

CHƯƠNG IV

TỪ TRƯỜNG

§1. Các đặc trưng của dòng điện

§2. Từ trường và cảm ứng từ

§3. Từ thông - Định lý O - G

§4. Lưu số vector cường độ từ trường

§5. Lực từ trường

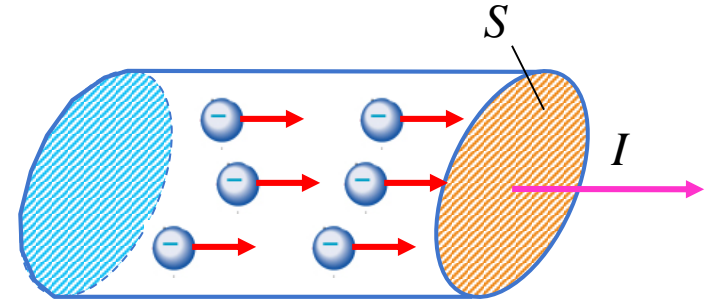
§6. Công của từ lực

§1. Các đặc trưng của dòng điện

1. Cường độ dòng điện

a. Dòng điện: Dòng chuyển dời có hướng của các điện tích.

* Điều kiện để có dòng điện: Có q, U



b. *Cường độ dòng điện*: Đại lượng có trị số bằng điện lượng chuyển qua một tiết diện trong môi trường dẫn điện trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

☞ Trường hợp vật dẫn có 2 loại điện tích chuyển động: $I = \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt}$

☞ Đơn vị: A (Ampere)

☞ Định nghĩa đơn vị điện tích

♦ Từ đ/n cường độ dòng điện, có: $q = \int_0^t dq = \int_0^t Idt$

§1. Các đặc trưng của dòng điện

c. Định nghĩa đơn vị điện tích

♦ Nếu $I = \text{const} \Rightarrow q = It$

♦ Coulomb là điện lượng tải qua tiết diện một vật dẫn trong thời gian 1 giây bởi 1 dòng điện không đổi có cường độ bằng 1 Ampere.

2. Mật độ dòng điện

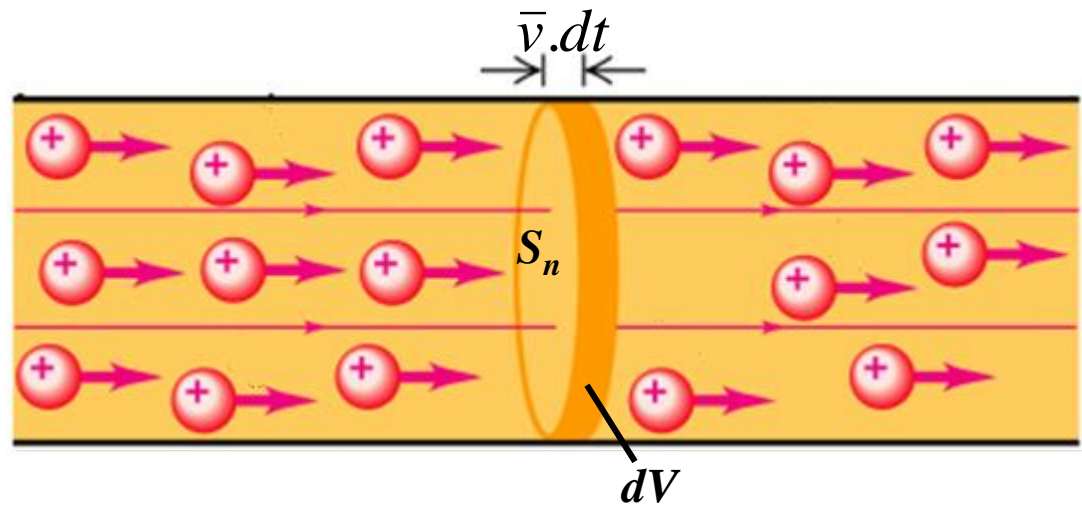
☞ Xét các điện tích $+q$, CĐ với vận tốc \vec{v} đi qua một tiết diện S_n của dây dẫn,

♦ Trong khoảng thời gian dt , số điện tích nằm trong thể tích dV của dây:

$$\begin{aligned} dQ &= q.dn = n_0.q.dV = \\ &= q.n_0.S_n.\vec{v}.dt \end{aligned}$$

♦ Theo đ/n cường độ dòng điện có:

$$I = \frac{qdn}{dt} = q.n_0.\vec{v}.S_n$$



§1. Các đặc trưng của dòng điện

2. Mật độ dòng điện

Ta có: $J = \frac{I}{S_n} = n_0 \cdot q \cdot \bar{v}$ (Dòng điện đi qua một đơn vị diện tích tiết diện)

Vector mật độ dòng điện

☞ Góc: đặt tại một điểm nào đó trên một tiết diện vuông góc chiều dòng điện

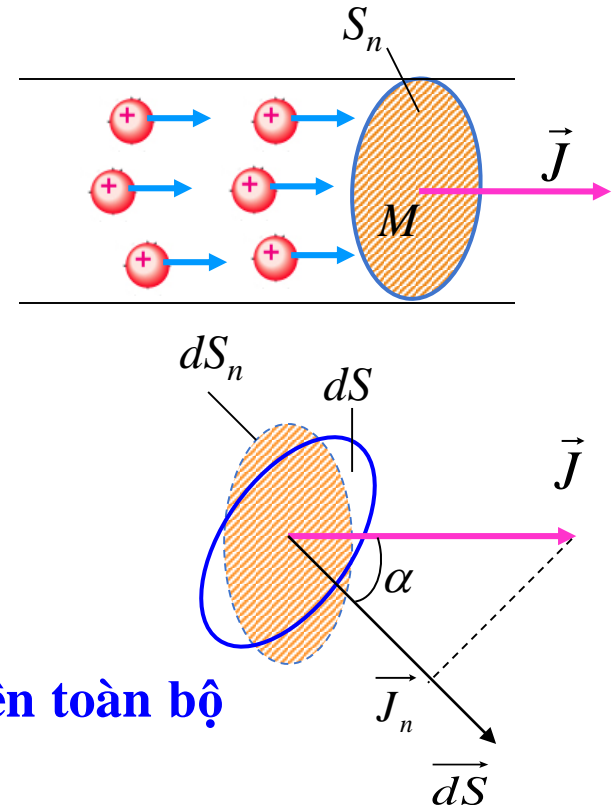
☞ Phương, chiều: theo hướng chuyển động của các điện tích (+)

☞ Độ lớn: $J = \frac{I}{S_n}$

Cường độ và mật độ dòng điện

☞ Từ đ/n mật độ dòng điện \Rightarrow Nếu $J = \text{const}$ trên toàn bộ S_n , có: $I = J \cdot S_n$

☞ Mặt S bất kỳ: $dI = J dS_n = J dS \cos \alpha = J_n dS = \vec{J} \cdot d\vec{S} \Rightarrow I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$



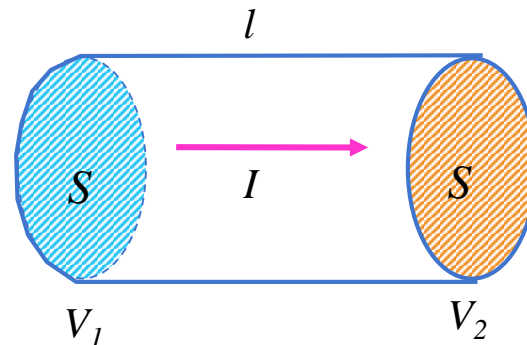
§1. Các đặc trưng của dòng điện

3. Định luật Ohm (Georg Ohm)

a. Dạng thông thường:

♦ Thực nghiệm: $V_1 - V_2 = RI$, với: $R = \rho \frac{l}{S}$

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



b. Dạng vi phân:

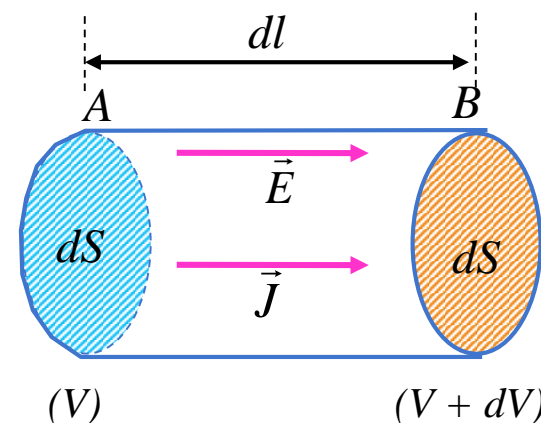
☞ Xét đoạn dây dẫn độ dài dl , tiết diện dS , điện trở R , có điện thế tại 2 đầu là V và $V + dV$.

♦ Từ định luật Ohm thông thường, có:

$$dI = \frac{V - (V + dV)}{R} = -\frac{dV}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dl} dS = \frac{EdS}{\rho}$$

♦ $J = \frac{dI}{dS} = \frac{E}{\rho} = \sigma \cdot E$ với: $\sigma = \frac{1}{\rho}$ là độ dẫn điện

♦ Hay: $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$ (phương trình cơ bản của điện động lực)



§1. Các đặc trưng của dòng điện

4. Nguồn điện

☞ Nguồn trường lực có khả năng đưa các điện tích (+) từ nơi có điện thế thấp đến nơi có điện thế cao, ngược chiều điện trường thông thường

◆ Trường lực có khả năng đưa các điện tích (+) từ nơi có điện thế thấp đến nơi có điện thế cao \Rightarrow trường lạ.

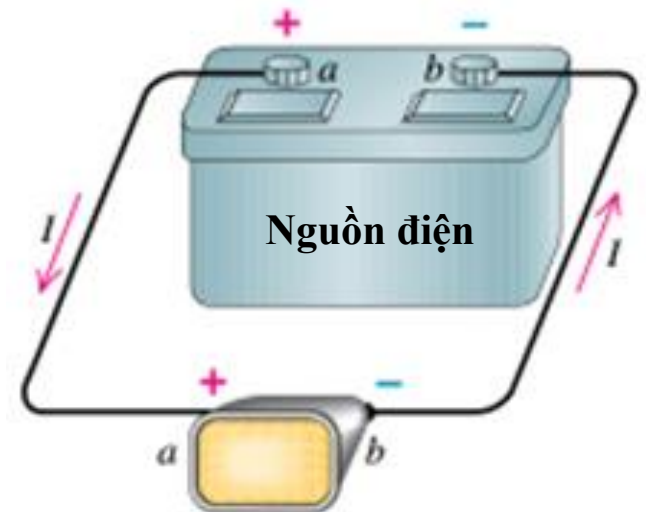
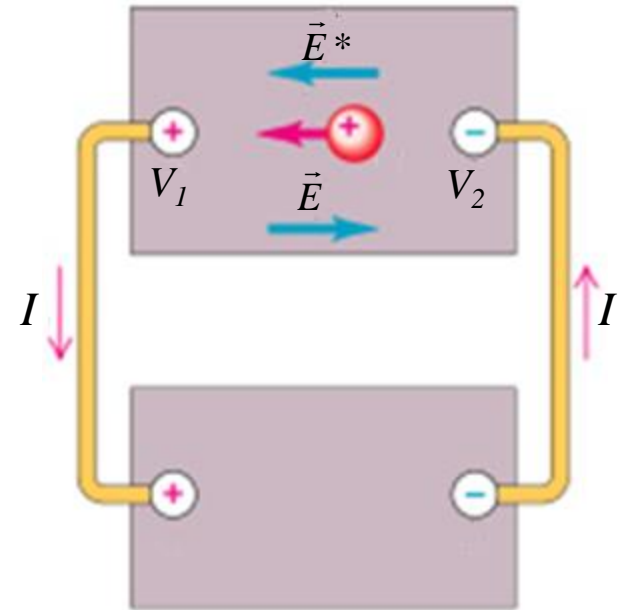
☞ Năng lượng tạo ra nguồn điện:

◆ Hóa năng: Ắc qui dùng chất điện phân

◆ Cơ năng: Tua bin gió, Tua bin nước,...

◆ Quang năng: Pin mặt trời

◆ Nhiệt năng: Than, dầu mỡ, khí đốt



§1. Các đặc trưng của dòng điện

5. Sức điện động (electromotive force - emf)

☞ Công trên một đơn vị điện tích mà nguồn điện thực hiện để dịch chuyển điện tích đó từ cực có điện thế thấp đến cực có điện thế cao.

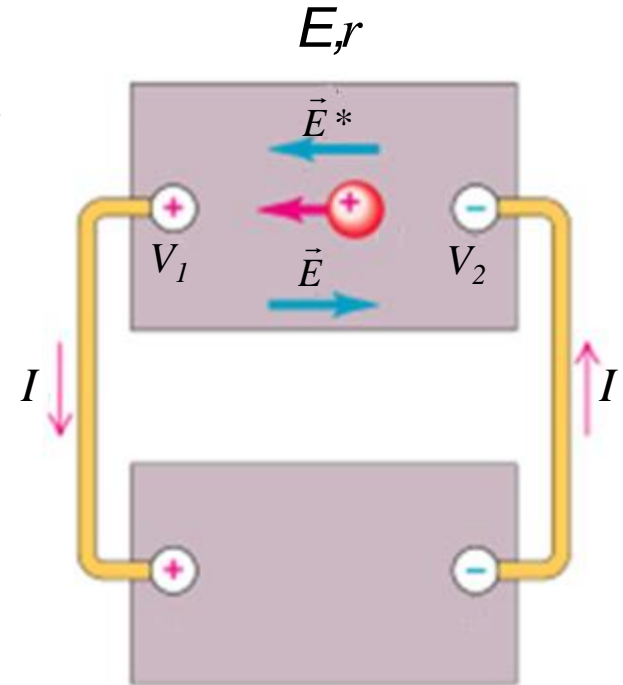
$$E = \frac{dA}{dq} \text{ hay } E = \frac{A}{q}$$

♦ Luôn có sự cản trở bên trong đối với chuyển động của điện tích từ cực này đến cực kia \Rightarrow điện trở trong của nguồn điện (r) \Rightarrow hiệu điện thế nội:

$$u = I.r$$

♦ Hiệu điện thế giữa 2 cực của nguồn điện

$$U = E - I.r$$



§1. Các đặc trưng của dòng điện

5. Sức điện động (electromotive force - emf)

☞ Xét mạch điện kín có điện trường ngoài E và điện trường E^* của nguồn điện.

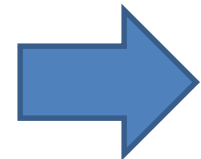
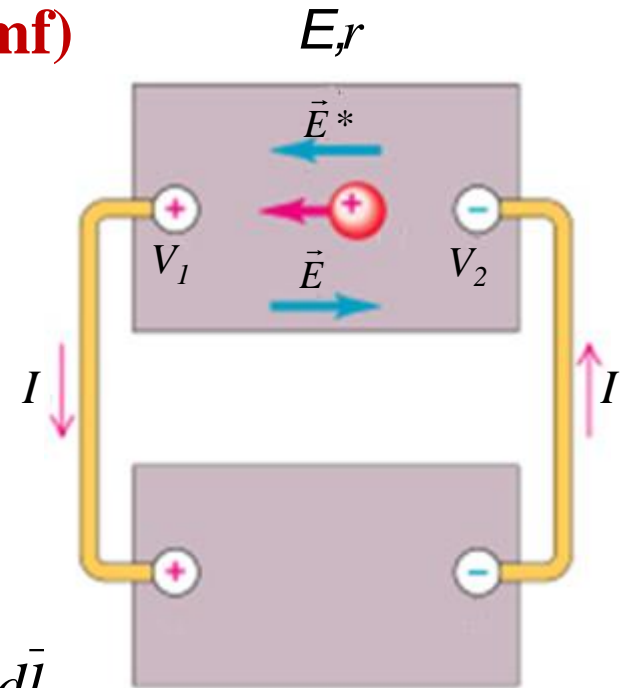
◆ Công điện trường tổng hợp thực hiện để di chuyển điện tích trong mạch:

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

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

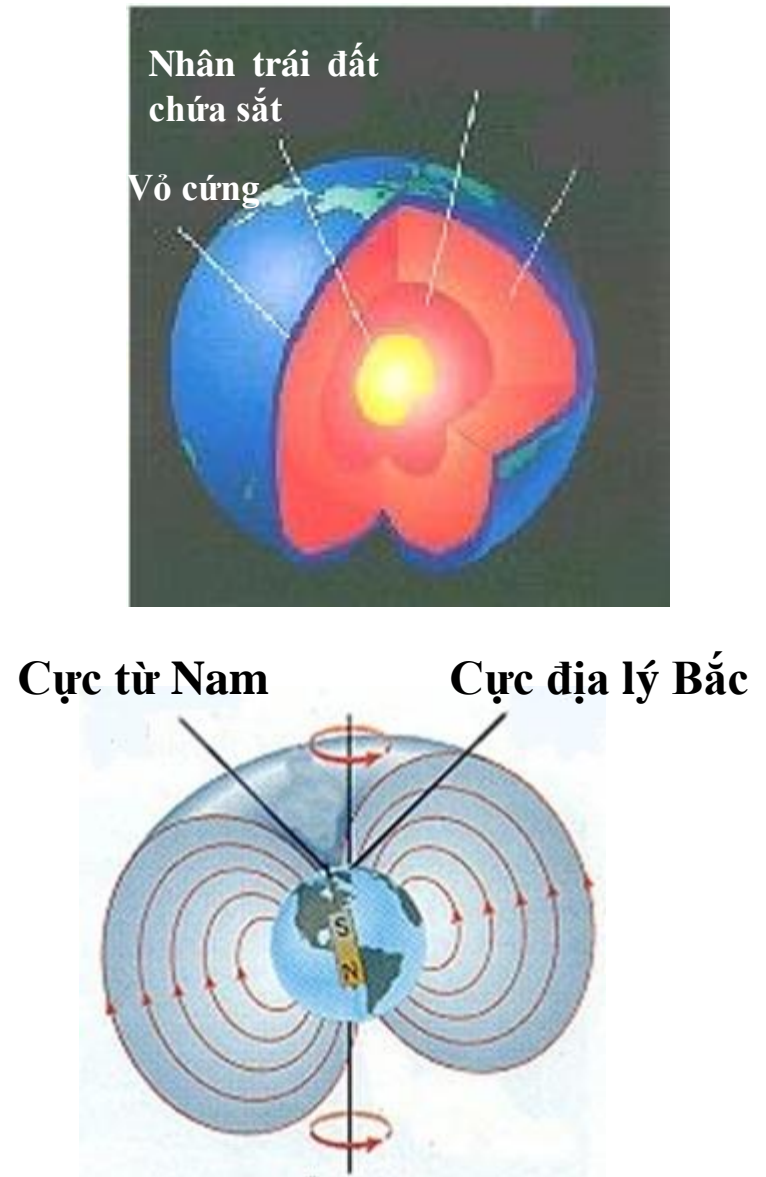
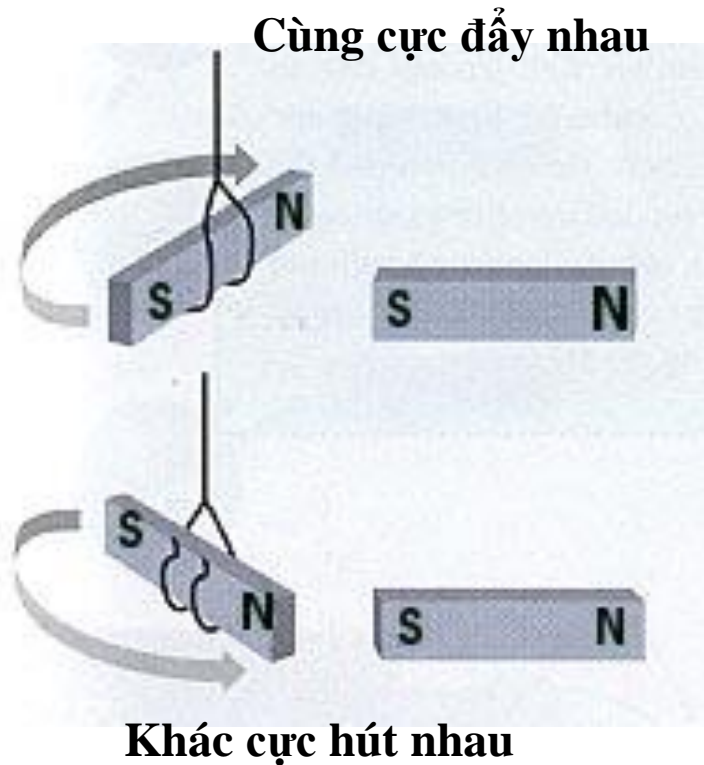
$$\text{Do: } \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = 0$$

$$◆ \quad E = \oint_{(C)} \vec{E}^* d\vec{l}$$



§2. Tương tác từ của các dòng điện - Định luật Ampere

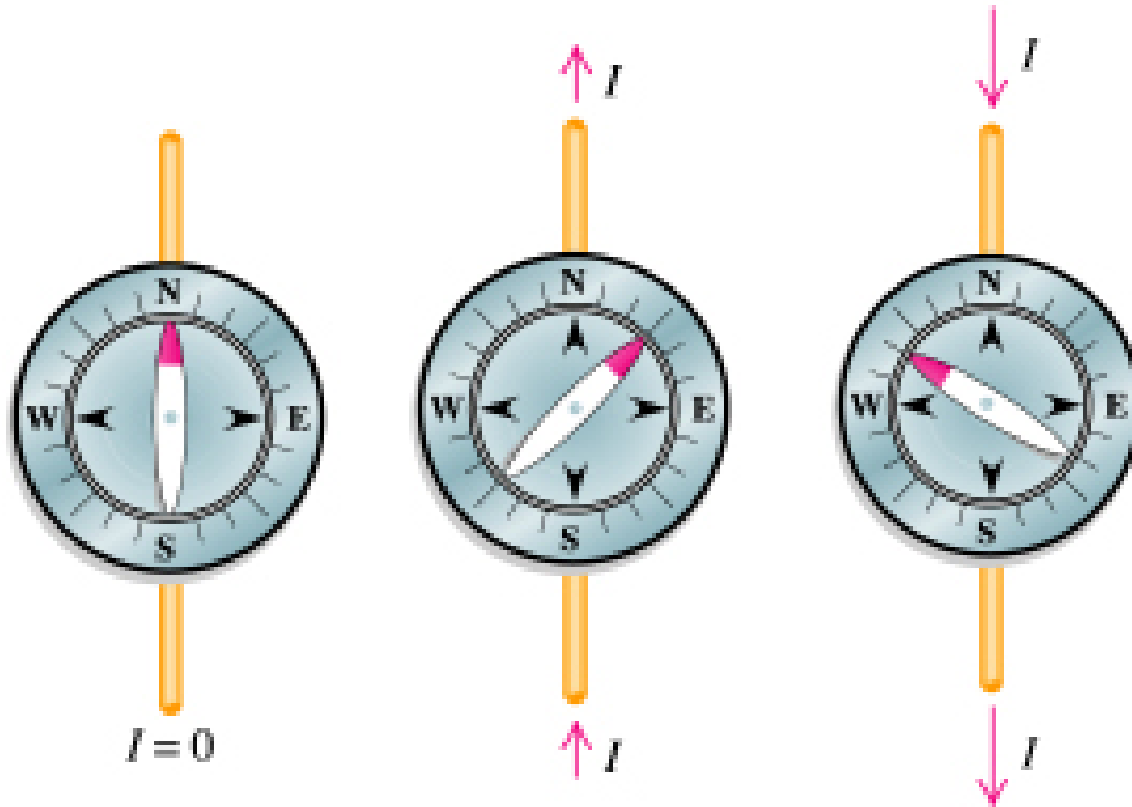
1. Hiện tượng tự nhiên



§2. Tương tác từ của các dòng điện - Định luật Ampere

2. Tương tác từ của các dòng điện

Dòng điện với kim la bàn

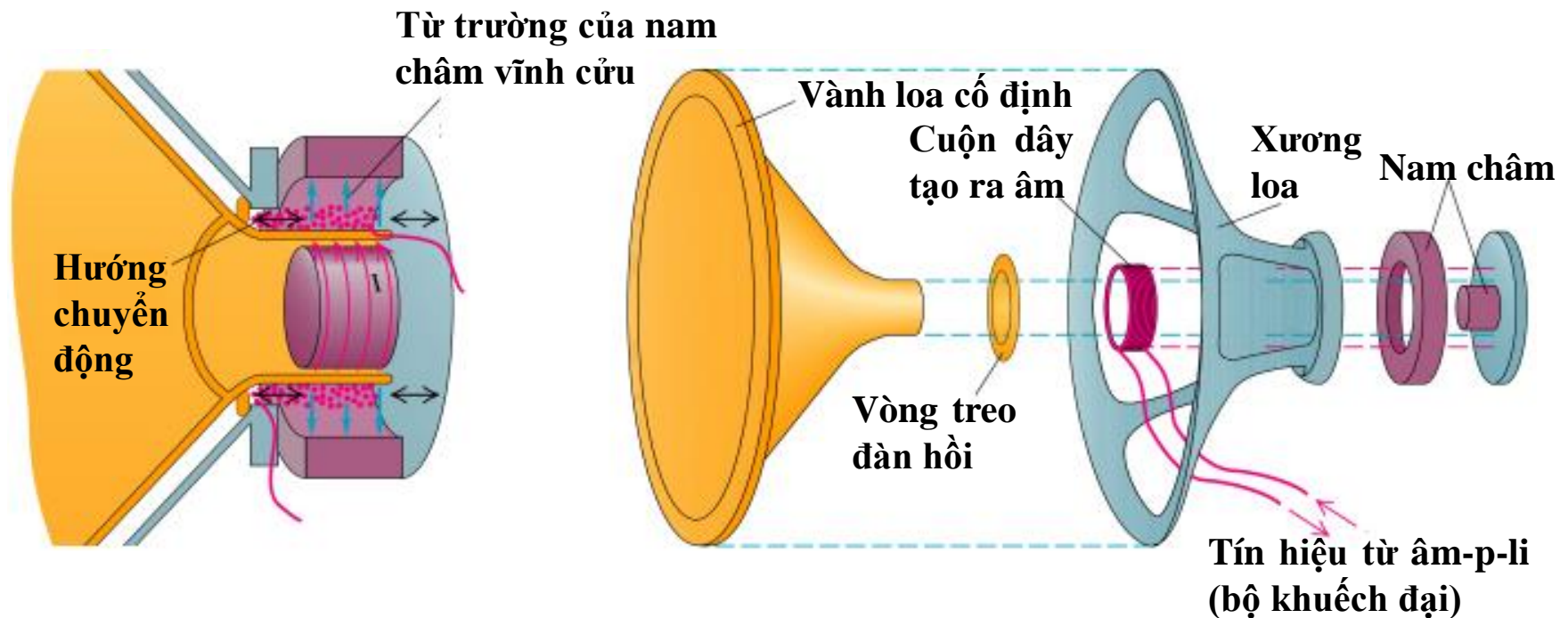


Hans Christian Oersted

§2. Tương tác từ của các dòng điện – Định luật Ampere

2. Tương tác từ của các dòng điện

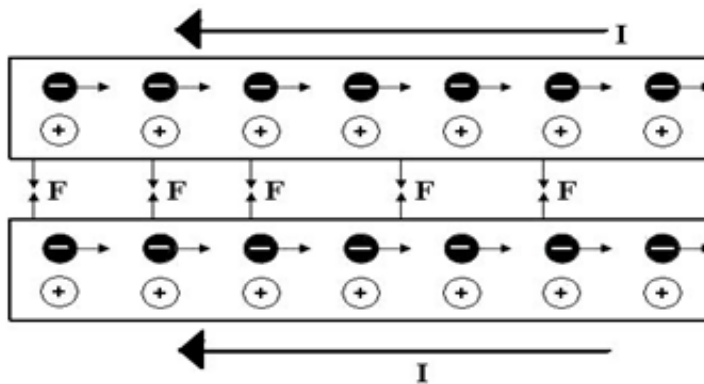
Nam châm với dòng điện



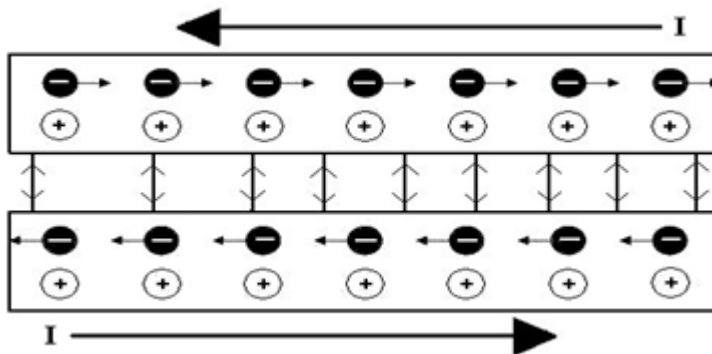
§2. Tương tác từ của các dòng điện - Định luật Ampere

2. Tương tác từ của các dòng điện

Hai dòng điện cùng chiều



Hai dòng điện ngược chiều



Andre Marie Ampere

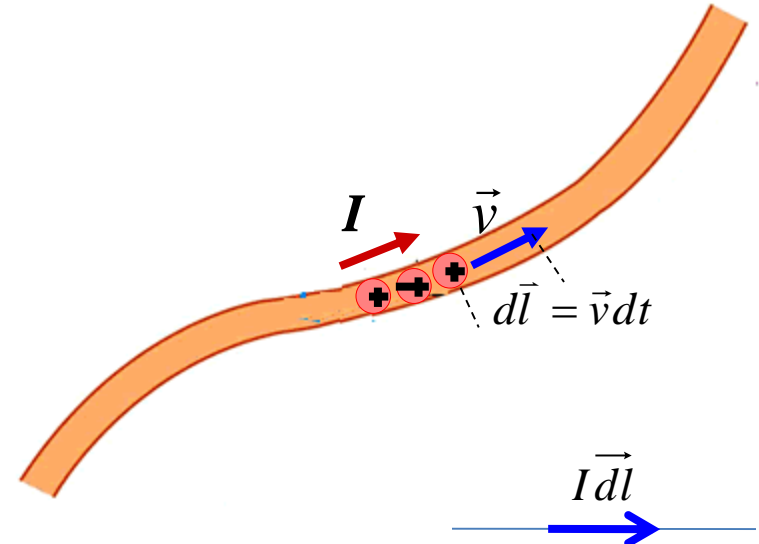
§2. Tương tác từ của các dòng điện – Định luật Ampere

3. Định luật Ampere

a. Phần tử dòng điện cơ sở

☞ **Dòng điện:** Dòng chuyển dời có hướng của các điện tích.

☞ **Điện tích CĐ** với vận tốc $\vec{v} \Rightarrow$ quãng đường các điện tích di chuyển được trong khoảng thời gian dt : $d\vec{l} = \vec{v}.dt$



☞ **Phần tử dòng:** Tích cường độ dòng điện I và vector vi phân độ dài $d\vec{l}$

b. Định luật Ampere

☞ Hai điện tích đứng yên cách nhau khoảng $r \Rightarrow$ tương tác tĩnh điện (Coulomb) \sim độ lớn các điện tích và khoảng cách

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

☞ Hai dòng điện tạo thành bởi sự chuyển dời (vận tốc v) của các điện tích đặt cách nhau khoảng $r \Rightarrow$ tương tác \sim điện tích + vận tốc (hay $I dl$) và khoảng cách?

§2. Tương tác từ của các dòng điện – Định luật Ampere

3. Định luật Ampere

b. Định luật Ampere

☞ Xét 2 dây dẫn đặt trong chân không có dòng điện I, I_0 chạy qua.

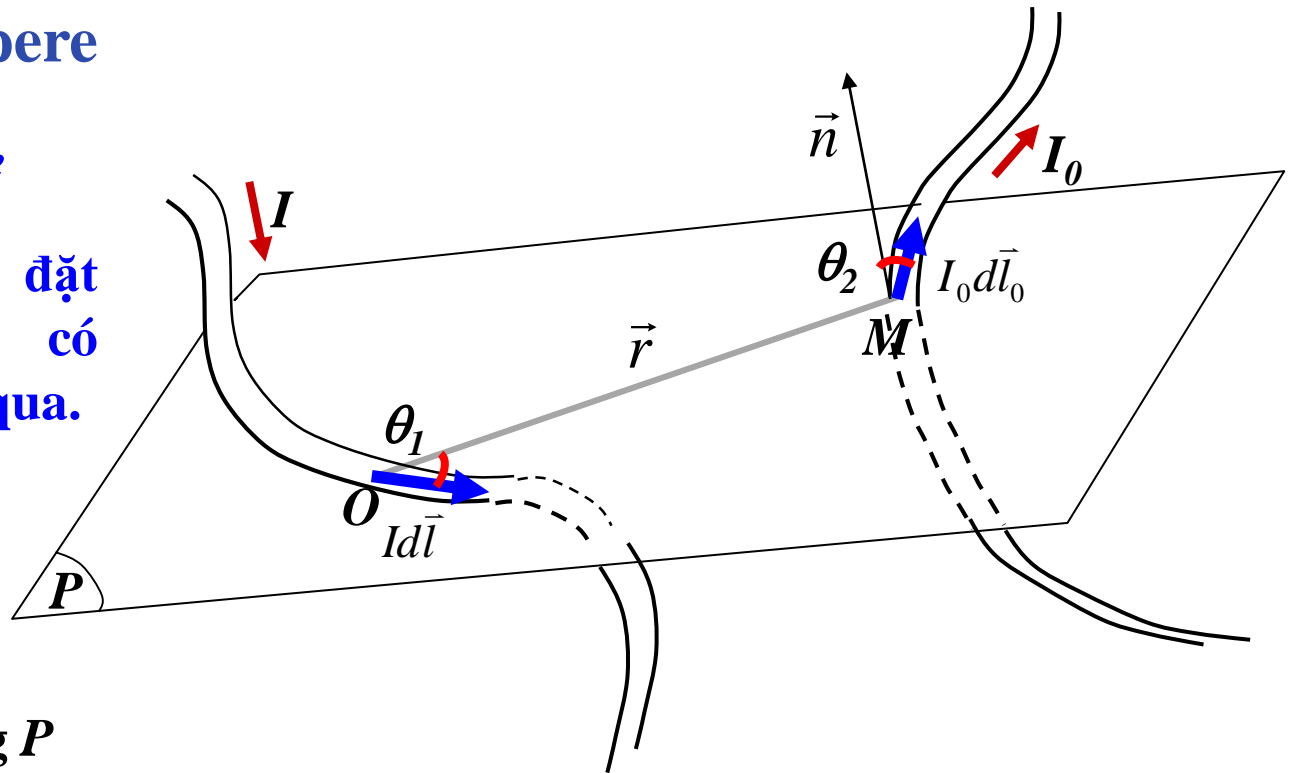
♦ Xét 2 phần tử dòng điện $I_0 d\vec{l}_0$ và $I d\vec{l}$ trên mỗi dây.

♦ $I d\vec{l} \in$ mặt phẳng P

♦ \vec{n} : pháp tuyến của P tại M

♦ $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$: Khoảng cách giữa 2 gốc vector phần tử dòng điện

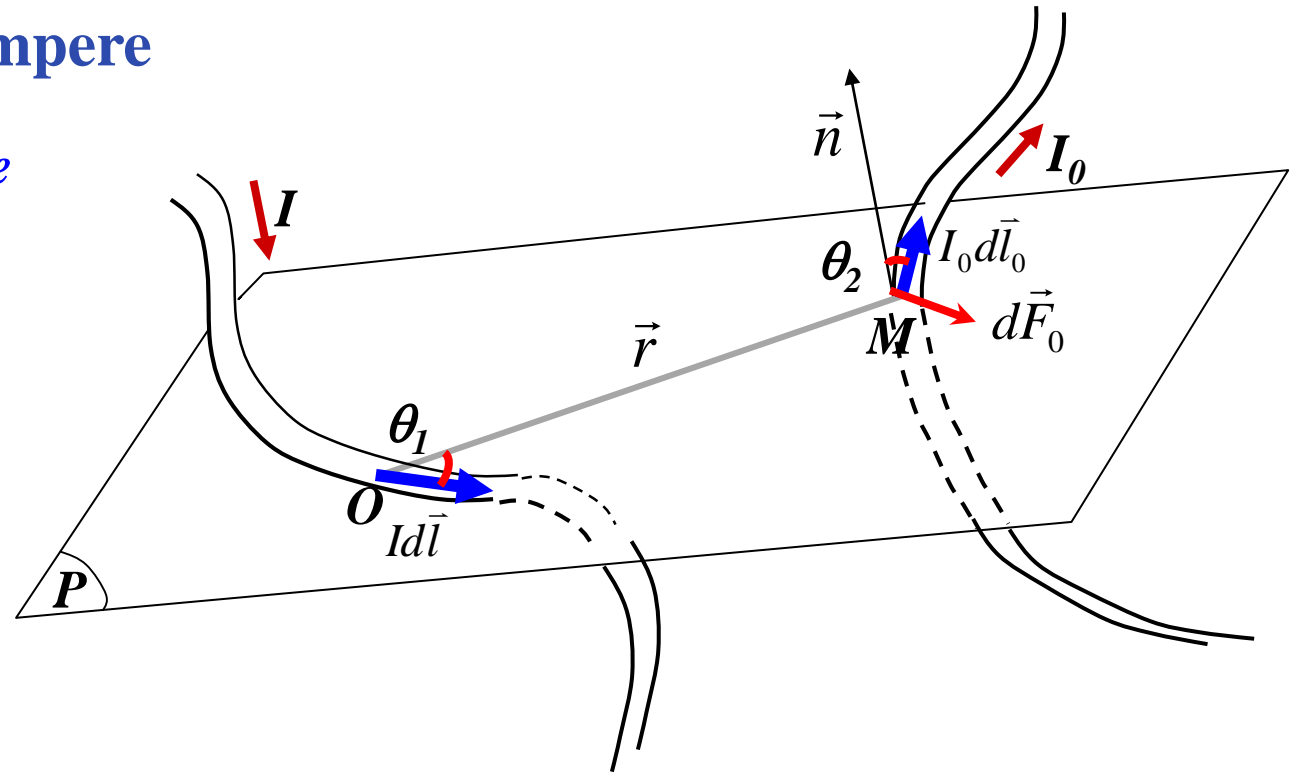
♦ θ_1 : góc giữa $I d\vec{l}$ và \vec{r} , θ_2 : góc giữa $I_0 d\vec{l}_0$ và \vec{n}



§2. Tương tác từ của các dòng điện – Định luật Ampere

3. Định luật Ampere

b. Định luật Ampere



☞ Lực do phần tử dòng $Id\vec{l}$ tác dụng lên $I_0 d\vec{l}_0$ là vector $d\vec{F}_0$ (lực Ampere)

- + Phương: \perp mf chứa phần tử $Id\vec{l}_0$ và pháp tuyến \vec{n}
- + Chiều: $I_0 d\vec{l}_0$, \vec{n} và $d\vec{F}_0$ (theo thứ tự) thành tam diện thuận
- + Độ lớn:
$$dF_0 = k \cdot \frac{Idl \sin \theta_1 \cdot I_0 dl_0 \sin \theta_2}{r^2}$$

§2. Tương tác từ của các dòng điện – Định luật Ampere

3. Định luật Ampere

b. Định luật Ampere

Với: $\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{\mu_0}{4\pi} \\ \mu_0 \text{ là độ từ thẩm trong chân không, có giá trị: } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \end{array} \right.$

$$\Rightarrow dF_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta_1 \cdot I_0 dl_0 \sin \theta_2}{r^2}$$

☞ **Biểu thức vector của lực Ampere:**
$$d\vec{F}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

☞ **Trong môi trường đồng chất bất kỳ:**
$$d\vec{F} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

♦ μ là độ từ thẩm trong môi trường $\left\{ \begin{array}{l} \text{Không khí: } \mu = (1 + 0,03 \times 10^{-6}) \text{ H/m} \\ \text{Nước: } \mu = (1 - 0,72 \times 10^{-6}) \text{ H/m} \end{array} \right.$

§3. Từ trường và cảm ứng từ

1. Khái niệm từ trường

☞ Thuyết tác dụng xa:

- + Tương tác giữa các dòng điện được truyền đi tức thời ($v \sim \infty$),
 - + Tương tác thực hiện không có sự tham gia của vật chất trung gian,
 - + Khi chỉ có 1 dòng điện \Rightarrow tính chất vật lý của khoảng không gian bao quanh không bị biến đổi.
- ♦ Không phù hợp thực tiễn!

☞ Thuyết tác dụng gần:

- + Tương tác giữa các dòng điện được truyền đi không tức thời mà được truyền với v hữu hạn trong không gian,
- + Tương tác được thực hiện thông qua vật chất trung gian,
- + Khi chỉ có 1 dòng điện \Rightarrow tính chất vật lý của khoảng không gian bao quanh bị biến đổi \Rightarrow tạo ra trường xung quanh.

☞ Đ/n: Khoảng không gian bao quanh các dòng điện và nam châm, thông qua đó có tương tác (lực) từ gọi là *Từ Trường* \Rightarrow trường vector.

§3. Từ trường và cảm ứng từ

2. Cảm ứng từ

Định luật Biot-Savart-Laplace

(J. Baptiste Biot – Felix Savart – P. Samon Lapalce)

☞ Đại lượng vật lý do phần tử dòng điện tạo ra tại một vị trí trong không gian bao quanh, đặc trưng cho ảnh hưởng của từ trường gây bởi phần tử dòng điện, có độ lớn:

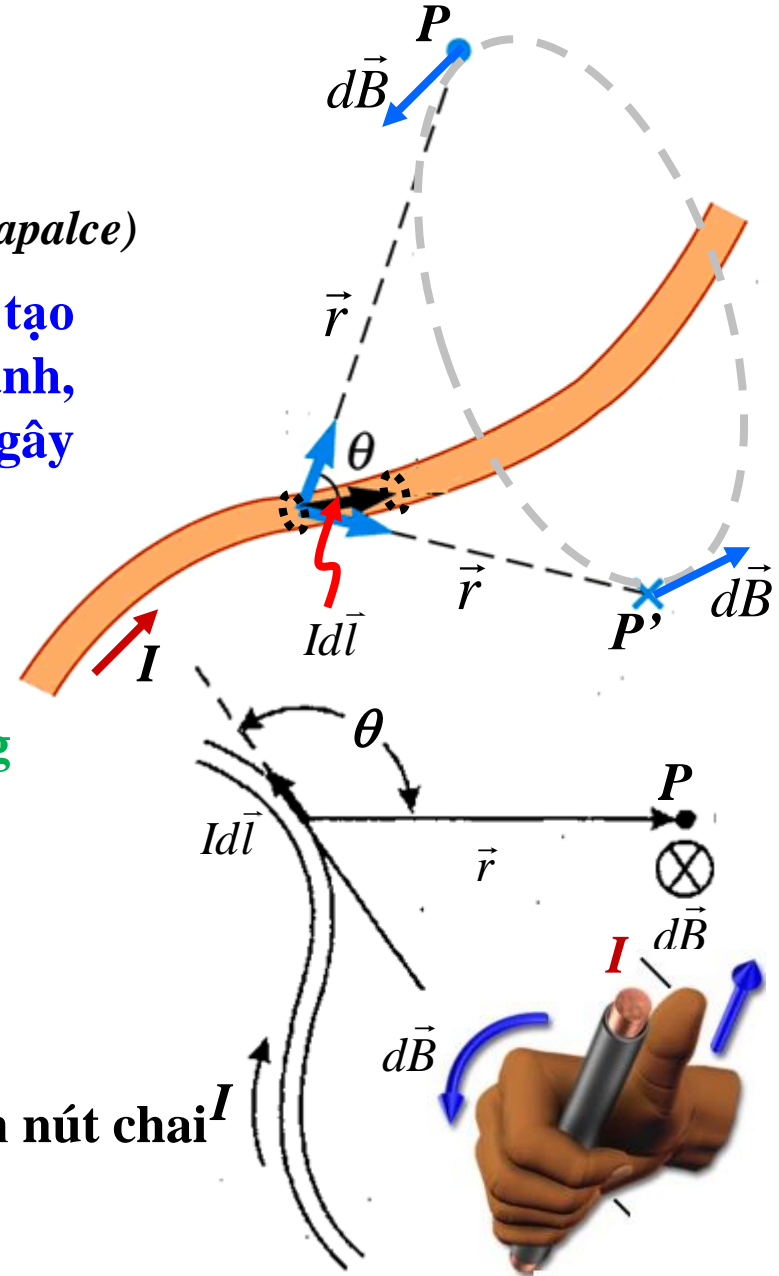
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

☞ Vector cảm ứng từ do phần tử dòng Idl sinh ra tại điểm P ,

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

- + Góc: tại điểm P ,
- + Phương: \perp mp $(\vec{r}, Id\vec{l})$
- + Chiều: xác định bằng qui tắc vận nút chai I

☞ Đơn vị : Testla [T]



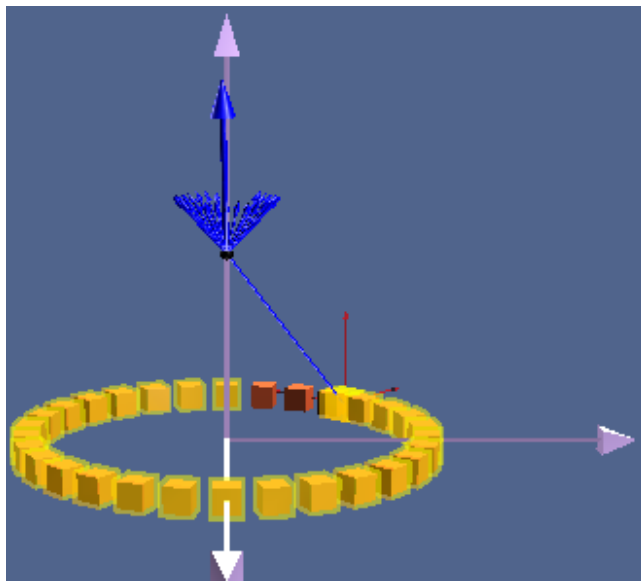
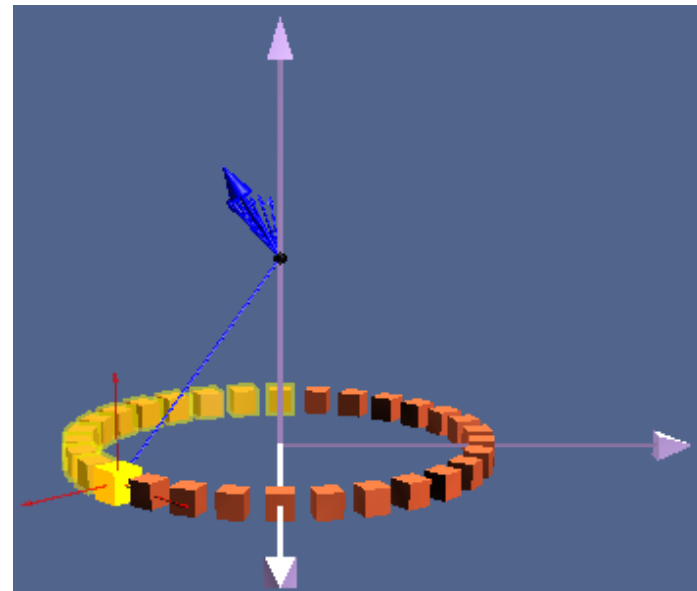
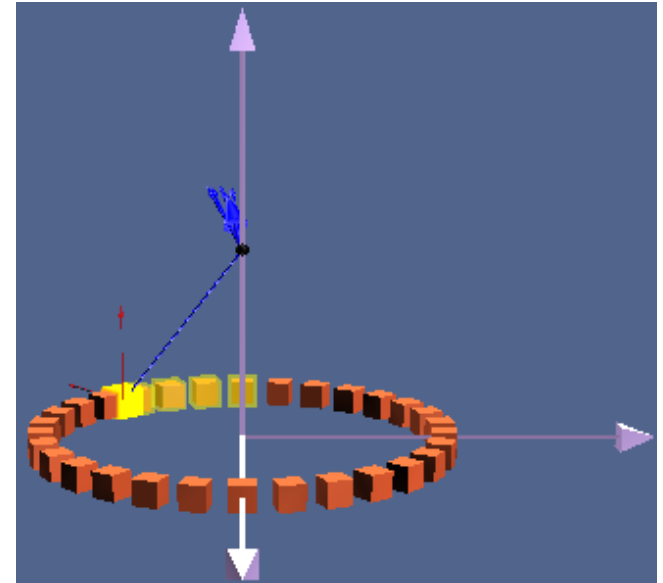
§3. Từ trường và cảm ứng từ

2. Cảm ứng từ

Nguyên lý chồng chất từ trường

☞ Vector cảm ứng từ \vec{B} của dòng điện bất kỳ gây ra tại một điểm bằng tổng các vector cảm ứng từ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử dòng Idl gây ra tại điểm đó.

$$\vec{B} = \int_{\text{theo ca dòng điện}} d\vec{B}$$



§3. Từ trường và cảm ứng từ

2. Cảm ứng từ

Nguyên lý chồng chất từ trường

☞ Vector cảm ứng từ \vec{B} gây bởi nhiều dòng điện bằng tổng các vector cảm ứng từ \vec{B}_i do từng dòng điện gây ra.

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

3. Cường độ từ trường

☞ Vector cường độ từ trường \vec{H} tại một điểm trong trường bằng tỉ số của vector cảm ứng từ với tích $\mu_0\mu$

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

☞ Đơn vị : Oersted [A/m]

§3. Từ trường và cảm ứng từ

4. Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

☞ Đoạn dây AB, mang dòng điện $I \Rightarrow$ xác định từ trường \vec{B} do AB gây ra tại M.

☞ Chia dây AB thành những phần tử nhỏ có chiều dài $dl \Rightarrow$ Vector $d\vec{B}$ do phần tử dòng $I d\vec{l}$ gây ra tại M, có độ lớn:

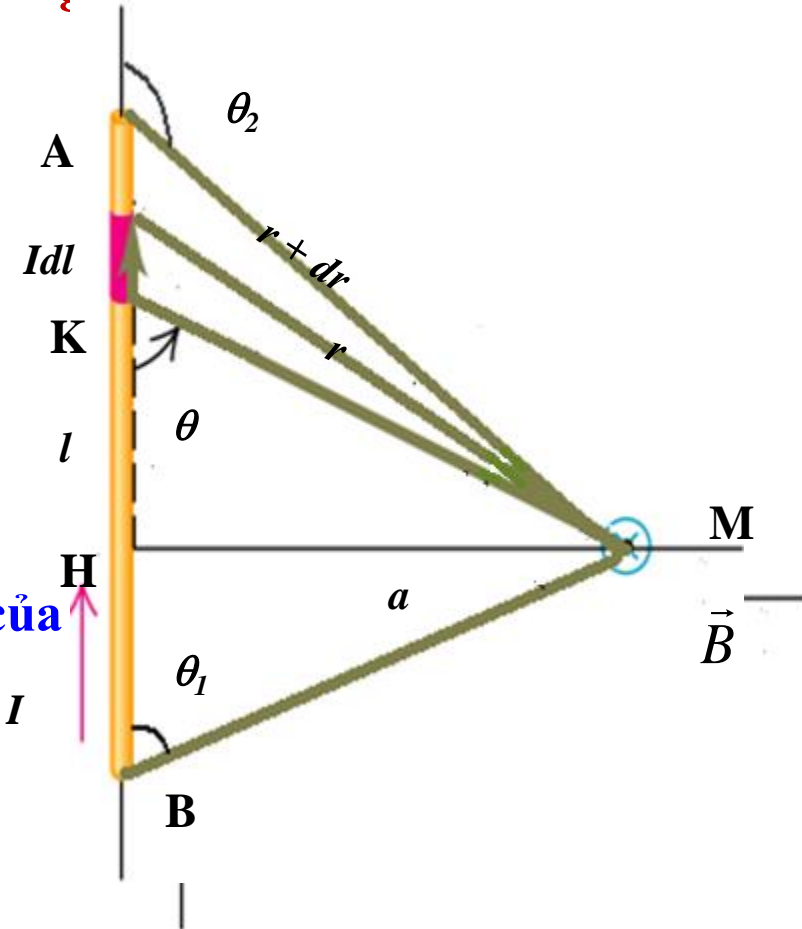
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

☞ Theo nguyên lý chồng chập, \vec{B} của đoạn dây AB, gây ra tại M:

$$\vec{B} = \int_{AB} d\vec{B}$$

♦ Do các $d\vec{B}$ cùng chiều nên:

$$B = \int_{AB} dB = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \int_{AB} \frac{\sin \theta dl}{r^2}$$



§3. Từ trường và cảm ứng từ

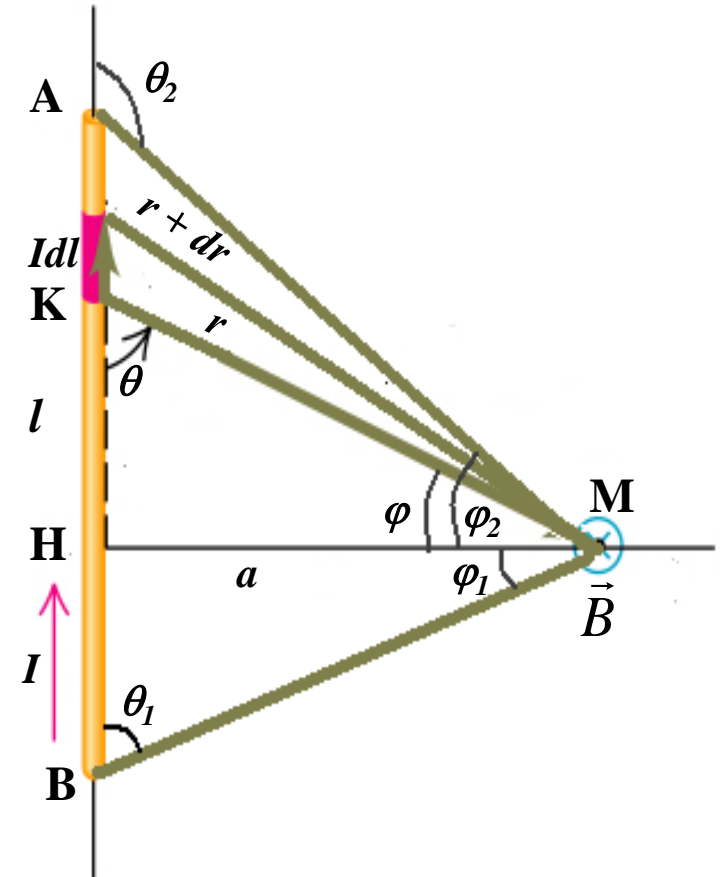
4. Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

♦ Theo hình vẽ:

$$\left. \begin{aligned} \sin \theta &= \cos \varphi \\ \frac{l}{a} &= \operatorname{tg} \varphi \end{aligned} \right\} dl = a[d(\operatorname{tg} \varphi)] = a \frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi}$$

$$\frac{a}{r} = \cos \varphi \Rightarrow r = \frac{a}{\cos \varphi}$$

$$\begin{aligned} \diamond B &= \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \int_{-\varphi_1}^{+\varphi_2} \frac{\cos \varphi d\varphi}{a} = \\ &= \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi a} (\sin \varphi_2 + \sin \varphi_1) = \\ &= \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \end{aligned}$$



§3. Từ trường và cảm ứng từ

4. Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

☞ Cường độ từ trường

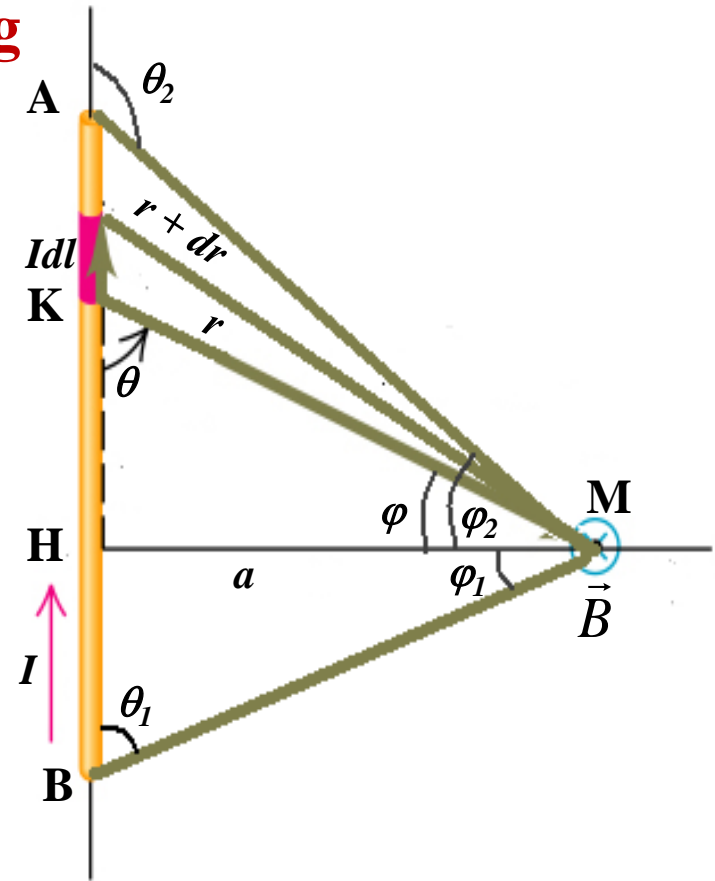
$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = \frac{I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

☞ Nếu dây dài vô hạn (dòng điện thẳng dài vô hạn), có:

$$\begin{cases} B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi a} \\ H = \frac{I}{2\pi a} \end{cases}$$

☞ Nếu $I = 1A$, và $2\pi a = 1 \Rightarrow H = 1 A/m$

♦ A/m là cường độ từ trường gây ra trong chân không bởi 1 dòng điện có cường độ 1 A chạy qua 1 dây dẫn thẳng dài vô hạn, tiết diện tròn, tại các điểm của 1 đường tròn có trục nằm trên dây đó và có chu vi bằng 1 m.



§3. Từ trường và cảm ứng từ

5. Từ trường gây bởi dòng điện tròn

☞ Dây tròn bán kính R , mang dòng điện $I \Rightarrow$ định từ trường \vec{B} do dây gây ra tại M trên trục của dòng điện cách tâm O khoảng h .

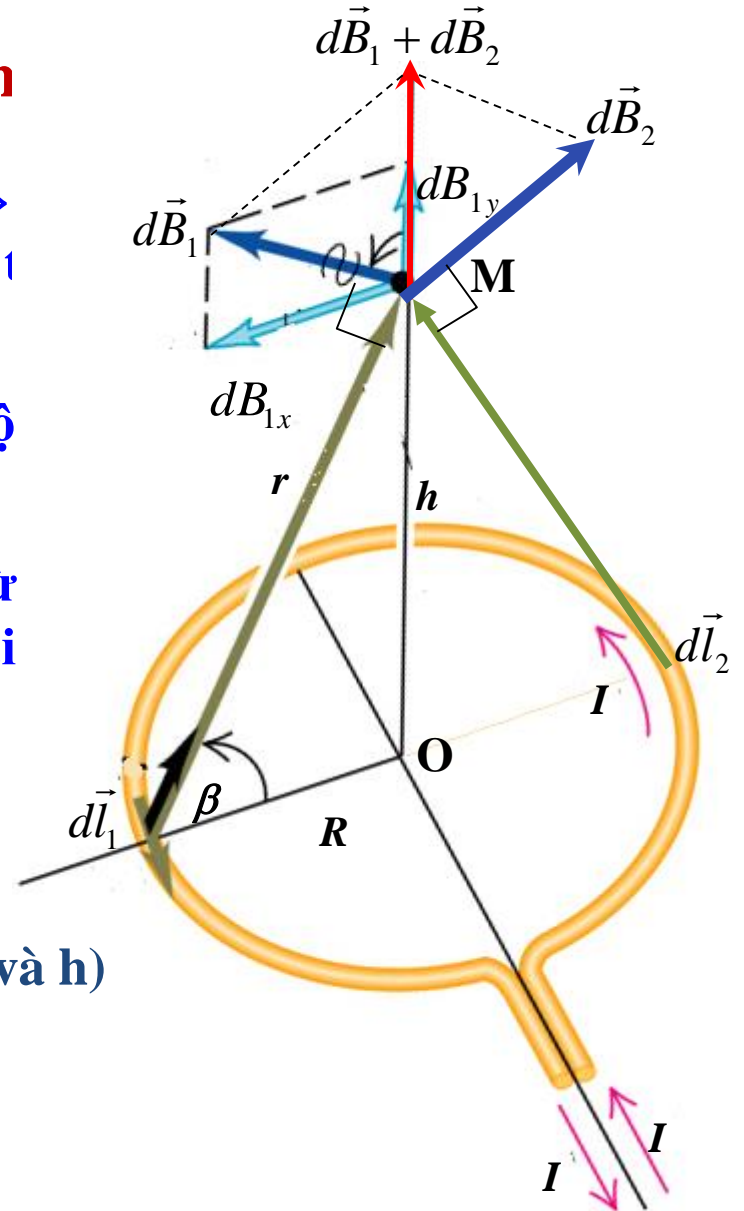
☞ Coi dây điện tròn là do các phần tử độ dài dl tạo thành

♦ Áp dụng đ/l Biot-Savart-Laplace \Rightarrow từ trường do mỗi phần tử dòng $I dl$ sinh ra tại M có độ lớn:

$$dB_i = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

♦ θ là góc giữa $d\vec{l}$ và $\vec{r} \Rightarrow \theta = \pi/2$ ($d\vec{l} \perp \vec{R}$ và h)

Vì vậy:
$$dB_i = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl}{r^2}$$



§3. Từ trường và cảm ứng từ

5. Từ trường gây bởi dòng điện tròn

♦ Mỗi vector $d\vec{B}_i$ có 2 thành phần dB_{ix} và dB_{iy} , theo đó,

$$dB_{iy} = dB_i \cos \beta = \frac{R}{r} dB_i$$

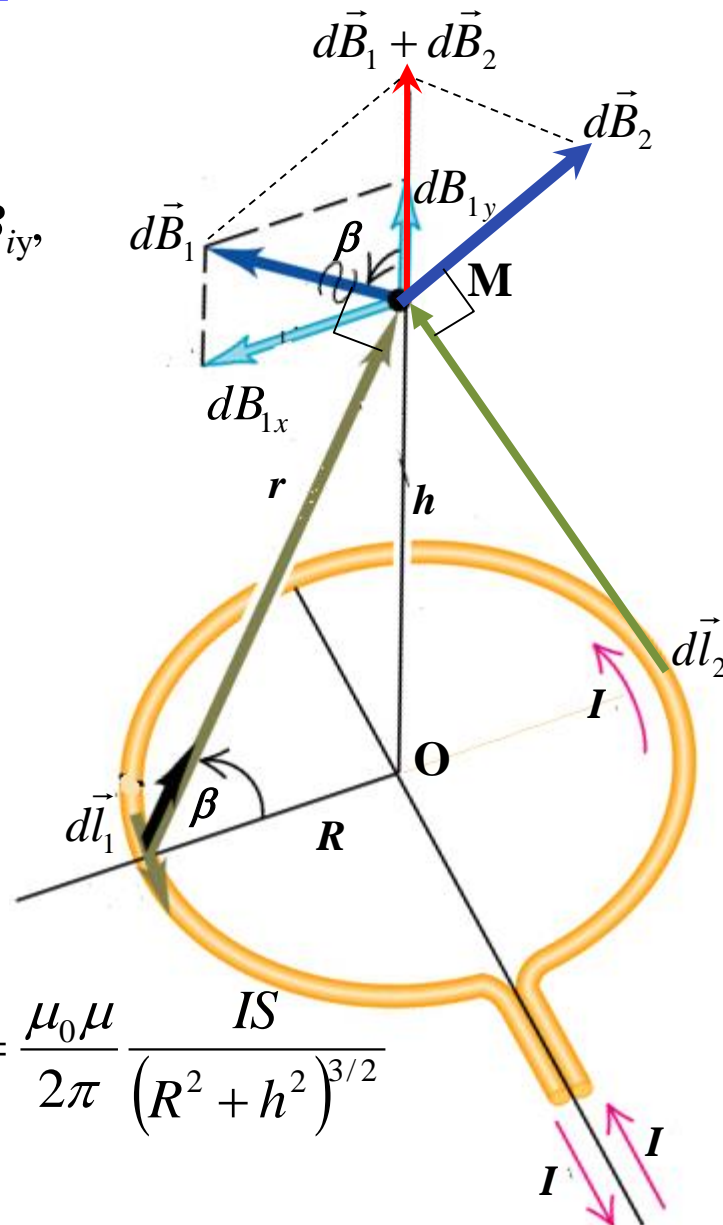
☞ Áp dụng nguyên lý chồng chất \Rightarrow tổng các $dB_{ix} = 0$ do tính đối xứng, chỉ còn lại thành phần dB_y tổng cộng.

$$dB_y = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{IR dl}{r^3}$$

☞ Cảm ứng từ B do cả dòng điện tròn gây ra tại M:

$$B = \int dB_y = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{IR}{r^3} \int_{\text{ca dòng điện}} dl = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{IR}{r^3} 2\pi R = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{IS}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

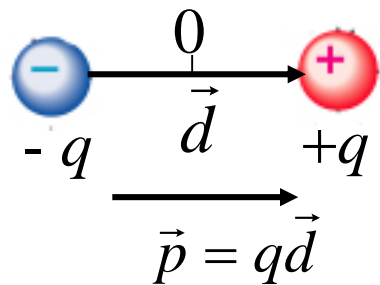
/trong đó: $S = \pi R^2$ và $r = (R^2 + h^2)^{1/2}$ /



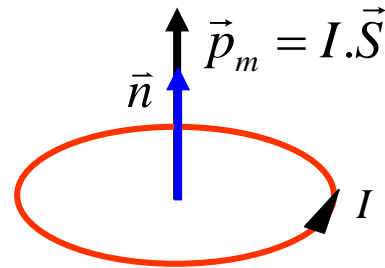
§3. Từ trường và cảm ứng từ

Moment từ (Magnetic moment)

*Moment (lưỡng cực) điện –
Electric (dipole) moment*



*Moment (lưỡng cực) từ –
Magnetic (dipole) moment*



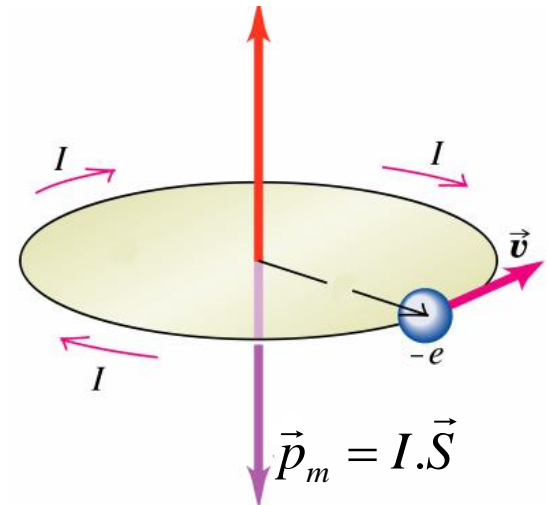
S: diện tích mặt kín

☞ Cảm ứng từ B do cả dòng điện tròn gây ra tại 1 điểm nằm trên đường trung trục mf dây:

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

☞ Cảm ứng từ B của moment từ tại tâm của diện tích tròn (bao quanh bởi dòng điện tích) bán kính R:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{p_m}{R^3}$$



§3. Từ trường và cảm ứng từ

Từ trường gây bởi hạt điện tích chuyển động

☞ Xét điện tích $q > 0$ CĐ với vận tốc v
 \Rightarrow tạo ra phần tử dòng điện Idl .

♦ Số điện tích chứa trong thể tích có chiều dài dl và tiết diện S_n của phần tử dòng điện sẽ là: $dn = n_0 \cdot S_n \cdot dl$

☞ Áp dụng đ/luật Biot-Savart-Laplace \Rightarrow cảm ứng từ $d\vec{B}$ do phần tử dòng Idl (có dn điện tích) gây ra tại M , cách một đoạn r :

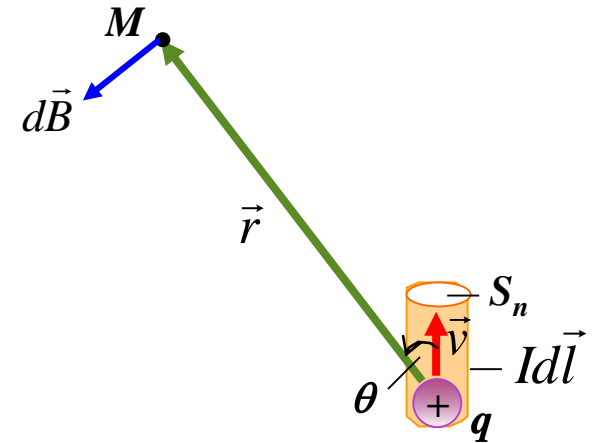
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

♦ Cảm ứng từ do một hạt điện tích q CĐ gây ra: $\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dn} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{n_0 S_n} \frac{d\vec{l}}{dl} \wedge \frac{\vec{r}}{r^3}$

Do $I = JS_n = n_0 \cdot |q| \cdot v \cdot S_n$ và $v \frac{d\vec{l}}{dl} = \vec{v} \Rightarrow \vec{B}_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q\vec{v} \wedge \vec{r}}{r^3}$

☞ $\vec{B}_q, \vec{v}, \vec{r}$ theo thứ tự lập thành một tam diện thuận \Rightarrow độ lớn của \vec{B}_q :

$$B_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{qvr \sin \theta}{r^3} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{qv \sin \theta}{r^2}$$



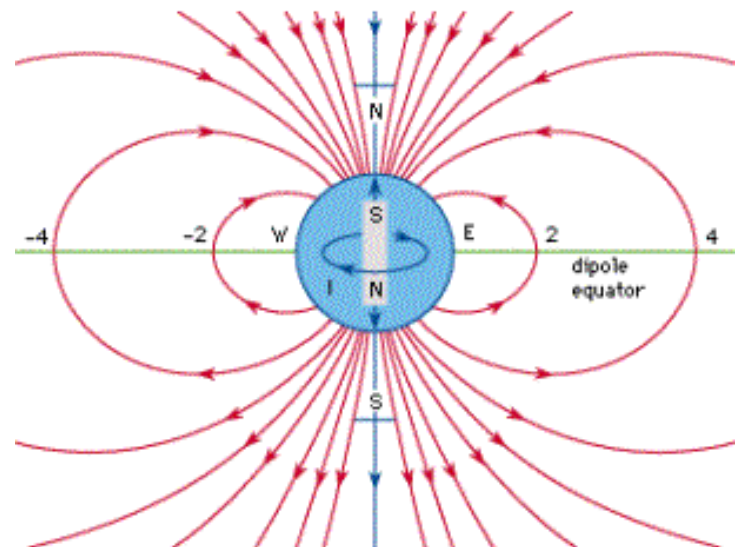
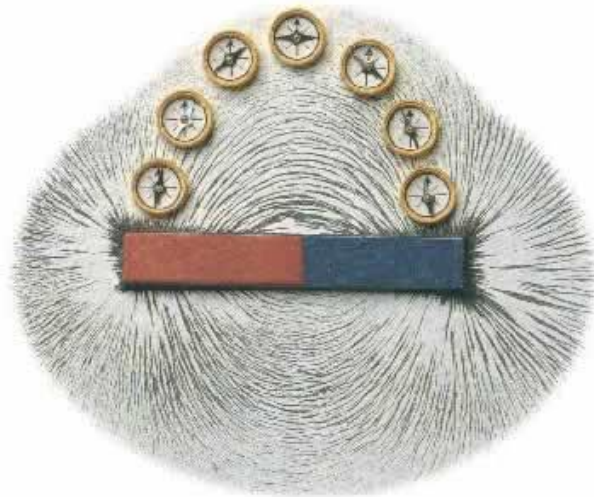
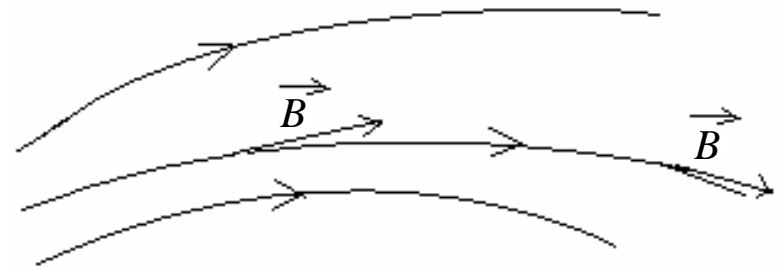
§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

1. Đường sức từ trường

☞ Đường cong hình học mô tả từ trường mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của vector cảm ứng từ tại điểm đó.

☞ Chiều đường sức từ trường là chiều vector cảm ứng từ.

Từ phổ: tập hợp các đường sức từ trường

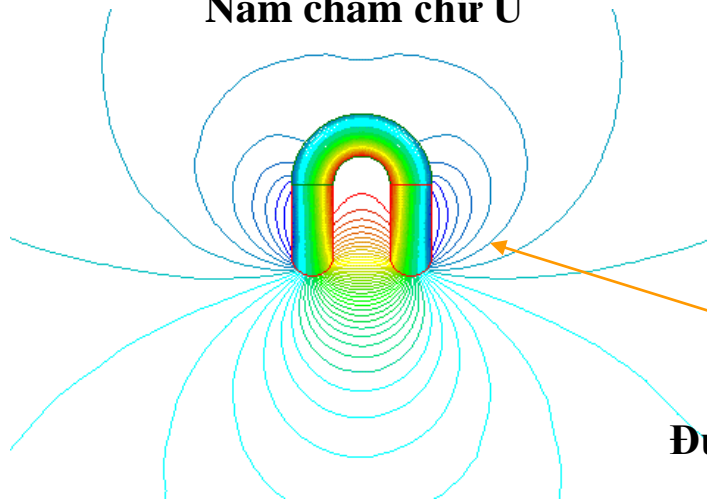


§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

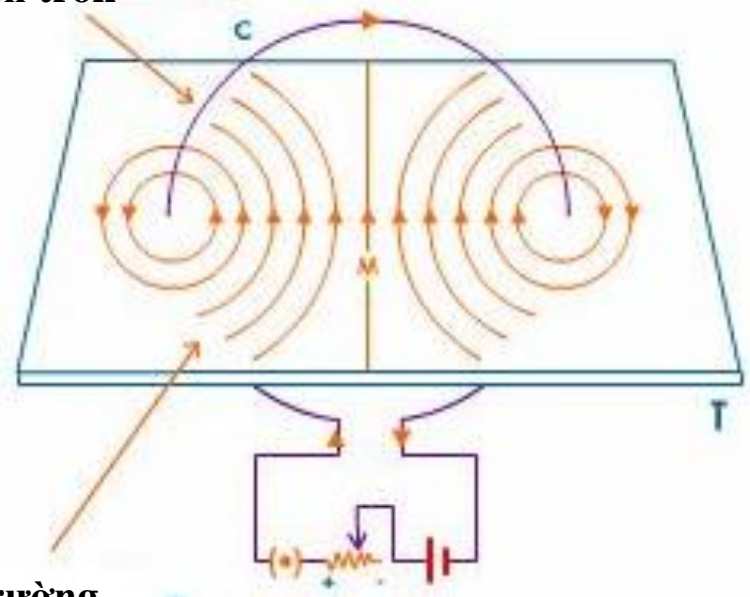
1. Đường sức từ trường

Từ phổ

Nam châm chữ U

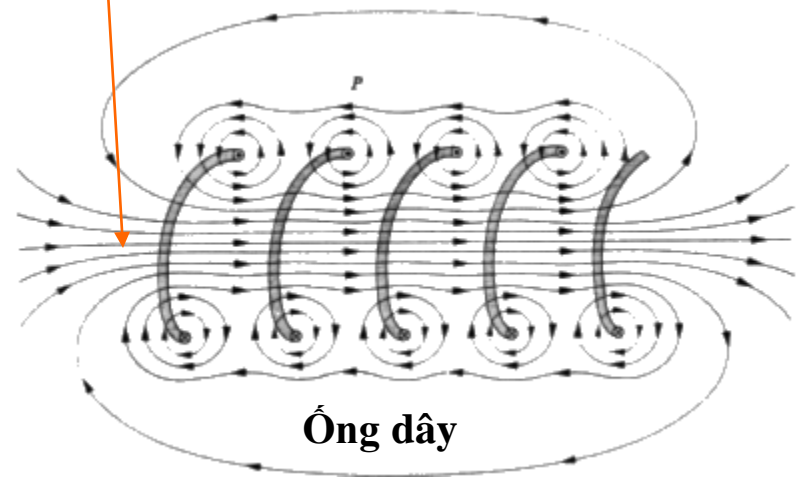
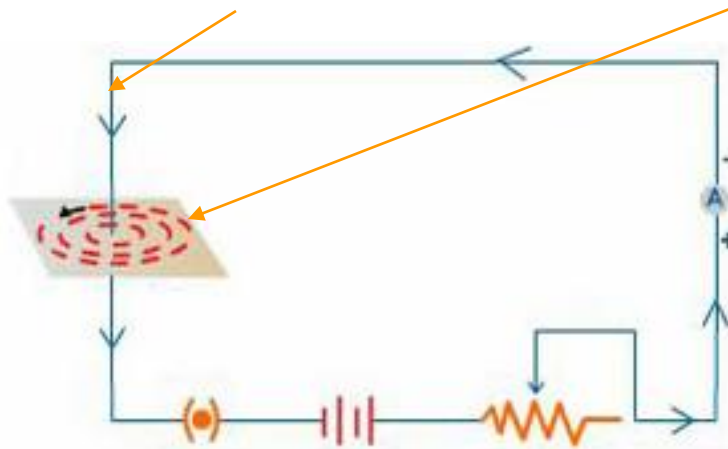


Dòng điện tròn



Đường sức từ trường

Dòng điện thẳng

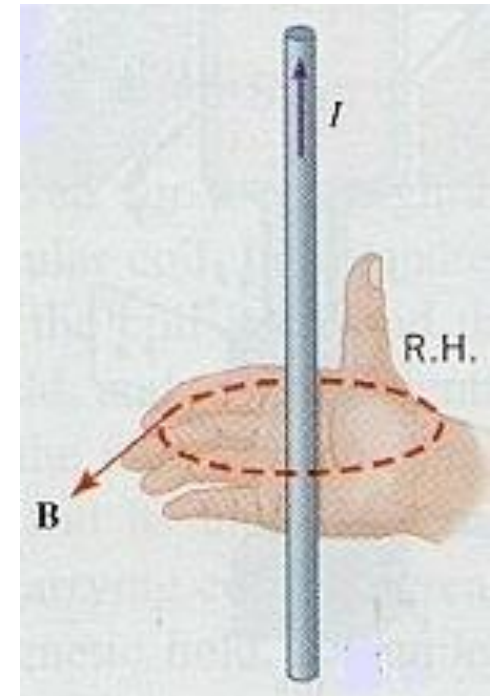
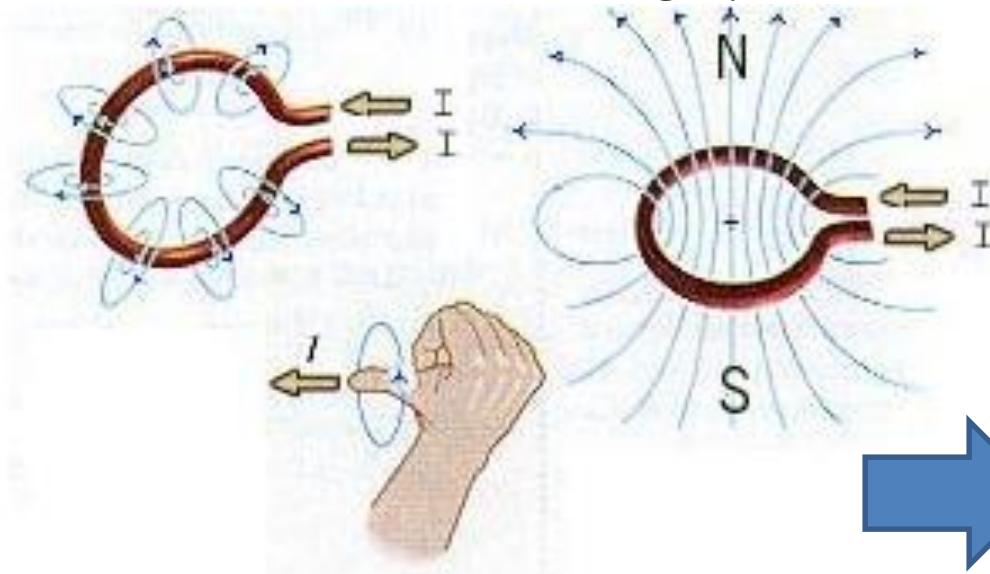
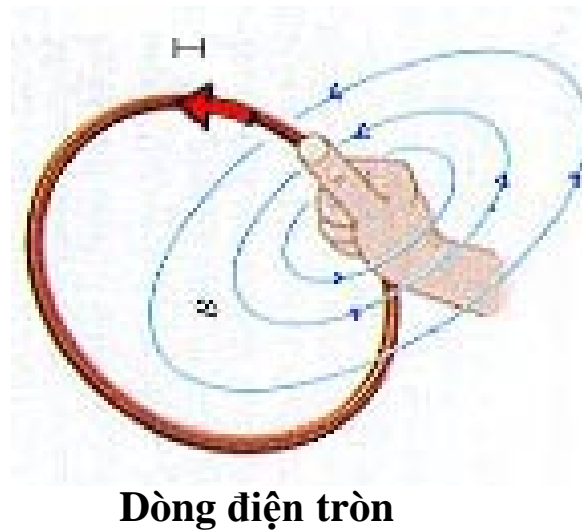
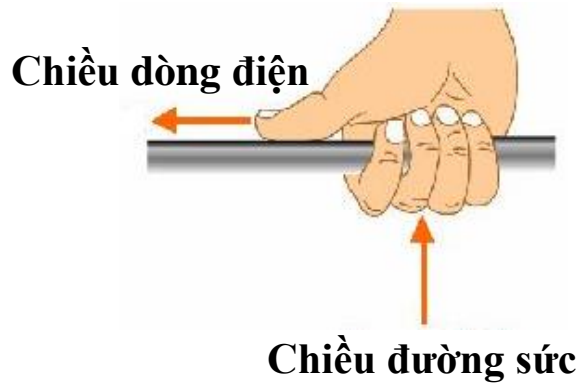


Ống dây

§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

1. Đường sức từ trường

Xác định chiều đường sức từ trường bằng qui tắc nắm bàn tay phải



Dòng điện thẳng

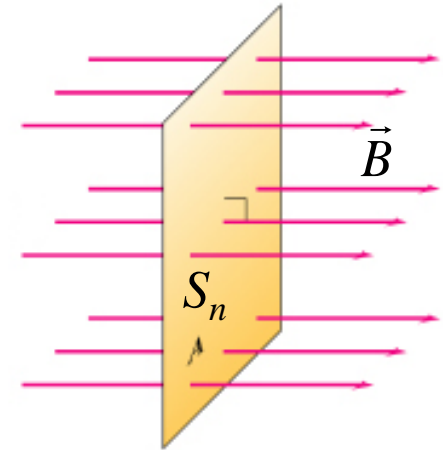
§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

2. Thông lượng vector cảm ứng từ - Từ thông

Định nghĩa

☞ Thông lượng vector cảm ứng từ gửi qua một thiết diện có trị số tỉ lệ với số đường sức cắt vuông góc thiết diện đó.

$$\Phi = B.S_n$$



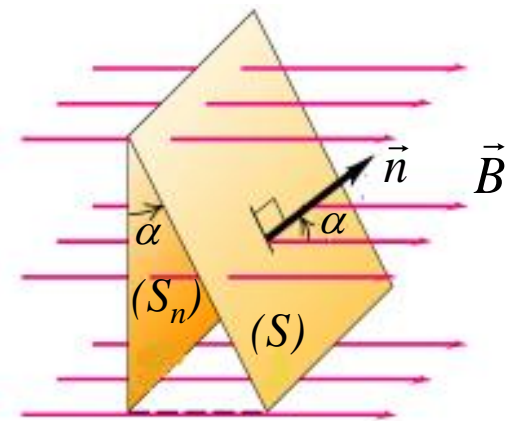
Thông lượng đi qua tiết diện bất kỳ

☞ Tiết diện (S) tạo với S_n góc α

trong đó $S_n = S.\cos\alpha$

$$\blacklozenge \Phi = B.S_n = B.S.\cos\alpha = B_n.S = \vec{B}.\vec{S}$$

B_n là hình chiếu của \vec{B} lên pháp tuyến \vec{n}



§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

2. Thông lượng vector cảm ứng từ - Từ thông

Từ trường thay đổi và S lớn

☞ S tạo bởi vô số phần tử diện tích dS :

$$d\Phi = B_n \cdot dS = B \cdot dS_n$$

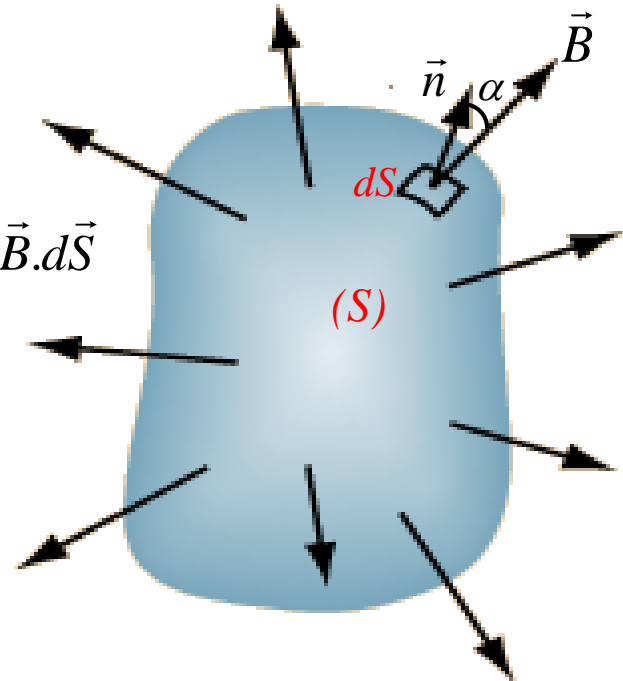
Từ thông gửi qua S :
$$\Phi = \int_{(S)} d\Phi = \int_{(S)} B_n dS = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

☞ Nếu mặt S phẳng, nằm trong từ trường đều ($B = \text{const}$) và vuông góc với đường sức từ ($\alpha = 0$)

$$\Phi = \int_{(S)} B dS = B \int_{(S)} dS = B \cdot S$$

♦ Để tính từ thông gửi qua S bất kỳ \Rightarrow chia S thành những phần tử diện tích vô cùng nhỏ dS , sao cho có thể coi vector cảm ứng từ B không đổi trên mỗi phần tử đó.

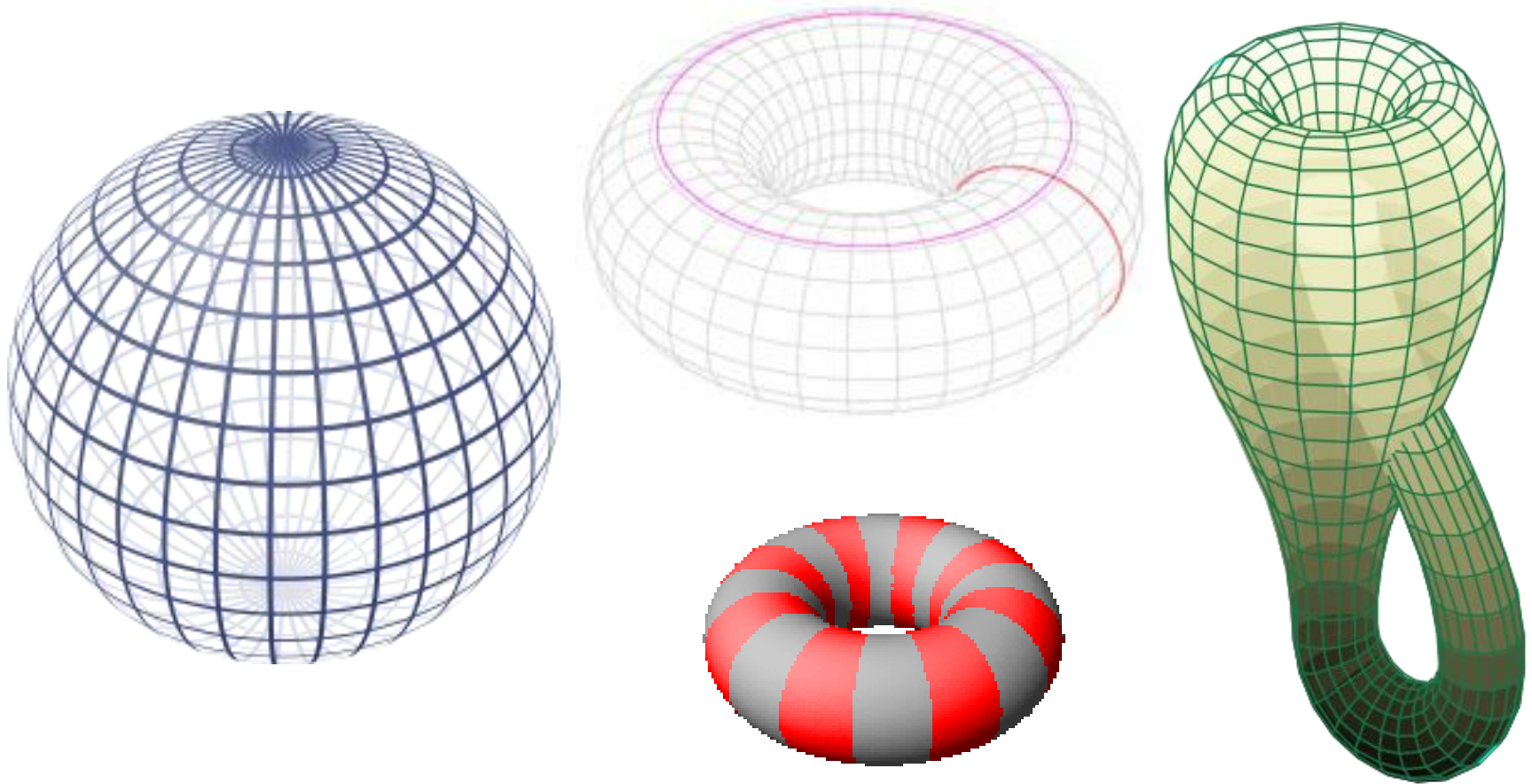
Đơn vị từ thông: Webe (Wb) $\Rightarrow 1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$



§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

2. Thông lượng vector cảm ứng từ - Từ thông

Mặt cong kín



§4. Từ thông – Định lý O-G đối với từ trường

3. Định lý O - G đối với từ trường

☞ **Qui ước:** Chiều dương của pháp tuyến đối với mặt cong kín hướng ra ngoài mặt đó.

◆ Từ thông âm \Rightarrow đường sức đi vào,

◆ Từ thông dương \Rightarrow đường sức đi ra.

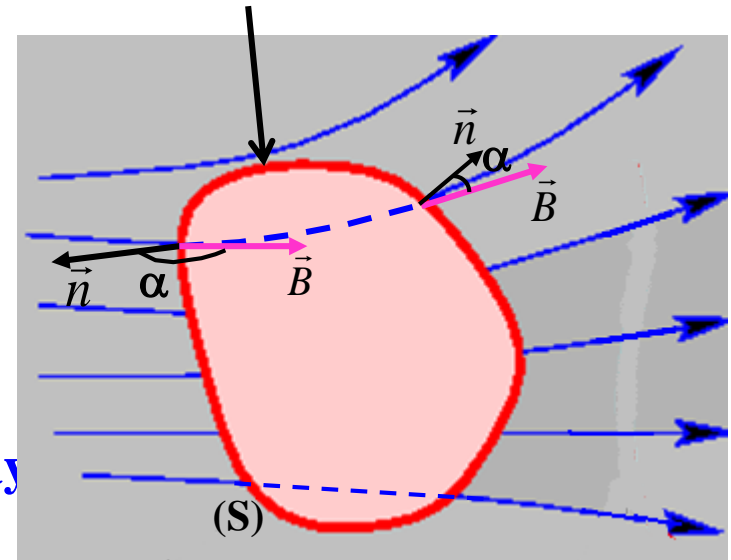
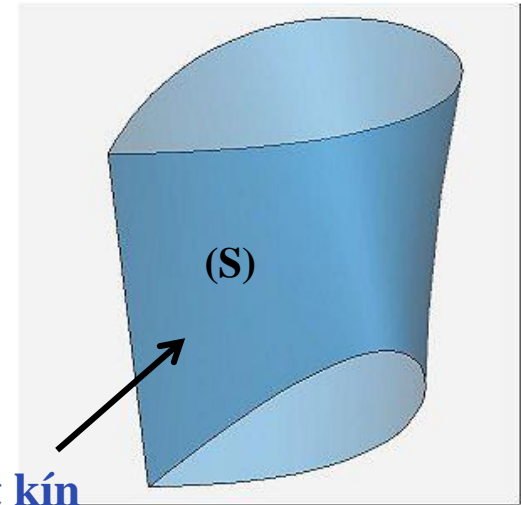
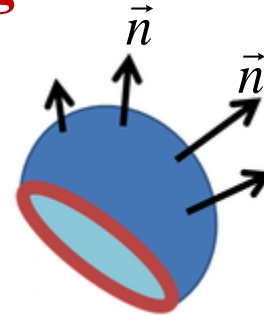
☞ **Định lý Gauss:**

Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín (S) bất kỳ bằng không, $\Phi = \oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

$$\oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{(V)} \text{div} \vec{B} \cdot dV$$

$$\diamond \int_{(V)} \text{div} \vec{B} \cdot dV = 0 \text{ hay: } \text{div} \vec{B} = 0$$

\Rightarrow Từ trường có tính chất xoáy



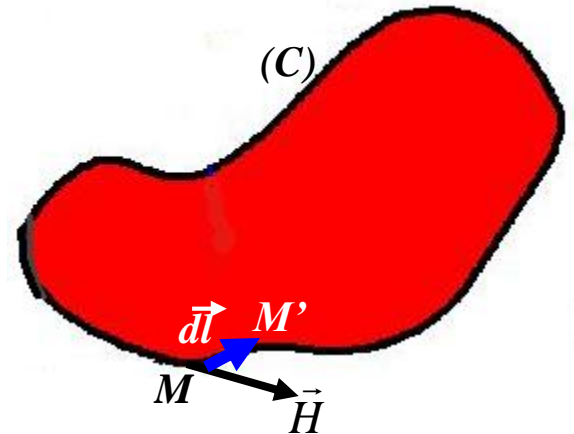
§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

1. Lưu số vector cường độ từ trường

☞ Xét:

♦ Đường kín (C) bất kỳ \in từ trường \vec{H} bất kỳ.

♦ $d\vec{l}$: Vector chuyển dời ứng với đoạn MM' trên (C) .



☞ Lưu số của vector cường độ từ trường:

Đại lượng có giá trị bằng tích phân của lấy theo một đường kín đó.

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

§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

2. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

- ☞ Xét: $\left\{ \begin{array}{l} + \vec{B}, \vec{H} \text{ gây bởi dòng điện thẳng vô hạn, cường độ } I \\ + \text{Đường cong kín (C) bao quanh } \in \text{mf } \perp I. \\ + \text{Chiều của } d\vec{l} \text{ là chiều dương} \end{array} \right.$

☞ Theo đ/n lưu số vector cường độ H :

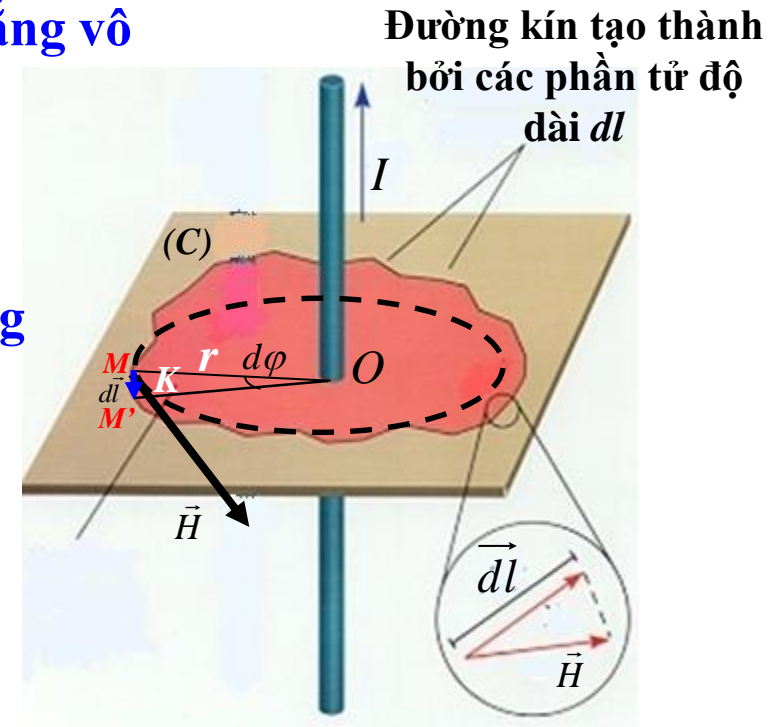
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l})$$

☞ Từ trường gây bởi dòng điện thẳng:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

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

☞ Trong $\triangle MKM'$: $dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l}) \approx MK \approx r d\varphi \Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$



§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

2. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

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

☞ (C) bao quanh dòng điện:

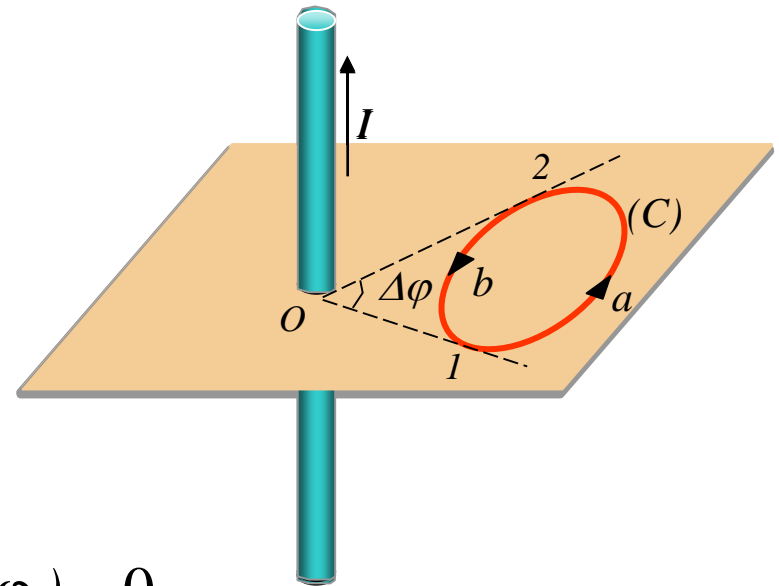
$$\text{Có: } \oint_{(C)} d\varphi = 2\pi \Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

☞ (C) không bao quanh dòng điện

♦ Coi (C) tạo bởi 2 đoạn 1a2 và 2b1

$$\text{có: } \oint_{(C)} d\varphi = \oint_{(1a2)} d\varphi + \oint_{(2b1)} d\varphi = \Delta\varphi + (-\Delta\varphi) = 0$$

$$\Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0$$



§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

2. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

☞ Từ trường gây bởi nhiều dòng điện I

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

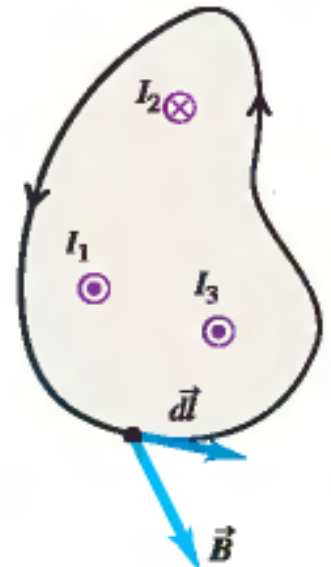
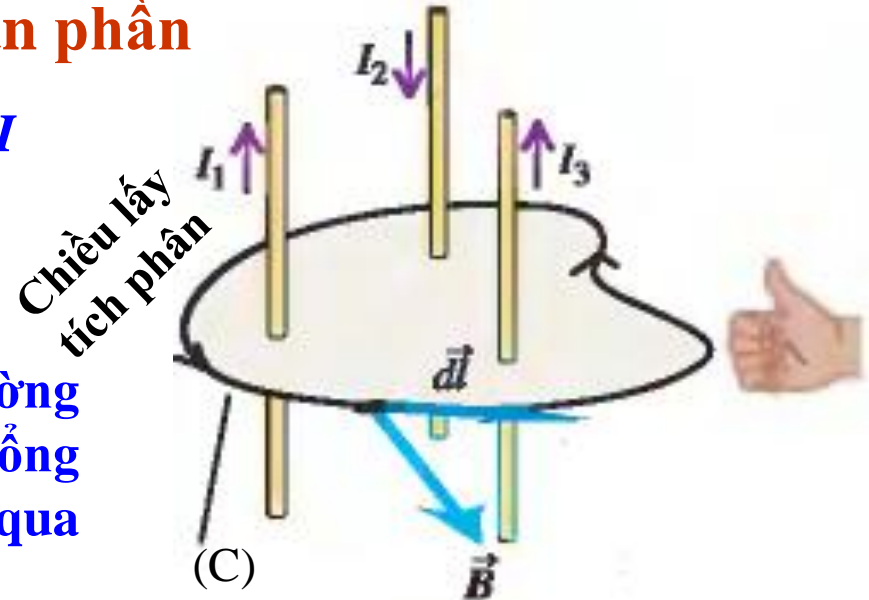
♦ Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ của các dòng xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường kín đó.

☞ Ý nghĩa của định lý Ampere:

♦ Từ trường có nguồn gốc từ dòng điện;

♦ Từ trường $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{k=1}^n I_k \neq 0$ trường khép kín (xoáy), không phải là trường thế.

(Điện trường: $\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \Rightarrow$ trường không khép kín và là trường thế do $A = 0$)



§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

3. Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

Từ trường gây bởi dòng điện của cuộn dây hình xoắn

☞ Đặc điểm: Cuộn dây có n vòng dây $\Rightarrow n$ dòng điện I , cuộn thành vòng tròn tâm O , với R_1 & R_2 là BK trong và ngoài của cuộn dây.

☞ Xét đường kín C_1 :
$$\oint_{(C_1)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_k^n I_k$$

♦ C_1 bao quanh các cặp dòng điện ngược chiều nhau có cùng độ lớn \Rightarrow tổng đại số các dòng điện ở $VP = 0$ nên $VT = 0 \Rightarrow$ *ko có từ trường ở phía ngoài cuộn dây.*

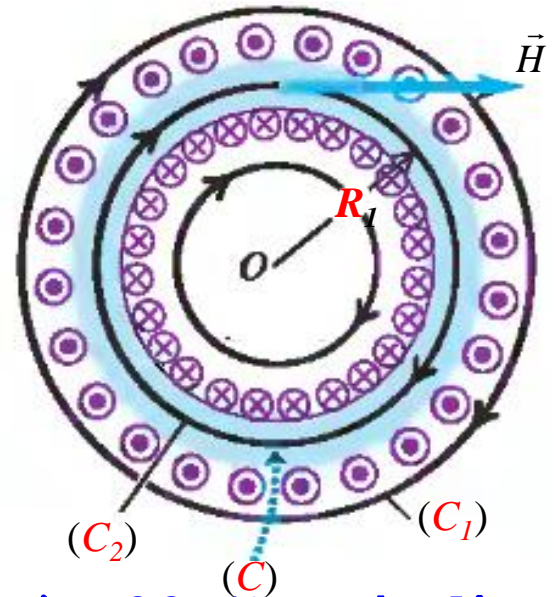
☞ Xét đường kín C_2 , có:
$$\oint_{(C_2)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_k^n I_k$$

♦ C_2 ko bao quanh dòng điện nào \Rightarrow tổng đại số các dòng điện ở $VP = 0$ nên $VT = 0 \Rightarrow$ *ko có từ trường ở phía trong cùng cuộn dây.*

☞ Xét đường kín C , có:
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_k^n I_k$$

♦ $VT = H \cdot 2\pi R$, $VP = nI \Rightarrow H = \frac{nI}{2\pi R} \Rightarrow$ *từ trường đều và chỉ ở giữa cuộn dây.*

R_1
 O R_2



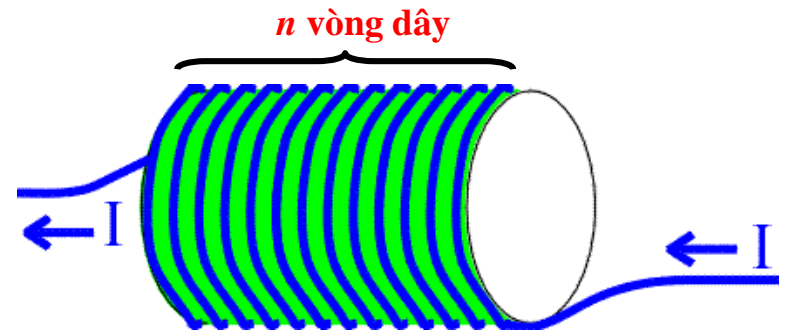
§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

3. Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

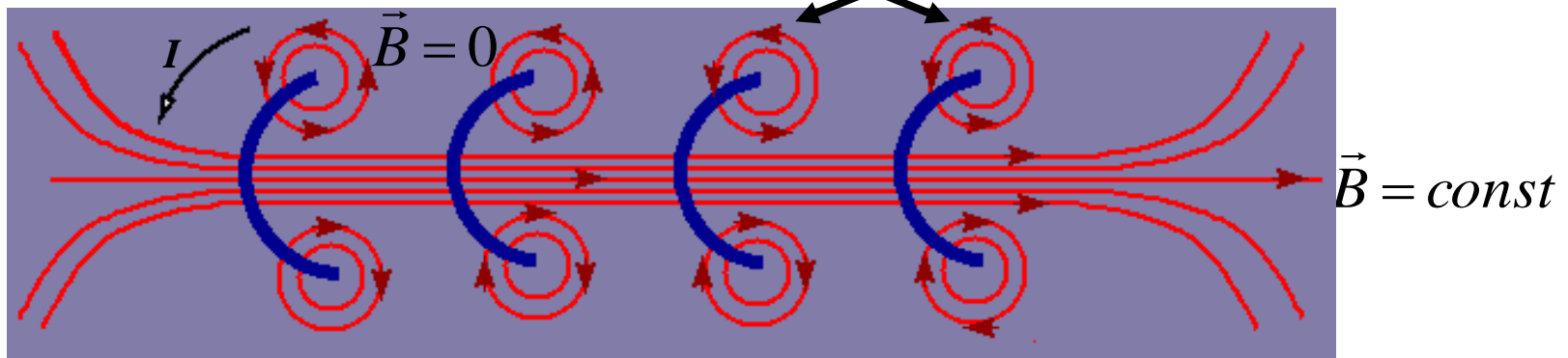
Từ trường gây bởi dòng điện trong ống dây thẳng vô hạn

☞ Đặc điểm

- ♦ Ống dây có n vòng dây $\Rightarrow n$ dòng điện I ;
- ♦ Từ trường bên ngoài ống dây $B = 0$ do mỗi vòng dây cạnh nhau tạo ra từ trường có chiều ngược nhau;



Bên ngoài ống dây, đường sức từ trường ở 2 vòng dây lân cận ngược chiều nhau



- ♦ Từ trường chỉ tập trung bên trong ống dây và có độ lớn $B = const$.

§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

3. Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

Từ trường gây bởi dòng điện trong ống dây thẳng vô hạn

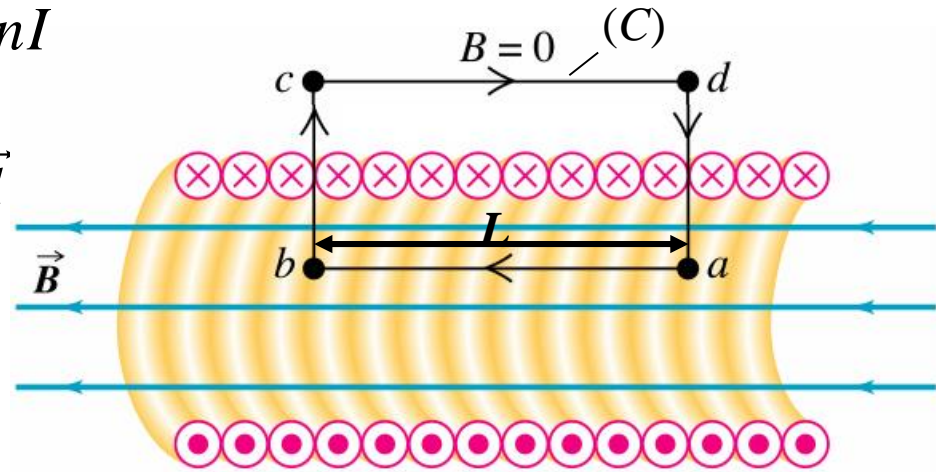
☞ Xét một đường kín (C) hình chữ nhật bao quanh các dòng điện, có cạnh ab và $cd \parallel B$ (độ dài L), cạnh bc và $da \perp B$.

♦ Theo đ/l Ampere có: $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = nI$

$$VT = \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \underbrace{\int_{ab} \vec{H} \cdot d\vec{l}}_{HL} + \underbrace{\int_{bc} \vec{H} \cdot d\vec{l}}_0$$

$$+ \underbrace{\int_{cd} \vec{H} \cdot d\vec{l}}_0 + \underbrace{\int_{da} \vec{H} \cdot d\vec{l}}_0$$

$$\text{Có : } HL = nI \Rightarrow H = \frac{nI}{L} = n_0 I \quad (n_0 = \text{số vòng dây / 1 đ/vị chiều dài} = \text{mật độ vòng dây}).$$



☞ Những ống dây có độ dài ≥ 10 lần đường kính \Rightarrow coi là ống dây dài vô hạn.

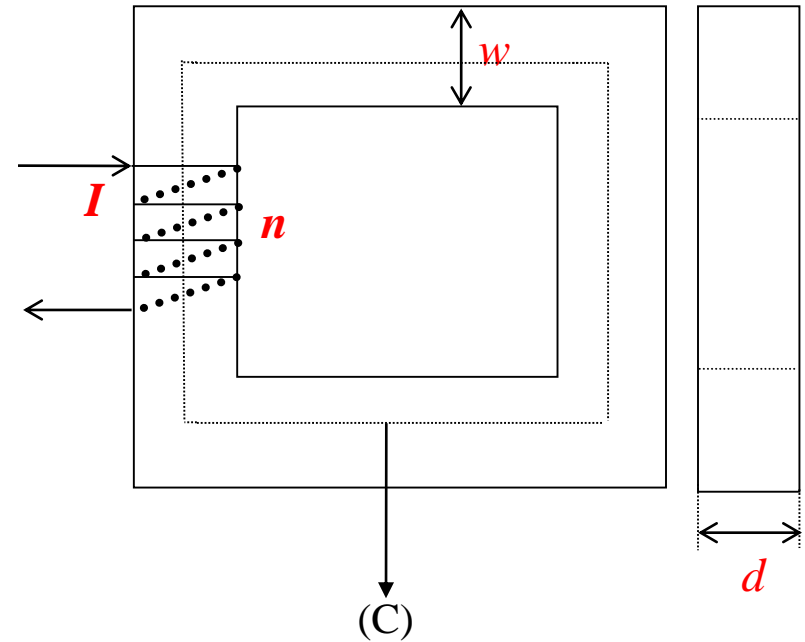
§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

4. Mạch từ

☞ Tập hợp các vật liệu hoặc các miền không gian trong đó đường sức từ trường có tính liên tục.

☞ Xét cuộn dây có dòng điện I chạy qua, lòng quanh lõi dẫn từ có độ dài l , bề dày w và độ rộng d .

♦ Lưu số vector cường độ từ trường dọc theo cả mạch dẫn từ:



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

♦ Theo đ/l Ampere có: $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = nI$

$$H = \frac{nI}{l} \quad \text{và} \quad B = \frac{\mu_0 \mu \cdot nI}{l}$$

§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

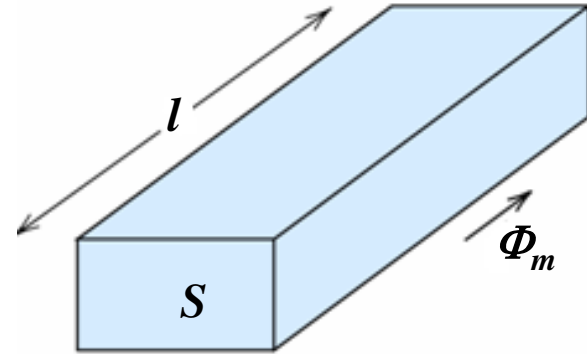
4. Mạch từ

☞ Từ thông qua 1 đơn vị thiết diện:

$$\Phi_m = B.S = \frac{\mu_0 \mu n I.S}{l}$$

hay

$$\Phi_m = \frac{nI}{\frac{1}{\mu_0 \mu} \frac{l}{S}} = \frac{E_m}{R_m}$$



☞ Từ thông xuyên trong vật liệu \Leftrightarrow dòng điện chạy trong vật dẫn \Rightarrow có sự cản trở của môi trường dẫn từ \Rightarrow từ trở:

$$\mathfrak{R}_m = \frac{l}{\mu_0 \mu . S}$$

♦ E_m là sức từ động (magnetomotive force – mmf)

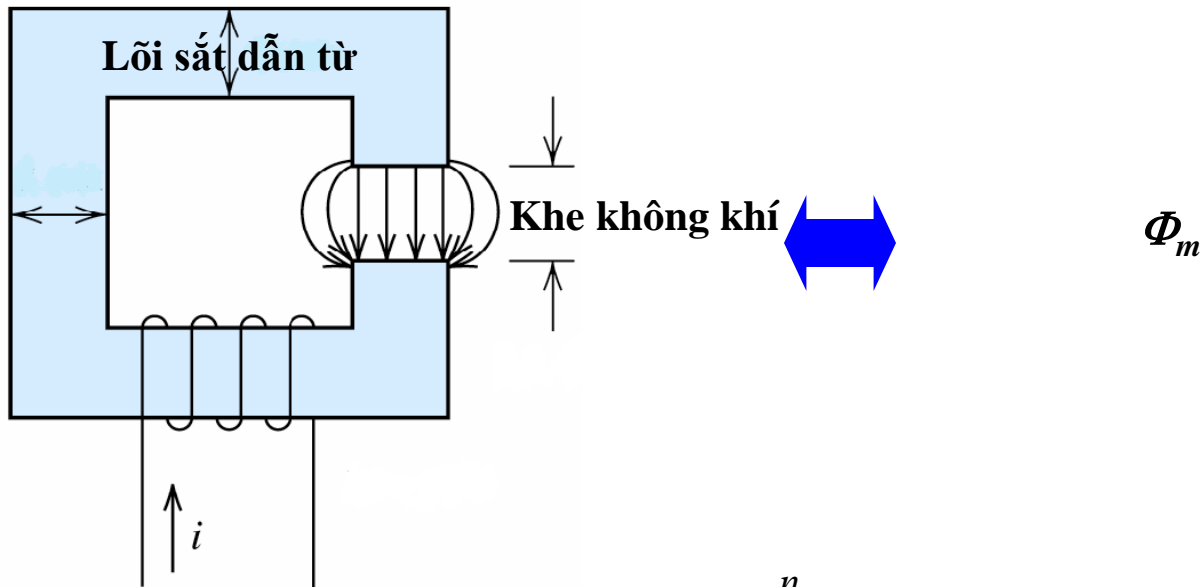
♦ Định luật Ohm cho mạch từ $E = \mathfrak{R} \phi = NI$

Φ_m

§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

4. Mạch từ

Mạch từ nối tiếp

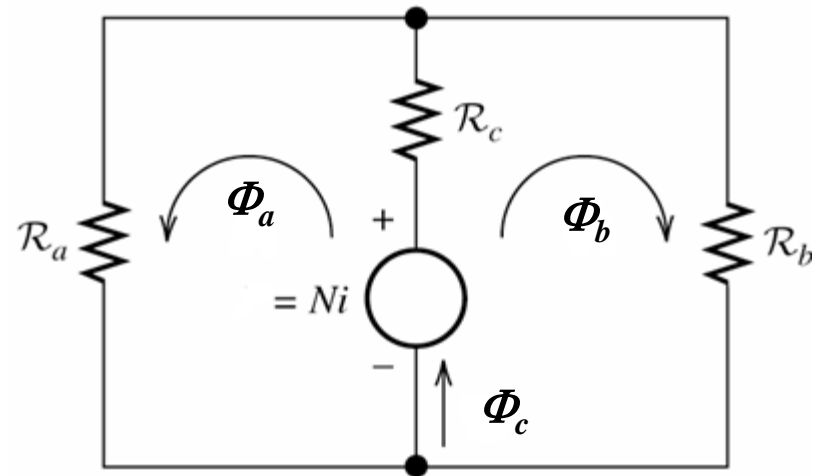
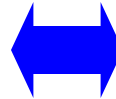
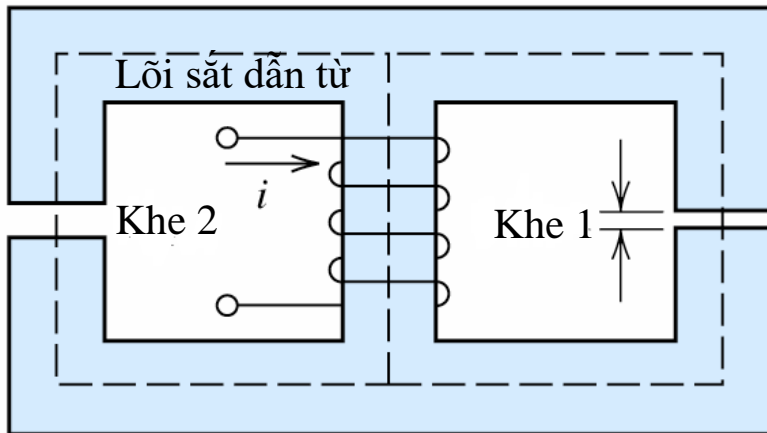


$$R_m = \sum_{i=1}^n R_{mi} = R_{mlõi} + R_{mkhe}$$

§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

4. Mạch từ

Mạch từ song song

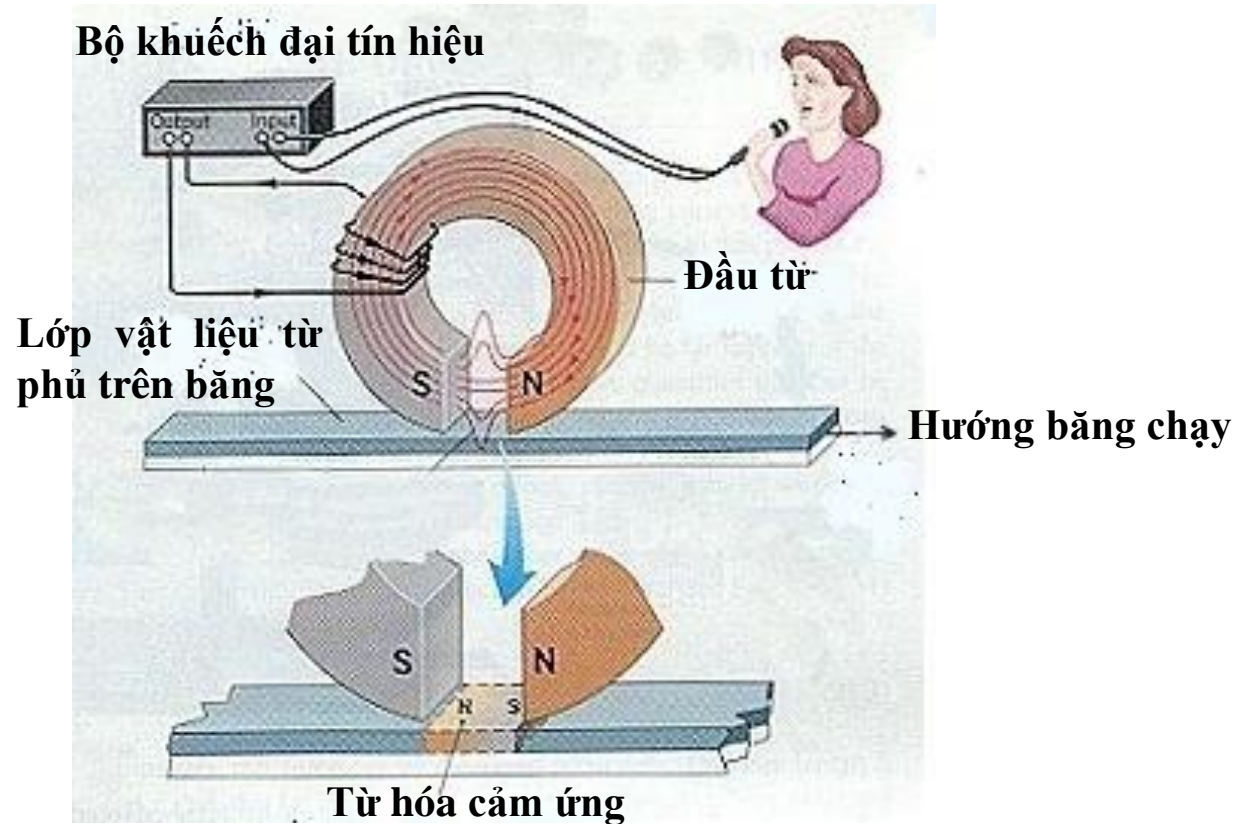


$$R_m = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{mi}}$$

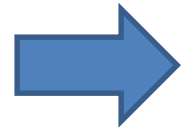
§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

4. Mạch từ

Ứng dụng mạch từ trong kỹ thuật: thiết bị ghi âm trên băng từ



§5. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

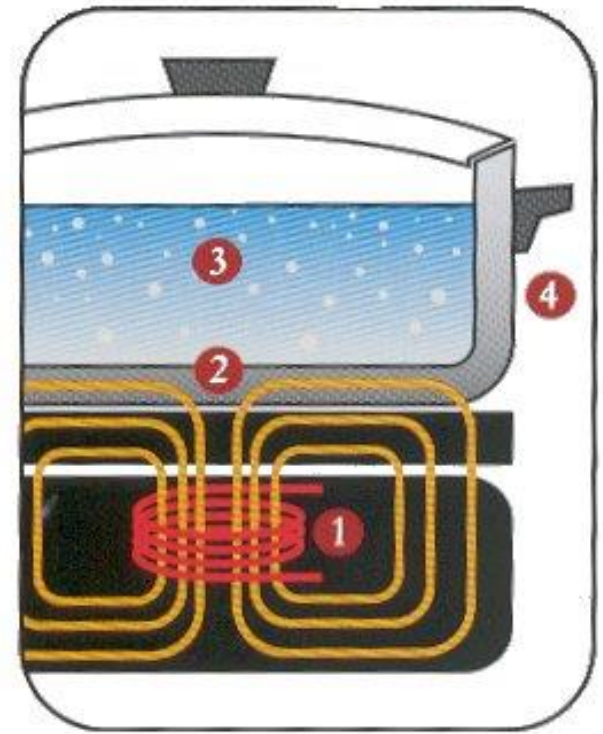
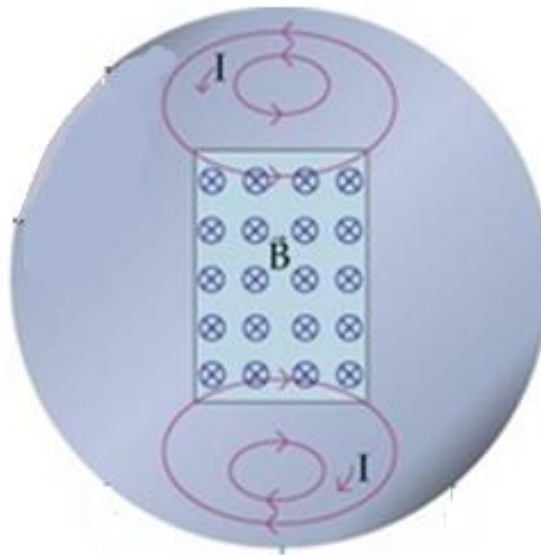


Mạch từ

Ứng dụng mạch từ trong kỹ thuật: Bếp từ

1. Cuộn dây tạo trường điện từ tần số cao;

2. Từ trường xuyên qua đáy nồi làm bằng vật liệu từ (sắt từ) \Rightarrow đóng kín mạch từ \Rightarrow hình thành dòng điện xoáy, nguồn gốc tạo ra nhiệt;



3. Nhiệt sinh ra từ đáy nồi được truyền cho thức ăn đựng trong nồi.

4. Ngoài ra, nhiệt còn được sinh ra do các tổn hao từ trễ trong vật liệu có độ từ thẩm μ_r lớn dùng để chế tạo xoong, nồi, chảo...).

§6. Lực từ trường

1. Tác dụng của từ trường lên dòng điện

Tác dụng lên phần tử dòng điện

☞ Khi đặt 1 phần tử dòng $I d\vec{l}$ trong từ trường $\vec{B} \Rightarrow$ chịu tác dụng 1 lực Ampere:

$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

♦ 3 vector $d\vec{F}, I \cdot d\vec{l}, \vec{B} \Rightarrow$ tam diện thuận

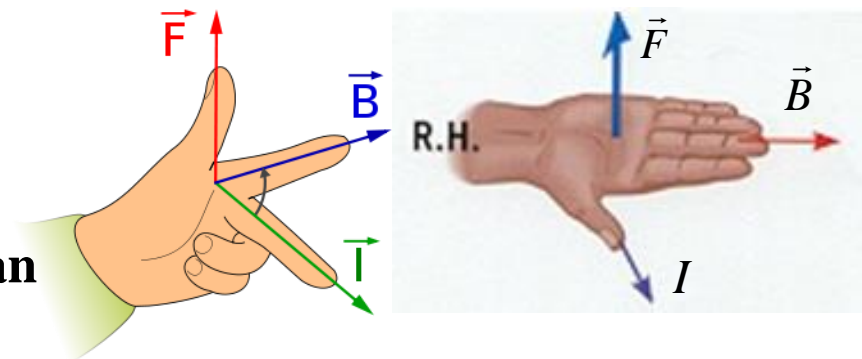
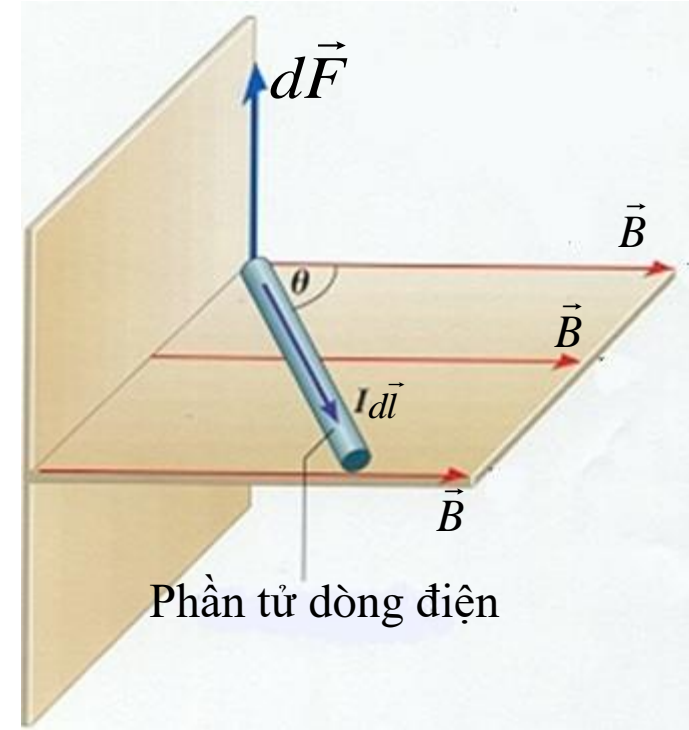
Tác dụng lên dòng điện thẳng

☞ Lực Ampere tác dụng lên 1 dòng điện thẳng có độ dài l :

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Hay: $F = I \cdot l B \sin \theta$

☞ \vec{F} được xác định bằng qui tắc bàn tay trái.



§6. Lực từ trường

2. Tương tác giữa 2 dòng điện thẳng song song dài vô hạn

☞ Xét 2 dòng điện I_1 & I_2 , cùng chiều, đặt // và cách nhau 1 khoảng d .

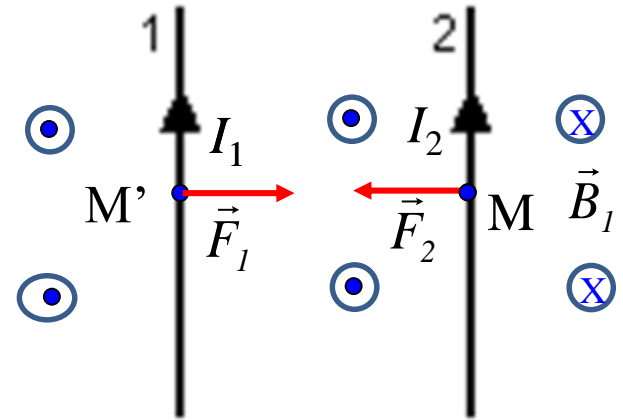
♦ Theo đ/l Biot-Savart-Laplace, xuất hiện B_1 gây bởi I_1 trên I_2

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1}{d}$$

♦ B_1 tác dụng lên 1 đoạn dây trên I_2 lực:

$$\vec{F}_2 = I_2 \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}_1$$

$$F_2 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \cdot l \quad \text{hướng về } I_1$$



♦ I_2 cũng tác động một lực F_1 có cùng độ lớn hướng về $I_2 \Rightarrow$ 2 dòng điện song song cùng chiều hút nhau

☞ Tương tự \Rightarrow 2 dòng điện song song ngược chiều đẩy nhau

♦ Ampere là cường độ của 1 dòng điện không đổi theo thời gian, khi chạy qua 2 dây dẫn thẳng song song, dài vô hạn, có tiết diện nhỏ không đáng kể, đặt trong chân không cách nhau 1 mét thì gây trên mỗi mét dài của mỗi dây dẫn 1 lực bằng $2 \cdot 10^{-7}$ N.

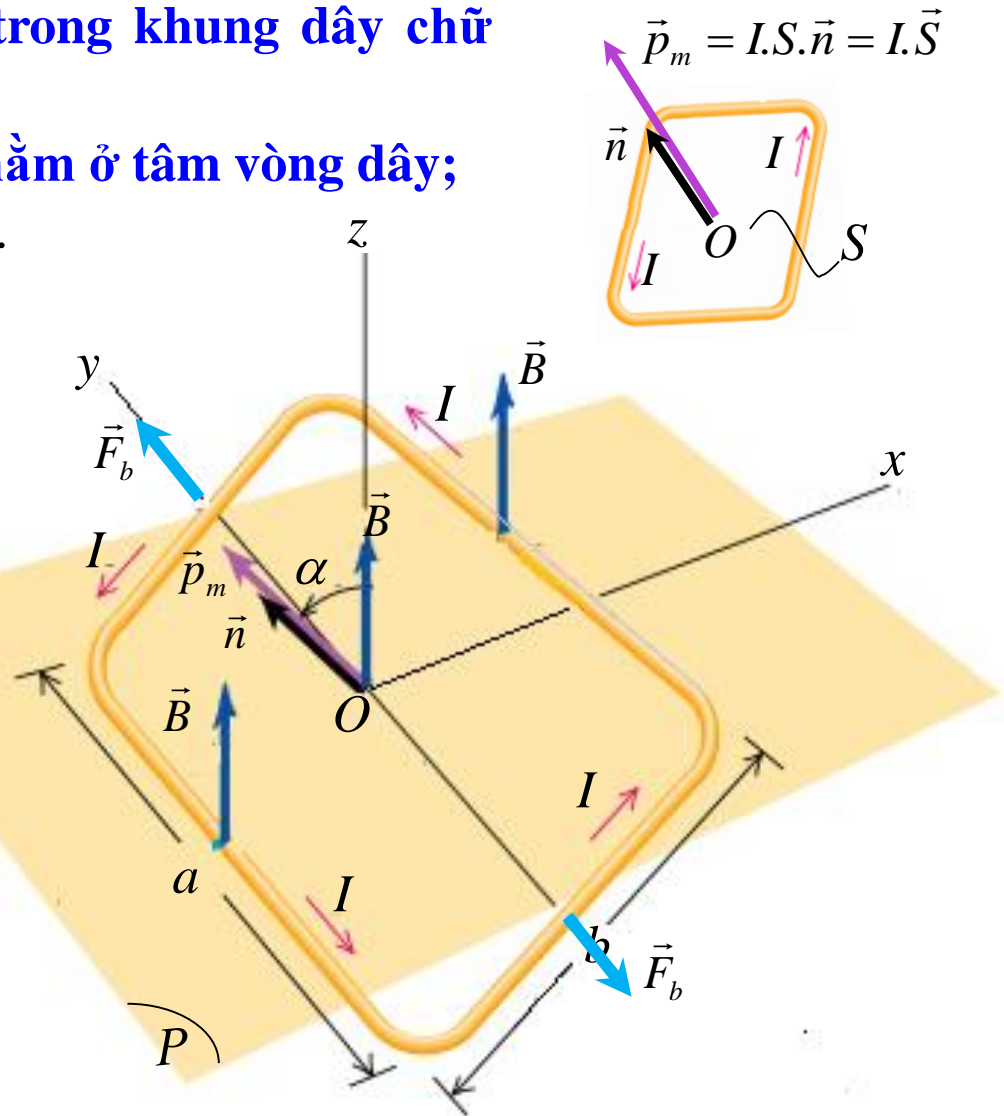
§6. Lực từ trường

3. Tác dụng của từ trường đều lên khung dây (mạch điện kín)

- ☞ Xét: {
- + Dòng điện I chạy trong khung dây chữ nhật (cạnh a và b);
 - + Hệ tọa độ $Oxyz$, O nằm ở tâm vòng dây;
 - + $\vec{B} = \text{const}$ và // trục z ;
 - + $\vec{B} \perp P$ và cạnh $a \in P$;
 - + $(\vec{B}, \vec{p}_m) = \alpha$

☞ Áp dụng qui tắc bàn tay trái

◆ Hai cạnh b : chịu tác dụng của cặp lực F_b ngược chiều nhau theo phương $y \Rightarrow$ kéo dãn khung \Rightarrow bị triệt tiêu bởi phản lực đàn hồi của khung.



§6. Lực từ trường

Tác dụng của từ trường đều lên khung dây (mạch điện kín)

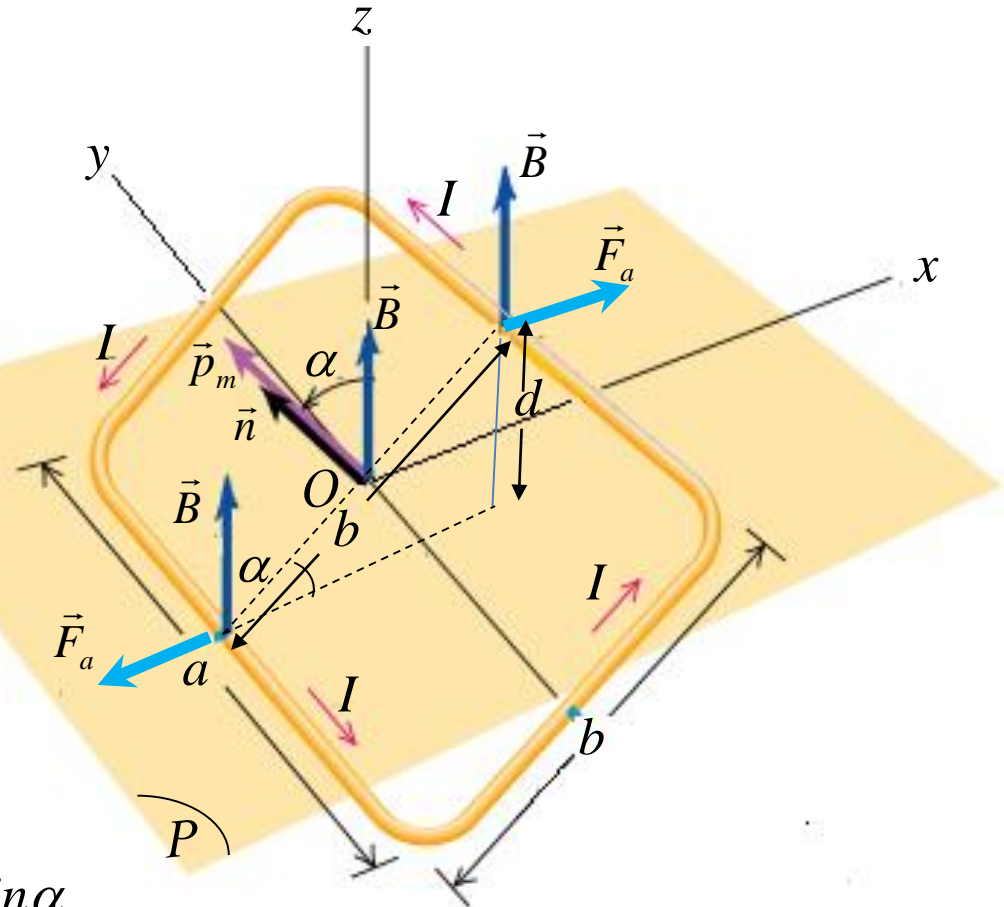
♦ Hai cạnh a : chịu tác dụng của cặp lực $F_a = I.a.B$ ngược chiều nhau theo phương $x \Rightarrow$ tạo ra ngẫu lực làm khung quay xung quanh trục y đến khi mf khung $\perp B$ ()

$$\vec{n} \equiv \vec{B}$$

☞ Moment ngẫu lực: $\vec{M} = \vec{F}_a \times \vec{d}$

$$\begin{aligned} M &= F_a \cdot d = F_a \cdot b \cdot \sin \alpha = \\ &= I \cdot a \cdot B \cdot b \cdot \sin \alpha = \\ &= I \cdot a \cdot b \cdot B \cdot \sin \alpha = \\ &= I \cdot S \cdot B \cdot \sin \alpha = P_m \cdot B \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

♦ $\vec{M} = \vec{p}_m \wedge \vec{B}$



§ 6. Lực từ trường

3. Tác dụng của từ trường đều lên khung dây (mạch điện kín)

☞ Công vi phân ngẫu lực thực hiện để khung quay từng góc nhỏ $d\alpha$:

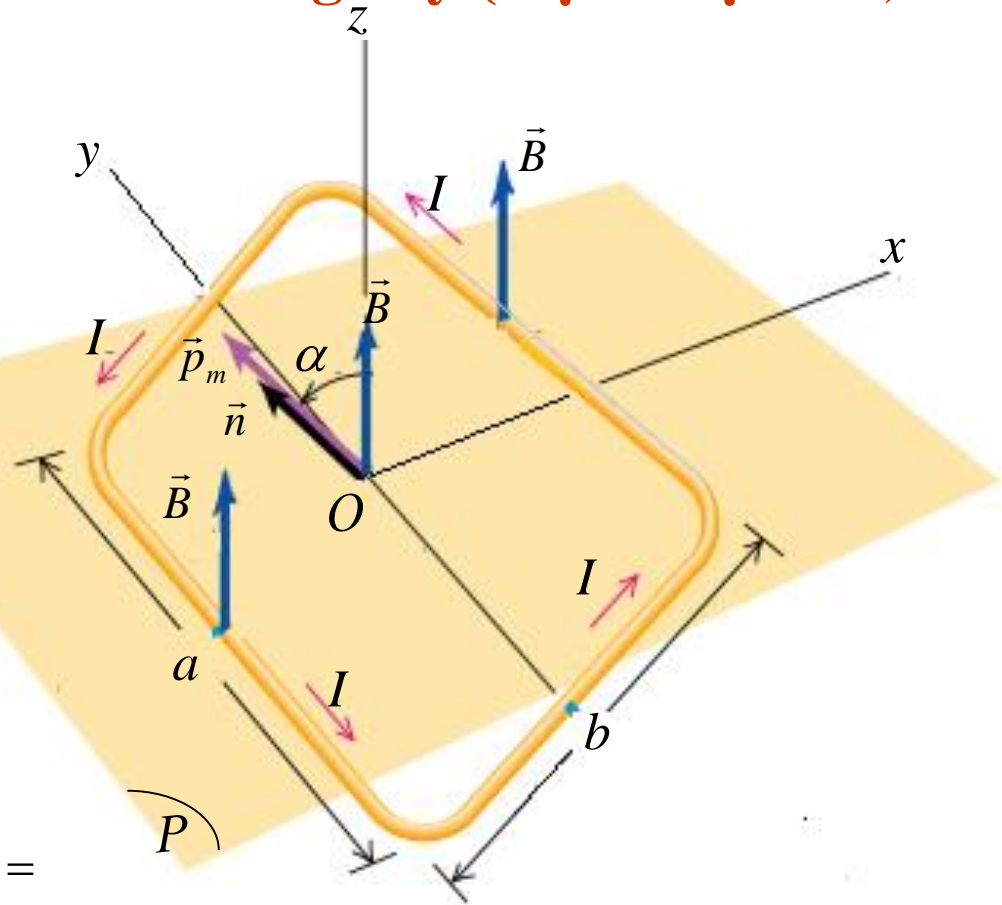
$$dA = -M.d\alpha = -p_m.B.\sin\alpha.d\alpha$$

/dấu (-) vì hướng quay của khung ngược chiều góc α /

☞ Công ngẫu lực thực hiện quay khung từ vị trí \vec{p}_m nghiêng 1 góc α so với \vec{B} đến khi $\vec{p}_m \equiv \vec{B}$

$$\begin{aligned} A &= \int_{\alpha}^0 -p_m.B.\sin\alpha.d\alpha = \\ &= (-p_m.B.\cos\alpha) - (-p_m.B.\cos 0) = \\ &= W_m(\alpha) - W_m(0) \end{aligned}$$

☞ Thế năng khung dây: $W_m(\alpha) = -p_m.B.\cos\alpha$ hay: $W_m(\alpha) = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$



§ 6. Lực từ trường

4. Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

☞ Hạt tích điện q chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B}

◆ CD của $q \Leftrightarrow$ hình thành phần tử dòng $Id\vec{l}$

◆ vì: $I = J.S = n_0.q.v.S \Rightarrow Idl = n_0.S.dl.q.v = dn.q.v$

(trong đó, $dn = n_0.dV$ là số điện tích có trong một đơn vị thể tích $dV = S.dl$ của phần tử dòng Idl)

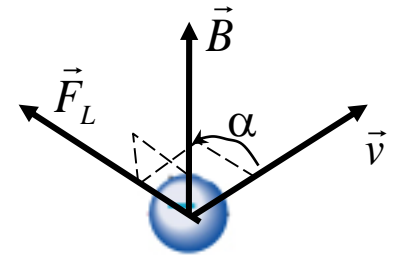
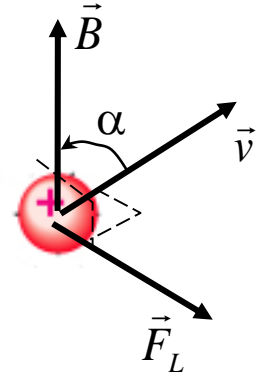
☞ Trong từ trường \vec{B} , phần tử dòng Idl (có dn điện tích) chịu tác dụng của lực Ampere:

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \wedge \vec{B} \quad \text{hay: } dF = Idl.B.\sin\alpha$$

◆ Từ lực tác dụng lên số dn điện tích: $dF = dn.q.v.B.\sin\alpha$

☞ Từ lực tác dụng lên một điện tích q : $\frac{dF}{dn} = F_L = q.v.B.\sin\alpha$ (*Lực Lorentz*)

◆ Biểu thức vector: $\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_L \perp \vec{v}, \vec{B}$



§ 6. Lực từ trường

4. Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

☞ Xét $q > 0$ chuyển động với vận tốc \vec{v} vào trong từ trường đều \vec{B} :

◆ q chịu tác dụng của lực Lorentz F_L

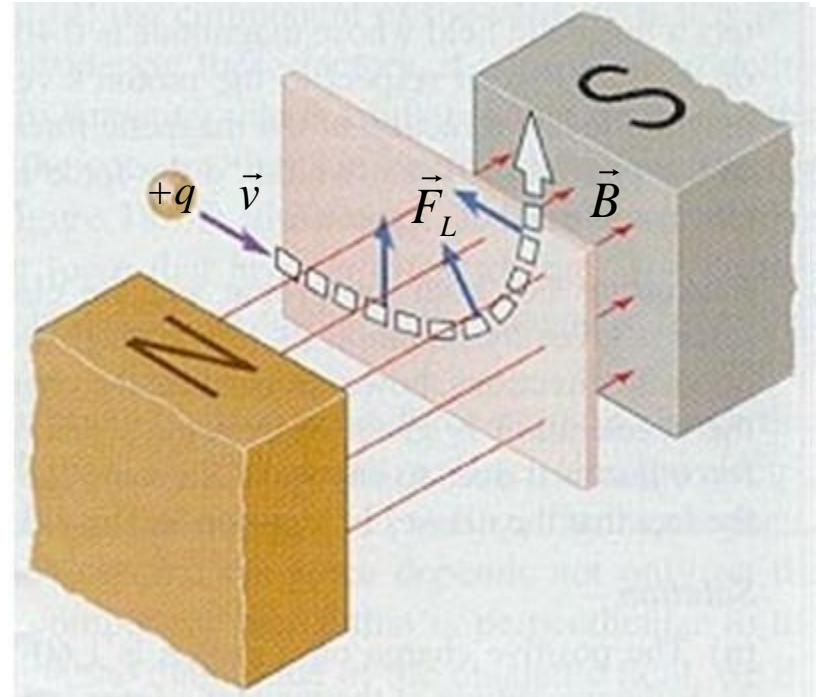
◆ F_L không sinh công khi q CĐ do

$$\vec{F}_L \perp \vec{v}$$

◆ Động năng của q , $W_d = \text{const}$ trong quá trình CĐ $\Rightarrow \vec{v}$ không thay đổi độ lớn \Rightarrow chỉ thay đổi hướng.

☞ q CĐ theo quỹ đạo cong $\Rightarrow F_L$ đóng vai trò là lực hướng tâm, tức là:

$$F_L = q.v.B.\sin\alpha = \frac{mv^2}{R}$$



§ 6. Lực từ trường

4. Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

☞ Trường hợp, $\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow q.v.B = \frac{mv^2}{R}$

◆ q CĐ theo quỹ đạo tròn:

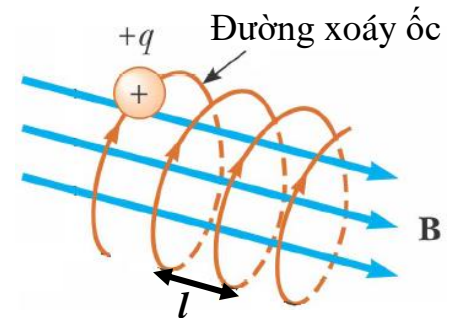
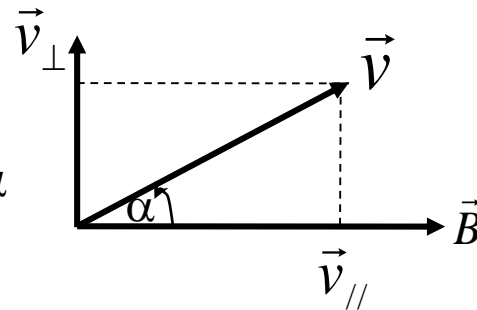
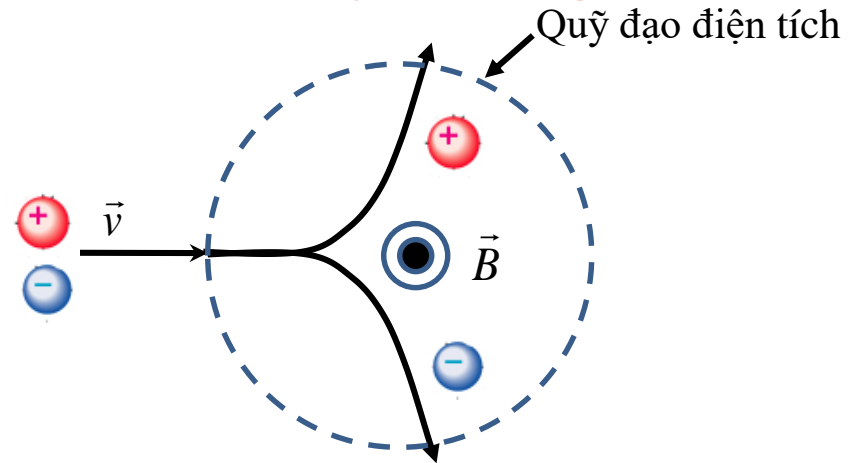
+ Bán kính: $R = \frac{mv}{qB}$

+ Chu kỳ: $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$

+ Tần số: $\omega = \frac{qB}{m}$

☞ Trường hợp tổng quát, $(\vec{v}, \vec{B}) = \alpha$

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{//}$$



◆ v_{\perp} làm điện tích CĐ theo quỹ đạo tròn có bán kính: $R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$

◆ $v_{//}$ làm điện tích CĐ theo phương \vec{B} có bước lặp quỹ đạo tròn: $l = v_{//}T$

☞ q CĐ theo quỹ đạo hình xoắn ốc.

§ 7. Công của từ lực

☞ Xét:

- + Thanh kim loại (CD) độ dài L trượt trên hai dây dẫn song song có dòng điện I
- + $\vec{B} \perp$ mặt phẳng của 2 dây dẫn

◆ Thanh chịu tác dụng của lực Amper

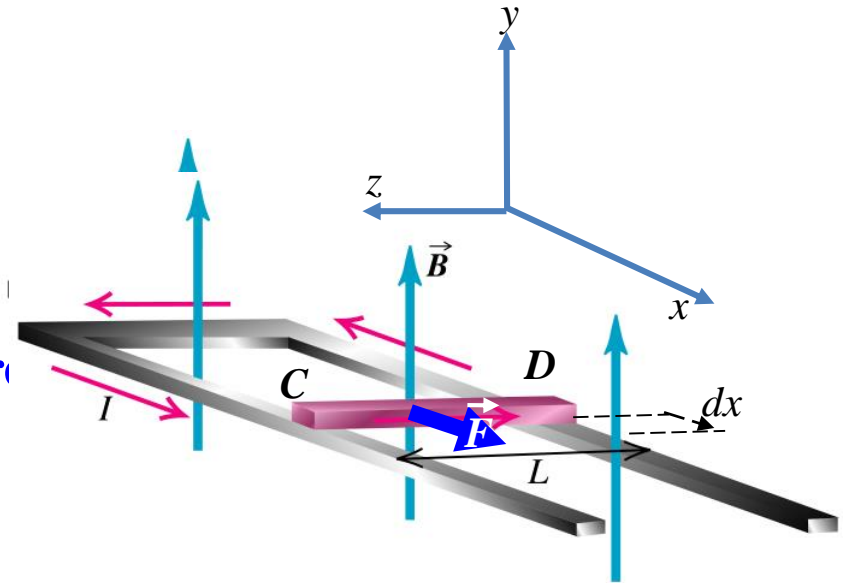
$$F = I.L.B$$

◆ F thực hiện công dA để thanh kim loại dịch chuyển 1 đoạn dx :

$$dA = F.dx = I.L.B.dx$$

- + $dS = L.dx$: diện tích quét bởi CD khi di chuyển
- + $d\Phi_m = B.dS$

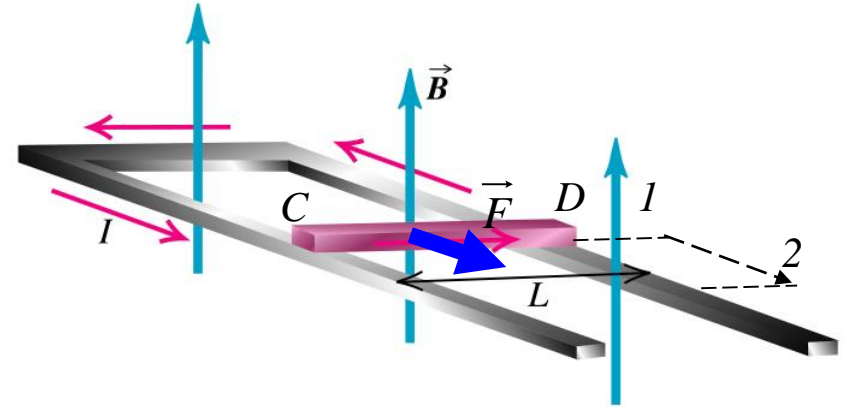
$$dA = I.d\Phi_m$$



§ 7. Công của từ lực

☞ Xét đoạn *di* chuyển từ 1 đến 2, có:

$$\begin{aligned} A &= \int_1^2 dA = \int_1^2 I \cdot d\Phi_m = I \int_1^2 d\Phi_m = \\ &= I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1}) = I \cdot \Delta\Phi_m \end{aligned}$$



♦ Thỏa mãn cho mọi mạch điện bất kỳ

♦ *Công của từ lực khi dịch chuyển một mạch điện bất kỳ trong từ trường bằng tích giữa cường độ dòng điện trong mạch và độ biến thiên của từ thông qua diện tích của mạch đó*

☞ Đơn vị: Joule (J)