theo toàn bộ dòng điện.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Id\vec{s} \times \vec{r}}{r^2} \quad (30.3)$$

Định luật này cũng phù hợp cho dòng điện là những hạt mang điện chạy trong không gian, chẳng hạn như chùm tia trong máy gia tốc.

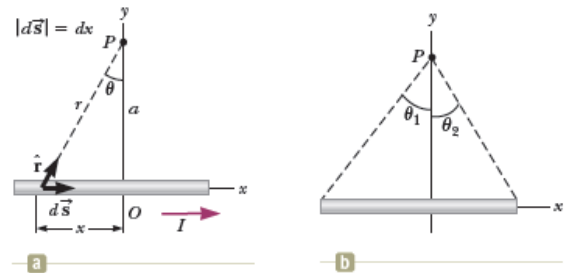
**Câu hỏi 30.1:** Cho một dòng điện như hình 30.2. Sắp xếp từ lớn đến nhỏ độ lớn cảm ứng từ gây ra bởi dòng điện vi phân  $Id\vec{s}$  tại điểm A, B, C như trên hình.



Hình 30. 2 Câu hỏi 30.1

**Bài tập mẫu 30.1:**

Xét một sợi dây mỏng, thẳng có chiều dài hữu hạn mang dòng I không đổi và được đặt dọc theo trục x như hình 30.3. Xác định vec-tơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  do dòng điện này gây ra tại điểm P cách dây một đoạn a.



Hình 30. 3 (a) Một dây mảnh dài mang dòng điện I và (b) Góc  $\theta_1, \theta_2$  dùng để xác định từ trường.

**Giải**

Xét một phần tử vi phân dòng điện  $Id\vec{s}$  có chiều dài  $ds$ , cách điểm P một đoạn  $r$  như hình 30.3a. Chọn hệ tọa độ Oxy như hình vẽ. Ta có:

$$d\vec{s} \times \hat{r} = dx \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \cdot \hat{k} = dx \cdot \cos\theta \cdot \hat{k}$$

(Do dây thẳng nên  $|d\vec{s}| = dx$ )

Giả sử dòng điện và điểm P nằm trên mặt phẳng giấy thì  $d\vec{B}$  có phương vuông góc với mặt phẳng giấy, chiều hướng ra.

Áp dụng định luật Biot – Savart ta tính được cảm ứng từ do phần tử vi phân dòng điện gây ra ở P :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \cdot \cos\theta \cdot \hat{k}}{r^2} \quad (1)$$

Từ hình vẽ ta có:

$$\cos\theta = \frac{a}{r}; \quad \tan\theta = \frac{-x}{a}$$

Từ đó suy ra :

$$r = \frac{a}{\cos\theta}; \quad x = -a \tan\theta \quad (2) \rightarrow dx = -a \frac{d\theta}{(\cos\theta)^2} \quad (3)$$

Thế (2) (3) vào độ lớn của dB ở (1) và lấy tích phân trên toàn bộ đoạn dây:

$$B = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos\theta \cdot d\theta$$

$$\rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \quad (30.4)$$

**Kết luận :** *vec-tơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  do dây dẫn thẳng hữu hạn mang dòng điện  $I$  gây ra tại điểm  $P$  ở trên (như hình 30.3) có phương vuông góc mặt phẳng giấy, chiều hướng ra, độ lớn được tính bằng biểu thức (30.4).*

Cuối cùng, ta có thể sử dụng biểu thức (30.4) cho một số trường hợp đặc biệt như sau:

- Dây dẫn thẳng dài vô hạn ở một đầu hoặc cả hai đầu. Ví dụ trường hợp dây dẫn thẳng dài vô hạn hai đầu, lúc này tọa độ  $x$  thay đổi từ  $-\infty \rightarrow +\infty$  nên  $\theta_1 = \pi/2$  ;  $\theta_2 = -\pi/2$ , thay vào biểu thức (30.4) ta được **cảm ứng từ gây ra bởi dòng điện thẳng dài vô hạn hai đầu tại điểm cách dây một đoạn  $a$  là :**

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (30.5)$$

- Trường hợp điểm  $P$  nằm trên phương của dây thì  $\theta_1 = \theta_2 = 0$  hoặc  $\theta_1 = \theta_2 = \pi$  nên khi **điểm tính cảm ứng từ nằm trên phương của dây dẫn thì  $B = 0$ .**

### **Bài tập mẫu 30.2 :**

Tính toán cảm ứng từ tại điểm  $O$  cho đoạn dây mang dòng điện trong hình 30.4. Dây gồm hai phần thẳng và một cung tròn bán kính  $a$ , góc ở tâm  $\theta$ .

#### **Giải**

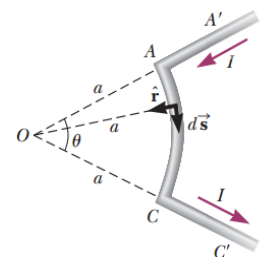
Do điểm  $O$  nằm trên phương của hai đoạn dây  $A'A$  và  $CC'$  nên theo kết quả bài trên  $B = 0$ . Vì vậy, ta chỉ cần tính cảm ứng từ do dòng điện là cung tròn gây ra.

Xét một phần tử vi phân dòng điện  $I d\vec{s}$  trên cung tròn có chiều dài  $ds$ , cách điểm  $O$  một đoạn  $a$  như hình 30.4. Ở đây :

$\hat{r}$  và  $d\vec{s}$  luôn vuông góc với nhau nên  $|d\vec{s} \times \hat{r}| = ds \cdot \sin\frac{\pi}{2} = ds$ .

Nếu  $\hat{r}$  và  $d\vec{s}$  nằm trên mặt phẳng giấy thì áp dụng quy tắc bàn tay phải, vec-tơ  $d\vec{s} \times \hat{r}$  có chiều hướng vào mặt phẳng giấy. Vì vậy,  $d\vec{B}$  cũng có chiều hướng vào. Suy ra, cảm ứng từ điểm  $O$  có chiều hướng vào.

Áp dụng định luật Biot – Savart ta tính được độ lớn cảm ứng từ do phần tử vi phân dòng điện gây ra tại  $O$  là:



Hình 30. 4 Bài tập mẫu 30.2

$$dB = \frac{\mu_0 I ds}{4\pi a^2}$$

Lấy tích phân biểu thức trên trên toàn bộ dòng điện ta sẽ thu được cảm ứng từ do dòng điện là cung tròn gây ra tại tâm là:

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0 I ds}{4\pi a^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a^2} \int_0^{a\theta} ds$$

$$\rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \cdot \theta \quad (30.6)$$

Với  $\theta$  tính theo radians

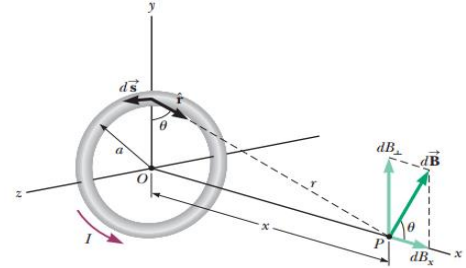
**Kết luận:** vec-tơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  do dòng điện là cung tròn, góc ở tâm là  $\theta$  mang dòng điện  $I$  gây ra tại tâm có phương vuông góc mặt phẳng giấy, chiều hướng vào, độ lớn được tính bằng biểu thức (30.6).

**Chú ý:** nếu cung tròn là một đường tròn thì  $\theta = 2\pi$ , từ biểu thức (30.6) ta có thể suy ra cảm ứng từ tại tâm của một dòng điện tròn bán kính  $a$  như sau:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \cdot 2\pi \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2a} \quad (30.7)$$

### Bài tập mẫu 30.3 :

Xét một vòng dây tròn có bán kính  $a$  nằm trong mặt phẳng  $yz$  và mang dòng  $I$  ổn định như trong hình 30.5. Tính cảm ứng từ tại một điểm P nằm trên trục của vòng dây, cách tâm vòng dây một khoảng  $x$ .



Hình 30. 5 Bài tập mẫu 30.3

### Giải

Tương tự các bài trên, ta cũng xét phần tử vi phân dòng điện  $I d\vec{s}$  trên vòng dây có chiều dài  $ds$ , cách điểm P một đoạn  $r = \sqrt{a^2 + x^2}$ .

Áp dụng định luật Biot – Savart ta tính được vec-tơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện gây ra tại O là :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{s} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

Sử dụng quy tắc bàn tay phải ta xác định được phương, chiều của  $d\vec{B}$  như hình 30.5. Về độ lớn, do  $\hat{r}$  và  $d\vec{s}$  luôn vuông góc với nhau nên  $|d\vec{s} \times \hat{r}| = ds \cdot \sin \frac{\pi}{2} = ds$  suy ra

$$dB = \frac{\mu_0 I ds}{4\pi a^2 + x^2} \quad (1)$$

Cảm ứng từ tổng hợp do vòng dây gây ra tại P :

$$\vec{B} = \oint d\vec{B} = \oint d\vec{B}_\perp + \oint d\vec{B}_x = \oint d\vec{B}_x = \oint dB \cdot \cos\theta \cdot \hat{i} \quad (2)$$

(Do tính chất đối xứng nên khi lấy tích phân trên toàn bộ vòng dây thì  $\oint d\vec{B}_\perp = 0$ )

Theo hình vẽ ta có :

$$\cos\theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}} \quad (3)$$

Thế (1) và (3) vào (2) ta suy ra :

$$\vec{B} = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds}{a^2 + x^2} \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}} \cdot \hat{i} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \cdot 2\pi a \cdot \hat{i}$$

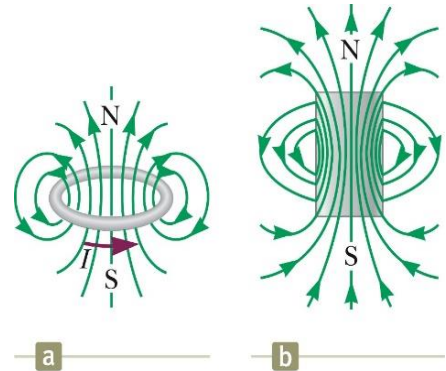
**Kết luận :** Vec-tơ cảm ứng từ do vòng dây bán kính  $a$ , mang dòng điện  $I$  (có chiều như hình 30.5) gây ra tại điểm nằm trên trục của vòng dây, cách tâm vòng dây một đoạn  $x$  có phương vuông góc với mặt phẳng vòng dây, chiều hướng ra xa vòng dây và có độ lớn

$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

**Đường sức từ** là những đường vẽ trong không gian có từ trường, sao cho tiếp tuyến tại mỗi điểm có phương, chiều trùng với phương, chiều của vec-tơ cảm ứng từ tại điểm đó.

Hình 30.6a cho ta thấy hình ảnh của đường sức từ quanh một dòng điện tròn. Chúng ta có thể quan sát hình dạng của nó bằng thí nghiệm từ phổ.

Sự tương đồng về hình ảnh đường sức từ của một nam châm và một dòng điện tròn thể hiện trên hình 30.6.



Hình 30. 6 (a) Đường sức từ xung quanh một dòng điện tròn, (b) đường sức từ của một nam châm.

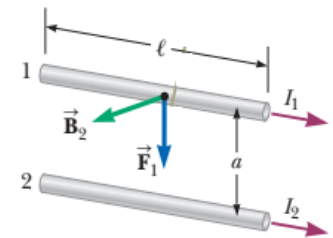
### 30.2.LỰC TỪ GIỮA HAI SỢI DÂY DẪN SONG SONG

Chương 29 đã đề cập đến lực từ tác dụng lên dòng điện không đổi  $I$  khi nó nằm trong từ trường đều  $\vec{B}$  là  $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$ .

Ở đây, ta sẽ xem xét khi hai dây dẫn thẳng đặt gần nhau thì tương tác giữa chúng sẽ như thế nào. Phần 30.1 đã cho chúng ta thấy từ trường xuất hiện quanh một dòng điện. Từ các bài tập mẫu, cho ta các biểu thức tính cảm ứng từ xung quanh một dòng điện thẳng. Và khi ta đặt một dòng điện khác lại gần một dòng điện ban đầu thì dòng điện khác đó sẽ chịu tác dụng của lực từ do dòng điện ban đầu gây ra.

Xét hai sợi dây dẫn song song mỗi sợi mang một dòng điện không đổi như hình 30.7. Dây 1 mang dòng điện  $I_1$  gây ra từ trường  $\vec{B}_1$  và dây 2 mang dòng điện  $I_2$  gây ra từ trường  $\vec{B}_2$ . Hai dòng điện vào hai dây cùng chiều với nhau. Khi hai dòng điện này đặt gần nhau, lực từ do dây 2 tác dụng lên dây 1 là :

$$\vec{F}_1 = I_1 \vec{l} \times \vec{B}_2 \quad \rightarrow \quad F_1 = I_1 l B_2 \quad (30.8)$$



Hình 30. 7 Hai dây dẫn mang dòng điện cùng chiều thì hút nhau

Áp dụng quy tắc bàn tay phải, ta xác định được phương và chiều của lực  $\vec{F}_1$  hướng về phía dây 2 như hình 30.7

Tương tự, lực từ do dây 1 tác dụng lên dây 2 là :

$$\vec{F}_2 = I_2 \vec{l} \times \vec{B}_1 \quad \rightarrow \quad F_2 = I_2 l B_1 \quad (30.8)$$

Và chiều của lực  $\vec{F}_2$  cũng hướng về phía dây 1.

Chính vì vậy, **hai dây dẫn song song mang dòng điện cùng chiều thì hút nhau**. Ngược lại, **hai dây dẫn song song mang dòng điện ngược chiều thì đẩy nhau**.

Để tính toán độ lớn các lực từ  $\vec{F}_1$  và  $\vec{F}_2$  ta chỉ cần thế biểu thức tính cảm ứng từ của dây thẳng dài vô hạn (30.5) vào. Kết quả thu được hai lực này có độ lớn như nhau, gọi nó là  $F_B$  – lực từ tương tác giữa hai dòng điện thẳng dài vô hạn. Chúng ta có thể viết lại độ lớn lực từ này trên một đơn vị chiều dài :

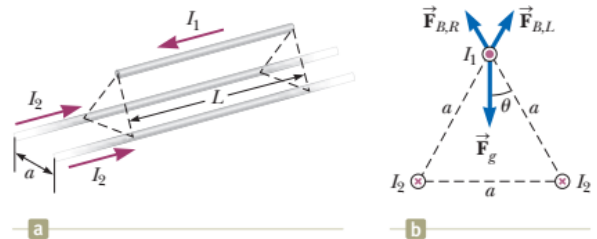
$$\frac{F_B}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \quad (30.9)$$

Từ phương trình (30.9), nếu hai dòng điện đều có độ lớn 1A và hai dây đặt cách nhau 1 m thì lực tương tác giữa chúng trên 1 đơn vị chiều dài là  $2 \cdot 10^{-7}$  N/m. Đó chính là nội dung của định lý Ampère về lực tương tác giữa hai dòng điện.

**Câu hỏi 30.2 :** Một lò xo xoắn không có dòng điện được treo trên trần nhà. Khi bật công tắc để dòng điện chạy vào lò xo, hỏi các vòng xoắn của lò xo (a) di chuyển gần nhau hơn, (b) di chuyển xa hơn, hoặc (c) không di chuyển chút nào?

### Bài tập mẫu 30.4:

Hai dây song song dài vô hạn nằm trên mặt đất cách nhau một khoảng  $a = 1$  cm như trong hình 30.8a. Một dây thứ ba, có chiều dài  $L = 10$  m và khối lượng 400 g, mang dòng  $I_1 = 100$  A và được đặt phía trên hai dây đầu tiên, ở vị trí nằm ngang giữa chúng. Các dây dài vô hạn mang dòng điện  $I_2$  bằng nhau, cùng chiều với nhau, nhưng ngược chiều với  $I_1$ . Hỏi giá trị dòng  $I_2$  là bao nhiêu để 3 sợi dây tạo thành một tam giác đều (như hình vẽ 30.8b)?



Hình 30. 8 Bài tập mẫu 30.4

### Giải

Giả sử chiều dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  như hình vẽ. Lực tác dụng vào dây thứ ba mang dòng điện  $I_1$  bao gồm trọng lực  $\vec{F}_g$  và lực từ  $\vec{F}_{BL}$ ,  $\vec{F}_{BR}$  lần lượt do dây dài vô hạn bên trái, bên phải tác dụng lên (hình 30.8 b).

Ta có:

$$|\vec{F}_{BL}| = |\vec{F}_{BR}| = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L$$

Phương trình động lực học :

$$\vec{F}_g + \vec{F}_{BL} + \vec{F}_{BR} = 0$$

Chiếu PTĐLH trên lên phương đứng, chọn chiều dương hướng lên ta được :

$$-F_g + F_{BL} \cos\theta + F_{BR} \cos\theta = 0$$

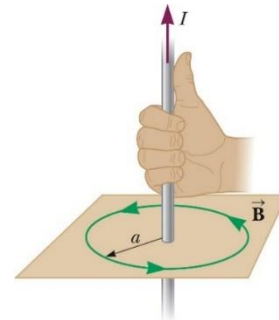
$$-mg + \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L \cdot \cos\theta + \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L \cdot \cos\theta = 0$$

Theo bài ra ta có  $m = 0,4 \text{ kg}$ ,  $L = 10 \text{ m}$ ,  $I_1 = 100 \text{ A}$ ,  $a = 0,01 \text{ m}$  thế vào phương trình trên ta tính được  $I_2 = 113 \text{ A}$

### 30.3. ĐỊNH LUẬT AMPERE

*Andre-Marie Ampère (1775 – 1836). Nhà vật lý người Pháp, nổi tiếng với sự khám phá ra điện từ, mối quan hệ giữa dòng điện và cảm ứng từ. Ngoài ra, ông cũng có các công trình toán học.*

**Từ trường của dây dẫn mang điện:** các đường sức từ trường là các đường tròn đồng tâm với dây. Các đường sức nằm trong mặt phẳng vuông góc với dây. Độ lớn của cảm ứng từ là không đổi tại mọi điểm cách dây một khoảng  $a$ . Dùng quy tắc bàn tay phải để xác định hướng của cảm ứng từ như hình vẽ 30.9.

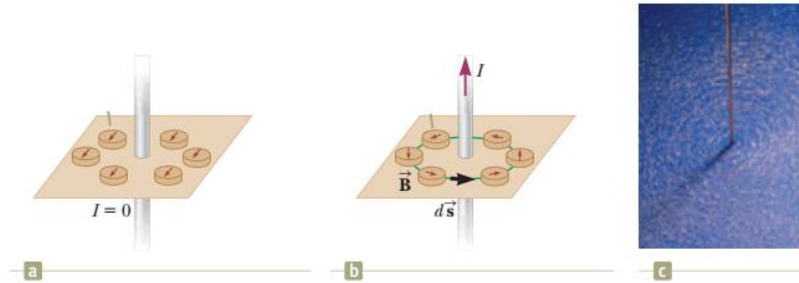


Hình 30. 9 Quy tắc bàn tay phải để xác định từ trường xung quanh một dây thẳng dài mang dòng điện. Chú ý, đường sức từ là các vòng tròn xung quanh sợi dây.

La bàn có thể được sử dụng để phát hiện ra từ trường.

- Khi không có dòng điện trong dây dẫn, không có từ trường bởi dòng điện. Mọi kim la bàn luôn hướng về cực bắc của trái đất (do từ trường của trái đất) như hình 30.10 a.
- Khi dây dẫn mang dòng điện lớn, tức là xung quanh dây dẫn có từ trường. Các kim la bàn lệch hướng theo phương tiếp xúc với vòng tròn, tức là theo chiều của vec-tơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  do dòng điện gây ra tại điểm đặt la bàn (hình 30.10 b). Nếu dòng điện bị đảo chiều thì chiều của các kim la bàn cũng đảo

Từ trường tròn xung quanh dây dẫn được kiểm chứng bằng thí nghiệm từ phổ, bằng cách rắc mạt sắt xung quanh dây dẫn. Mạt sắt sẽ xếp trật tự thành những hình tròn đồng tâm xung quanh dây dẫn khi cho dòng điện chạy qua dây dẫn như hình 30.10 c.



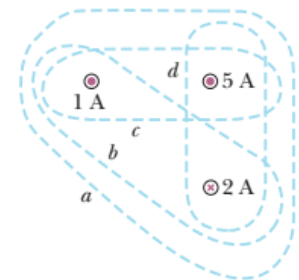
Hình 30. 10 (a), (b) các kim la bàn cho thấy tác dụng của dòng điện trong dây dẫn đặt gần đó, (c) Các đường sức từ xung quanh dây dẫn mang dòng điện, được hiển thị với bột sắt.

**Phát biểu Định luật Ampère :** Tích phân đường  $\vec{B}d\vec{s}$  quanh một đường cong kín bất kỳ có giá trị bằng  $\mu_0 I$ , ở đây  $I$  là tổng cường độ dòng điện không đổi xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

$$\oint \vec{B}d\vec{s} = \mu_0 I \quad (30.10)$$

Định luật Ampère mô tả sự tạo ra từ trường của mọi cấu hình dòng điện liên tục. Nhưng ở cấp độ toán học, nó chỉ hữu ích để tính toán các dòng điện có cấu hình đối xứng cao. Việc sử dụng nó tương tự như định luật Gauss trong việc tính toán điện trường cho các phân bố điện tích đối xứng cao.

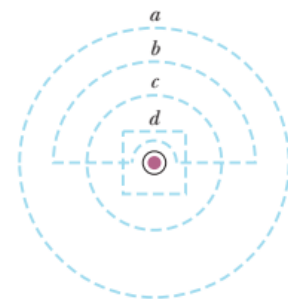
*Chú ý:* khi sử dụng luật Ampère, ta áp dụng quy tắc bàn tay phải theo hướng của dòng điện (chọn là chiều dương) xuyên qua vòng dây và các ngón tay cuộn theo chiều của vòng dây cần lấy tích phân (còn gọi là vòng Ampère). Dòng điện ngược chiều lại có giá trị âm.



Hình 30. 11 Câu hỏi 30.3

**Câu hỏi 30.3 :** Hãy sắp xếp theo thứ tự từ lớn nhất đến nhỏ nhất độ lớn của  $\oint \vec{B}d\vec{s}$  quanh các đường cong kín a, b, c, d như hình 30.11.

**Câu hỏi 30.4 :** Hãy sắp xếp theo thứ tự từ lớn nhất đến nhỏ nhất độ lớn của  $\oint \vec{B}d\vec{s}$  quanh các đường cong kín a, b, c, d như hình 30.12.



Hình 30. 12 Câu hỏi 30.4

**Bài tập mẫu 30.5 :**

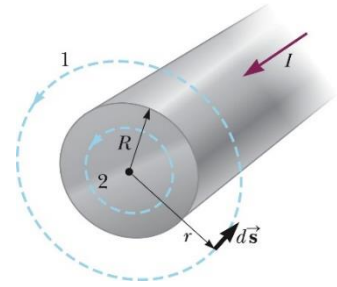
Một dây dài, thẳng bán kính  $R$  mang dòng điện không đổi  $I$ , phân bố đều qua tiết diện của dây (Hình 30.13). Tính cảm ứng từ tại điểm cách tâm một đoạn  $r$  trong các vùng  $r \geq R$  và  $r < R$ .

**Giải**



Dòng điện được phân bố đều xuyên qua mặt cắt của vòng dây. Khi vòng dây có tính đối xứng cao, bài toán có thể áp dụng định luật Ampère để giải.

Chọn vòng tròn Ampère là vòng tròn có bán kính  $r$ , chính là vòng tròn 1 và 2 tương ứng với hai vùng  $r \geq R$  và  $r < R$  như hình 30.13. Theo quy tắc bàn tay phải ứng với chiều dòng điện như hình, ta xác định chiều của vòng tròn Ampère. Ta có, cảm ứng từ  $\vec{B}$  tại mọi điểm trên đường tròn này đều có độ lớn như nhau và đều cùng phương cùng chiều với  $d\vec{s}$ . Vậy nên ta có :



Hình 30. 13 Một dây thẳng bán kính  $R$ , có dòng điện không đổi  $I$

$$\oint \vec{B}d\vec{s} = \oint B \cdot ds = B \oint ds = B \cdot 2\pi r$$

Áp dụng định luật Ampère :

Xét vùng bên ngoài dây  $\geq R$  :

$$\oint \vec{B}d\vec{s} = \mu_0 I \rightarrow B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{khi } r \geq R) \quad (30.11)$$

**Kết quả (30.11) này giống với kết quả định luật Biot – Savart.**

Xét vùng bên trong dây  $< R$  :

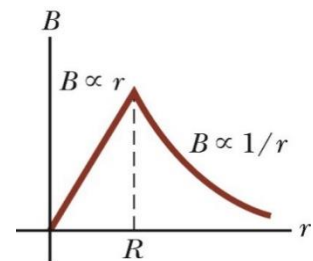
$$\oint \vec{B}d\vec{s} = \mu_0 I' \rightarrow B \cdot 2\pi r = \mu_0 I' \quad (1)$$

Với  $I'$  là dòng điện ở bên trong vòng tròn Ampère (phần dòng điện bên trong vòng tròn 2). Ta có dòng điện tỷ lệ với  $\pi r^2$  nên ta có thể lập tỷ lệ :

$$\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} \quad (2)$$

Thế (2) vào (1) ta suy ra :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} \cdot r \quad (\text{khi } r < R) \quad (30.12)$$



Hình 30. 14 Độ lớn của từ trường so với  $r$

**Nhận xét kết quả:** Cảm ứng từ tỷ lệ thuận với  $r$  bên trong dây, tỷ lệ với  $1/r$  bên ngoài dây. Cả hai phương trình bằng nhau tại  $r = R$  (hình 30.14).

### Bài tập mẫu 30.6:

Một thiết bị gọi là hình xuyên Toroid (Hình 30.15) thường được sử dụng để tạo ra từ trường gần như đồng nhất trong một số khu vực kín. Thiết bị này bao gồm một dây

dẫn được quấn quanh một vòng (hình xuyên) làm bằng vật liệu cách điện. Đối với một hình xuyên có  $N$  vòng dây cách đều nhau, hãy tính cảm ứng từ tại một điểm cách tâm vòng dây hình xuyên một khoảng  $r$ .

**Giải**

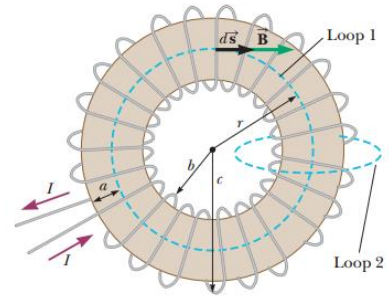
Tương tự bài trên, ta cũng dùng vòng tròn Ampère là vòng tròn có bán kính  $r$  (vòng 1 – Loop 1 trên hình 30.15). Áp dụng định luật Ampère:

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \oint B \cdot ds = B \oint ds = B \cdot 2\pi r = \mu_0 NI$$

Suy ra :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (30.13)$$

*Nhận xét thêm:* Cuộn dây hình xuyên gồm nhiều vòng dây. Các vòng dây được quấn chặt, cảm ứng từ bên trong cuộn dây tiếp tuyến với đường tròn nét đứt (vòng 1) và thay đổi theo  $1/r$ . Chiều dài  $a$  là mặt cắt ngang bán kính của ống dây. Cảm ứng từ ngoài ống dây rất nhỏ và có thể được mô tả bằng cách sử dụng vòng ampere (vòng 2) bên phải vuông góc với mặt phẳng giấy.

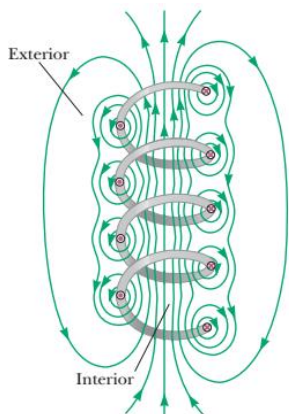


Hình 30. 15 Bài tập mẫu 30.6

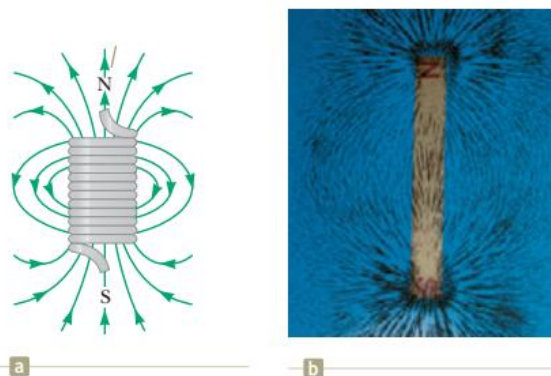
**30.4. Từ trường của ống dây Solenoid**

Dây solenoid là một cuộn dây dài quấn chặt hình xoắn. Một từ trường đều được tạo ra trong không gian xung quanh bởi các vòng dây.

Hình 30.16 cho thấy ở phần bên trong của ống dây solenoid, đường sức bên trong ống dây là gần như song song với nhau, phân bố đều, kín. Điều này cho thấy từ trường gần như đồng nhất.



Hình 30. 16 Đường sức từ của ống dây solenoid quấn không chặt (sít)



Hình 30. 17 Đường sức từ của ống dây solenoid được quấn chặt.

Nếu các vòng dây được quấn sít hơn, từ trường bên trong trở nên đều hơn và bên ngoài trở nên yếu hơn. Sự phân bố từ trường lúc này tương tự một thanh nam châm như trên hình 30.17.

Một ống dây solenoid lý tưởng có đặc điểm: các vòng được quấn sít nhau và chiều dài ống dây lớn hơn nhiều so với bán kính vòng dây.

Để tính toán cảm ứng từ bên trong ống dây solenoid, ta có thể sử dụng định luật Ampère.

Xét một vòng Ampère là hình chữ nhật với một cạnh có chiều dài  $l$  song song với cảm ứng từ bên trong và một cạnh  $w$  vuông góc với từ trường. Đó là vòng 2 (loop 2) trong hình 30.18. Cạnh bên trong có chiều dài  $l$  đóng góp cho từ trường. Đó là cạnh 1 trong sơ đồ. Cạnh 2, 3 và 4 thì không đóng góp cho từ trường. Áp dụng của định luật Ampère ta có:

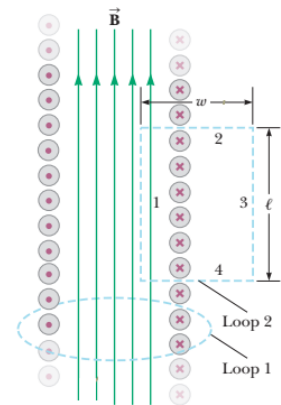
$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \int_{\text{cạnh 1}} \vec{B} d\vec{s} = \int_{\text{cạnh 1}} B ds = B \cdot l = \mu_0 NI$$

Với  $N$  là số vòng dây ở trong vòng Ampère.

Vậy cảm ứng từ trong lòng ống dây solenoid được tính như sau:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \mu_0 nI \quad (30.14)$$

Với  $n = N/l$  là mật độ quấn dây. Công thức (30.14) này chỉ đúng tại một điểm gần trung tâm của một dây solenoid rất dài.



Hình 30. 18 Sơ đồ mặt cắt ngang của một ống solenoid lý tưởng.

**Câu hỏi 30.5:** Xét một vòng dây solenoid rất dài so với bán kính của nó. Trong số các lựa chọn sau đây, cách hiệu quả nhất để tăng từ trường trong phần bên trong của vòng dây solenoid là gì? (a) nhân đôi chiều dài của nó, giữ cho số vòng quay trên một đơn vị chiều dài không đổi, (b) giảm một nửa bán kính của nó, giữ cho số vòng quay trên một đơn vị chiều dài không đổi (c) phủ lên toàn bộ vòng dây solenoid bằng một lớp dây mang dòng điện bổ sung.

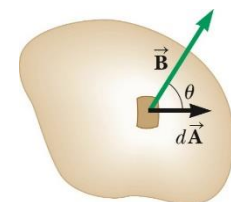
### 30.5. ĐỊNH LUẬT GAUSS TRONG TỪ TRƯỜNG

**Từ thông** hay là thông lượng từ trường được xác định tương tự như thông lượng điện trường. Xét một vi phân diện tích  $dA$  trên bề mặt có hình dạng bất kỳ. Cảm ứng từ trong diện tích này là  $\vec{B}$ ,  $d\vec{A}$  là vec-tơ vuông góc với bề mặt và có độ lớn là diện tích  $dA$  (hình 30.19).

Từ thông qua một đơn vị diện tích  $dA$  là :

$$\vec{B} d\vec{A} = B dA \cos\theta$$

Từ thông  $\Phi_B$  xuyên qua diện tích  $A$  là :



Hình 30. 19 Từ thông qua một đơn vị diện tích

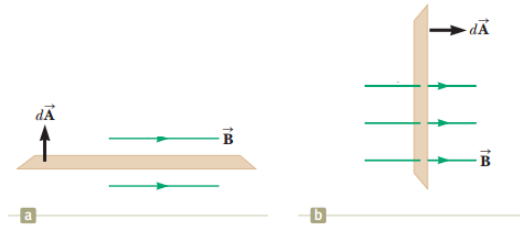
$$\Phi_B = \int \vec{B} d\vec{A} \quad (30.14)$$

Đơn vị của từ thông là  $T.m^2 = Wb$  (Wb: Weber).

Như vậy, từ thông xuyên qua một mặt phẳng của từ trường đều  $\vec{B}$  có độ lớn là :

$$\Phi_B = \int B dA \cos\theta = BA \cos\theta \quad (30.15)$$

- Trường hợp  $\theta = 90^\circ$  (hình 30.20 a): Hình 30. 20 Từ thông xuyên qua một phẳng cảm ứng từ song song với mặt thì  $\Phi_B = 0$ .
- Trường hợp  $\theta = 0^\circ$  (hình 30.20 b), cảm ứng từ vuông góc với mặt và  $\Phi_B = BA$ . Đây là giá trị cực đại của thông lượng.

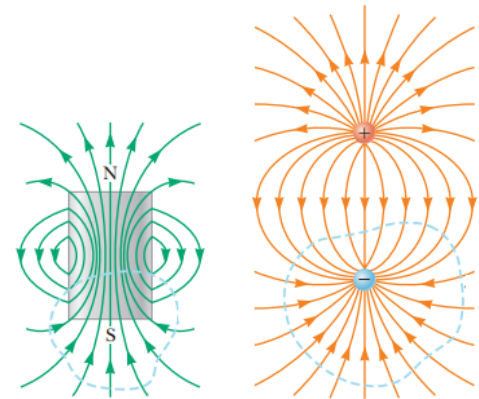


Từ trường không có điểm đầu hay điểm cuối. Các đường sức từ trường thì liên tục và là các đường cong kín. Số đường sức đi vào bằng số đường sức đi ra của một mặt kín, như ví dụ trên hình 30.21.

**Định luật Gauss trong từ trường cho biết** từ thông xuyên qua mặt kín bất kỳ luôn luôn bằng không:

$$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0 \quad (30.16)$$

Điều này chỉ ra rằng cực từ cô lập (đơn cực từ) chưa bao giờ được phát hiện. Có lẽ chúng không tồn tại.



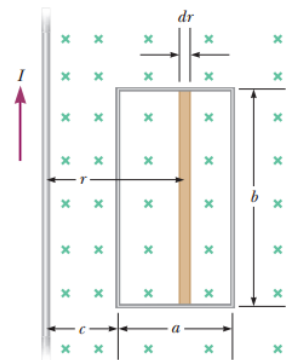
Hình 30. 21 Các đường từ trường sức của một thanh nam châm và của một lưỡng cực điện. Từ thông xuyên qua một mặt kín của cả hai đều bằng 0.

### Bài tập mẫu 30.7:

Một vòng dây hình chữ nhật có chiều rộng  $a$  và chiều dài  $b$  nằm gần một sợi dây dài mang dòng  $I$  (hình 30.22). Khoảng cách giữa dây và cạnh gần nhất của vòng là  $c$ . Dây song song với cạnh dài của vòng. Tìm tổng từ thông qua vòng dây do dòng điện trong dây.

### Giải

Giả sử chiều dòng điện hướng lên như hình 30.22, dựa vào quy tắc bàn tay phải ta xác định được cảm ứng từ  $\vec{B}$  xuyên qua diện tích vòng dây có phương vuông góc với mặt hình chữ nhật, chiều hướng vào và độ lớn của nó thay đổi tùy thuộc vào vị trí so với dòng điện  $I$ .



Hình 30. 22 Bài tập mẫu 30.7

Xét một phần tử vi phân diện tích  $d\vec{A}$  có diện tích  $dA = b \cdot dr$ , cách dòng điện  $I$  một đoạn  $r$  như hình 30.22, vec-tơ  $d\vec{A}$  có phương vuông góc với mặt phẳng vòng dây, chiều hướng vào.

Cảm ứng từ tại phần tử  $dA$  có độ lớn:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

Từ thông qua vòng dây do dòng điện  $I$  gây ra là :

$$\Phi_B = \int \vec{B} d\vec{A} = \int B dA \cos 0 = \int \frac{\mu_0 I}{2\pi r} b dr$$

Lấy tích phân hệ thức trên khi  $r$  thay đổi từ  $c$  đến  $(c + a)$  ta được :

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_c^{c+a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{a}{c} \right)$$

*Nhận xét kết quả :*

- Từ thông lớn hay nhỏ phụ thuộc vào kích thước của vòng.
- Càng ra xa dây ( $c$  tăng) thì từ thông càng giảm

## 30.6. TỪ TRƯỜNG TRONG VẬT LIỆU

### 30.6.1. Mômen từ

Nói chung, bất cứ một vòng dây điện nào cũng có một từ trường và do đó có một mômen lưỡng cực từ. Điều này bao gồm các vòng dây ở cấp độ nguyên tử được mô tả trong một số mô hình của nguyên tử. Nó cũng sẽ giúp giải thích tại sao một số vật liệu thể hiện đặc tính từ mạnh.

### 30.6.2 Mômen từ - Nguyên tử cổ điển

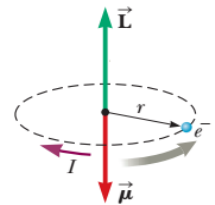
Các electron chuyển động trong quỹ đạo tròn. Quỹ đạo electron tạo thành một dòng điện tròn nhỏ. Mômen từ của electron có liên quan tới chuyển động theo quỹ đạo này. Electron chuyển động theo hướng của mũi tên bên phải trong quỹ đạo tròn bán kính  $r$ . Do electron mang điện tích âm nên chiều của dòng điện sẽ theo chiều ngược lại (hình 30.23).

$\vec{L}$  : là mômen động lượng,  $\mu$ : là mômen từ.

Mô hình này giả định electron di chuyển với vận tốc không đổi trên quỹ đạo tròn, bán kính  $r$ , một vòng  $2\pi r$  trong khoảng thời gian  $T$ . Dòng điện do electron chuyển động trên quỹ đạo này sinh ra là:

$$I = \frac{e}{T} \frac{ev}{2\pi r} \quad (30.17)$$

$$\text{Mômen từ là: } \mu = IA = \frac{1}{2} evr \quad (30.18)$$



Hình 30. 23 Mô hình cổ điển giải thích mômen từ.

Mômen từ có thể được biểu diễn dưới dạng mômen động lượng:

$$\mu = \frac{e}{2m_e} L \quad (30.19)$$

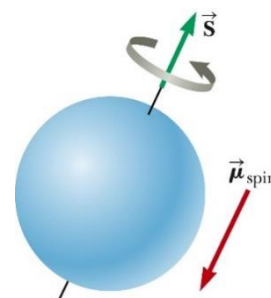
Mômen từ của electron tỷ lệ với mômen động lượng quỹ đạo của nó. Hai vector  $\vec{L}$  và  $\vec{\mu}$  ngược chiều nhau vì electron mang điện tích âm. Vật lý lượng tử chỉ ra rằng mômen động lượng bị lượng tử hóa.

### 30.6.3 Mômen từ của nhiều electron

Trong hầu hết các vật, mômen từ của một điện tử bị hủy bởi quỹ đạo chuyển động của điện tử khác theo cùng một hướng. Kết quả cuối cùng là hiệu ứng từ được tạo ra bởi quỹ đạo chuyển động của điện tử là bằng không hoặc rất nhỏ.

### 30.6.4 Spin của electron

Electron (và hầu hết các hạt mang điện khác) có một tính chất nội tại gọi là **spin**, nó cũng góp phần tạo ra mômen từ. Bản thân electron thì không quay. Nó có một mômen động lượng bên trong như là đang quay. Mômen động lượng spin trên thực tế là hiệu ứng tương đối tính. Chúng ta có thể chấp nhận mô hình cổ điển của spin electron này để cho thấy electron có một mômen động lượng (hình 30.24). Theo mô hình cổ điển, electron quay trên trục của nó. Độ lớn của mômen động lượng spin là  $S = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$ , trong đó,  $\hbar$  là hằng số Planck.



Hình 30. 24 Spin của electron.

### 30.6.5 Spin electron và mômen từ

Đặc trưng của mômen từ có liên quan đến spin electron có giá trị:

$$\mu_{spin} = \frac{e\hbar}{2m_e} \quad (30.20)$$

Sự kết hợp các hằng số này được gọi là **Magneton Bohr**

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \frac{J}{T} \quad (30.21)$$

Mômen từ tổng cộng của nguyên tử là tổng vec-tơ của mômen từ quỹ đạo và mômen từ spin. Vài ví dụ được đưa ra trong bảng bên dưới. Mômen từ của proton hoặc neutron thì nhỏ hơn nhiều so với electron và thường được bỏ qua.

**Bảng 30.1:** Giá trị mômen từ của một vài nguyên tử và ion:

Atom or Ion	Magnetic Moment ( $10^{-24} \text{J/T}$ )
H	9.27
He	0
Ne	0
Ce <sup>3+</sup>	19.8
Yb <sup>3+</sup>	37.1

### 30.6.6 Sắt từ

Một số vật chất thể hiện hiệu ứng từ rất mạnh gọi là sắt từ. Một số ví dụ của vật liệu sắt từ là: sắt, cobalt, nickel, gadolinium, dysprosium. Chúng chứa các mômen từ vĩnh cửu, các mômen này có xu hướng sắp xếp thẳng hàng với nhau ngay cả trong từ trường yếu bên ngoài.

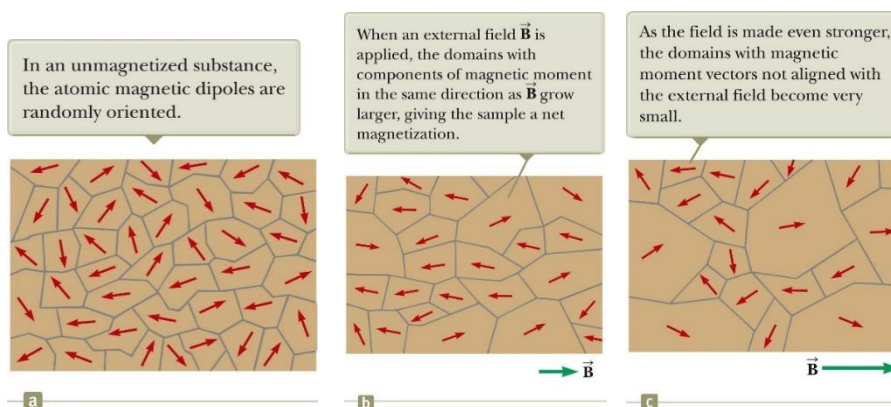
### 30.6.7 Domain

Tất cả vật liệu sắt từ được tạo thành từ nhiều miền rất nhỏ gọi là các **domain**. Domain là một miền mà trong đó tất cả các mômen từ có cùng một hướng. Ranh giới giữa các domain có sự định hướng khác nhau gọi là các **vách domain**.

**Trong các domain vật liệu không từ tính**, các mômen từ trong các domain được sắp xếp một cách ngẫu nhiên. Tổng các mômen từ là bằng không (hình 30.25a).

Một mẫu được đặt trong từ trường ngoài. Kích thước của các domain có mômen từ cùng hướng với từ trường ngoài tăng (kích thước domain tăng). Mẫu là một nam châm (hình 30.25b).

Khi vật liệu được đặt trong từ trường mạnh, các domain không cùng hướng với từ trường trở nên rất nhỏ. Khi từ trường bên ngoài bị loại bỏ, vật liệu có thể giữ lại độ từ hóa tổng cộng theo hướng của từ trường ban đầu (hình 30.25c).



Hình 30. 25 Hướng của lưỡng cực từ trước và sau khi từ trường được áp vào chất sắt từ.

### 30.6.8 Nhiệt độ Curie Curie:

Nhiệt độ Curie là nhiệt độ tới hạn trên mà vật liệu sắt từ mất đi từ tính còn lại của nó. Vật liệu sẽ trở nên thuận từ. Trên nhiệt độ Curie, sự chuyển động nhiệt hỗn loạn đủ lớn để gây ra sự định hướng ngẫu nhiên của các mômen. Bảng bên dưới cho biết nhiệt độ Curie của một số chất.

**Bảng 30.2:** Nhiệt độ Curie của một số chất sắt từ

**TABLE 30.2** Curie Temperatures for Several Ferromagnetic Substances

Substance	$T_{\text{Curie}}$ (K)
Iron	1 043
Cobalt	1 394
Nickel	631
Gadolinium	317
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	893

### 30.6.9 Thuận từ

Vật liệu thuận từ có độ từ hóa nhỏ nhưng dương. Đó là kết quả từ sự tồn tại của nguyên tử có mômen từ vĩnh cửu. Các mômen tương tác yếu với nhau. Khi được đặt trong từ trường ngoài, các mômen từ nguyên tử có xu hướng dóng theo từ trường ngoài. Quá trình sắp xếp thẳng hàng cạnh tranh với chuyển động nhiệt làm mômen định hướng một cách ngẫu nhiên.

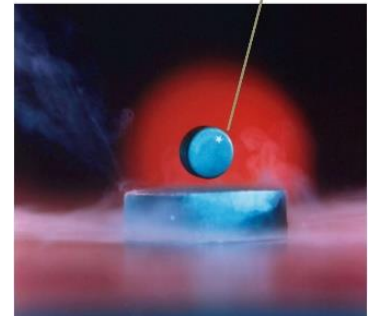
### 30.6.10 Nghịch từ

Khi từ trường ngoài được áp cho một chất nghịch từ, một mômen từ yếu cảm ứng ngược hướng với từ trường ngoài. Chất nghịch từ bị đẩy nhẹ bởi một nam châm. Hiện tượng nghịch từ thường yếu, vì vậy chỉ hiện diện khi sắt từ hay thuận từ không tồn tại.

### 30.6.11 Hiệu ứng Meissner

Một số loại chất siêu dẫn cũng thể hiện nghịch từ hoàn hảo trong trạng thái siêu dẫn. Điều này gọi là **hiệu ứng Meissner**. Nếu một thanh nam châm được đưa lại gần một chất siêu dẫn thì chúng sẽ đẩy lẫn nhau như minh họa hình 30.26. Nam châm bị treo lơ lửng trên một đĩa gốm siêu dẫn được làm lạnh. Siêu dẫn là điện trở bằng không và là chìa khóa để sử dụng năng lượng hiệu quả hơn.

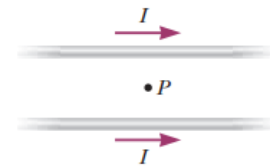
In the Meissner effect, the small magnet at the top induces currents in the superconducting disk below, which is cooled to 321°F (77 K). The currents create a repulsive magnetic force on the magnet causing it to levitate above the superconducting disk.



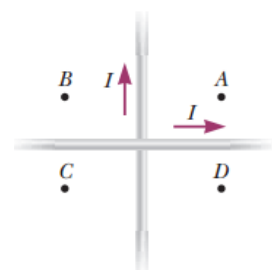
Hình 30. 26 Mô tả hiệu ứng Meissner.

### Câu hỏi trắc nghiệm (Objective Questions)

- Hai dây dài, song song mỗi dây đều mang dòng điện  $I$ , cùng chiều (hình 1). Cảm ứng từ tổng hợp tại điểm  $P$  ở giữa các dây (a) bằng 0, (b) hướng vào mặt phẳng giấy, (c) hướng ra mặt phẳng giấy, (d) hướng sang trái, hoặc (e) hướng sang phải?
- Hai dây dài, thẳng cắt nhau đặt vuông góc nhau và mang dòng điện  $I$  giống nhau (Hình 2). Phát biểu nào sau đây là đúng đối cảm ứng từ tổng cộng do hai dây gây ra ở các điểm khác nhau trong hình? Có thể có nhiều lựa chọn đúng. (a) Cảm ứng từ mạnh nhất tại các điểm  $B$  và  $D$ . (b) Cảm ứng từ này mạnh nhất ở các điểm  $A$  và  $C$ . (c) Cảm ứng từ hướng ra tại điểm  $B$  và hướng vào tại điểm  $D$ . (d) Cảm ứng từ hướng ra tại điểm  $C$  và điểm  $D$ . (e) Cảm ứng từ có cùng độ lớn ở cả bốn điểm.



Hình 1



Hình 2



3. Hai dây dẫn thẳng, dài mang dòng điện 20 A và 10 A ngược chiều nhau như hình 3. Phát biểu nào sau đây là đúng về cảm ứng từ tổng hợp gây ra bởi hai dòng điện? Có thể có nhiều lựa chọn đúng. (a) Ở vùng I, cảm ứng từ hướng vào và không bao giờ bằng không. (b) Trong vùng II, cảm ứng từ hướng vào và có thể bằng không. (c) Trong vùng III, cảm ứng từ có thể bằng không. (d) Ở vùng I, cảm ứng từ hướng ra và không bao giờ bằng không. (e) Không có điểm nào mà cảm ứng từ bằng 0.
4. Xếp hạng độ lớn cảm ứng từ từ lớn nhất đến nhỏ nhất, ghi rõ nếu bằng nhau. (a) cảm ứng từ cách dây dài 2 cm mang dòng điện 3 A, (b) cảm ứng từ tại tâm của một cuộn dây tròn, nhỏ gọn, bán kính 2 cm, có 10 vòng, mang dòng điện 0,3 A (c) cảm ứng từ ở tâm của một cuộn dây solenoid có bán kính 2 cm và dài 200 cm, với 1000 vòng, mang dòng điện 0,3 A (d) cảm ứng từ tại tâm của một thanh kim loại dài, thẳng, bán kính 2 cm, mang dòng điện 300 A (e) cảm ứng từ có độ lớn 1 mT.
5. Cuộn solenoid A có chiều dài L và N vòng dây, cuộn solenoid B có chiều dài 2L và N vòng dây, và cuộn solenoid C có chiều dài lần lượt L/2 và 2N vòng dây. Các cuộn A, B, C đều mang cùng một dòng điện. Hãy xếp hạng độ lớn của cảm ứng từ tại tâm của các cuộn từ lớn nhất đến nhỏ nhất.



Hình 3

### Câu hỏi khái niệm (Conceptual Questions)

- Một cực của nam châm hút một cái đinh. Cực còn lại của nam châm có hút cái đinh không? Giải thích. Tương tự, giải thích làm thế nào một nam châm dính vào cửa tủ lạnh.
- Hãy tưởng tượng bạn có một chiếc la bàn có kim có thể xoay theo chiều dọc cũng như chiều ngang. Bằng cách nào kim la bàn sẽ chỉ nếu bạn ở ngay điểm cực từ phía bắc Trái đất?
- Hãy giải thích tại sao hai dây dẫn song song ngược chiều lại đẩy nhau?
- Hình 4 cho thấy bốn nam châm vĩnh cửu, mỗi nam châm có một lỗ xuyên qua tâm của nó. Hai nam châm màu đỏ ở dưới, rồi đến nam châm màu vàng, trên cùng là nam châm màu xanh. (a) Sự bay lên của hai nam châm vàng xanh này xảy ra như thế nào? (b) Tác dụng của thanh ở giữa là gì? (c) Bạn có thể nói gì về các cực của nam châm từ quan sát này? (d) Nếu nam châm màu xanh bị đảo ngược, bạn cho rằng điều gì sẽ xảy ra?



Hình 4

### Bài tập

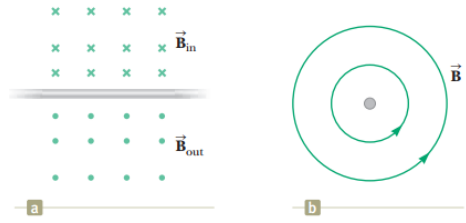
- (P1) Trong các nghiên cứu về khả năng di cư của các loài chim sử dụng từ trường Trái đất để điều hướng, các loài chim đã được gắn các cuộn dây như các mũ và vòng cổ (hình 5). (a) Nếu các cuộn dây giống hệt nhau có bán kính 1,2 cm và cách nhau 2,2 cm, với 50 vòng dây, cả hai nên mang theo dòng điện nào để tạo ra cảm ứng từ  $4,5 \cdot 10^{-5}$  T giữa chúng? (b) Nếu điện trở của mỗi cuộn dây là  $210 \Omega$  thì pin mấy volt cung cấp cho mỗi cuộn dây? (c) Công suất cung cấp cho mỗi cuộn dây?



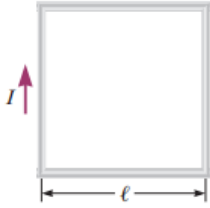
Hình 5

**ĐS: 21,5 A; 4,51 V; 96,7 mW**

2. (P2) Hãy xác định chiều của dòng điện gây ra cảm ứng từ ở ba trường hợp trên hình 6.



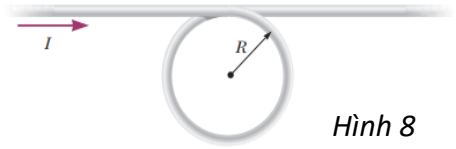
3. (P5) Một vòng dây dẫn hình vuông có chiều dài mỗi cạnh  $l = 0,4 \text{ m}$  mang dòng  $I = 10,0 \text{ A}$  như trong Hình 7. (a) Tính độ lớn và hướng của cảm ứng từ tại tâm hình vuông. (b) Nếu dây dẫn này được định hình lại để tạo thành một vòng tròn và mang cùng dòng điện, giá trị của cảm ứng từ ở tâm là bao nhiêu?



Hình 7

**ĐS: 28,3  $\mu\text{T}$  hướng vào; 24,7  $\mu\text{T}$  hướng vào**

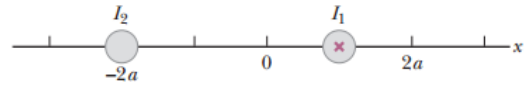
4. Một dây dẫn bao gồm một vòng tròn bán kính  $R = 15 \text{ cm}$  và hai phần thẳng, dài vô hạn như trong hình 8. Dây nằm trong mặt phẳng của tờ giấy và mang dòng  $I = 1 \text{ A}$ . Tìm vec-tơ cảm ứng từ ở tâm của vòng dây.



Hình 8

**ĐS: 5,52  $\mu\text{T}$  hướng vào.**

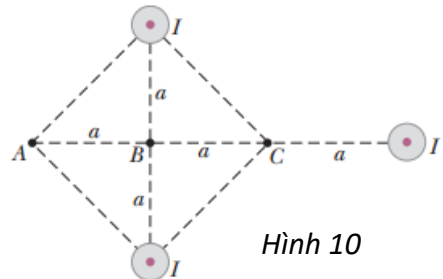
5. (P9) Hai dây dẫn thẳng, dài đặt vuông góc với mặt giấy như hình 9. Dây 1 mang dòng điện  $I_1$  hướng vào mặt giấy và đi qua điểm có tọa độ  $x = +a$ . Dây 2 mang dòng điện  $I_2$  chưa biết, đi qua điểm có tọa độ  $x = -2a$ . Hãy xác định độ lớn và chiều có thể có của dòng điện  $I_2$  trong dây 2 để cảm ứng từ tổng hợp tại O có độ lớn  $\frac{2\mu_0 I_1}{2\pi a}$ .



Hình 9

**ĐS: 2  $I_1$  hướng ra và 6  $I_1$  hướng vào.**

6. (P15) Ba dây dẫn thẳng, dài, song song mỗi dây mang dòng điện  $I = 2 \text{ A}$ . Hình 10 là hình chiếu cuối của dây dẫn, với mỗi chiều dòng điện hướng ra. Lấy  $a = 1 \text{ cm}$ , xác định độ lớn và hướng của cảm ứng từ tại (a) điểm A, (b) điểm B và (c) điểm C.

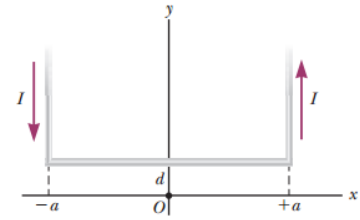


Hình 10

**ĐS: 5,53  $\mu\text{T}$  hướng lên; 20  $\mu\text{T}$  hướng lên; 0**

7. (P17) Cho dây dẫn dài vô hạn được uốn như hình 11. Dây dẫn mang dòng điện  $I$  có chiều như trên hình. Xác định cảm ứng từ do dây gây ra tại  $O$  theo  $I$ ,  $a$ ,  $d$ .

**ĐS:**  $\frac{\mu_0 I}{2\pi a d} (\sqrt{a^2 + d^2} - d)$ , hướng vào



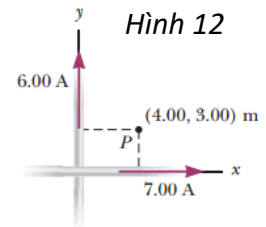
Hình 11

8. (P18) Một dây dẫn đặt trên mặt phẳng giấy mang dòng  $I$  được uốn thành hình tam giác đều cạnh bên  $L$ . Dòng điện chạy trong dây theo chiều thuận chiều kim đồng hồ. (a) Tìm độ lớn và hướng của cảm ứng từ tại tâm của tam giác. (b) Tại một điểm nằm giữa tâm và bất kỳ đỉnh nào, trường mạnh hơn hay yếu hơn ở tâm? Giải thích.

**ĐS:** (a)  $\frac{4,5\mu_0 I}{\pi L}$ , hướng vào; (b) mạnh hơn.

9. (P52) Một dây mang dòng điện  $7\text{ A}$  dọc theo trục  $x$  và một dây khác mang dòng điện  $6\text{ A}$  dọc theo trục  $y$ , như trong hình 12. Xác định vec-tơ cảm ứng từ tại điểm  $P$ , nằm ở  $x = 4\text{ m}$ ,  $y = 3\text{ m}$ .

**ĐS:**  $0,167\ \mu\text{T}$ , hướng ra.



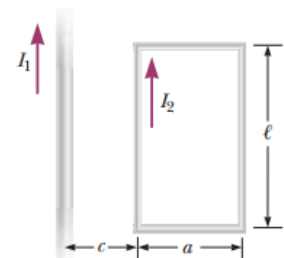
Hình 12

10. (P24) Hai dây dài treo thẳng đứng. Dây 1 mang dòng điện  $1,5\text{ A}$  hướng lên. Dây 2 ở bên phải dây 1 một đoạn  $20\text{ cm}$ , mang dòng điện  $4\text{ A}$  đi xuống. Dây 3 cũng được treo thẳng đứng. Xác định (a) vị trí của dây 3 và (b) cường độ và hướng của dòng điện trong dây 3 để tổng hợp lực tác dụng lên các dây bằng 0.

**ĐS:** Dây 3 đặt bên trái dây 1, cách dây 1 một đoạn  $12\text{ cm}$  có độ lớn  $2,4\text{ A}$  hướng xuống.

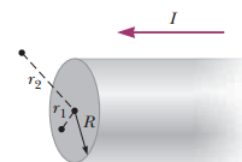
11. (P25) Trong hình 13, một dây thẳng, dài có dòng điện  $I_1 = 5\text{ A}$  và dây nằm trong mặt phẳng của vòng hình chữ nhật, mang dòng  $I_2 = 10\text{ A}$ . Kích thước trong hình là  $c = 0,1\text{ m}$ ,  $a = 0,15\text{ m}$ , và,  $l = 0,45\text{ m}$ . Tìm độ lớn và hướng của lực từ do dòng  $I_1$  tác dụng lên vòng dây.

**ĐS:**  $27\ \mu\text{N}$  hướng từ phải sang trái.



Hình 13

12. (P38) Một dây dẫn dài, hình trụ có bán kính  $R$  mang dòng  $I$  như trong hình 14. Tuy nhiên, mật độ dòng điện  $J$  không đồng nhất trên mặt cắt ngang của dây dẫn mà là một hàm của bán kính  $J = br$ , trong đó  $b$  là một hằng số. Tìm biểu thức xác định độ lớn cảm ứng từ  $B$  tại điểm cách tâm dây dẫn một đoạn (a)  $r_1 < R$  và (b)  $r_2 > R$ .



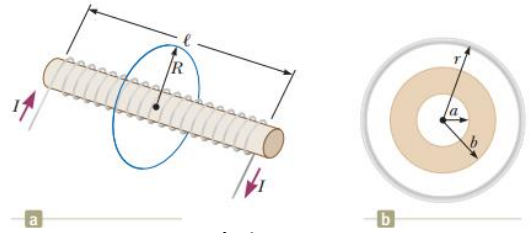
Hình 14

13. (P38) Một bó dây có 100 dây dẫn thẳng, dài cách điện với nhau xếp thành một hình trụ có bán kính  $R = 0,5\text{ cm}$ . Mỗi dây mang dòng điện  $2\text{ A}$ . (a) Xác định độ lớn và hướng của lực từ trên một đơn vị chiều dài tác dụng lên một dây ở vị trí cách tâm của hình trụ  $0,2\text{ cm}$ .

(b) Lực từ trên một đơn vị chiều dài tác dụng lên một dây ở mép ngoài của bó lớn hơn hay nhỏ hơn giá trị được tính ở câu a? Giải thích.

**ĐS: (a)  $6,34 \cdot 10^{-3}$  N/m, hướng vào tâm của bó; (b) lớn hơn.**

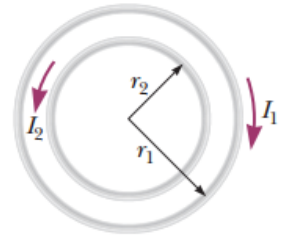
14. (P48) Một cuộn solenoid có bán kính  $r = 1,25$  cm và chiều dài  $l = 30$  cm có 300 vòng và mang dòng điện 12 A. (a) Tính từ thông qua một mặt phẳng tròn bán kính  $R = 5$  cm được đặt vuông góc và có tâm nằm trên trục của cuộn solenoid như trong hình 15 a. (b) Mặt cắt ngang cuộn solenoid trên thể hiện trên hình 15b, lớp vỏ màu nâu trên hình có bán kính trong  $a = 0,4$  cm và bán kính ngoài  $b = 0,8$  cm. Tính từ thông qua lớp vỏ màu nâu.



Hình 15

**ĐS:  $7,4 \mu\text{Wb}$ ;  $2,27 \mu\text{Wb}$**

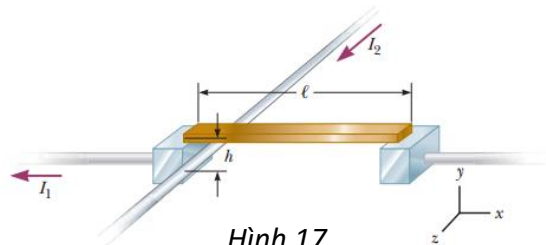
15. (P64) Hai dây dẫn tròn đồng tâm, cùng nằm trên một mặt phẳng mang dòng điện  $I_1 = 5$  A, và  $I_2 = 3$  A ngược chiều nhau như trên hình 16. Cho  $r_1 = 12$  cm. (a) Hãy xác định vec-tơ cảm ứng từ tổng hợp tại tâm của hai vòng dây nếu  $r_2 = 9$  cm. (b) Giá trị  $r_2$  bằng bao nhiêu để cảm ứng từ tổng hợp tại tâm của vòng dây bằng 0?



Hình 16

**ĐS: (a)  $5,24 \mu\text{T}$ , hướng vào; (b) 7,2 cm**

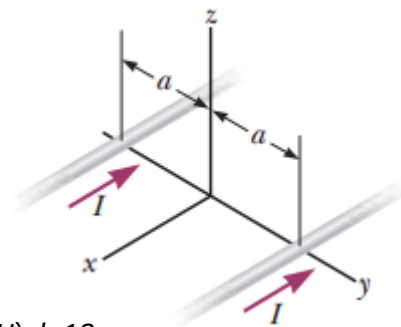
16. (P71) Một thanh đồng mỏng, chiều dài  $l = 10$  cm được giữ cho nằm ngang bởi hai vật không có từ tính như trên hình 17. Thanh đồng mang dòng điện  $I_1 = 100$  A cùng phương, ngược chiều Ox. Một dây thẳng, dài mang dòng điện  $I_2 = 200$  A đặt phía dưới thanh đồng một đoạn  $h = 0,5$  cm cùng phương, cùng chiều Oz. Xác định lực từ tác dụng lên thanh đồng.



Hình 17

**ĐS:  $-1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \hat{k}$  (N)**

17. (P72) Hai dây dẫn mang đều mang dòng điện  $I = 8$  A, cùng phương, ngược chiều Ox như hình 18. Hai dây đặt cách nhau một đoạn  $2a = 6$  cm. (a) Hãy phác họa cảm ứng từ do hai dây gây ra trên mặt phẳng yz. Tính độ lớn cảm ứng từ (b) tại gốc tọa độ, (c) tại điểm  $(y = 0, z \rightarrow \infty)$ . (d) Xác định biểu thức tính độ lớn cảm ứng từ tại những điểm nằm trên trục Oz, các góc một khoảng  $z$ . (e) Tại khoảng cách  $d$  dọc theo chiều dương trục z nào thì cảm ứng từ đạt giá trị cực đại. (f) Xác định giá trị cực đại đó.



Hình 18

**ĐS: (b,c) 0; (d)  $\frac{32 \cdot 10^{-7} z}{9 \cdot 10^{-4} + z^2} \cdot \hat{j}$ ; (e) 3 cm; (f)  $53,3 \mu\text{T}$**