

Chương 3: TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

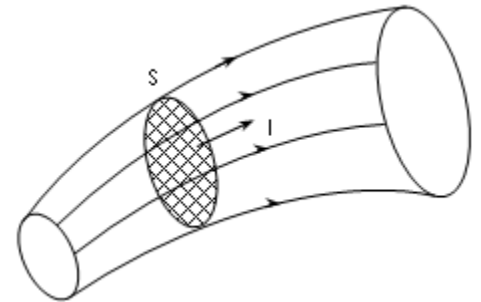
I. Dòng điện không đổi

Dòng các hạt điện chuyển động có hướng gọi là dòng điện

Quy ước về chiều của dòng điện: Là chiều chuyển động của các hạt điện dương

1. Cường độ dòng điện:

$$i = \frac{dq}{dt}.$$

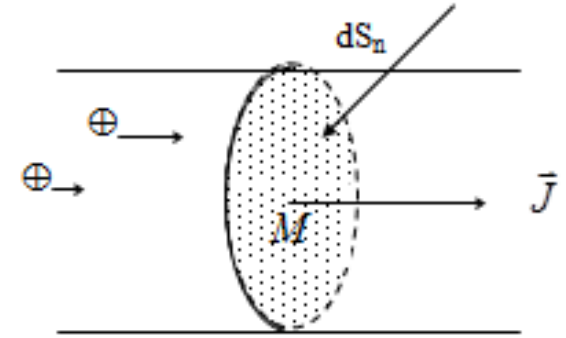


§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

2. Vectơ mật độ dòng điện

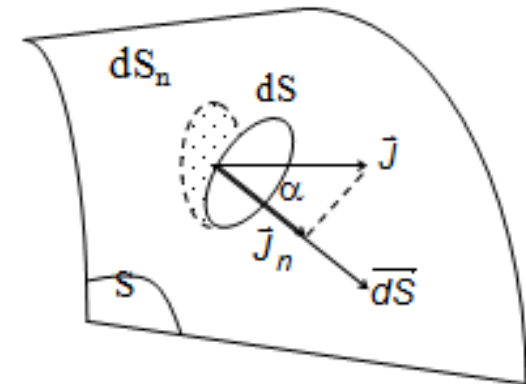
Vectơ mật độ dòng điện tại một điểm M:

- **Hướng** là hướng chuyển động của các hạt điện tích dương
- **Độ lớn** bằng cường độ dòng điện qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với hướng ấy: $j = dI/dS_n$ (đơn vị A/m²)



- Cường độ dòng điện qua một diện tích S bất kỳ

$$I = \int_s dI = \int_S J dS_n = \int_S J \cdot d\vec{S} \cdot \cos \alpha = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

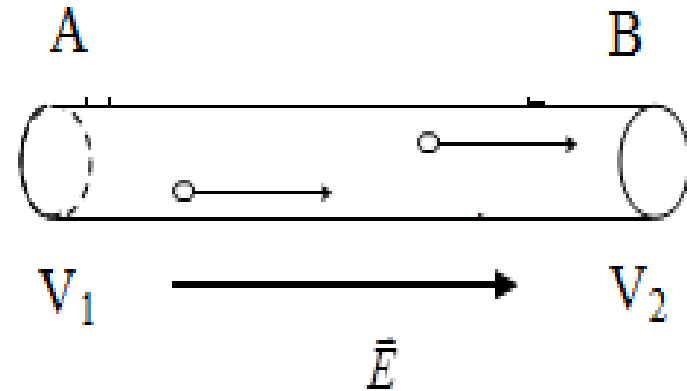


§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

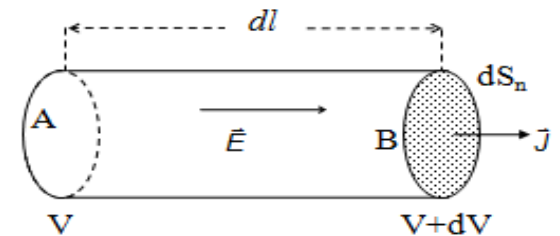
3. Định luật Ohm cho đoạn mạch thuần trở

* Xét một đoạn dây dẫn kim loại đồng chất AB

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R}$$



* Xét đoạn mạch vi phân



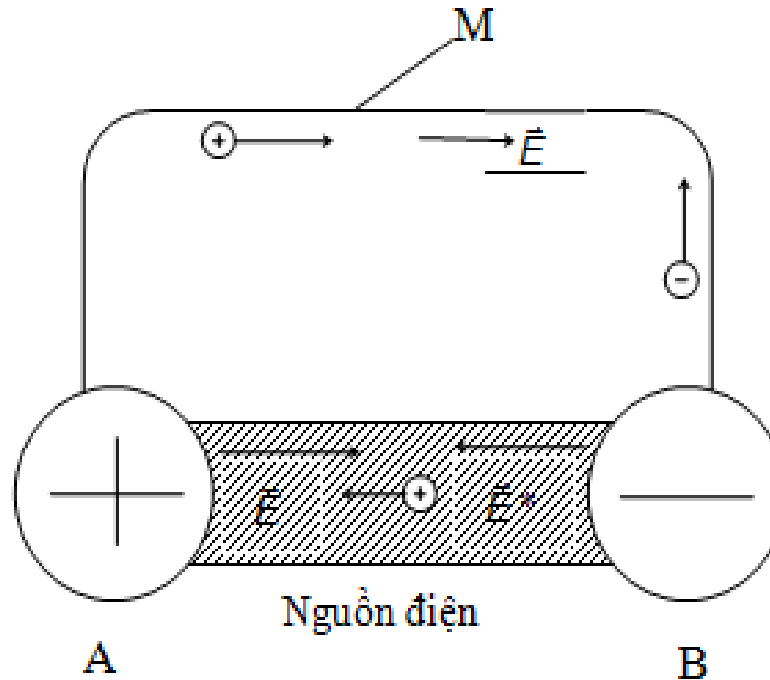
$$dI = \frac{[V - (V + dV)]}{R} = -\frac{dV}{R} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{dV}{dl} \right) dS_n \rightarrow J = \frac{dI}{dS_n} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{dV}{dl} \right) = \frac{E}{\rho} = \sigma E$$

$\sigma = 1/\rho$ gọi là điện dẫn suất ($1/\Omega m$)

§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

4. Nguồn điện - Suất điện động

Nguồn điện



Suất điện động

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} = \oint_{(C)} \vec{E}^* d\vec{l}$$

§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

II. Định luật Ampère về tương tác từ

* **phần tử dòng điện:** là một đoạn rất ngắn $d\vec{l}$ của dòng điện, được biểu diễn nó bằng một vectơ, có phương chiều là phương chiều của dòng điện, và có độ lớn $I d\vec{l}$

Xét phần tử dòng điện $I_0 d\vec{l}_0$ đặt gần phần tử dòng điện $I d\vec{l}$

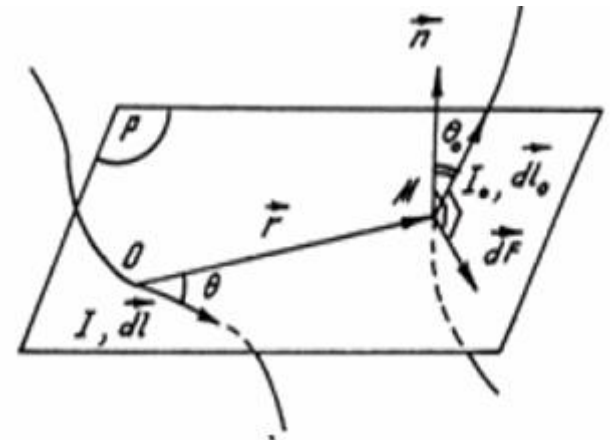
Từ lực do phần tử dòng điện $I d\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_0 d\vec{l}_0$

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (I d\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (H / m)$ là hằng số từ

μ là hằng số từ môi

$$dF = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I dl \cdot \sin \theta \cdot I_0 dl_0 \sin \theta_0}{r^2}$$



§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ



II. Khái niệm từ trường

Từ trường là một môi trường vật chất đặc biệt xuất hiện xung quanh dòng điện. Tính chất cơ bản của từ trường là nó tác dụng lên bất kỳ dòng điện nào đặt trong nó.

§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

III. Các đại lượng đặc trưng cho từ trường

1. Vectơ cảm ứng từ:

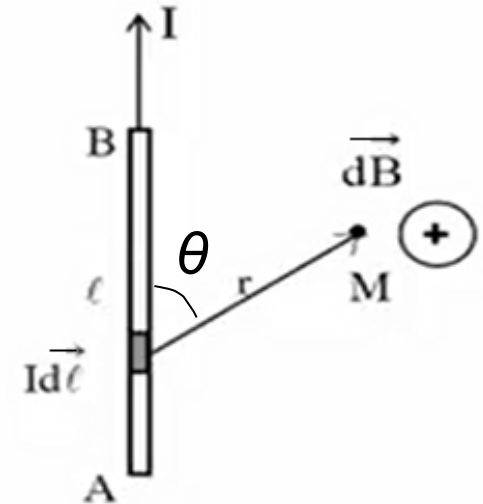
Cảm ứng từ \vec{dB} do phần tử $I\vec{dl}$

gây ra tại điểm M

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I\vec{dl} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

- **Phương:** $\perp_{mp}(I\vec{dl} \text{ và } \vec{r})$
- **Chiều:** $I\vec{dl}, \vec{r}, \vec{dB}$ hợp thành tam diện thuận
- **Độ lớn:**
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

Đơn vị B trong hệ SI: *Tesla (T)*



§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

2. Nguyên lý chồng chất từ trường

* \vec{B} do một dòng điện chạy trong một dây dẫn gây ra tại một điểm:

$$\vec{B} = \int_{\text{ca dòng}} \overrightarrow{dB}$$

* B tại một điểm trong từ trường do nhiều dòng điện gây ra :

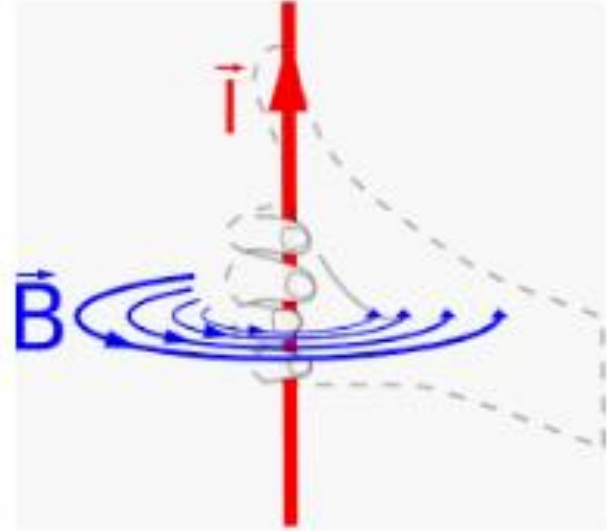
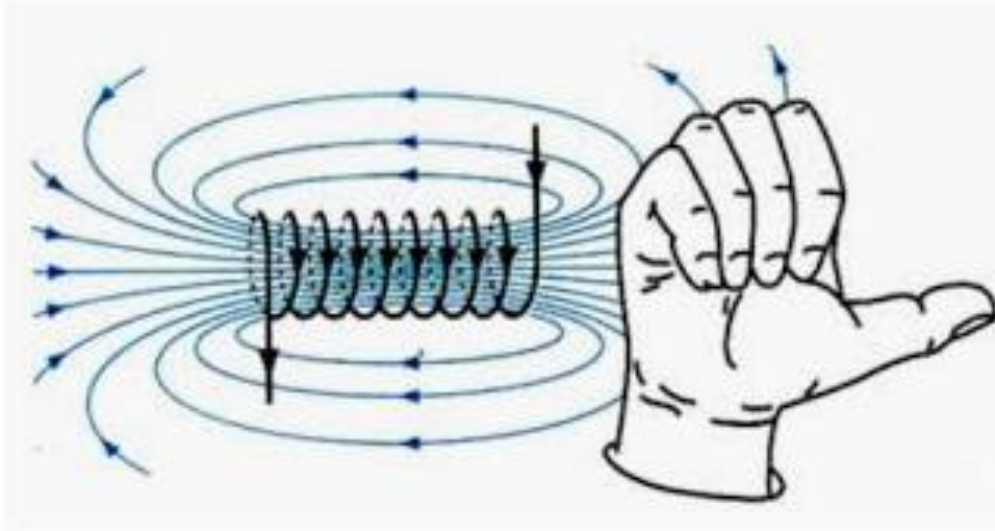
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

3. Vectơ cường độ từ trường:

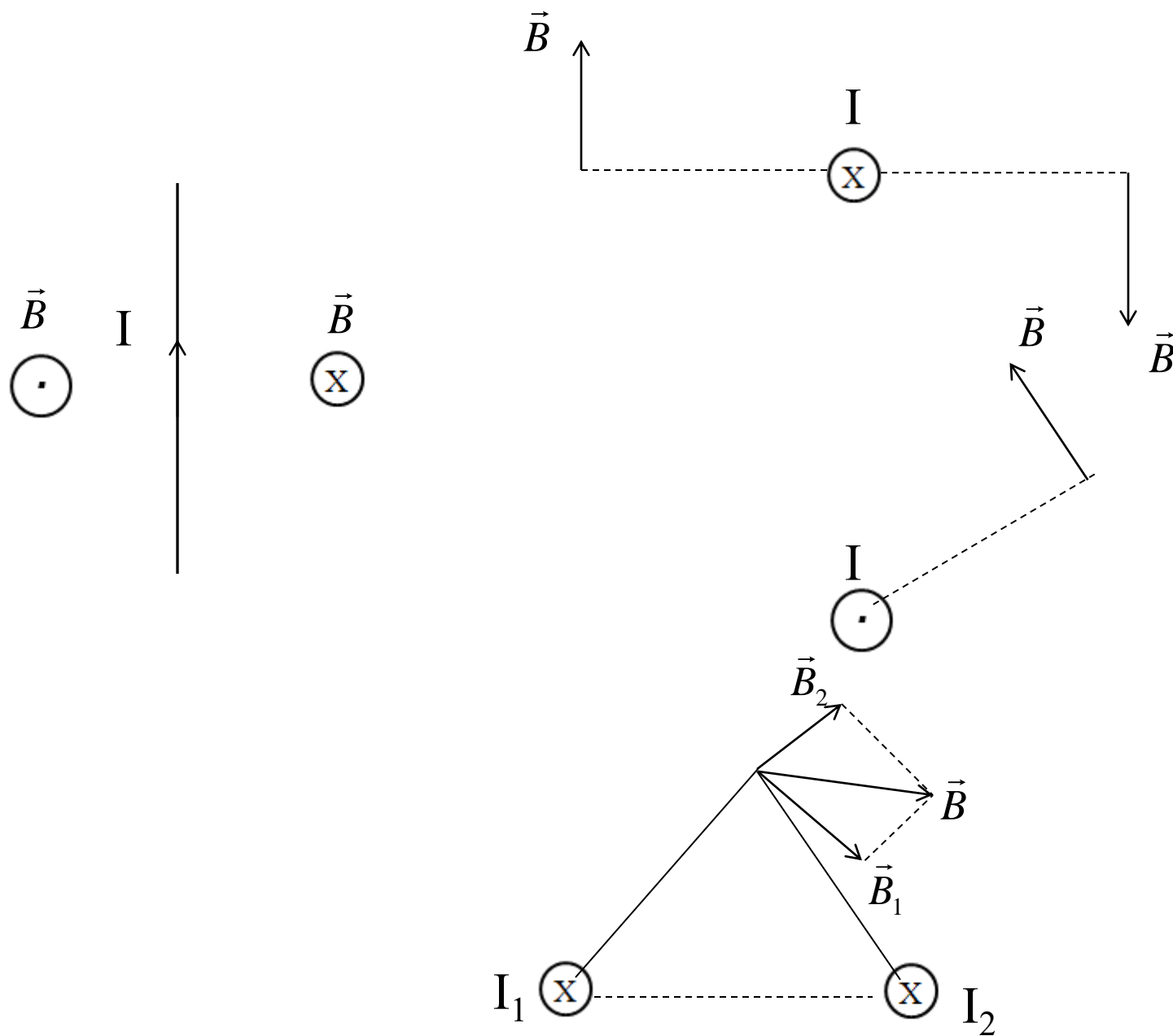
$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$$

đơn vị (SI), cường độ từ trường H là A/m

Quy tắc vặn nút chai



Quy tắc nhìn cực ống dây: nhìn vào ống dây dòng điện chạy cùng chiều kim đồng hồ là cực nam, ngược chiều kim đồng hồ là cực bắc, từ trường có chiều ra bắc vào nam.



§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

IV. Xác định vectơ cảm ứng từ và cường độ từ trường

1. Từ trường của dòng điện thẳng: chia dòng điện thành các phần tử dòng điện, cảm ứng từ do các phần tử dòng điện gây ra tại điểm M có cùng phương, chiều. Do đó cảm ứng từ do cả dòng điện gây ra tại điểm M:

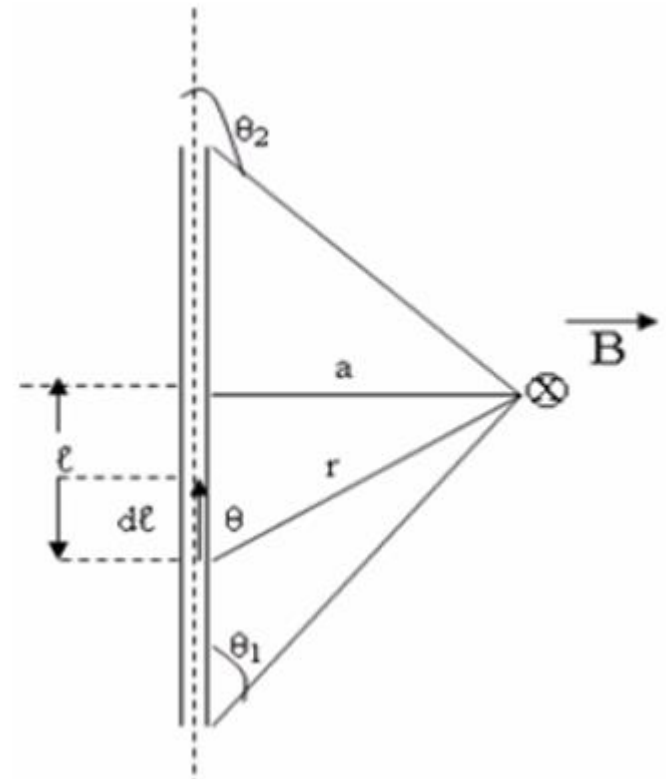
$$\vec{B} = \int_{AB} d\vec{B} \rightarrow B = \int_{AB} dB = \int_{AB} \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin \theta}{r^2} \quad \text{ta có } r = \frac{a}{\sin \theta}; \cot \theta = \frac{l}{a} \rightarrow |dl| = \frac{a d\theta}{\sin^2 \theta}$$

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

$$H = \frac{I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1)$$

Nếu dòng điện thẳng dài vô hạn:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi a} \rightarrow H = \frac{I}{2\pi a}$$



§ 1. Từ trường và vectơ cảm ứng từ

2. Từ trường của dòng điện tròn

Do tính đối xứng của dòng điện tròn vectơ cảm ứng từ do dòng điện gây ra có phương trùng với trục của vòng dây.

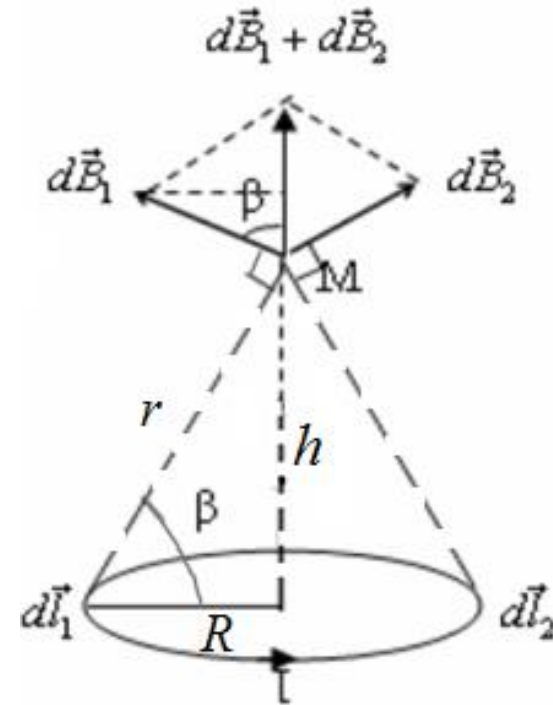
$$\vec{B} = \int d\vec{B} \rightarrow B = \int_{ca\ dòng\ điện} dB \cos \beta = \int_{ca\ dòng\ điện} \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2} \cos \beta$$

$$B = \int_{ca\ dòng\ điện} \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \frac{R}{r} = \frac{\mu_0 \mu IR}{4\pi r^3} \int_{ca\ dòng\ điện} dl$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I 2\pi R^2}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 \mu IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}; H = \frac{IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2)$$

* Tại tâm của dòng điện, $h = 0$:

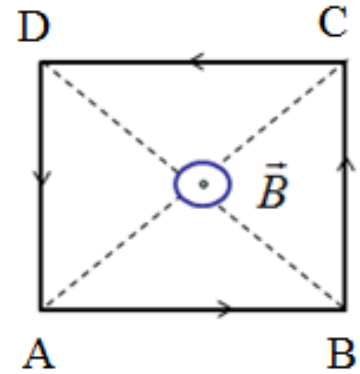
$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}; \quad H = \frac{I}{2R}$$



Ví dụ 1: Một dòng điện cường độ $I = 1,41\text{A}$ chạy trong một dây dẫn điện uốn thành hình vuông ABCD có cạnh $a = 10\text{cm}$. Xác định vector cảm ứng từ tại tâm O của mạch điện đó. Chiều dòng điện ngược chiều kim đồng hồ. Cho .

$$\vec{B}_O = \vec{B}_{AB} + \vec{B}_{BC} + \vec{B}_{CD} + \vec{B}_{DA}$$

$$B_O = 4B_{AB} = \frac{4\mu_0\mu I}{4\pi r} (\cos 45^\circ - \cos 135^\circ); r = \frac{a}{2}$$

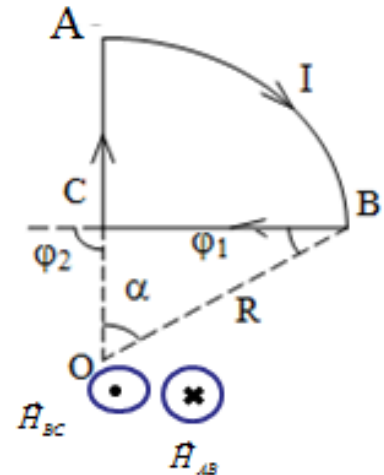
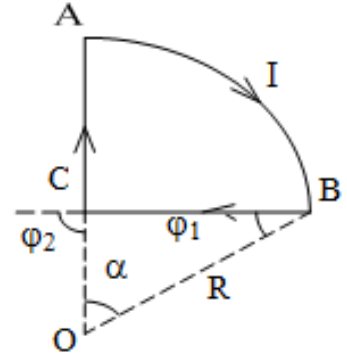


Ví dụ 2: Cho mạch điện như hình vẽ, dòng điện chạy trong mạch là $I = 10\text{A}$, góc ở C vuông. Xác định vector cường độ từ trường tại điểm O . Cho biết bán kính R của cung tròn $R = 10\text{cm}$ và góc $\alpha = 60^\circ$.

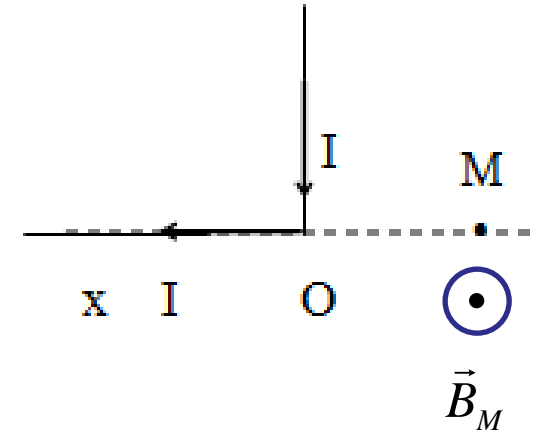
$$\vec{H}_O = \vec{H}_{AB} + \vec{H}_{BC}$$

$$H_O = H_{BC} - H_{AB} = \frac{I}{4\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) - \frac{1}{6} \frac{I}{2R}$$

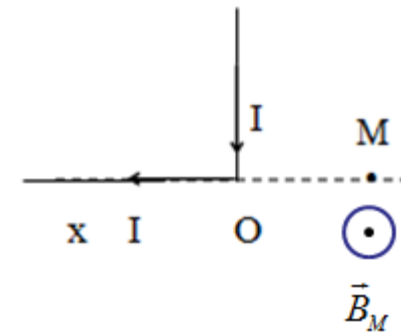
trong đó $r = OC$



Ví dụ 3: Một dây dẫn thẳng dài vô hạn được uốn thành một hình vuông góc tại O, có dòng điện không đổi $I = 5\text{A}$ chạy qua. Tìm cường độ từ trường và cảm ứng từ do dòng điện gây ra tại điểm M nằm trên Ox kéo dài, biết M cách O một khoảng 5cm.

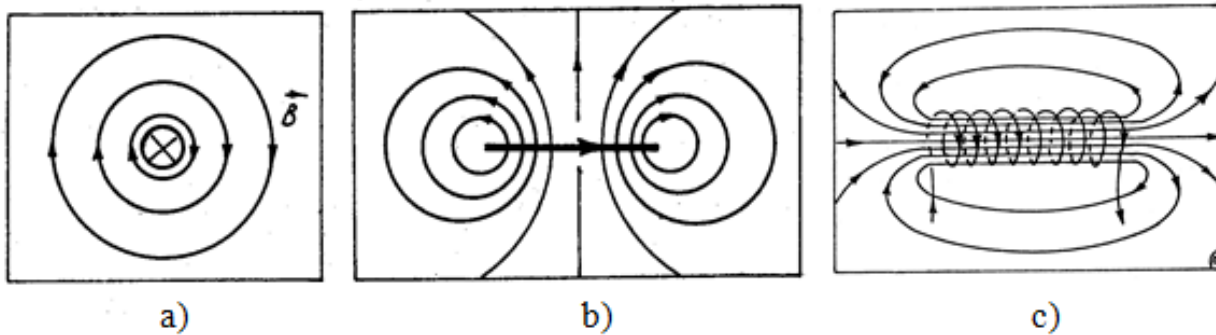


$$B_M = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos 0^\circ - \cos 90^\circ)$$



§ 2. Từ thông và định lý O-G đối với từ trường

I. Đường cảm ứng từ: Đường cảm ứng từ là đường cong vạch ra trong từ trường sao cho tiếp tuyến tại mọi điểm của nó trùng \vec{B} tại điểm đó, chiều của đường cảm ứng từ là chiều của \vec{B}



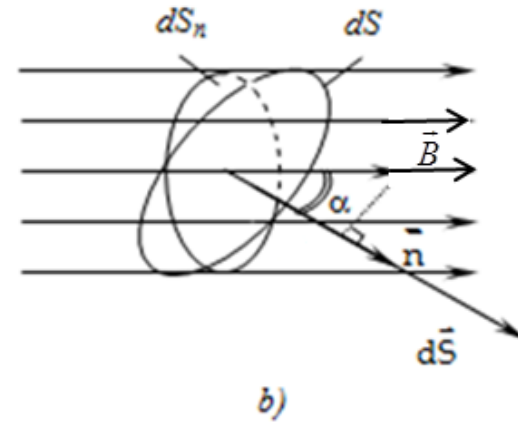
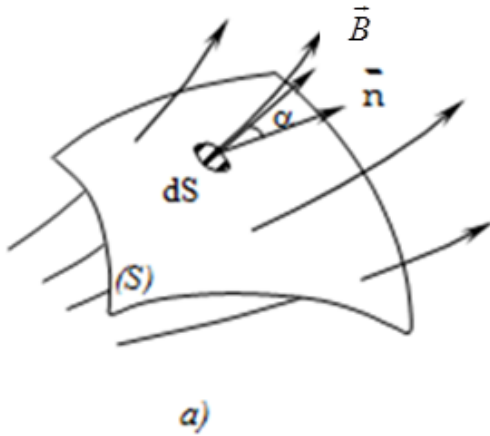
Từ phổ: a) của dòng điện thẳng, b) của dòng điện tròn
c) của ống dây điện

Các đường cảm ứng từ là những đường cong kín \rightarrow Từ trường có tính chất xoáy

§ 2. Từ thông và định lý O-G đối với từ trường

II. Từ thông

* Xét diện tích S đặt trong từ trường bất kỳ, chia diện tích đó thành những phần tử vô cùng nhỏ dS sao cho từ trường qua mỗi phần tử đó là đều.



Từ thông gửi qua diện tích dS là:

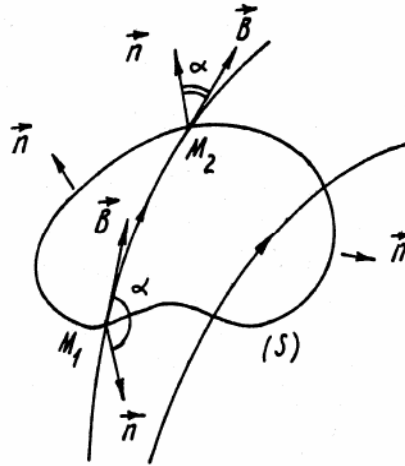
$$d\phi_m = B \cdot dS \cos \alpha = \vec{B} d\vec{S}$$

\Rightarrow Từ thông gửi qua toàn bộ diện tích S :

$$\phi_m = \int_S d\phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

§ 2. Từ thông và định lý O-G đối với từ trường

III. Định lý Ostrogradski - Gauss đối với từ trường



➡ Từ thông toàn phần gửi qua mặt kín bất kỳ luôn luôn bằng không.

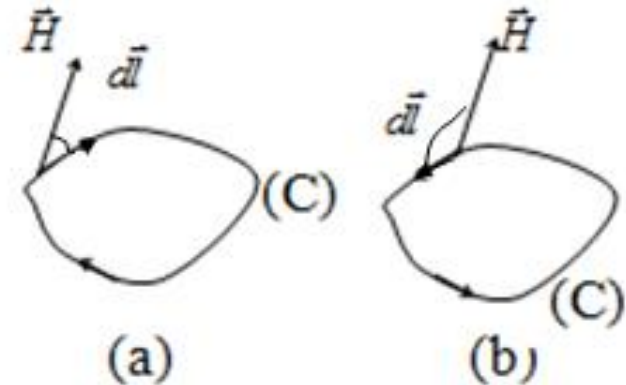
$$\phi_m = \oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

§ 3. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

I. Lưu số của vector cường độ từ trường

Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) là:

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(C)} H dl \cos \alpha$$

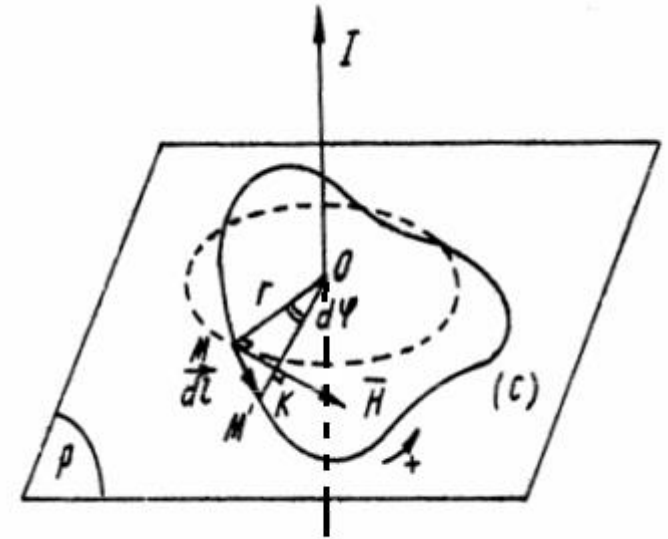


- a) Lưu số có giá trị dương
- b) Lưu số có giá trị âm

§ 3. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

II. Định lý Ampère về dòng điện toàn phần

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl \cdot \cos\alpha = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} \frac{dl \cdot \cos\alpha}{r}$$



Nhưng $MK = dl \cos\alpha \cong r d\varphi \rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi = I$$

§ 3. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

* Từ trường gây bởi nhiều dòng điện

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} (\vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \dots + \vec{H}_n) d\vec{l} = \sum_{k=1}^n I_k$$

⇒ Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một vòng của đường cong kín (C) bất kỳ bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

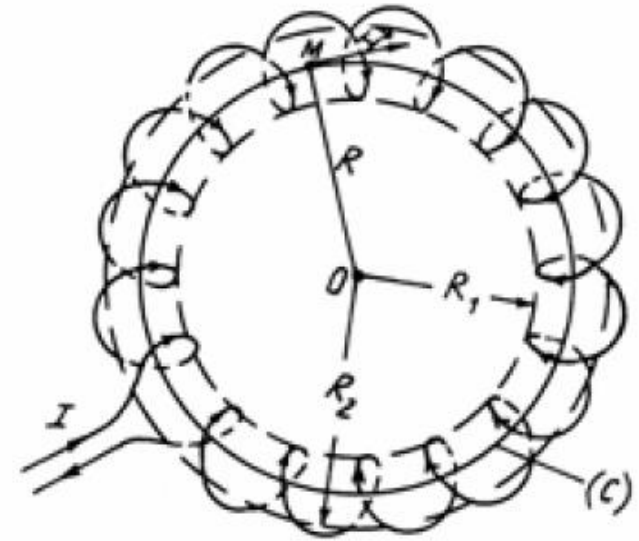
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \sum_{k=1}^n I_k$$

§ 3. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

III. Ứng dụng định lý Ampère

a. Cuộn dây hình xuyên

Một cuộn dây hình xuyên gồm n vòng, có dòng điện I chạy qua.



Chọn đường cong C là đường tròn tâm O bán kính R

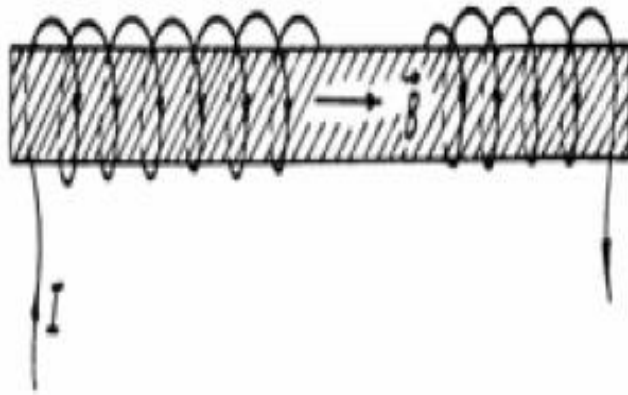
Theo định nghĩa $\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(C)} H dl = H \oint_{(C)} dl = H \cdot 2\pi R$

Theo định lý Ampère

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = nI \rightarrow H = \frac{nI}{2\pi R}$$

§ 3. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

b. Ống dây thẳng dài vô hạn



$$H = \frac{nI}{\ell} = n_0 I$$

$$B = \mu_0 \mu \frac{n}{\ell} I = \mu_0 \mu n_0 I \quad (3)$$

n_0 là số vòng dây trên một đơn vị dài của ống dây.

§ 4. Tác dụng từ trường lên dòng điện và hạt điện chuyển động

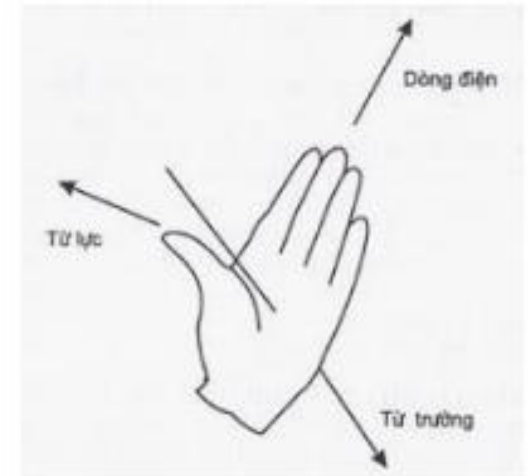


I. Tác dụng từ trường lên dòng điện

Đặt một phần tử dòng điện Idl trong từ trường có cảm ứng từ B thì phần tử dòng điện chịu tác dụng:

$$\vec{dF} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

- *Độ lớn:* $dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin\alpha$
- *Phương:* vuông góc với các vectơ $Id\vec{l}$ và \vec{B}
- Chiều xác định theo qui tắc bàn tay trái.



§ 4. Tác dụng từ trường lên dòng điện và hạt điện chuyển động



II. Tác dụng từ trường lên hạt điện chuyển động

Lực *Lorentz* tác dụng lên một hạt điện:

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

§ 4. Tác dụng từ trường lên dòng điện và hạt điện chuyển động

** Vận tốc của hạt vuông góc với cảm ứng từ:*

Vì $\vec{F} \perp \vec{v}$ nên F_L đóng vai trò là lực hướng tâm

→ hạt chuyển động tròn đều trong mặt phẳng vuông góc với vectơ cảm ứng từ, có bán kính R .

$$F_L = qvB = ma_n = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

Chu kỳ:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi R}{v}$$

§ 4. Tác dụng từ trường lên dòng điện và hạt điện chuyển động

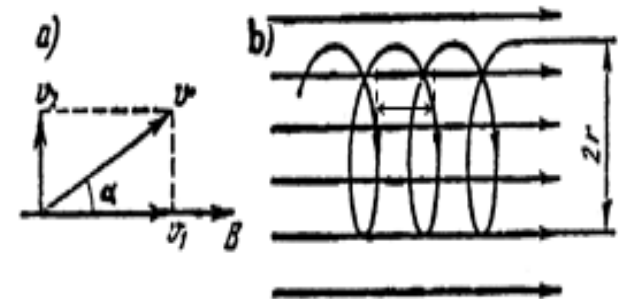
**Vận tốc hợp với vectơ cảm ứng từ một góc $\alpha \neq 90^\circ$:*

- Hạt chuyển động tròn trong mặt phẳng vuông góc với B: $v_2 = v \sin \alpha$

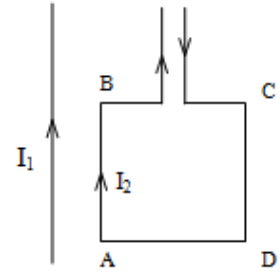
$$R = \frac{mv_2}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB} \quad \text{và chu kỳ } T = \frac{2\pi R}{v_2}$$

- hạt chuyển động đều theo phương của B với vận tốc $v_1 = v \cos \alpha$

→ quỹ đạo của hạt là đường xoắn ốc, bước của quỹ đạo: $h = v_1 T$



Ví dụ 1: Một dòng điện thẳng dài vô hạn cường độ $I_1 = 10\text{A}$ đặt cạnh một khung dây điện uốn thành hình vuông mỗi cạnh dài $l = 40\text{ cm}$. Cạnh gần nhất của khung dây cách dòng I_1 một khoảng $a = 2\text{cm}$. Dòng điện I_2 chạy trong khung có cường độ $I_2 = 2,5\text{ A}$. Tính lực tác dụng của dòng điện thẳng dài vô hạn lên khung, cho biết chiều dòng điện như hình vẽ. Cho .

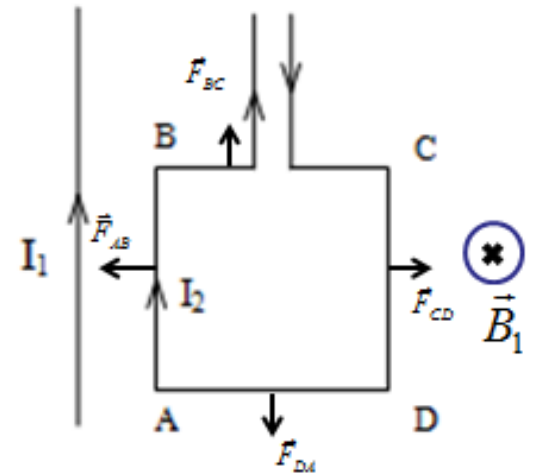


$$\vec{F} = \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BC} + \vec{F}_{CD} + \vec{F}_{DA}$$

$$F = F_{AB} - F_{CD}$$

$$F_{AB} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 \ell}{2\pi a}$$

$$F_{CD} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 \ell}{2\pi(\ell + a)}$$



Ví dụ 2: Proton và electron đang chuyển động với vận tốc như nhau thì bay vào trong một từ trường đều theo hướng vuông góc với các đường cảm ứng từ. Tìm tỷ số giữa hai bán kính quỹ đạo của hai hạt đó, biết $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Bán kính quỹ đạo:

$$F_L = qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

$$\rightarrow \frac{R_e}{R_p} =$$

Ví dụ 4: Một electron sau khi được gia tốc bởi hiệu điện thế $U = 6 \text{ kV}$ bay vào trong một từ trường đều dưới một góc $\alpha = 30^\circ$ so với hướng của từ trường và bắt đầu chuyển động theo đường xoắn ốc. Cảm ứng từ $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Tìm bán kính của đường xoắn ốc và bước của đường xoắn ốc. Cho $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

vận tốc của e khi bay vào trong từ trường: $eU = \frac{mv^2}{2} \rightarrow v =$

Bán kính quỹ đạo: $R = \frac{mv \sin \alpha}{eB}$

và chu kỳ $T = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha}$

Bước của quỹ đạo: $h = v_1 T = v \cos \alpha \cdot T$

Ví dụ 5: Một electron bay vào trong từ trường đều có cảm ứng từ $B = 10^{-3} \text{ T}$ theo phương vuông góc với đường sức từ trường với vận tốc $4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Tìm gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến của electron. Cho $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Vì e chuyển động tròn đều nên $a_t = 0$

Bán kính quỹ đạo:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Gia tốc pháp tuyến:

$$a_n = \frac{v^2}{R} =$$