

## BÀI TẬP CHƯƠNG 8. TỪ TRƯỜNG

### Tóm tắt lý thuyết:

- Vector cường độ từ trường và vector cảm ứng từ:  $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}$

- Định luật Biot – Savart – Laplace: vector cảm ứng từ gây bởi một phần tử dòng điện:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi r^3} (Id\vec{l} \times \vec{r})$$

Trong đó  $d\vec{B}$  là vector cảm ứng từ do phần tử dòng điện  $Id\vec{l}$  gây ra tại điểm M xác định bởi bán kính vector  $\vec{r}$  (vector nối từ phần tử dòng điện tới điểm M),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m gọi là hằng số từ,  $\mu$  gọi là độ từ thẩm của môi trường.

+ có phương: vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện và điểm khảo sát.

+ có chiều: theo qui tắc đinh ốc hoặc nắm tay phải.

+ độ lớn:  $dB = \frac{\mu\mu_0 Idl}{4\pi r^2} \cdot \sin \theta$

- Nguyên lý chồng chất từ trường:

+ vector cảm ứng từ gây bởi một dòng điện bất kỳ:  $\vec{B} = \int_{DD} d\vec{B}$

vector cảm ứng từ gây bởi nhiều dòng điện:  $\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$

- Vector cảm ứng từ của dòng điện thẳng:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

+ có phương vuông góc với mặt phẳng chứa dòng điện và điểm khảo sát;

+ có chiều theo quy tắc cái đinh ốc, hoặc nắm tay phải;

+ độ lớn:  $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$

- với sợi dây dài vô hạn:  $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi h} \rightarrow H = \frac{I}{2\pi h}$

- vector cảm ứng từ gây bởi dòng điện tròn tại một điểm trên trục của vòng dây:

$$B = \frac{\mu\mu_0 IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

- vector cảm ứng từ gây bởi dòng điện tròn tại tâm vòng dây  $h = 0$ :  $B_0 = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$

- mômen từ của dòng điện tròn:  $\vec{p}_m = I\vec{S}$ ,  $\vec{p}_m$  có phương vuông góc với mặt phẳng dòng điện, có chiều xác định theo quy tắc cái đinh ốc hoặc nắm tay phải.

- cảm ứng từ trong lòng ống dây:  $B = \mu\mu_0 nI = \mu\mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$ , trong đó  $n$  – là mật độ vòng dây.

- từ thông:  $d\Phi_m = B dS \cos \alpha = \vec{B} d\vec{S}$  (đơn vị là vêbe, Wb)

- Từ thông của từ trường đều gửi qua một diện tích phẳng:  $\Phi_m = BS \cdot \cos \alpha$

- Định lý OG: Từ thông gửi qua một mặt kín bất kì thì luôn bằng không:  $\oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$ ,

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

- Định lý Ampere: Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín bất kì thì bằng tổng đại số các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín đó.

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \sum_k I_k \text{ hay } \text{rot } \vec{H} = \vec{j}$$

- Công thức Ampere: Lực từ tác dụng lên một phần tử dòng điện:  $d\vec{F} = [Id\vec{l}, \vec{B}]$

+ phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện và vector cảm ứng từ;

+ chiều theo quy tắc bàn tay trái;

+ độ lớn:  $dF = BIdl \cdot \sin \theta$

- Từ trường đều tác dụng lên dây dẫn thẳng:  $F = BIl \cdot \sin \theta$

- Lực tương tác giữa 2 dòng điện thẳng song song (trên một mét dài):  $f = \frac{F}{l} = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

- Lực từ tác dụng lên khung dây:

+ Mômen của lực từ:  $\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$ , độ lớn:  $M = p_m \cdot B \cdot \sin \theta = BIS \cdot \sin \theta$

- Công của lực từ:  $A = \int F dx = \int BIl \cdot dx = \int BIdS = \int I \cdot d\Phi_m$ . Suy ra:  $A = I \cdot \Delta\Phi_m$

- Lực Lorentz:  $\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}]$ :

+ phương vuông góc với mặt phẳng chứa vector  $(\vec{v}, \vec{B})$ ;

+ chiều đối với điện tích dương theo quy tắc bàn tay trái;

+ chiều đối với điện tích âm theo quy tắc bàn tay phải.

$$F_L = |q| B \cdot v \cdot \sin \theta$$

- Điện tích chuyển động trong từ trường đều:

+ vector vận tốc ban đầu song song:  $\vec{v}_0 \parallel \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_L = 0$ , suy ra điện tích chuyển động thẳng đều;

+ vector vận tốc ban đầu vuông góc  $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ , điện tích chuyển động tròn đều, lực Lorentz đóng vai trò là lực hướng tâm:  $F_L = |q| B \cdot v = ma = m \frac{v^2}{r}$ .

$$\text{Bán kính quỹ đạo: } r = \frac{mv}{|q|B}, \text{ chu kỳ quay } T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

- Điện tích chuyển động theo đường lò xo: khi vận tốc ban đầu tạo với  $\vec{B}$  một góc nào đó, thành phần song song không bị ảnh hưởng của từ trường, nên hạt chuyển động đều, thành phần

vuông góc thì chịu ảnh hưởng của chuyển động tròn đều. Như vậy, hạt vừa chuyển động tròn, vừa chuyển động đều nên quỹ đạo có dạng lò xo:

$$+ \text{ bán kính xoắn: } r = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \frac{mv_0 \cdot \sin \theta}{|q|B}$$

$$+ \text{ chu kỳ: } T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$+ \text{ Bước xoắn: } h = v_{\parallel} \cdot T = v_0 \cdot \cos \theta \cdot \frac{2\pi m}{|q|B}$$

**Các bài tập cần làm: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13, 4.17, 4.18, 4.21, 4.26, 4.27, 4.29, 4.30, 4.37, 4.38, 4.40, 4.42, 4.43, 4.48.**

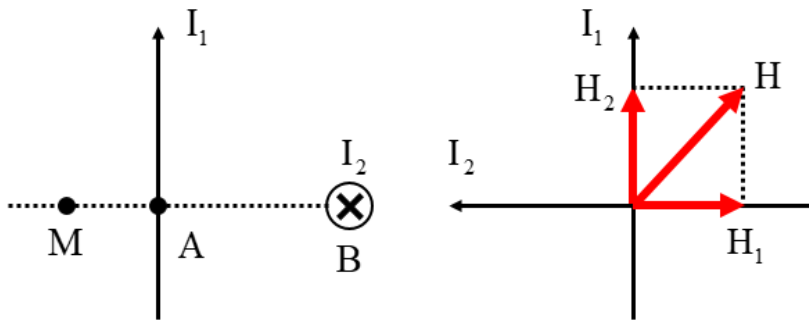
**Bài 4.1.** Tính cường độ từ trường của một dòng điện thẳng dài vô hạn tại một điểm cách dòng điện 2 cm. Biết cường độ dòng điện  $I = 5 \text{ A}$ .

**Bài giải:**

Bài này trước khi giải phải nhớ công thức:  $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$  và mối quan hệ giữa  $B$  và  $H$ :  $B = \mu_0 \mu H$

$$\text{Như vậy: } H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{5}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \approx 39,8 (\text{A} / \text{m})$$

**Bài 4.2.** Hai dòng điện thẳng dài vô hạn, có cường độ dòng điện  $I_1 = I_2 = 5 \text{ A}$ , được đặt vuông góc với nhau và cách nhau một đoạn  $AB = 2 \text{ cm}$ . Chiều các dòng điện như hình vẽ. Xác định cường độ véc-tơ cường độ từ trường tại điểm  $M$  nằm trong mặt phẳng chứa  $I_1$  và vuông góc với  $I_2$ , cách dòng điện  $I_1$  một đoạn  $MA = 1 \text{ cm}$ .



Bài này cần phải nhớ công thức:  $H = \frac{I}{2\pi r}$  giống ở bài trên.

Tại điểm  $M$ ,  $H_1$  xác định chiều theo quy tắc cái đinh ốc thì thấy đi ra, còn  $H_2$  theo quy tắc cái đinh ốc hướng thẳng đứng lên trên. Và  $\vec{H}_1 \perp \vec{H}_2$ , như vậy véc-tơ tổng sẽ hướng từ trong ra ngoài. Về độ lớn thì  $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$ . Sau đó cần phải xác định góc hợp bởi  $H$  tổng hợp với  $I$  trong hai véc-tơ  $H_1$  hoặc  $H_2$ , như vậy mới trả lời đủ câu hỏi  $H$  bằng bao nhiêu, và hướng đi đâu, theo phương nào.

Dòng điện  $I_1$  gây ra tại  $M$  từ trường  $H_1$  hướng từ trong ra ngoài (hình bên phải).

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi \cdot AM} = \frac{5}{2\pi \cdot 10^{-2}} \approx 79,6 (\text{A} / \text{m})$$

Tương tự dòng  $I_2$  gây ra tại M từ trường  $H_2$  hướng lên trên (hình bên phải):

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi \cdot BM} = \frac{5}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^{-2}} \approx 26,5 (\text{A} / \text{m})$$

Từ trường tổng hợp:

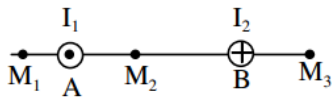
$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \sqrt{79,6^2 + 26,5^2} \approx 84 (\text{A} / \text{m})$$

Góc lệch  $\alpha$  so với phương  $H_1$ :

$$\tan \alpha = \frac{H_2}{H_1} = \frac{26,5}{79,6} \approx \frac{1}{3} \Rightarrow \alpha \approx 18^\circ 25'$$

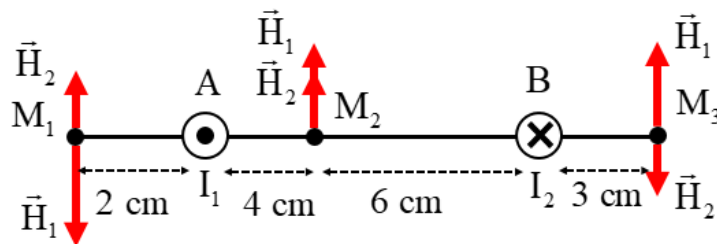
**Bài 4.3.** Hình 4-8 vẽ mặt cắt vuông góc của hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn ngược chiều nhau. Khoảng cách giữa hai dòng điện  $AB = 10 \text{ cm}$ . Cường độ của các dòng điện lần lượt bằng  $I_1 = 20 \text{ A}$ ,  $I_2 = 30 \text{ A}$ . Xác định vector cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ . Cho biết  $M_1A = 2 \text{ cm}$ ,  $AM_2 = 4 \text{ cm}$ ,  $BM_3 = 3 \text{ cm}$ .

**4-3.** Hình 4-8 vẽ mặt cắt vuông góc của hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn ngược chiều nhau. Khoảng cách giữa hai dòng điện  $AB = 10 \text{ cm}$ . Cường độ của các dòng điện lần lượt bằng  $I_1 = 20 \text{ A}$ ,  $I_2 = 30 \text{ A}$ . Xác định vector cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ . Cho biết  $M_1A = 2 \text{ cm}$ ,  $AM_2 = 4 \text{ cm}$ ,  $BM_3 = 3 \text{ cm}$ .



Hình 4-8

Với bài này, tại mỗi điểm cần xác định rõ véc-tơ  $H_1$  (gây ra bởi dòng  $I_1$ ) và  $H_2$  (gây ra bởi dòng  $I_2$ ) hướng đi đâu và độ lớn của cái nào lớn hơn sẽ quyết định chiều của véc-tơ  $H$  tổng hợp. Trong trường hợp này thì  $H_1$  và  $H_2$  luôn vuông góc với  $I_1I_2$  nên  $H_1$  và  $H_2$  có 2 khả năng là cùng chiều hoặc ngược chiều.



- Tại điểm  $M_1$ :  $H_1$  hướng xuống dưới như hình vẽ, độ lớn là:

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi \cdot AM_1} = \frac{20}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 159,15 (\text{A} / \text{m})$$

$H_2$  hướng từ dưới lên như hình vẽ, độ lớn là:

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi \cdot BM_1} = \frac{30}{2\pi \cdot 12 \cdot 10^{-2}} = 39,79 (\text{A} / \text{m})$$

Từ trường tổng hợp tại  $M_1$ :  $H = 159,15 - 39,79 = 119,36 \text{ (A / m)}$

Vì  $H_1 > H_2$  nên từ trường tổng hợp hướng theo  $H_1$ , tức là hướng xuống dưới.

• Tại điểm  $M_2$ : Từ trường  $H_1$  và  $H_2$  cùng hướng lên trên, tương tự ta có:

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi \cdot AM_2} = \frac{20}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = 79,58 \text{ (A / m)}$$

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi \cdot BM_1} = \frac{30}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-2}} = 79,58 \text{ (A / m)}$$

Từ trường tổng hợp tại  $M_2$ :  $H = 79,58 \cdot 2 = 159,16 \text{ (A/m)}$

Véc-tơ tổng hợp  $H$  hướng lên trên như  $H_1$  và  $H_2$

• Tại điểm  $M_3$ : Từ trường  $H_1$  hướng lên trên và  $H_2$  hướng xuống dưới, tương tự ta có:

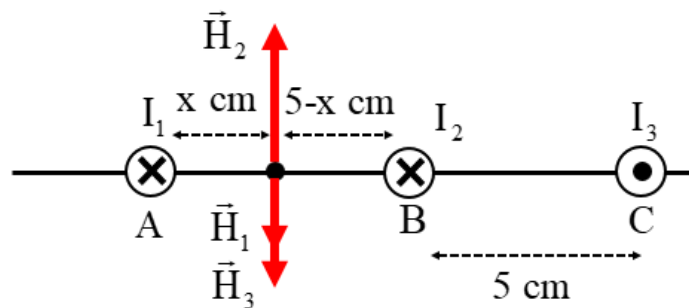
$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi \cdot AM_3} = \frac{20}{2\pi \cdot 13 \cdot 10^{-2}} = 24,49 \text{ (A / m)}$$

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi \cdot BM_1} = \frac{30}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 159,16 \text{ (A / m)}$$

Từ trường tổng hợp tại  $M_3$ :  $H = 159,16 - 24,49 = 134,67 \text{ (A/m)}$

Vì  $H_2 > H_1$  nên véc-tơ tổng hợp  $H$  hướng xuống dưới theo  $H_2$

**Bài 4.4.** Hình 4-9 biểu diễn tiết diện của ba dòng điện thẳng song song dài vô hạn. Cường độ các dòng điện lần lượt bằng:  $I_1 = I_2 = I$ ;  $I_3 = 2I$ . Biết  $AB = BC = 5 \text{ cm}$ . Tìm trên đoạn  $AC$  điểm có cường độ từ trường tổng hợp bằng không.



Dễ dàng suy luận được điểm cần tìm nằm trong đoạn  $AB$  vì nếu nằm trong đoạn  $BC$ , 3 véc-tơ cường độ từ trường đều hướng xuống dưới và không thể triệt tiêu nhau được.

Ta có phương trình sau:  $H_1 + H_3 - H_2 = 0$

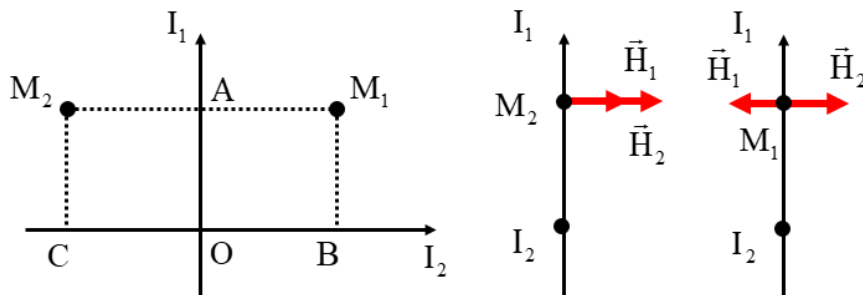
$$\frac{I}{2\pi x} - \frac{I}{2\pi(5-x)} + \frac{2I}{2\pi(10-x)} = 0$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{5-x} + \frac{2}{10-x} = 0 \Rightarrow x = 3,3 \text{ (cm)}$$

**Bài 4.5.** Hai dòng điện thẳng dài vô hạn đặt thẳng góc với nhau và nằm trong cùng một mặt phẳng (hình 4-10). Xác định véc-tơ cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm  $M_1$  và  $M_2$ , biết rằng:

$I_1 = 2 \text{ A}$ ;  $I_2 = 3 \text{ A}$ ;  $AM_1 = AM_2 = 1 \text{ cm}$ ;  $BM_1 = CM_2 = 2 \text{ cm}$ ;

**Giải:**



Tại điểm  $M_1$ , cả 2 dòng điện gây ra các véc-tơ cường độ từ trường hướng vuông góc với mặt phẳng hình vẽ nhưng ngược chiều nhau (và được quan sát lại trong hình chiếu cạnh).

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi AM_1} = \frac{2}{2\pi \cdot 10^{-2}} = 31,83 (\text{A / m})$$

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi BM_1} = \frac{3}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 23,87 (\text{A / m})$$

Cường độ từ trường tổng hợp là:  $H = 7,96 (\text{A/m})$  hướng theo phương của  $H_1$  vì  $H_1 > H_2$ .

Tại điểm  $M_2$ , cả 2 dòng điện gây ra các véc-tơ cường độ từ trường hướng vuông góc với mặt phẳng hình vẽ theo cùng một chiều (và được quan sát lại trong hình chiếu cạnh).

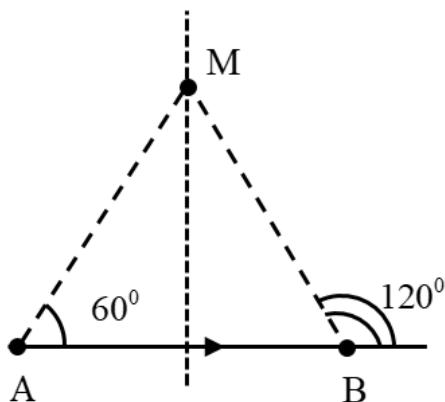
$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi AM_1} = \frac{2}{2\pi \cdot 10^{-2}} = 31,83 (\text{A / m})$$

$$H_2 = \frac{I_2}{2\pi BM_1} = \frac{3}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 23,87 (\text{A / m})$$

Cường độ từ trường tổng hợp là:  $H = 55,7 (\text{A/m})$  hướng theo phương của  $H_1$  và  $H_2$ .

**Bài 4.6.** Tìm cường độ từ trường gây ra tại điểm M bởi một đoạn dây dẫn thẳng AB có dòng điện  $I = 20 \text{ A}$  chạy qua, biết rằng tại điểm M nằm trên trung trực của AB, cách AB 5 cm và nhìn AB dưới góc  $60^\circ$ .

**Bài giải:**

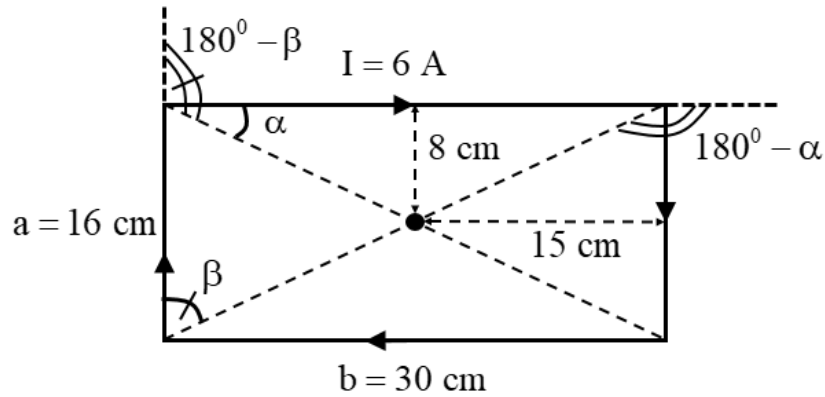


Trong bài này ta áp dụng công thức tổng quát để tính cường độ dòng điện gây ra bởi một đoạn dây dẫn:

$$H = \frac{I(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{4\pi r} = \frac{20(\cos 60^\circ - \cos 120^\circ)}{4\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \approx 31,8 (\text{A / m})$$

**Bài 4.7.** Một dây dẫn được uốn thành hình chữ nhật, có các cạnh  $a = 16 \text{ cm}$ ,  $b = 30 \text{ cm}$ , có dòng điện cường độ  $I = 6 \text{ A}$  chạy qua. Xác định véc-tơ cường độ từ trường tại tâm của khung dây.

**Giải:**



Từ hình vẽ trên dễ dàng suy ra, các véc-tơ cường độ từ trường gây ra tại tâm của hình chữ nhật đều cùng phương, cùng chiều. Trong đó có 2 cặp bằng nhau (cùng do 2 cạnh dài và do 2 cạnh ngắn gây ra):

Cường độ từ trường gây ra bởi cạnh dài là cường độ từ trường gây ra bởi 1 đoạn thẳng mang dòng điện 6 A được giới hạn bởi các góc  $\alpha$  và  $180^\circ - \alpha$  (như hình vẽ). Trong đó:

$$\cos \alpha = \frac{b/2}{\sqrt{(b/2)^2 + (a/2)^2}} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad \cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$$

$$H_1 = H_3 = \frac{I(\cos \alpha - \cos(180^\circ - \alpha))}{4\pi r_1} = \frac{2I \cos \alpha}{4\pi(a/2)} = \frac{I \cos \alpha}{\pi a} = \frac{Ib}{\pi a \sqrt{a^2 + b^2}}$$

Cường độ từ trường gây ra bởi cạnh ngắn là cường độ từ trường gây ra bởi 1 đoạn thẳng mang dòng điện 6 A được giới hạn bởi các góc  $\beta$  và  $180^\circ - \beta$  (như hình vẽ). Trong đó:

$$\cos \beta = \frac{a/2}{\sqrt{(a/2)^2 + (b/2)^2}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad \cos(180^\circ - \beta) = -\cos \beta$$

$$H_2 = H_4 = \frac{I(\cos \beta - \cos(180^\circ - \beta))}{4\pi r_2} = \frac{2I \cos \beta}{4\pi(b/2)} = \frac{Ia}{\pi b \sqrt{a^2 + b^2}}$$

Cường độ từ trường tổng hợp có độ lớn:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = \frac{2Ib}{\pi a \sqrt{a^2 + b^2}} + \frac{2Ia}{\pi b \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{2I(a^2 + b^2)}{\pi ab \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{2I \sqrt{a^2 + b^2}}{\pi ab}$$

Thay số vào ta được:

$$H = \frac{2 \cdot 6 \cdot \sqrt{0,16^2 + 0,30^2}}{\pi \cdot 0,16 \cdot 0,30} \approx 27,1 (\text{A} / \text{m})$$

**4-8.** Một dây dẫn được uốn thành tam giác đều mỗi cạnh  $a = 50\text{cm}$ . Trong dây dẫn có dòng điện cường độ  $I = 3,14\text{A}$  chạy qua. Tìm cường độ từ trường tại tâm của tam giác đó.

**Giải:**

Ta nhận thấy mỗi cạnh tam giác tạo ra tại tâm của tam giác một từ trường cùng độ lớn, cùng phương chiều. Gọi khoảng cách từ tới tâm tam giác tới một cạnh là  $x$ , ta dễ dàng có được:

$$x = \frac{1}{3} \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{6}; \quad \cos \theta_1 = -\cos \theta_2 = \frac{a/2}{r} = \frac{a}{2\sqrt{x^2 + \frac{a^2}{4}}} = \frac{a}{2\sqrt{\frac{a^2}{12} + \frac{a^2}{4}}} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{16}{12}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Rightarrow H_1 = \frac{I(\cos \theta - \cos \theta_1)}{4\pi x} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot (\sqrt{3}/2)}{4 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot \sqrt{3}/6)} \approx 3(A/m)$$

$$\Rightarrow H = 3H_1 = 9(A/m)$$

**4-10.** Một dây dẫn dài vô hạn được uốn thành một góc vuông, trên có dòng điện  $20\text{A}$  chạy qua. Tìm:

- Cường độ từ trường tại điểm A nằm trên một cạnh góc vuông và cách đỉnh O một đoạn  $OA = 2\text{cm}$  (hình 4-12);
- Cường độ từ trường tại điểm B nằm trên phân giác của góc vuông và cách đỉnh O một đoạn  $OB = 10\text{cm}$ .

**Giải:**

a) Từ trường trên trục dây dẫn bằng 0, nên từ trường tại A chỉ do một cạnh góc vuông gây ra:

$$H_A = \frac{I \left( \cos 0 - \cos \frac{\pi}{2} \right)}{4\pi R} = \frac{20 \cdot (1 - 0)}{4\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \approx 79,8(A/m)$$

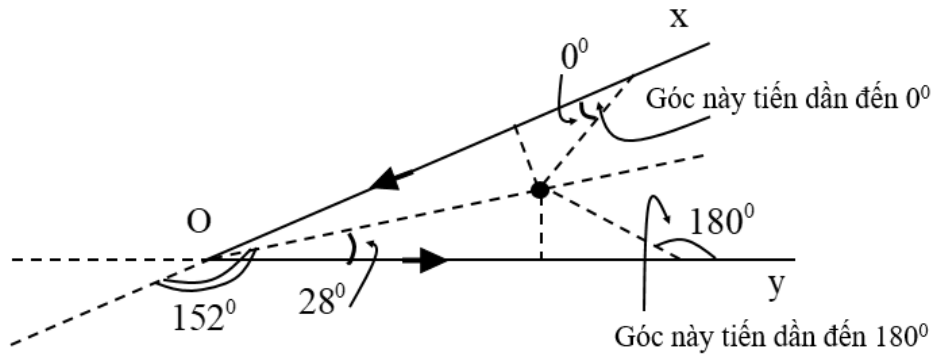


b) Từ trường do hai cạnh góc vuông gây ra tại cùng phương, cùng chiều:

$$H_B = \frac{I \left( \cos 0 - \cos \frac{3\pi}{4} \right)}{4\pi R_1} + \frac{I \left( \cos \frac{\pi}{4} - \cos \pi \right)}{4\pi R_2}$$

$$H_B = \frac{20 \cdot \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)}{4\pi \frac{0,1}{\sqrt{2}}} + \frac{20 \cdot \left( \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right)}{4\pi \frac{0,1}{\sqrt{2}}} \approx 77,3 (\text{A/m})$$

**4-11.** Một dây dẫn dài vô hạn được uốn thành một góc  $56^\circ$ . Cường độ dòng điện chạy qua dây dẫn  $I = 30\text{A}$ . Tìm cường độ từ trường tại điểm A nằm trên phân giác của góc và cách đỉnh góc một đoạn  $a = 5\text{cm}$  (hình 4-13).



**Giải:**

Từ trường do hai cạnh của góc nhọn gây ra tại A cùng phương và cùng chiều:

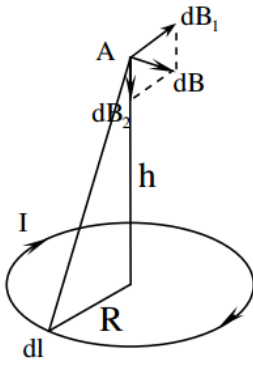
$$H = \frac{I(\cos 0 - \cos 152^\circ)}{4\pi R} + \frac{I(\cos 28^\circ - \cos 180^\circ)}{4\pi R} = \frac{I(1 + \cos 28^\circ)}{2\pi a \cdot \sin 28^\circ}$$

$$H = \frac{30(1 + \cos 28^\circ)}{2\pi \cdot 0,05 \cdot \sin 28^\circ} \approx 3,8 \cdot 10^2 (\text{A/m})$$

**4-13.** Trên một vòng dây dẫn bán kính  $R = 10\text{cm}$  có dòng điện cường độ  $I = 1\text{A}$  chạy qua.  
Tìm cảm ứng từ B:

- tại tâm O của vòng dây;
- tại một điểm trên trục của vòng dây và cách tâm O một đoạn  $h = 10\text{cm}$ .

Giải:



Chia nhỏ vòng dây thành các đoạn dây dẫn rất ngắn  $dl$ . Đoạn dây gây ra tại A cảm ứng từ  $d\vec{B}$  có thể phân tích thành hai thành phần  $d\vec{B}_1$  và  $d\vec{B}_2$ . Do tính đối xứng nên tổng tất cả các vectơ thành phần  $d\vec{B}_1$  bằng không. Ta có:

$$B = \int dB_2 = \int dB \cdot \cos \alpha = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl}{r^2} \cdot \frac{R}{r} = \frac{\mu_0 IR}{4\pi r^3} \int dl$$

$$= \frac{\mu_0 IR}{4\pi (R^2 + h^2)^{3/2}} \cdot 2\pi R = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

+ Cảm ứng từ tại tâm O ( $h = 0$ ):

$$B_O = \frac{\mu_0 IR^2}{2R^3} = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2 \cdot 0,1} \approx 6,3 \cdot 10^{-6} (T)$$

**4-17.** Hai vòng dây dẫn giống nhau bán kính  $R = 10\text{cm}$  được đặt song song, trục trùng nhau và mặt phẳng của chúng cách nhau một đoạn  $a = 20\text{cm}$ . Tìm cảm ứng từ tại tâm của mỗi vòng dây và tại điểm giữa của đoạn thẳng nối tâm của chúng trong hai trường hợp:

- Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau ( $I_1 = I_2 = 3\text{A}$ ) và cùng chiều.
- Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau ( $I_1 = I_2 = 3\text{A}$ ) nhưng ngược chiều.

**Giải:**

Sử dụng kết quả của bài 4-13, ta có, cảm ứng từ do vòng dây gây ra tại điểm nằm trên trục của vòng dây bán kính R cách tâm vòng một đoạn h có độ lớn là:

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

a) Nếu các dòng điện chạy trên các dây là cùng chiều, thì các vectơ cảm ứng từ do các vòng tạo ra cùng chiều tại mọi điểm trên trục của các vòng dây:

$$B = B_1 + B_2$$

+ Tại tâm vòng 1 ( $h_1 = 0, h_2 = a$ ) và tại tâm vòng 2 ( $h_1 = a, h_2 = 0$ ):

$$B_{O_1} = B_{O_2} = \frac{\mu_0 I}{2} \left[ \frac{1}{R} + \frac{R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \right] = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3}{2} \left[ \frac{1}{0,1} + \frac{0,1^2}{(0,1^2 + 0,2^2)^{3/2}} \right] \approx 2,1 \cdot 10^{-5} (T)$$

+ Tại điểm chính giữa hai vòng dây ( $h_1 = h_2 = a/2$ ):

$$B_M = 2 \cdot \frac{\mu_0 I R^2}{2 \left( R^2 + \frac{a^2}{4} \right)^{3/2}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 0,1^2}{\left( 0,1^2 + \frac{0,2^2}{4} \right)^{3/2}} \approx 1,35 \cdot 10^{-5} (T)$$

b) Nếu các dòng điện chạy trên các dây ngược chiều, thì các vectơ cảm ứng từ do hai vòng tạo ra ngược chiều nhau tại mọi điểm trên trục vòng dây:

$$B = |B_1 - B_2|$$

+ Tại tâm vòng 1 ( $h_1 = 0, h_2 = a$ ) và tại tâm vòng 2 ( $h_1 = a, h_2 = 0$ ):

$$B_{O_1} = B_{O_2} = \frac{\mu_0 I}{2} \left[ \frac{1}{R} - \frac{R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \right] = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3}{2} \left[ \frac{1}{0,1} - \frac{0,1^2}{(0,1^2 + 0,2^2)^{3/2}} \right] \approx 1,7 \cdot 10^{-5} (T)$$

**4-18.** Một sợi dây có vỏ cách điện đường kính (kể cả vỏ) bằng  $d = 0,3\text{mm}$  được uốn thành một đường xoắn ốc phẳng gồm  $N = 100$  vòng. Bán kính của vòng ngoài cùng  $R = 30\text{mm}$ . Cho dòng điện  $I = 10\text{mA}$  chạy qua dây. Tính:

- a) Mômen từ của đường xoắn ốc đó.
- b) Cường độ từ trường tại tâm của đường xoắn ốc.

**Giải:**

Theo định lý Bio-Savart-Laplace, véc-tơ cảm ứng từ gây ra bởi một vòng dây tại tâm của nó là:

$$B_r = \frac{\mu_0 \mu I}{2r} \rightarrow H_r = \frac{I}{2r}, \text{ suy ra: } H = \int_{d/2}^R \frac{IdN}{2r}, \text{ trong đó } dN \text{ là số vòng dây quấn quanh khi bán kính}$$

thay đổi từ  $r$  đến  $r + dr$ .

Ta chia tỷ lệ, khi bán kính thay đổi từ  $d/2$  đến  $R$  thì có  $N$  vòng dây, vậy nên:

$$dN = \frac{N}{R - d/2} dr$$

$$\text{Từ đó suy ra: } H = \int_{d/2}^R \frac{INdr}{2r(R - d/2)} = \frac{IN \ln \frac{2R}{d}}{(2R - d)}$$

Véc-tơ mômen từ có độ lớn:  $p_m = I\pi r^2$

$$\text{Suy ra: } P_m = \int_{d/2}^R p_m dN = \int_{d/2}^R I\pi r^2 \frac{N}{R - d/2} dr = \frac{\pi IN(R^3 - d^3/8)}{3(R - d/2)}$$

**4-21.** Cho một khung dây phẳng diện tích  $16\text{cm}^2$  quay trong một từ trường đều với vận tốc 2 vòng/s. Trục quay nằm trong mặt phẳng của khung và vuông góc với các đường sức từ trường. Cường độ từ trường bằng  $7,96 \cdot 10^4 \text{ A/m}$ . Tìm:

- Sự phụ thuộc của từ thông gửi qua khung dây theo thời gian.
- Giá trị lớn nhất của từ thông đó.

**Giải:**

$$\text{Ta có: } \phi = BS \cdot \cos \theta$$

với  $\theta$  là góc giữa vectơ cảm ứng từ và pháp tuyến của khung.

$$\text{Mặt khác: } \theta = \omega t + \theta_0$$

$$\text{Vậy: } \phi = \mu_0 HS \cos(\omega t + \theta_0) = \phi_0 \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$\text{với tần số góc } \omega = 2\pi n = 4\pi (\text{rad/s})$$

Giá trị lớn nhất của từ thông:

$$\phi_0 = \mu_0 HS = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7,96 \cdot 10^4 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \approx 1,6 \cdot 10^{-4} (\text{Wb})$$

$$\Rightarrow \phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \cos(4\pi t + \theta_0) (\text{Wb})$$

**4-26.** Dây dẫn của ống dây tiết diện thẳng có đường kính bằng 0,8mm, các vòng dây được quấn sát nhau, coi ống dây khá dài. Tìm cường độ từ trường bên trong ống dây nếu cường độ dòng điện chạy qua ống dây bằng 1A.

**Giải:**

Do các vòng dây được quấn sát nhau, nên chiều dài ống dây có thể tính bằng:

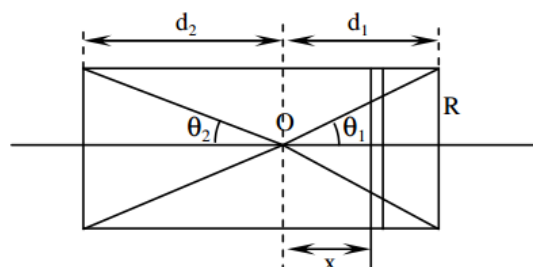
$$l = Nd$$

Cường độ từ trường bên trong ống dây là:

$$H = nI = \frac{NI}{l} = \frac{NI}{Nd} = \frac{I}{d} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-4}} = 1250 (A/m)$$

**4-27.** Hỏi tỉ số giữa chiều dài  $l$  và đường kính  $D$  của một ống dây điện thẳng phải bằng bao nhiêu để có thể tính cường độ từ trường tại tâm của ống dây theo công thức của ống dây dài vô hạn mà không sai quá 1%.

**Giải:**



Ta đi tính cảm ứng từ tại điểm O trên trục của ống dây. Vòng dây cách O một đoạn  $x$  gây ra tại O cảm ứng từ:

$$B = \frac{\mu\mu_0 IS}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

Cảm ứng từ do  $ndx$  vòng dây cách O một đoạn  $x$  gây ra bằng:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I S n}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} dx$$

với n là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài của ống dây. Từ đó, cảm ứng từ tổng hợp do cả ống dây gây ra tại O là:

$$B = \int_{-d_2}^{d_1} \frac{\mu\mu_0 I S n}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} dx = \left[ \frac{\mu\mu_0 I S n x}{2\pi R^2 \sqrt{R^2 + x^2}} \right]_{-d_2}^{d_1}$$

$$B = \int_{-d_2}^{d_1} \frac{\mu\mu_0 I S n}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} dx = \left[ \frac{\mu\mu_0 I S n x}{2\pi R^2 \sqrt{R^2 + x^2}} \right]_{-d_2}^{d_1}$$

$$B = \frac{\mu\mu_0 I S n}{2\pi R^2} \left( \frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} + \frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} \right)$$

Do  $S = \pi R^2$ ;  $\frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} = \cos \theta_1$ ;  $\frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} = \cos \theta_2$ , ta có:

$$B = \frac{1}{2} \mu\mu_0 n I (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$$

Tại tâm ống dây ( $d_1 = d_2 = l/2$ ):

$$B = \mu\mu_0 n I \frac{1}{\sqrt{1 + D^2/l^2}} \approx \mu\mu_0 n I \left( 1 - \frac{D^2}{2l^2} \right) \quad \text{do } \frac{D^2}{l^2} \ll 1$$

+ Với ống dây dài vô hạn, cảm ứng từ bên trong ống dây là:

$$B_\infty = \mu\mu_0 n I$$

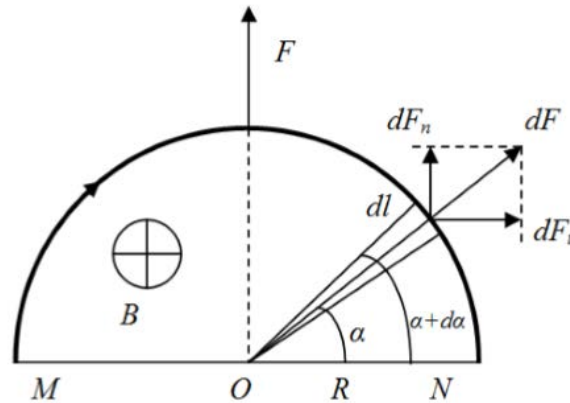
Sai số mắc phải là:  $\delta B = \frac{B_\infty - B}{B_\infty} = \frac{D^2}{2l^2}$

Để  $\delta B$  không vượt quá 1% thì:  $\frac{D^2}{2l^2} \leq 1\% \Leftrightarrow \frac{l}{D} \geq \sqrt{\frac{1}{0,02}} \approx 7,1$

Vậy, chiều dài của ống dây cần lớn hơn đường kính ít nhất 7,1 lần.

**4-29.** Trong một từ trường đều cảm ứng từ  $B = 0,1\text{T}$  và trong mặt phẳng vuông góc với các đường sức từ, người ta đặt một dây dẫn uốn thành nửa vòng tròn. Dây dẫn dài  $s = 63\text{cm}$ , có dòng điện  $I = 20\text{A}$  chạy qua. Tìm lực tác dụng của từ trường lên dây dẫn.

Giải:



- Do không có một công thức tổng quát tính lực tác dụng lên một nửa dòng điện tròn nên ta phải sử dụng tích phân.
- Giả sử ta chia vòng tròn thành các phần tử dây dẫn mang điện  $dl = (s / \pi)d\alpha$ . Xét tại vị trí mà  $Odl$  tạo với trục  $ON$  một góc  $\alpha$ .
- Lực tác dụng của từ trường lên dây dẫn  $dl$ :
  - o Phương: qua tâm của dây dẫn tròn
  - o Chiều: như hình vẽ (được xác định bằng quy tắc bàn tay trái)
  - o Độ lớn:  $dF = BIdl$
- Lực tác dụng của từ trường lên toàn bộ dây dẫn là:  $\vec{F} = \int d\vec{F} = \int d\vec{F}_n + \int d\vec{F}_t$

Do tính đối xứng nên  $\int d\vec{F}_t = 0$

$$F = \int dF_n = \int dF \sin \alpha = \int BIdl \sin \alpha = \int BI \frac{s}{\pi} \sin \alpha d\alpha = \int_0^\pi BI \frac{s}{\pi} \sin \alpha d\alpha = \frac{BI s}{\pi} \cos \alpha \Big|_0^\pi = \frac{2BI s}{\pi} = 0,8 \text{ N}$$

**4-30.** Một ống dây thẳng trên có dòng điện  $I = 10\text{mA}$ , được đặt trong một từ trường đều sao cho trục của ống dây trùng với phương của đường sức từ trường. Các vòng dây được quấn bằng dây đồng có đường kính  $d = 0,1\text{mm}$ . Bán kính của mỗi vòng dây  $R = 10\text{mm}$ . Hỏi với giá trị nào của cảm ứng từ  $B$  của từ trường ngoài, vòng dây sẽ bị kéo đứt? Cho biết ứng suất của dây đồng khi bị đứt  $\sigma_p = 2,3 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ .



**Giải:**

Theo kết quả bài 4-29, lực tác dụng lên nửa vòng dây là:

$$F = \frac{2BIs}{\pi} = 2BIR \text{ (với R là bán kính vòng dây)}$$

Lực này phân bố trên hai tiết diện thẳng của dây dẫn. Gọi  $F_p$  và  $B_p$  lần lượt là lực kéo và cảm ứng từ khi dây đồng bị đứt. Ta có:

$$F = 2T \text{ (do hai phần tiết diện thẳng của dây dẫn song song)}$$

$$\Rightarrow 2B_p IR = 2 \frac{\sigma_p \pi d^2}{4} \Rightarrow B_p = \frac{\sigma_p \pi d^2}{4IR} = \frac{2,3 \cdot 10^8 \cdot \pi \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} \approx 1,8 \cdot 10^4 (T)$$

**4-37.** Cuộn dây của một điện kế gồm 400 vòng có dạng khung chữ nhật chiều dài 3cm, chiều rộng 2cm, được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ  $B = 0,1T$ . Dòng điện chạy trong khung có cường độ bằng  $10^{-7}A$ . Hỏi:

a) Thế năng của khung dây trong từ trường tại hai vị trí:

- Vị trí 1: Mặt phẳng của khung song song với đường sức từ trường.
- Vị trí 2: Mặt phẳng của khung hợp với đường sức từ trường một góc  $30^\circ$ .

b) Công của lực điện từ khi khung dây quay từ vị trí 1 sang vị trí 2 ở câu hỏi a.

**Giải:**

Công thức thế năng của khung dây trong từ trường là:

$$W_t = -\vec{p}_m \cdot \vec{B} = -NISB \cos(\vec{p}_m, \vec{B}) = -NIabB \cdot \cos \varphi$$

$$\text{Tại vị trí 1: } \varphi = \pi/2 \Rightarrow W_{t1} = 0$$

$$\text{Tại vị trí 2: } \varphi = \pi/3 \Rightarrow W_{t2} = -NIabB \cdot (1/2) = -400 \cdot 10^{-7} \cdot 0,03 \cdot 0,02 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = -1,2 \cdot 10^{-9} (J)$$

Công của lực từ bằng độ giảm thế năng:

$$A = W_{t1} - W_{t2} = 1,2 \cdot 10^{-9} (J)$$

**4-38.** Một vòng dây dẫn hình tròn bán kính  $R = 2cm$  trên có dòng điện  $I = 2A$ , được đặt sao cho mặt phẳng của vòng dây vuông góc với đường sức của một từ trường có cảm ứng từ  $B = 0,2T$ . Hỏi công phải tốn để quay vòng dây trở về vị trí song song với đường sức từ trường.



**Giải:**

Chúng ta cần tốn một công A để thắng lại công cản của từ trường:

$$\begin{aligned} A &= W_{t2} - W_{t1} = ISB(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \\ &= I \cdot \pi R^2 \cdot B(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \end{aligned}$$

$$A = 2 \cdot \pi \cdot 0,02^2 \cdot 0,2 \left( \cos 0 - \cos \frac{\pi}{2} \right) \approx 5 \cdot 10^{-4} (\text{J})$$

**4-40.** Một electron sau khi được gia tốc bằng hiệu điện thế  $U = 300\text{V}$  thì chuyển động song song với một dây dẫn thẳng dài và cách dây dẫn một khoảng  $a = 4\text{mm}$ . Tìm lực tác dụng lên electron nếu cho dòng điện  $I = 5\text{A}$  chạy qua dây dẫn.

**Giải:**

Công thức của lực Loren tác dụng lên electron:

$$F = Bve \sin \alpha$$

với  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ ;  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ ;  $\alpha = (\vec{v}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2}$

$$\Rightarrow F = \frac{\mu_0 I e}{2\pi r} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 300}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 4,1 \cdot 10^{-16} (\text{N})$$

**4-42.** Một hạt  $\alpha$  có động năng  $W_d = 500 \text{ eV}$  bay theo hướng vuông góc với đường sức của một từ trường đều có cảm ứng từ  $B = 0,1\text{T}$ . Tìm:

- a) Lực tác dụng lên hạt  $\alpha$ ;
- b) Bán kính quỹ đạo của hạt;
- c) Chu kỳ quay của hạt trên quỹ đạo.

Chú thích: Hạt  $\alpha$  có điện tích bằng  $+2e$ , khối lượng  $4u$ .

Giải:

Ta có: 
$$W_d = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2W_d}{m}} = \sqrt{\frac{2.500.1,6.10^{-19}}{4.1,66.10^{-27}}} \approx 1,55.10^5 (m/s)$$

Lực tác dụng lên hạt:

$$F = Bvq = 0,1.1,55.10^5.2.1,6.10^{-19} \approx 5.10^{-15} (N)$$

Bán kính quỹ đạo của hạt:

$$R = \frac{mv}{Bq} = \frac{6,64.10^{-27}.1,55.10^5}{0,1.3,2.10^{-19}} \approx 3,2.10^{-2} (m)$$

Chu kỳ quay của hạt trên quỹ đạo:

$$T = \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{2\pi.6,64.10^{-27}}{0,1.3,2.10^{-19}} \approx 1,3.10^{-6} (s)$$

**4-43.** Một electron chuyển động trong một từ trường đều có cảm ứng từ  $B = 2.10^{-3}T$ . Quỹ đạo của electron là một đường hình ốc có bán kính  $R = 2cm$  và có bước  $h = 5cm$ . Xác định vận tốc của electron.

Giải:

Ta chia vectơ vận tốc  $v$  thành hai thành phần:  $v_1$  hướng dọc theo phương từ trường và vectơ  $v_2$  hướng vuông góc với phương từ trường.

Bán kính đường hình ốc chỉ phụ thuộc vào thành phần  $v_2$ :

$$R = \frac{mv_2}{Be} \Rightarrow v_2 = \frac{BeR}{m} = \frac{2.10^{-3}.1,6.10^{-19}.0,02}{9,1.10^{-31}} \approx 7.10^6 (m/s)$$

Bước xoắn phụ thuộc vào giá trị của  $v_1$ :

$$h = v_1 T = \frac{2\pi mv_1}{Be} \Rightarrow v_1 = \frac{Beh}{2\pi m} = \frac{2.10^{-3}.1,6.10^{-19}.0,05}{2\pi.9,1.10^{-31}} \approx 2,8.10^6 (m/s)$$

Vận tốc của electron trên quỹ đạo:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{(7.10^6)^2 + (2,8.10^6)^2} \approx 7,6.10^6 (m/s)$$

**4-48.** Một electron bay vào khoảng giữa 2 bản của một tụ điện phẳng có các bản nằm ngang. Hướng bay song song với các bản, vận tốc bay  $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$ . Chiều dài của tụ điện  $l = 5 \text{ cm}$ , cường độ điện trường giữa hai bản tụ điện  $E = 100 \text{ V/cm}$ . Khi ra khỏi tụ điện, electron bay vào một từ trường có đường sức vuông góc với đường sức điện trường. Cho biết cảm ứng từ  $B = 10^{-2} \text{ T}$ . Tìm:

- Bán kính quỹ đạo định ốc của electron trong từ trường;
- Bước của đường định ốc.

**Giải:**

Quỹ đạo của electron trong từ trường phụ thuộc vào phương của các đường sức từ. ở đây, ta cho rằng từ trường có phương dọc theo phương vận tốc  $v_0$  ban đầu của electron.

Khi bay qua từ trường, electron được gia tốc theo phương điện trường và nhận được vận tốc  $v_1$  theo phương đó được xác định như sau:

$$v_1 = at = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v_0} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^4}{9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^7} \approx 8,8 \cdot 10^6 \text{ (m/s)}$$

Bán kính quỹ đạo của electron:

$$R = \frac{mv_{\perp}}{Be} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 8,8 \cdot 10^6}{10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ (m)} = 5 \text{ (mm)}$$

Bước xoắn của đường định ốc:

$$h = \frac{2\pi mv_{\parallel}}{Be} = \frac{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^7}{10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ (m)} = 3,6 \text{ (cm)}$$