

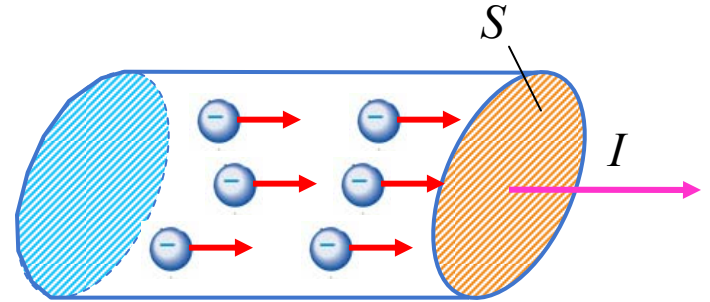
CHƯƠNG 4 - TỪ TRƯỜNG

1. Các đặc trưng của dòng điện
2. Từ trường
3. Từ thông
4. Lưu số vector cường độ từ trường
5. Lực từ trường
6. Công của từ lực

1. Các đặc trưng của dòng điện

Cường độ dòng điện

☞ Dòng điện: dòng chuyển dời có hướng của các điện tích (electron - điện tử tự do trong vật dẫn, các i-ôn trong dung dịch điện phân, cả electron và i-ôn trong khối plasma).



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

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

☞ 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: $q = \int_0^t dq = \int_0^t I dt$

1. Các đặc trưng của dòng điện

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.*

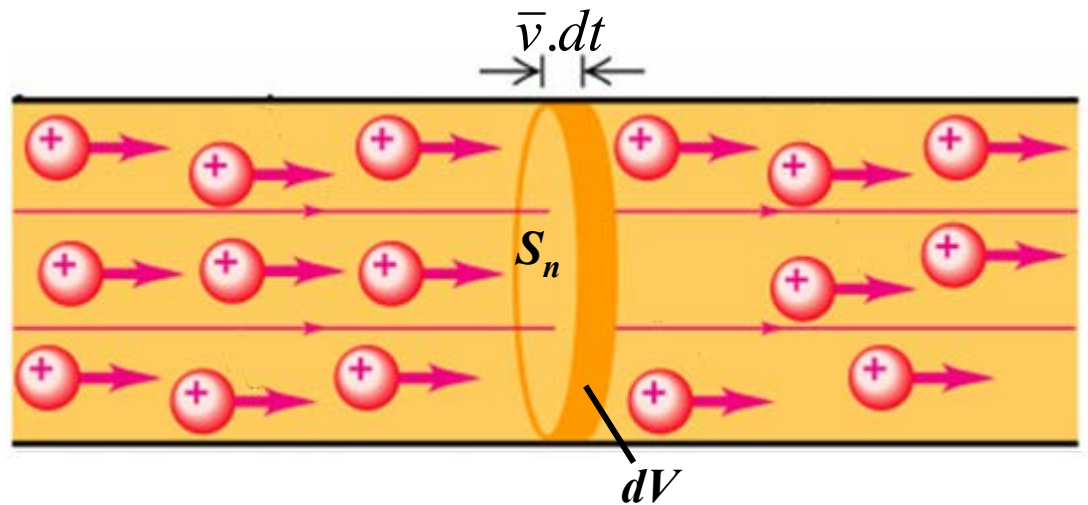
Mật độ dòng điện

☞ Xét các điện tích $+q$, CĐ với vận tốc \bar{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:

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

↪ Theo đ/n cường độ dòng điện có:

$$I = \frac{qdn}{dt} = q \cdot n_0 \cdot \bar{v} \cdot S_n$$


1. Các đặc trưng của dòng điện

Mật độ dòng điện

↪ có: $J = \frac{I}{S_n} = n_0 \cdot q \cdot \bar{v}$ (*Mật độ dòng điện*: Dòng điện đi qua một đơn vị tiết diện)

Vector mật độ dòng điện

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

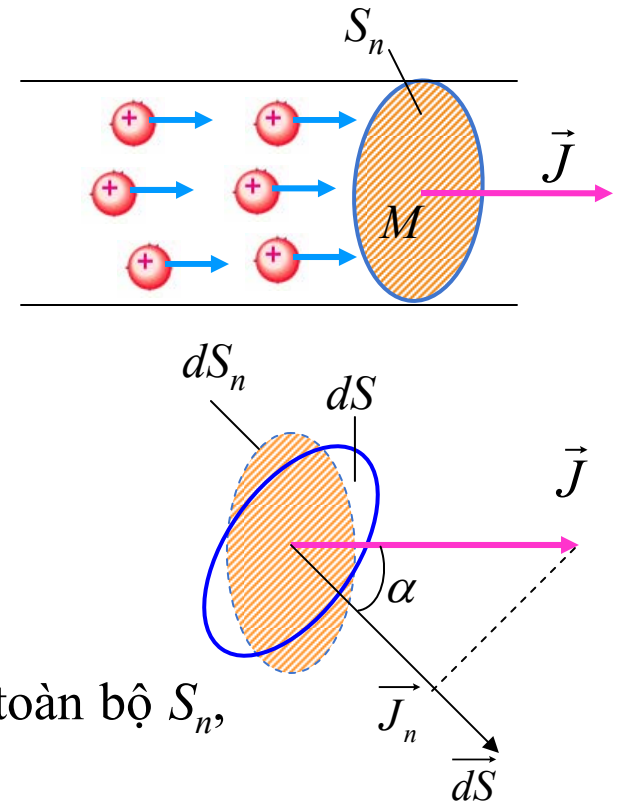
☞ Phương: theo hướng chuyển động của các điện tích (+)

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



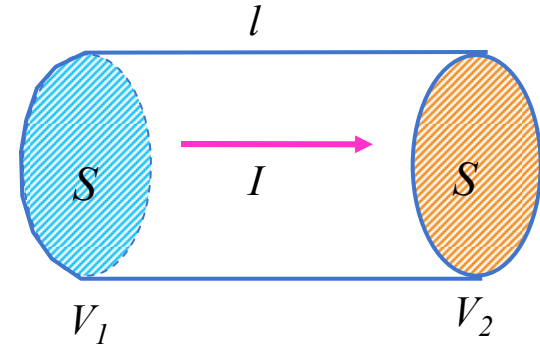
1. Các đặc trưng của dòng điện

Định luật Ohm (Georg Ohm)

☞ Dạng thông thường:

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

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



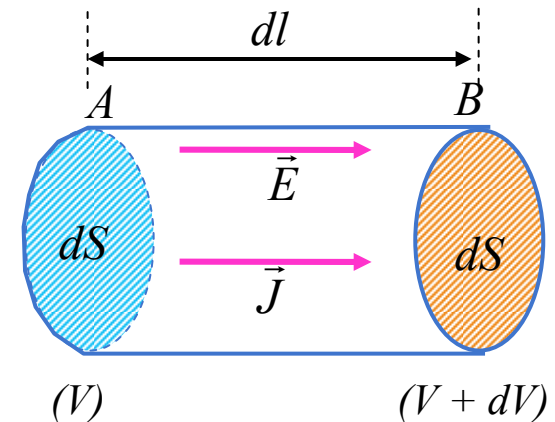
☞ Dạng vi phân: Xét đoạn dây dẫn độ dài dl , tiết diện dS , điện trở R , có điện thế tại 2 đầu là V và $V + dV$.

☞ 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

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.

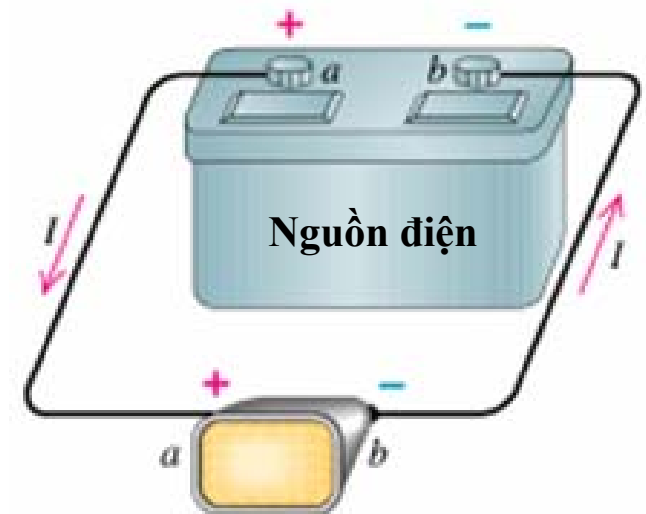
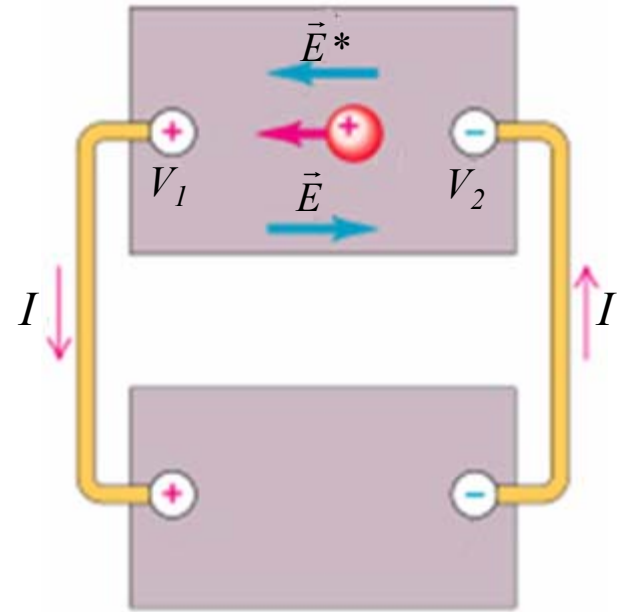
☞ Năng lượng tạo ra nguồn điện:

☞ 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 mỏ, khí đốt



1. Các đặc trưng của dòng điện

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.

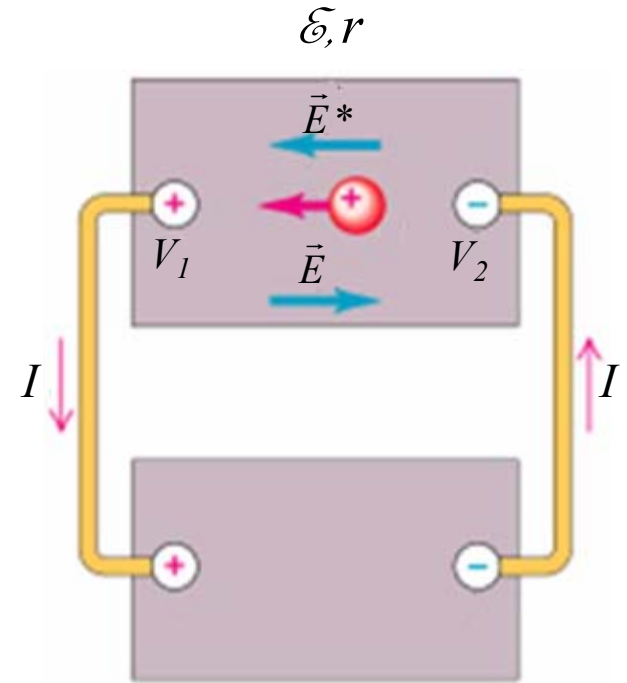
$$\mathcal{E} = \frac{dA}{dq} \text{ hay } \mathcal{E} = \frac{A}{q}$$

☞ 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

$$U = \mathcal{E} - I.r$$



1. Các đặc trưng của dòng điện

Sức điện động (electromotive force - emf)

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

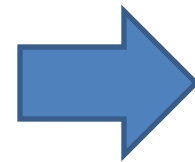
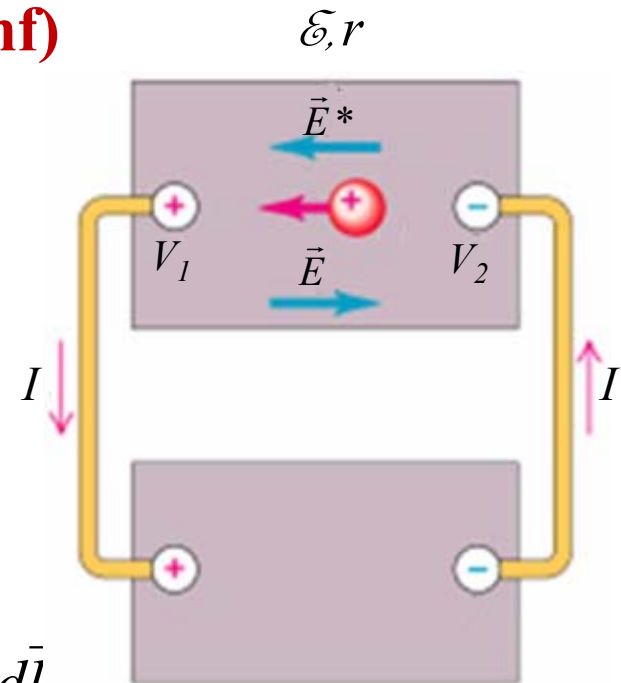
☞ Công điện trường tổng hợp thực hiện để di chuyển điện tích trong mạch:

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

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

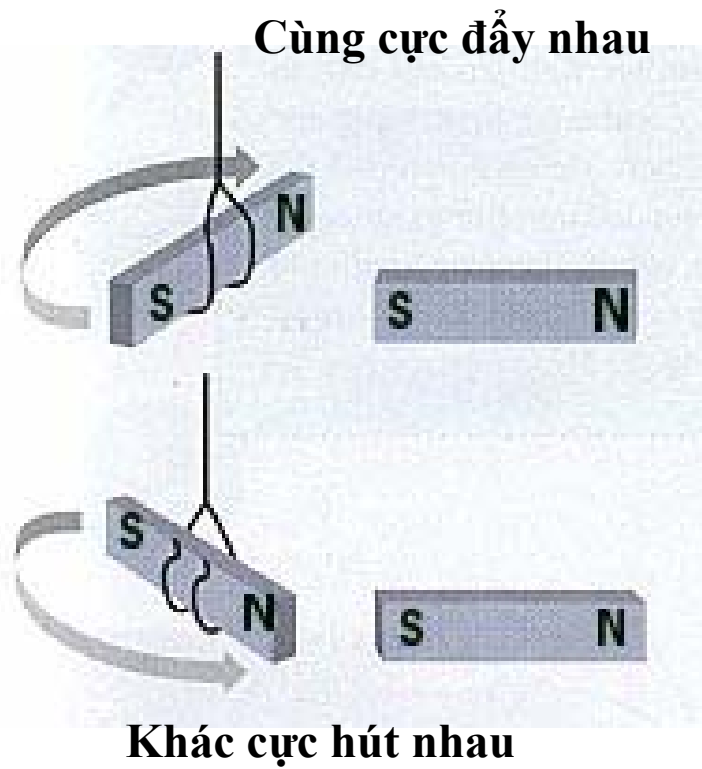
$$\text{Do: } \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = 0$$

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



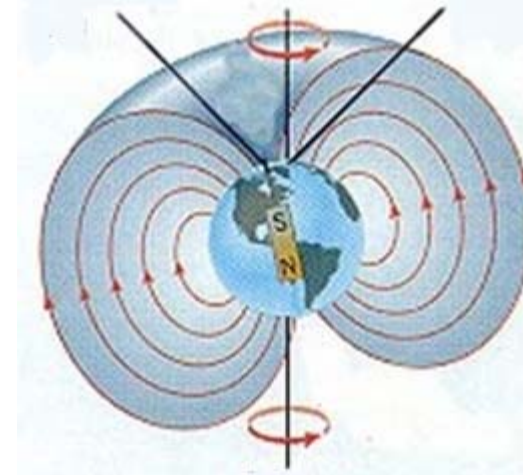
2. Từ trường

Hiện tượng tự nhiên



Cực từ Nam

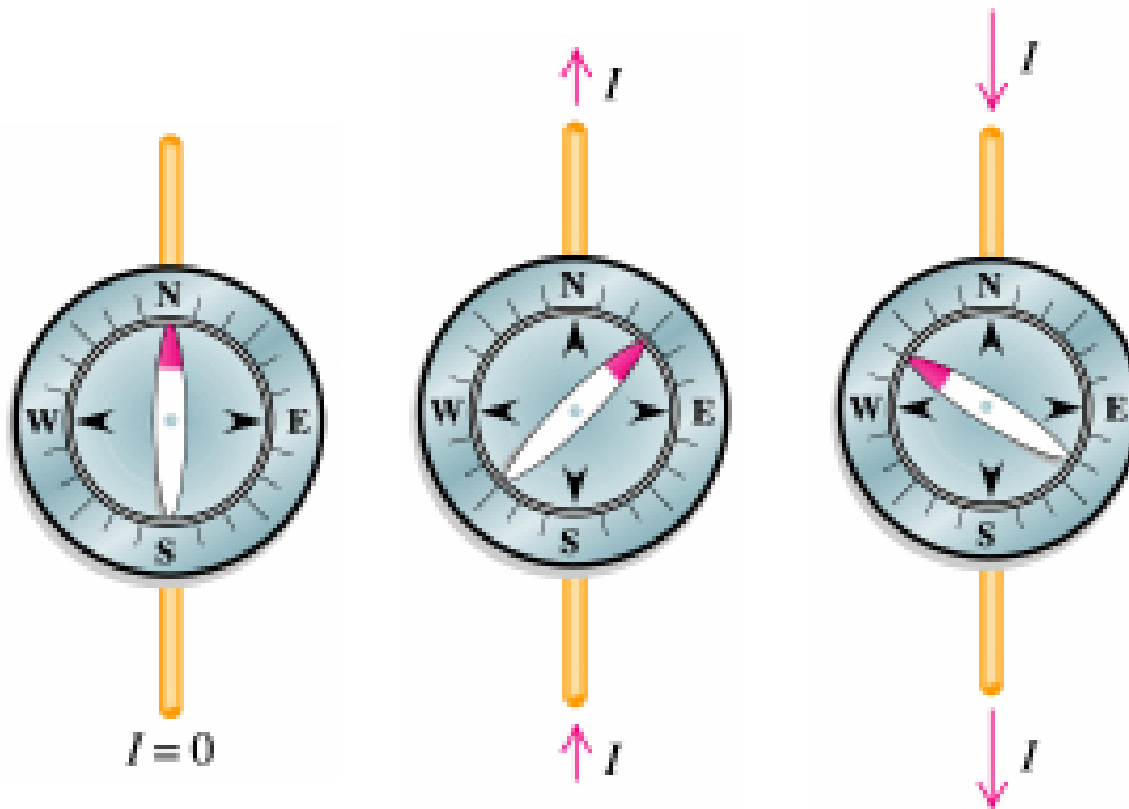
Cực địa lý Bắc



2. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

Dòng điện với kim la bàn

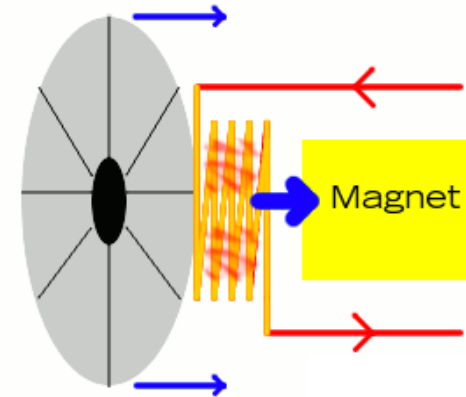


Hans Christian Oersted

2. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

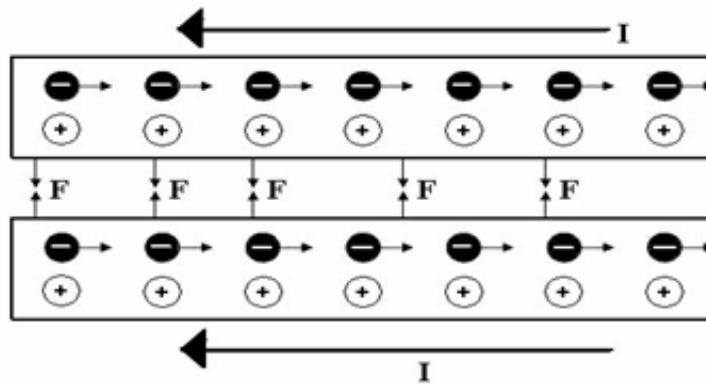
Nam châm voi dòng điện



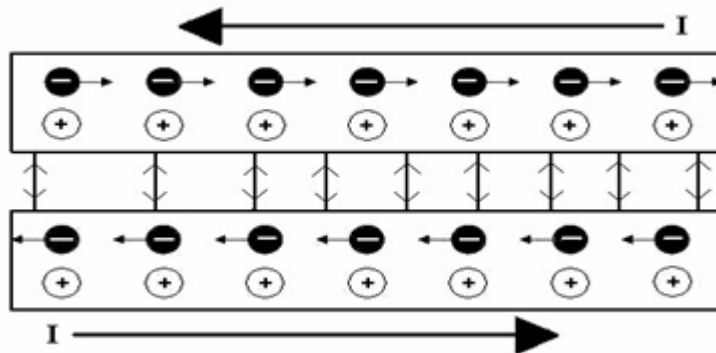
2. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

Hai dòng điện cùng chiều



Hai dòng điện ngược chiều



Andre Marie Ampere

2. Từ trường

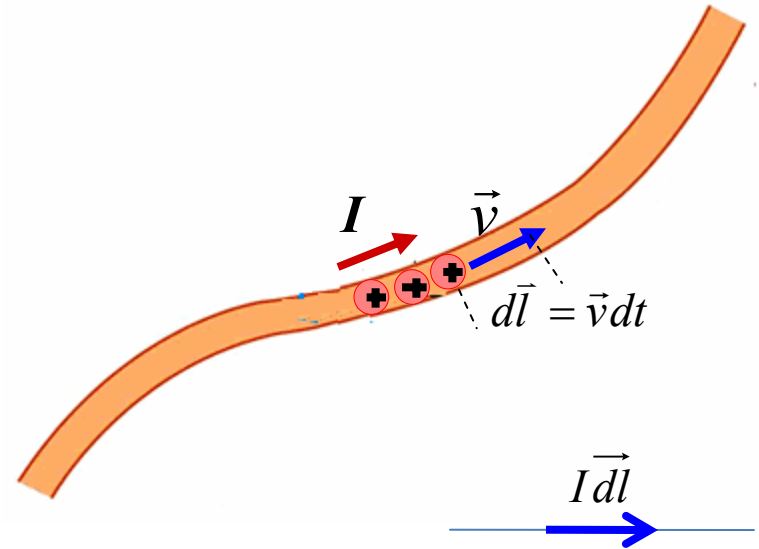
Tương tác của các dòng điện

Phân tử dòng điện cơ sở

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

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

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



Định luật Ampere

☞ Hai điện tích đứng yên cách nhau khoảng $r \Rightarrow$ tương tác tĩnh điện (Coulomb)
~ 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 ~ điện tích + vận tốc (hay $I dl$) và khoảng cách?

2. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

Định luật Ampere

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

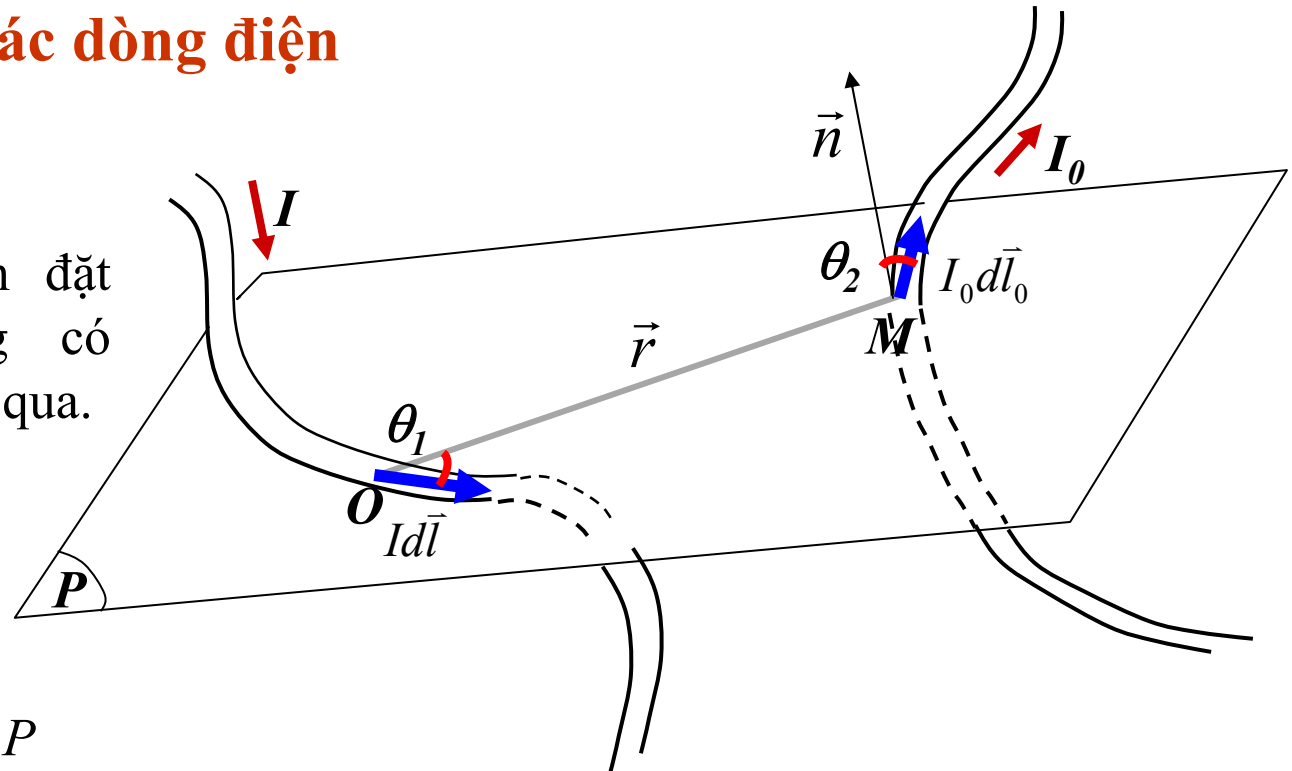
☞ Xét 2 phần tử dòng điện $Id\vec{l}$ và $I_0 d\vec{l}_0$ trên mỗi dây.

☞ $Id\vec{l} \in$ 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

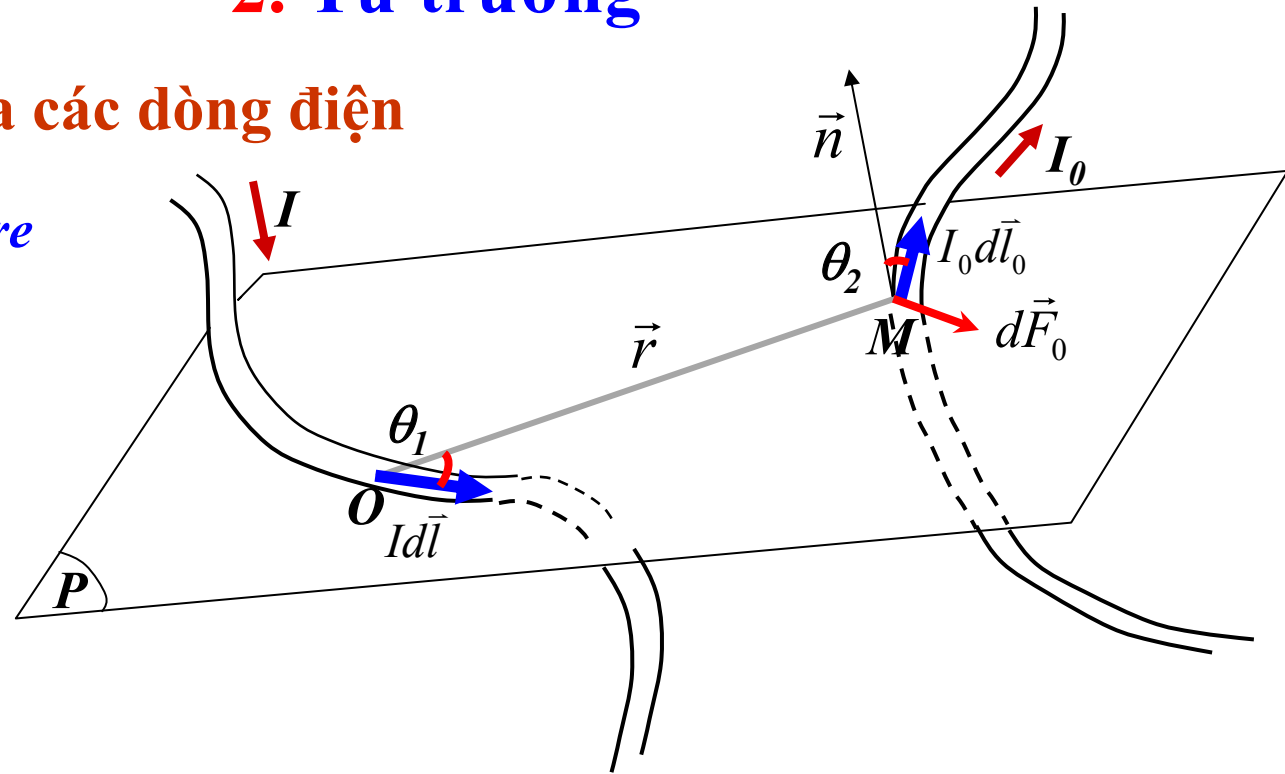
☞ θ_1 : góc giữa $Id\vec{l}$ và \vec{r} , θ_2 : góc giữa $I_0 d\vec{l}_0$ và \vec{n}



2. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

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 $I_0 d\vec{l}_0$ và pháp tuyến \vec{n}
- + Chiều: hợp với $I_0 d\vec{l}_0$ và \vec{n} (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. Từ trường

Tương tác của các dòng điện

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 Ampe: $d\vec{F}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$

☞ 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 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Không khí: } \mu = (1 + 0,03 \times 10^{-6}) \text{ H/m} \\ \text{Nước: } \mu = (1 - 0,72 \times 10^{-6}) \text{ H/m} \end{array} \right.$

2. Từ trường

Khái niệm từ trường

☞ Thuyết tác dụng xa:

- + Tương tác giữa các dòng điện được truyền đi tức thời ($v \sim \infty$),
- + Tương tác được 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 từ điểm này đến điểm khác trong không gian,
- + Tương tác được thực hiện thông qua 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 bị biến đổi \Rightarrow tạo ra trường xung quanh, giữ vai trò truyền tương tác.

☞ **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.

2. Từ trường

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:

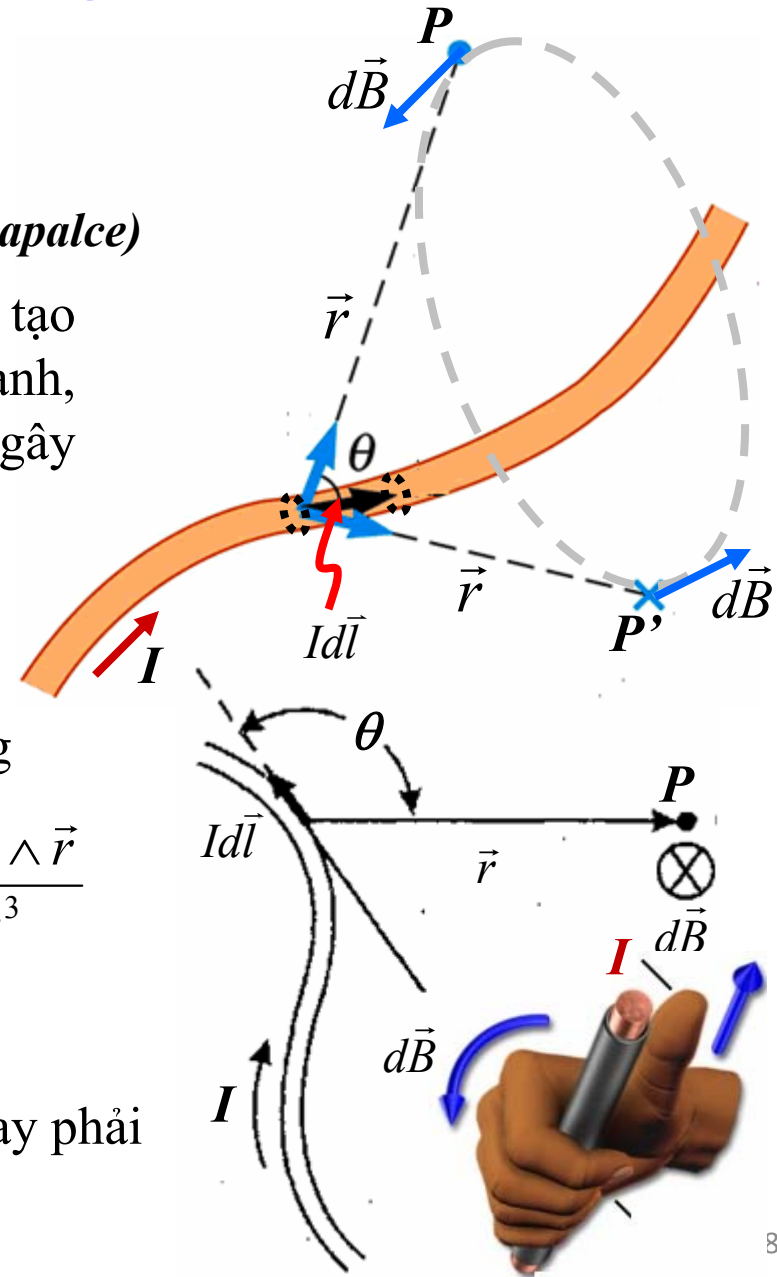
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

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

$$d\vec{B} = \frac{d\vec{F}}{I_0 d\vec{l}_0} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

- + Góc: tại điểm P ,
- + Phương: $\perp \angle(\vec{r}, Id\vec{l})$
- + Chiều: xác định bằng qui tắc bàn tay phải

☞ Đơn vị : Testla [T]



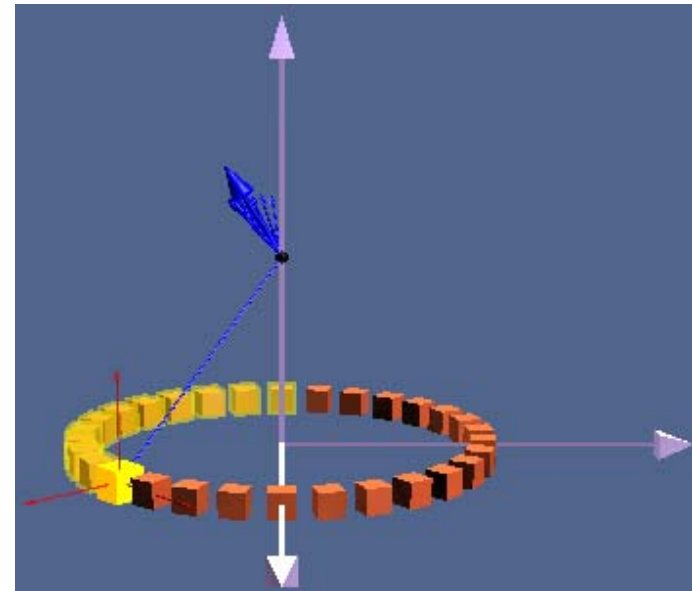
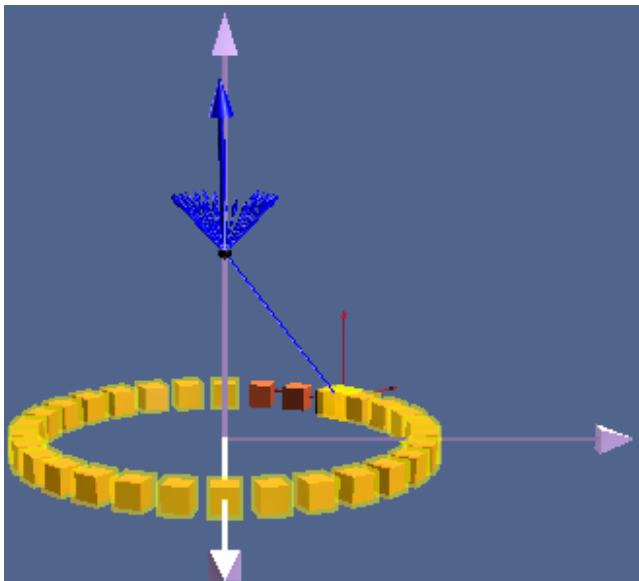
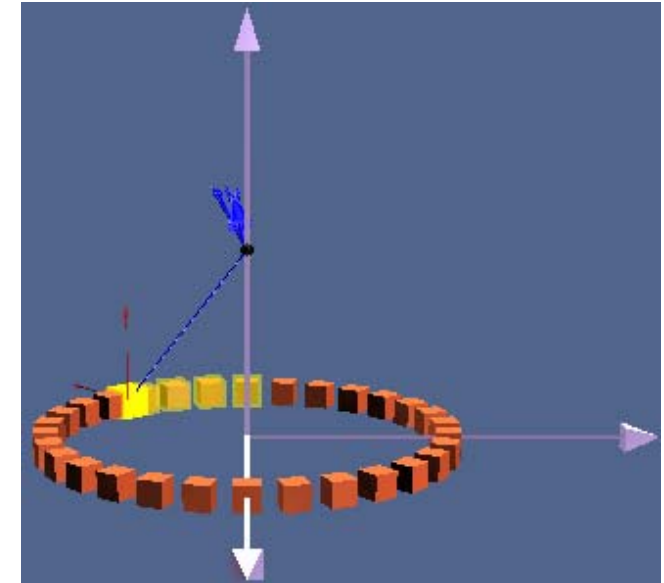
2. Từ trường

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.

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



2. Từ trường

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.

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

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]

2. Từ trường

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:

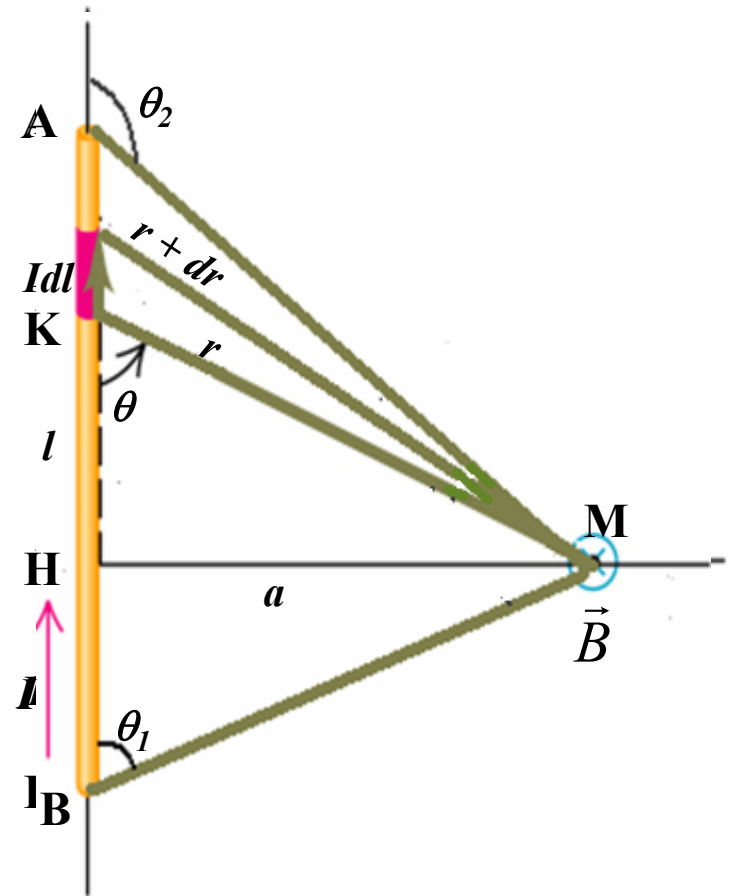
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

☞ 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:

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



2. Từ trường

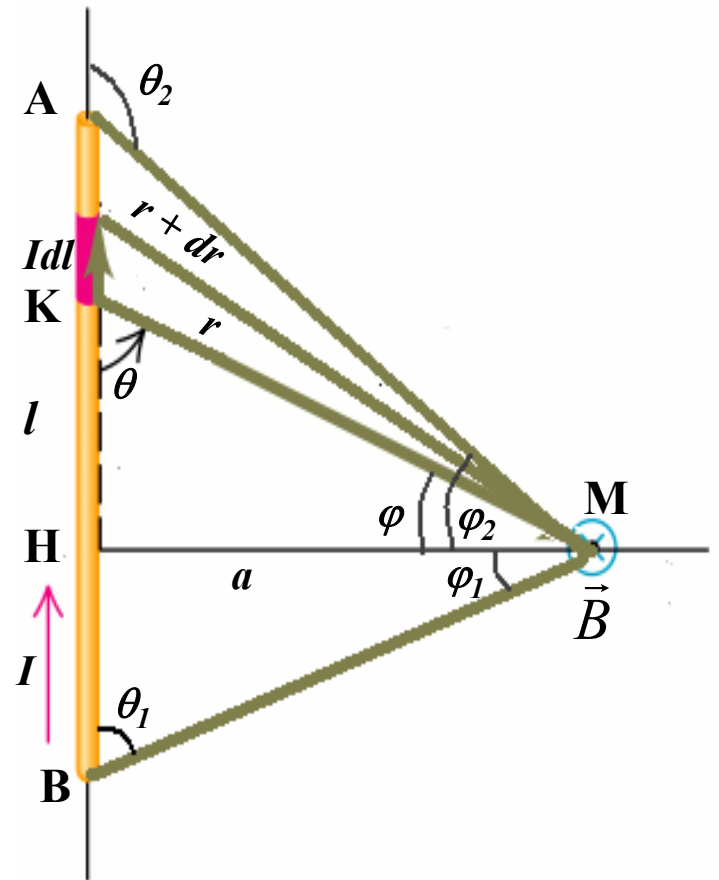
Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

→ Theo hình vẽ:

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

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

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



2. Từ trường

Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

☞ Cường độ từ trường

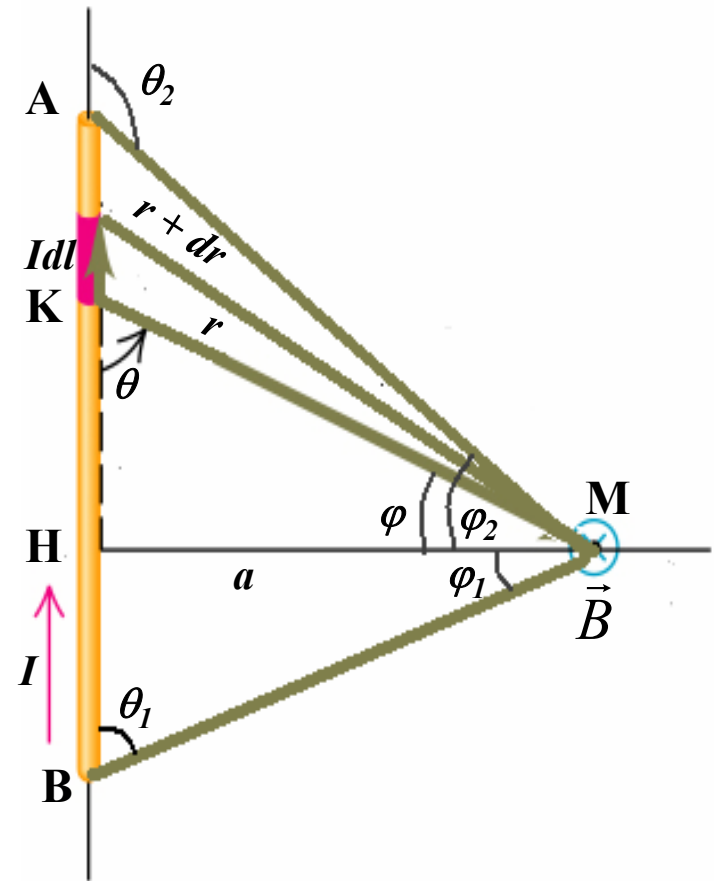
$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} = \frac{I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

☞ 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.



2. Từ trường

Từ trường gây bởi dòng điện tròn

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

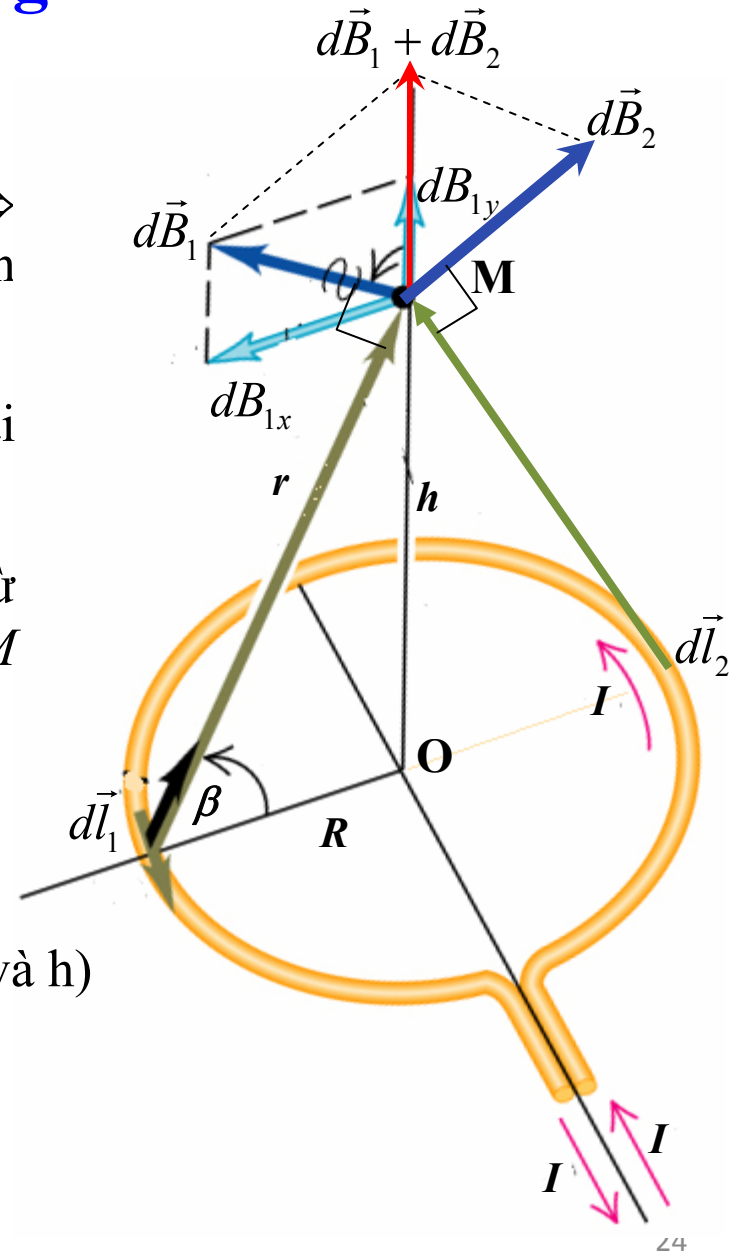
☞ Coi dây điện tròn là do các phần tử độ dài dl tạo thành

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

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

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

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



2. Từ trường

Từ trường gây bởi dòng điện tròn

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

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

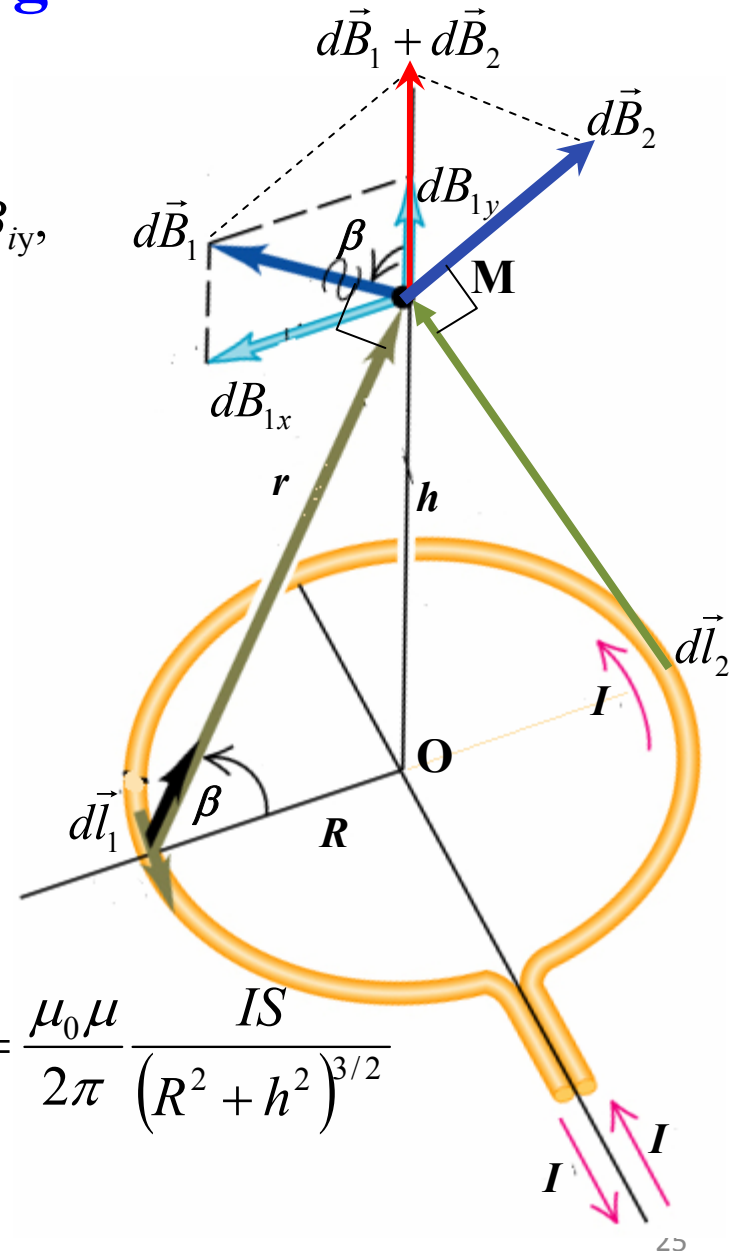
👉 Áp dụng nguyên lý chồng chất \Rightarrow tổng các thành phần $dB_{ix} = 0$ do tính đối xứng, chỉ còn lại tổng các thành phần dB_y .

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

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

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

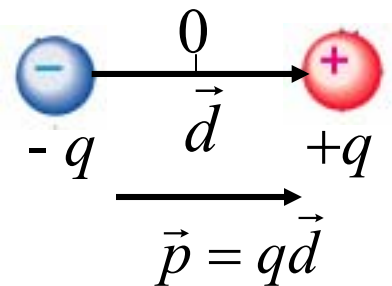
[trong đó: $S = \pi R^2$ và $r = (R^2 + h^2)^{1/2}$]



2. Từ trường

Moment từ (Magnetic moment)

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



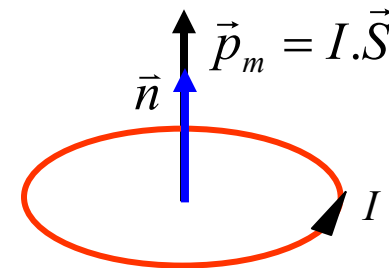
☞ Cảm ứng từ B do cả dòng điện tròn gây ra tại 1 điểm nằm trên đường trung trục mf dây:

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

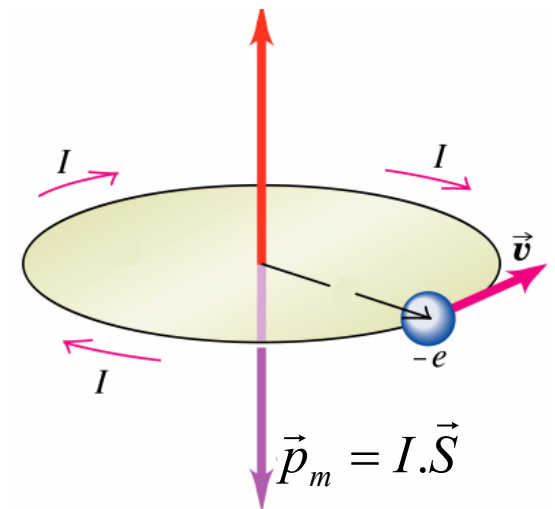
☞ Cảm ứng từ B của moment từ tại tâm của diện tích tròn (bao quanh bởi dòng điện tích) bán kính R :

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

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



S : diện tích mặt kín



2. Từ trường

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 :

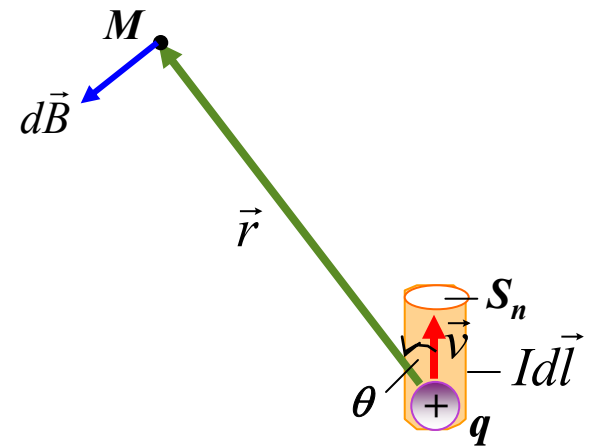
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

☞ 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 :

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



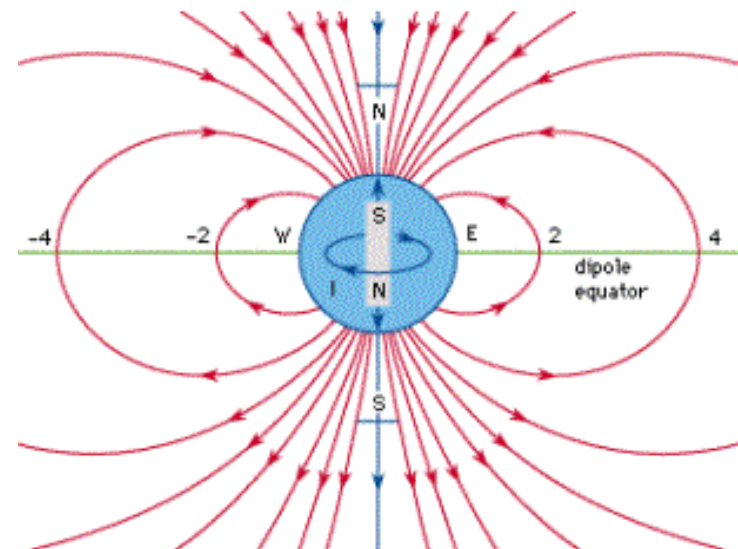
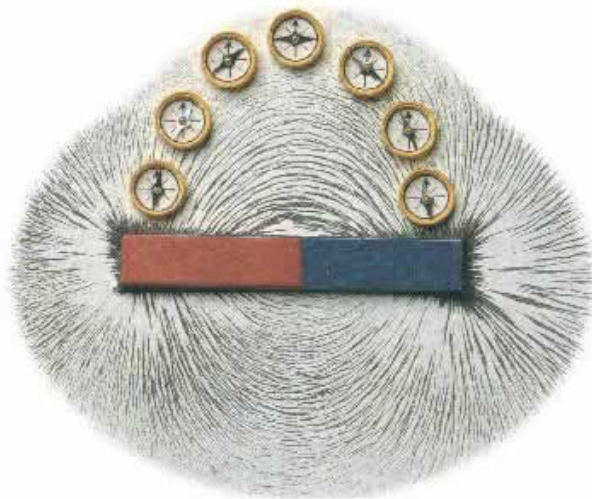
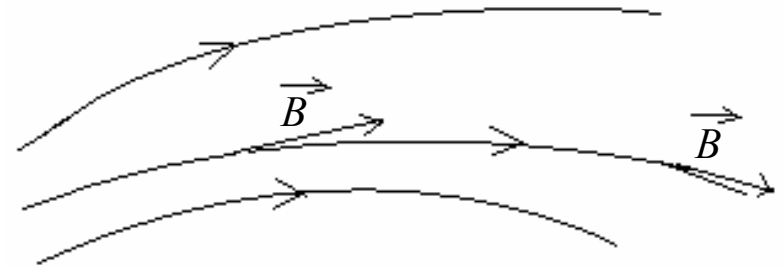
2. Từ trường

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.

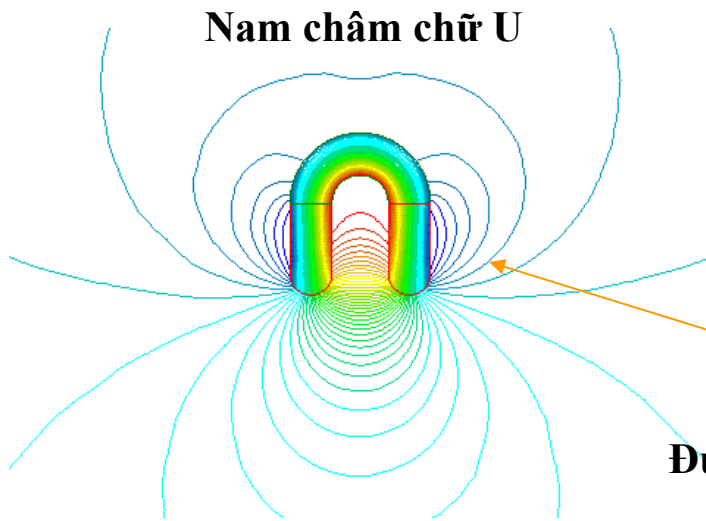
Từ phổ: tập hợp các đường sức từ trường



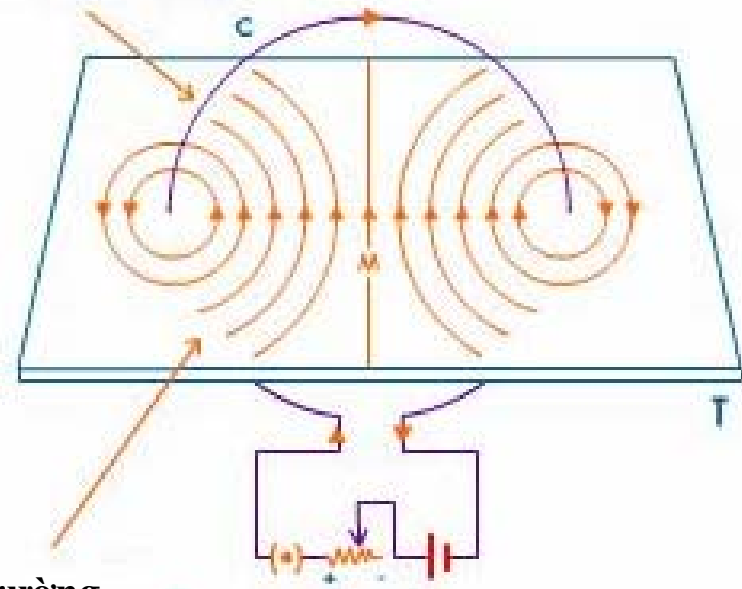
2. Từ trường

Đường sức từ trường

Từ phổ

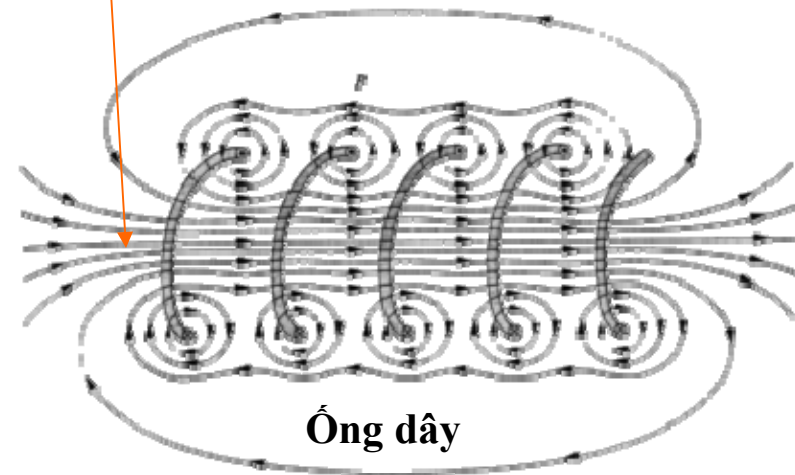
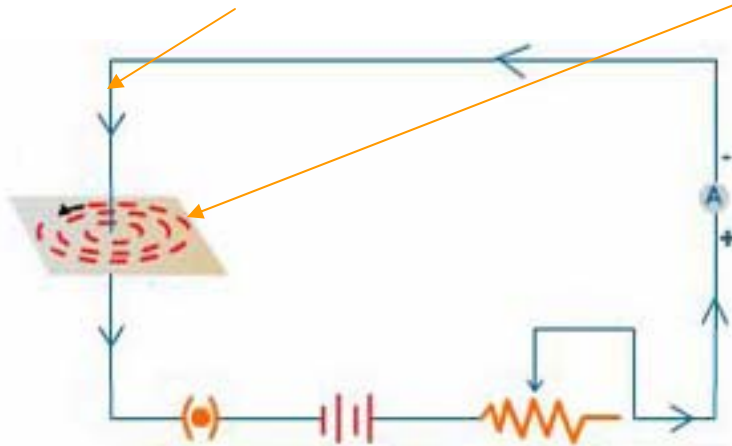


Dòng điện tròn



Đường sức từ trường

Dòng điện thẳng



Ống dây

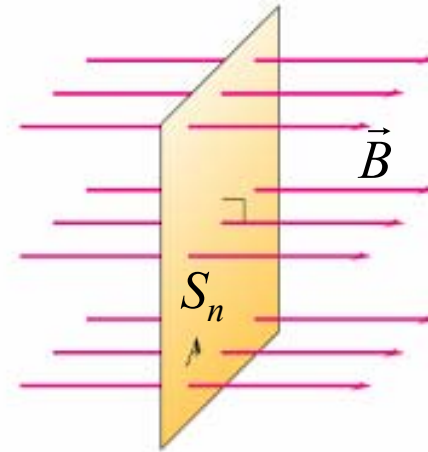
3. Từ thông

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.

$$\Phi = B \cdot S_n$$



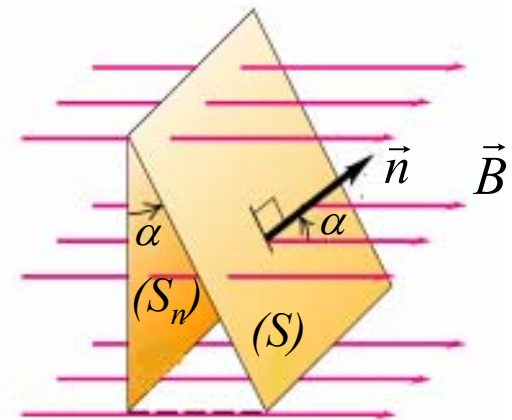
Thông lượng đi qua tiết diện bất kỳ

☞ Tiết diện (S) tạo với S_n góc α

$$\text{Có: } S_n = S \cdot \cos \alpha$$

☞ $\Phi = B \cdot S_n = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B_n \cdot S = \vec{B} \cdot \vec{S}$

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



3. Từ thông

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 :

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

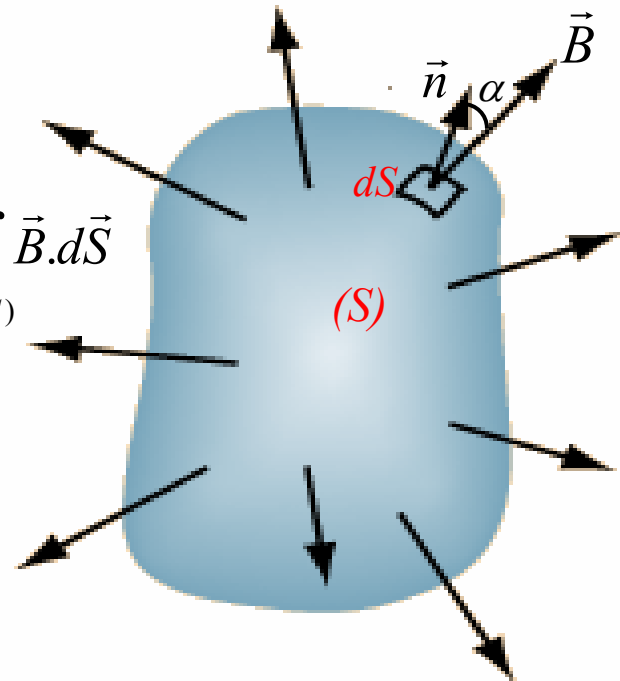
☞ Từ thông gửi qua S : $\Phi = \int_{(S)} d\Phi = \int_{(S)} B_n dS = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$

☞ Nếu mặt S phẳng, nằm trong từ trường đều ($B_n = B = \text{const}$) 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.

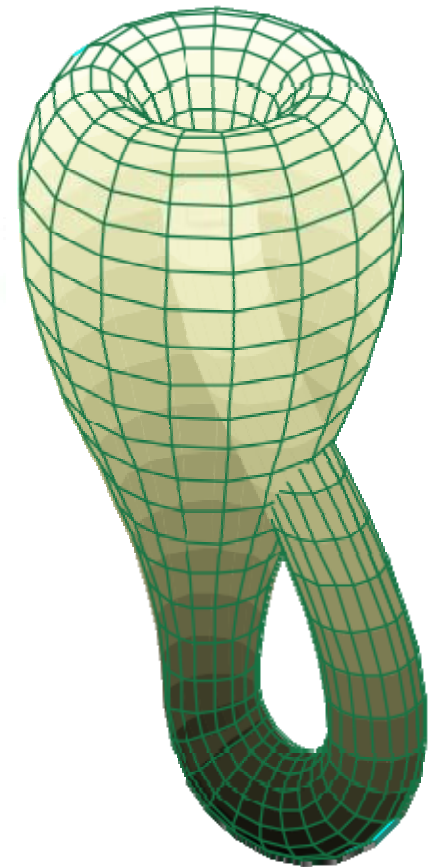
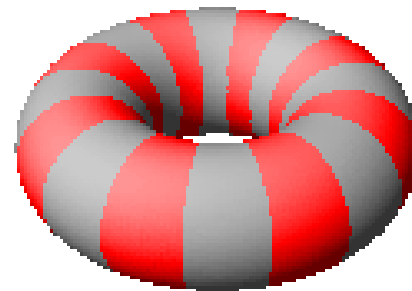
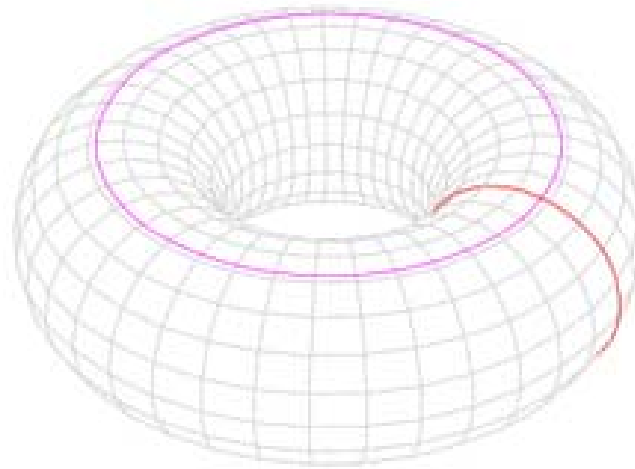
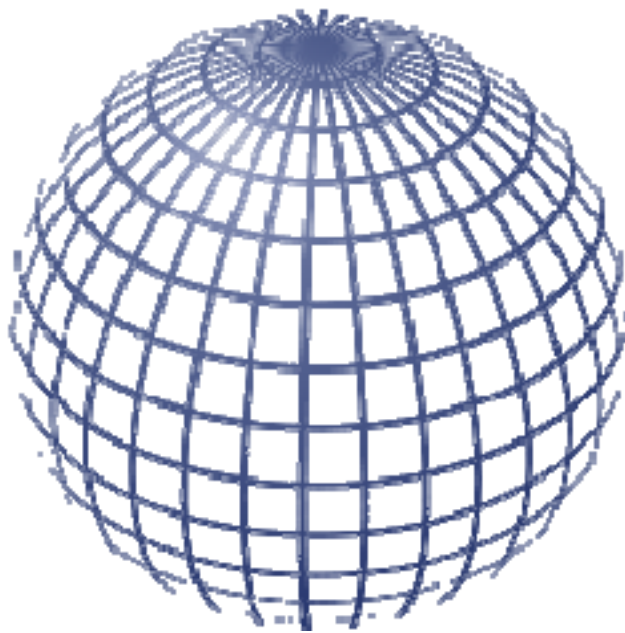
Đơn vị từ thông: *Webe (Wb)* $\Rightarrow 1 T = 1 Wb/m^2$



3. Từ thông

Thông lượng vector cảm ứng từ - Từ thông

Mặt cong kín



3. Từ thông

Định lý Gauss 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.

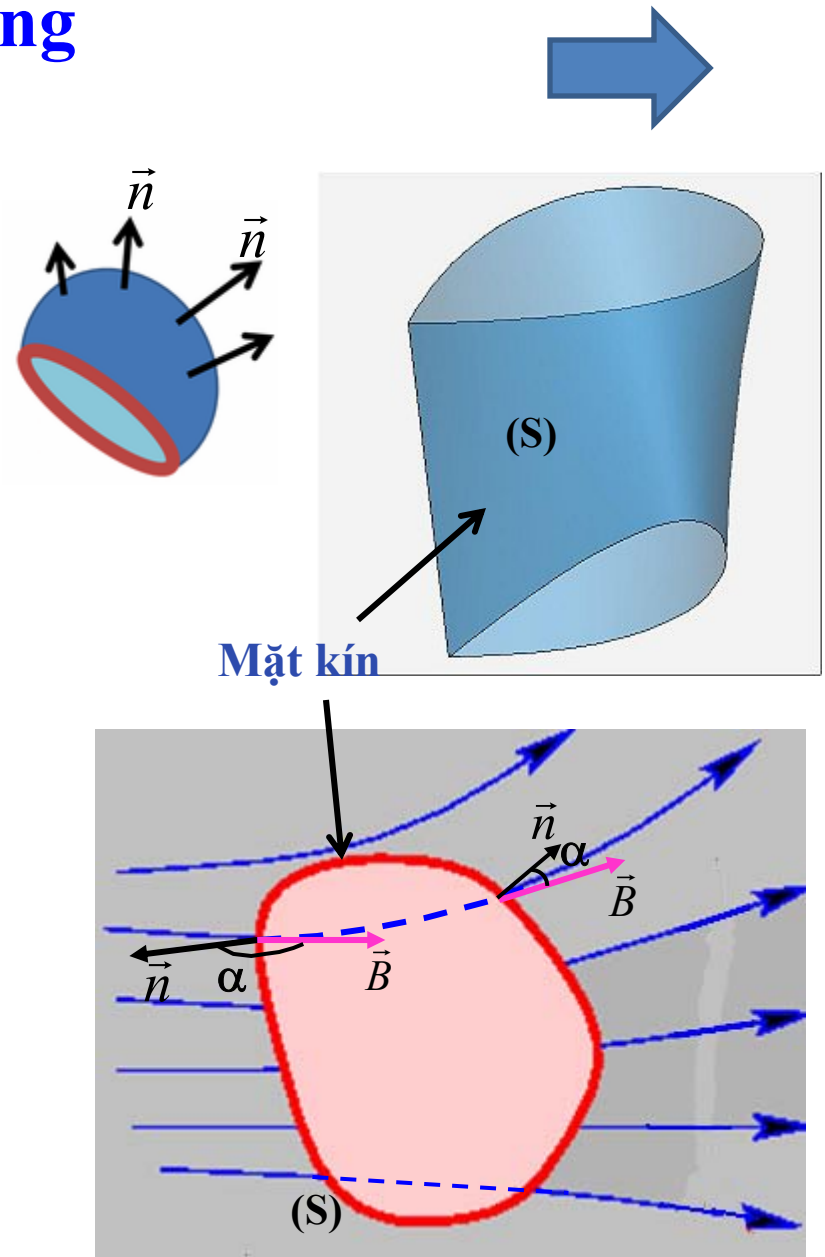
☞ *Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín (S) bất kỳ bằng không.*

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

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

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

☞ Từ trường có tính chất xoáy



4. Lưu số vector cường độ từ trường

Định nghĩa

☞ Xét:

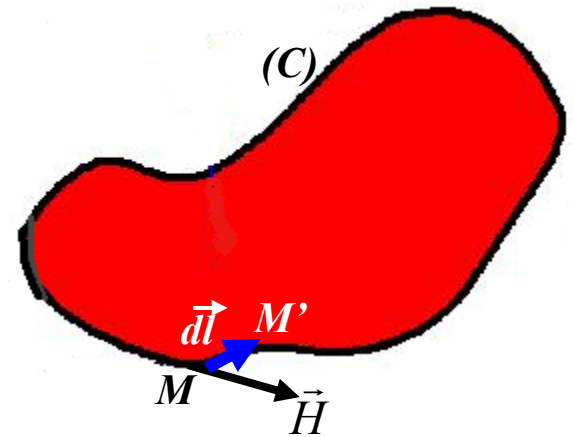
☞ Đường cong kín (C) bất kỳ \in từ trường \vec{H} bất kỳ.

☞ $d\vec{l}$: 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 $\vec{H}.d\vec{l}$ lấy theo một đường cong kín đó.

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



4. Lưu số vector cường độ từ trường

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 :

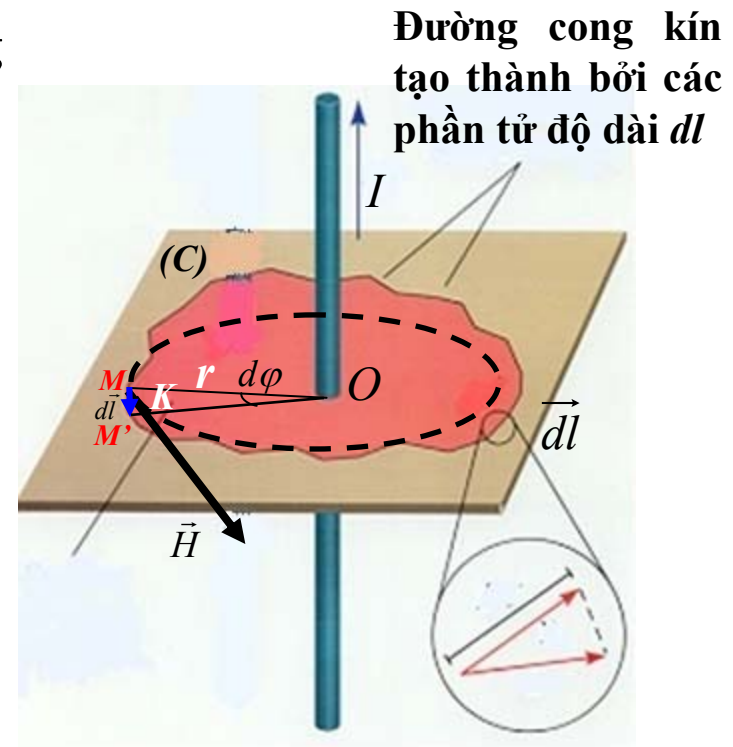
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l})$$

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



4. Lưu số vector cường độ từ trường

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:

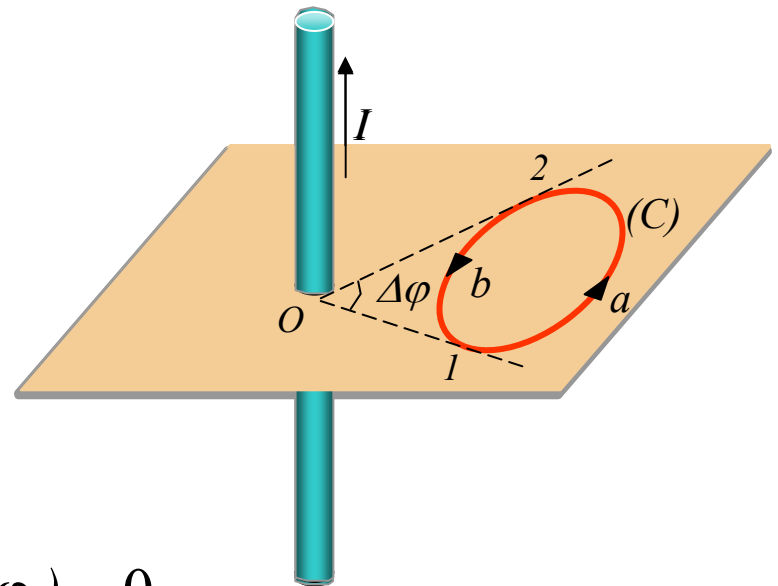
$$\text{Có: } \oint_{(C)} d\varphi = 2\pi \Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

☞ (C) không bao quanh dòng điện

↪ Coi (C) tạo bởi 2 đoạn $1a2$ và $2b1$

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

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



4. Lưu số vector cường độ từ trường

Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

☞ Từ trường gây bởi nhiều dòng điện I

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

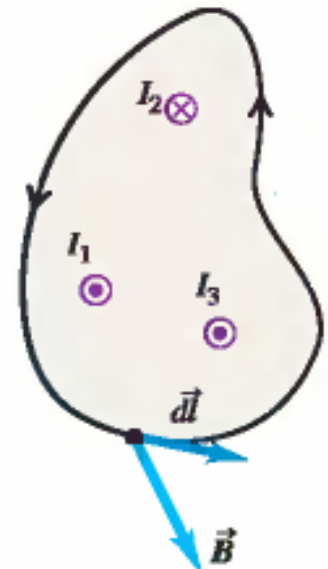
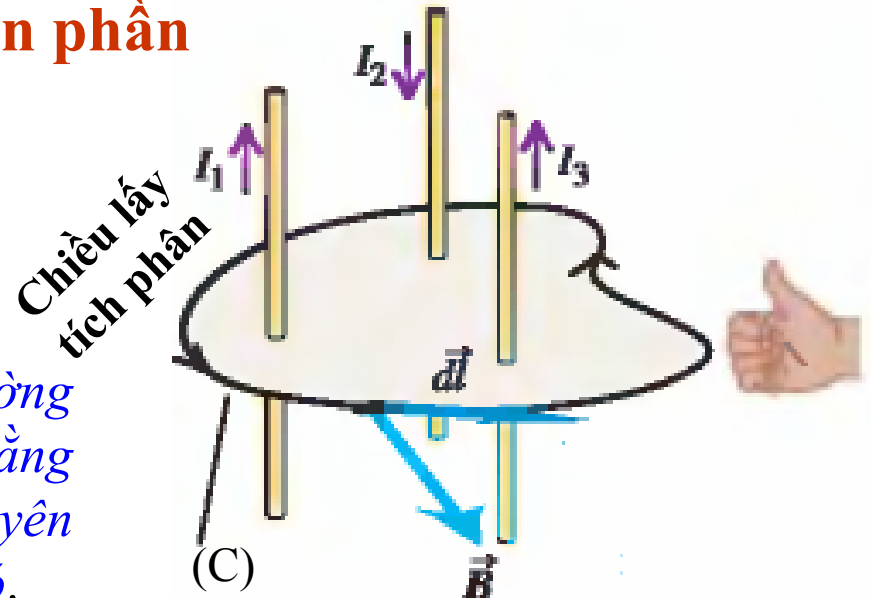
☞ Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ của các dòng xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

☞ Ý nghĩa của định lý Ampere:

☞ Từ trường có nguồn gốc từ dòng điện

☞ Điện trường $\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \Rightarrow$ Trường thế do $A = 0$

☞ Từ trường $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i \neq 0 \Rightarrow$ trường xoáy, không phải là trường thế



4. Lưu số vector cường độ từ trường

Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

Từ trường gây bởi dòng điện trong cuộn dây hình

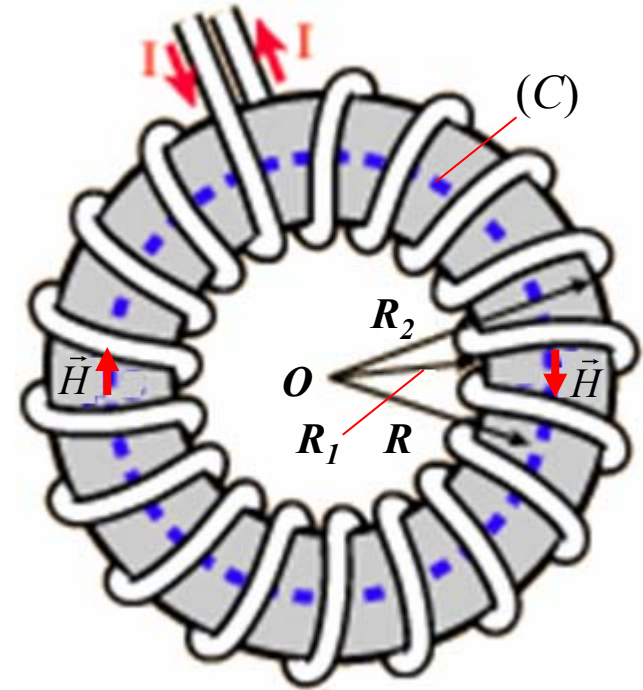
☞ Đặc điểm: Cuộn dây có n vòng dây $\Rightarrow n$ dòng điện I , cuộn thành vòng tròn tâm O , với R_1 & R_2 là BK trong và ngoài của cuộn dây.

☞ Do tính đối xứng \Rightarrow vector $H = \text{const}$ ở mọi điểm trên đường tròn (C) , BK R ($R_1 < R < R_2$), và có phương tiếp tuyến với (C) tại những điểm đó.

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

$$\text{VT} = \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl = H \oint_{(C)} dl = H \cdot 2\pi R$$

$$\Rightarrow H = \frac{nI}{2\pi R} \text{ và } B = \mu_0 \mu \frac{nI}{2\pi R}$$



4. Lưu số vector cường độ từ trường

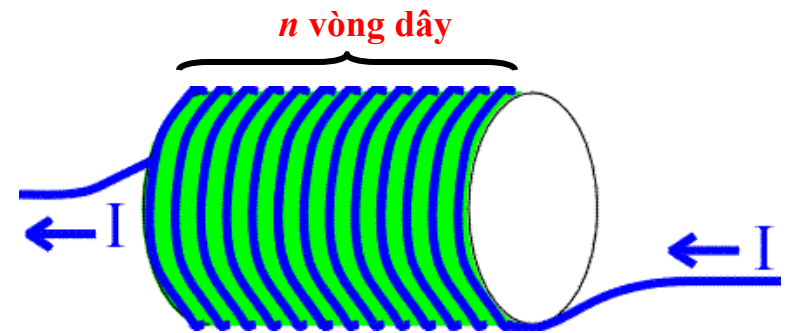
Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

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

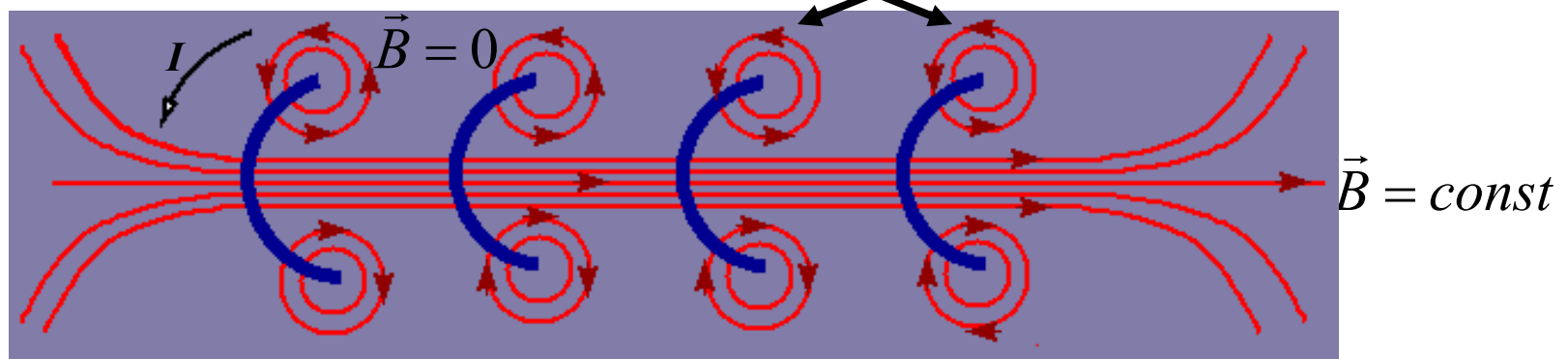
☞ Đặc điểm

☞ 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 $B = const$.

4. Lưu số vector cường độ từ trường

Xác định từ trường áp dụng định lý Ampere

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

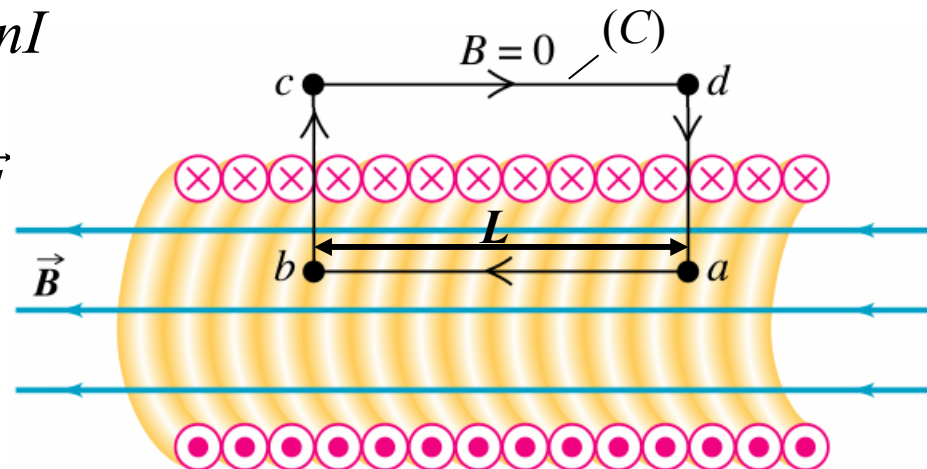
☞ Xét một đường kín (C) hình chữ nhật bao quanh các dòng điện, có cạnh ab và $cd \parallel B$ (độ dài L), cạnh bc và $da \perp B$.

☞ 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. Lực từ trường

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:

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

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

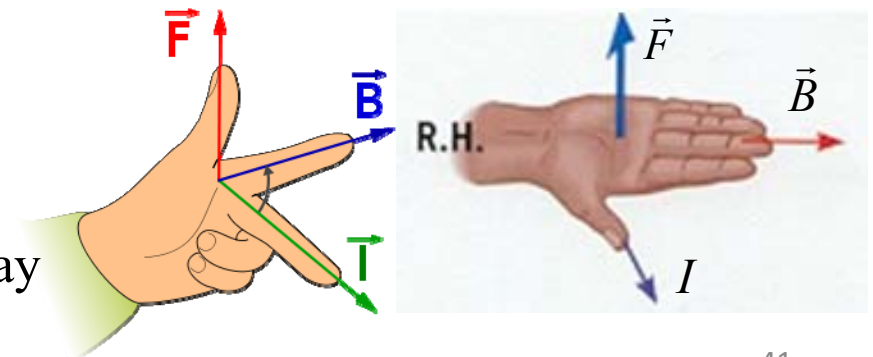
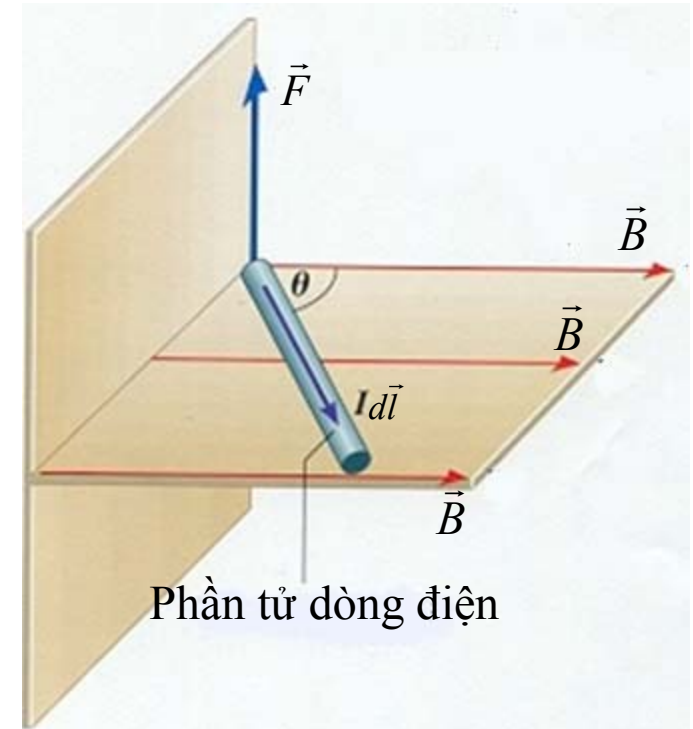
Tác dụng lên dòng điện thẳng

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

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

$$\text{Hay: } F = I.lB\sin\theta$$

☞ \vec{F} được xác định bằng qui tắc bàn tay trái hoặc phải (Left/Right Hand Rule)



5. Lực từ trường

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 .

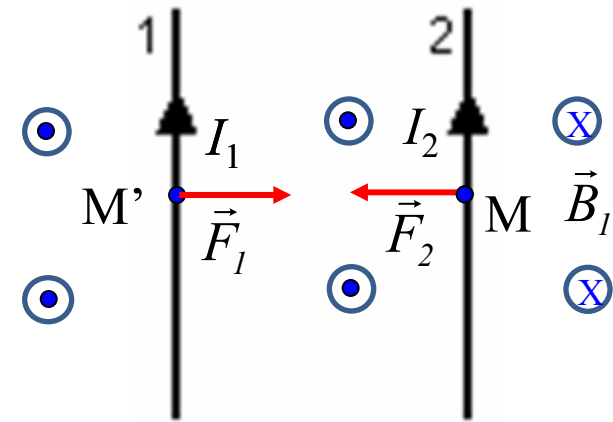
☞ Theo đ/l Biot-Savart-Laplace, xuất hiện B_1 gây bởi I_1 trên I_2

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

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

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

có độ lớn: $F_2 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d}$ 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.*

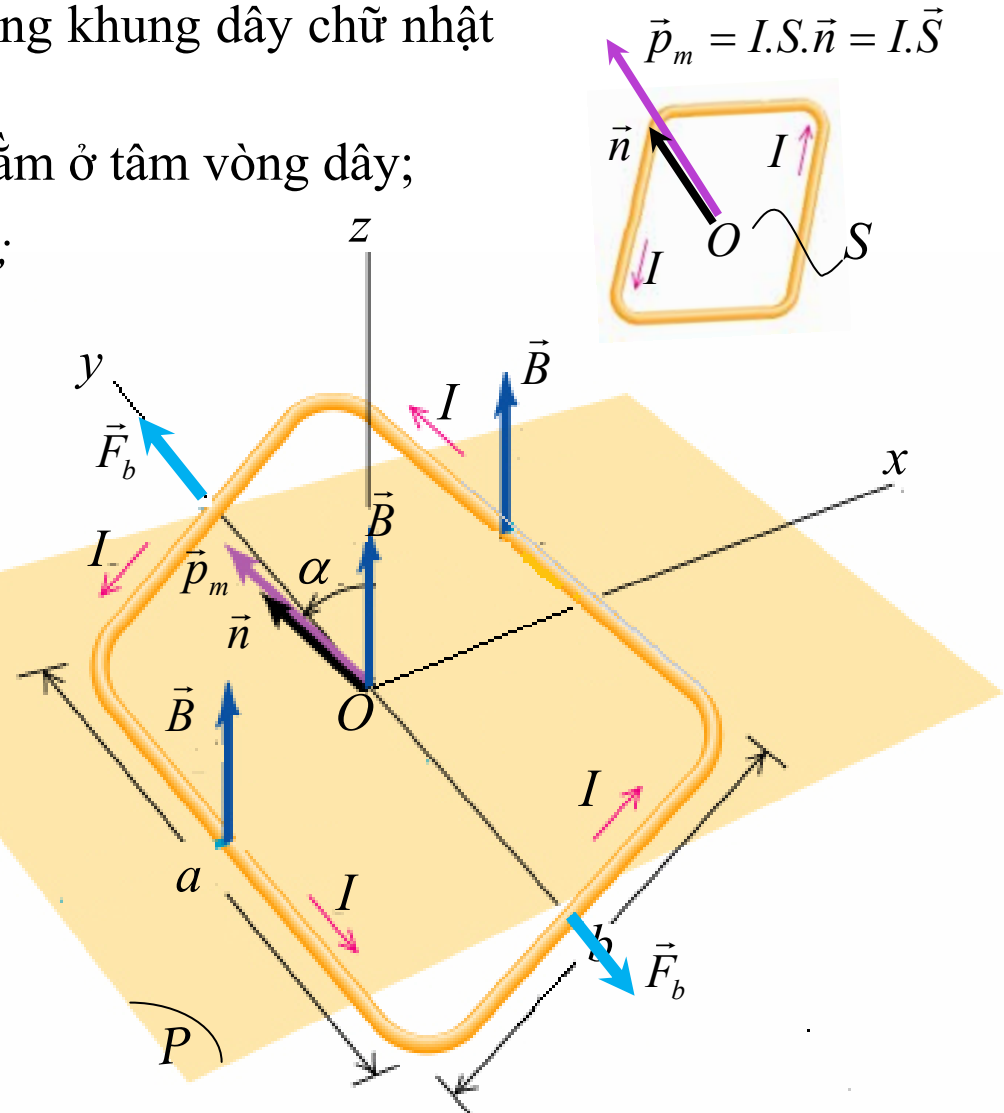
5. Lực từ trường

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 phải:

↪ 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.



5. Lực từ trường

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

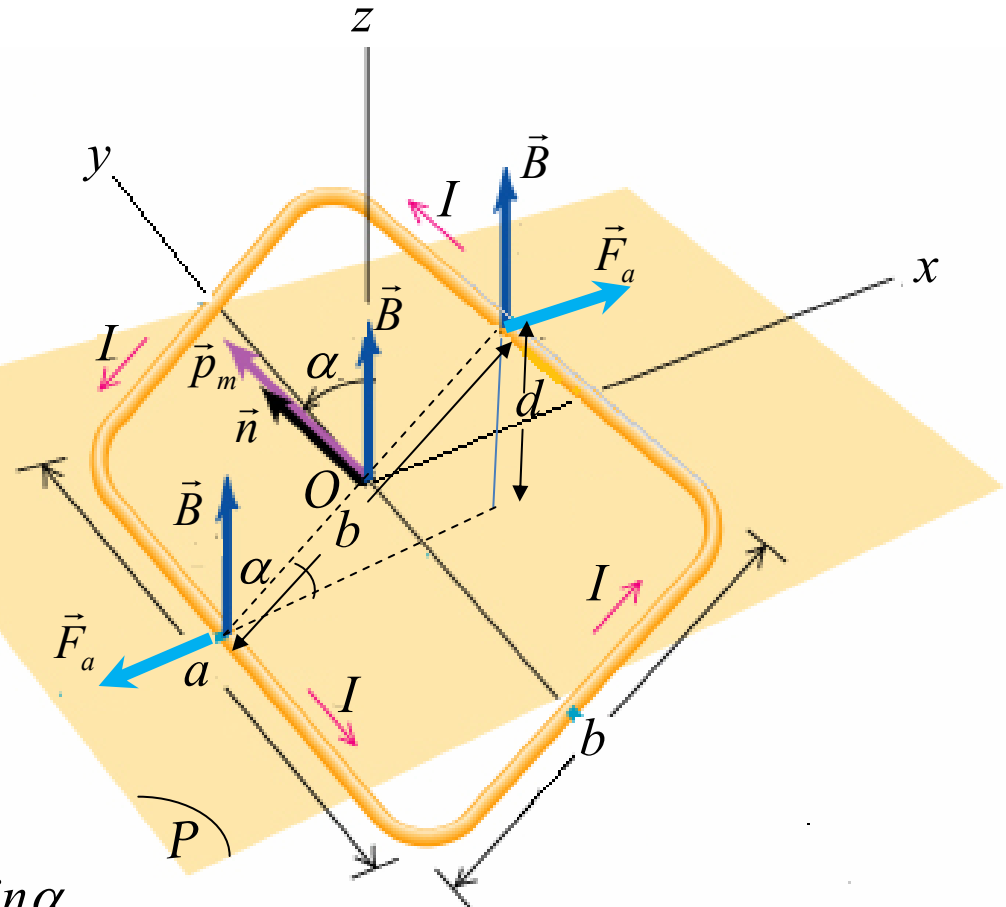
☞ Áp dụng qui tắc bàn tay phải:

☞ 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: $\vec{\mathcal{M}} = \vec{F}_a \times \vec{d}$

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

$$\text{☞ } \vec{\mathcal{M}} = \vec{p}_m \wedge \vec{B}$$



5. Lực từ trường

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 $d\alpha$:

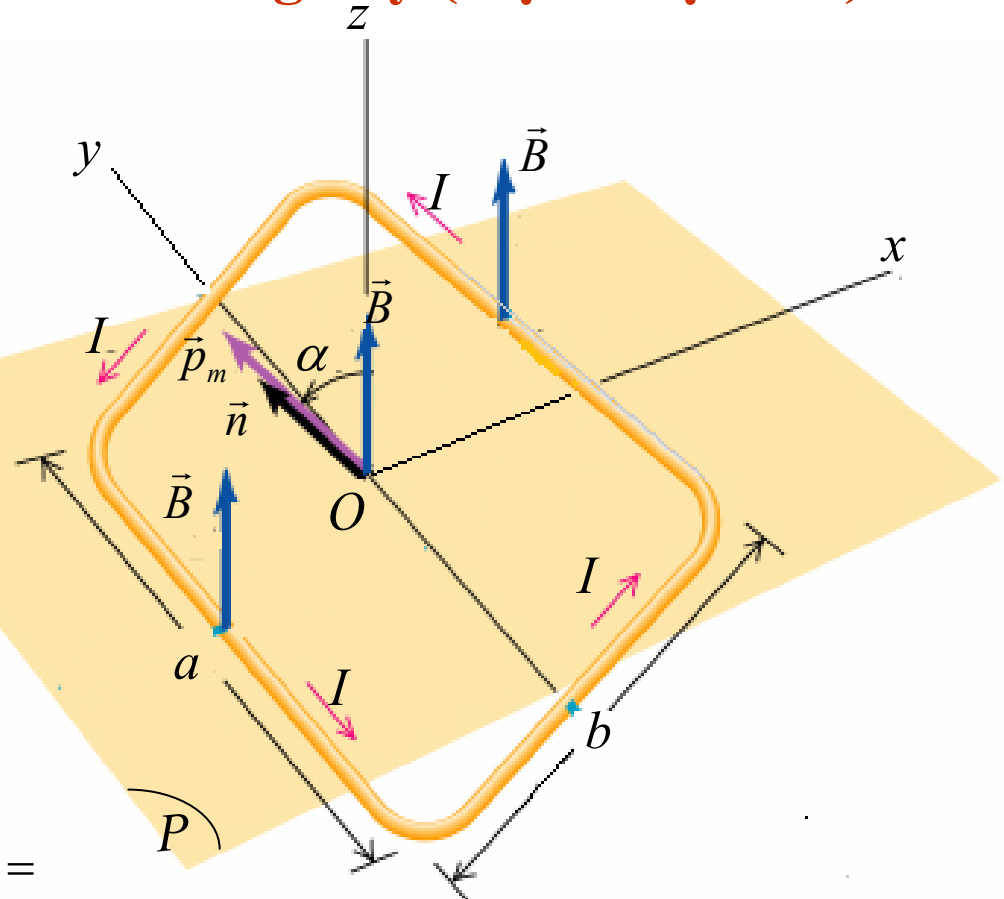
$$dA = -\mathcal{M}d\alpha = -p_m \cdot B \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha$$

/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 $\vec{p}_m \equiv \vec{B}$:

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

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



5. Lực từ trường

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: $I = J.S = n_0.q.v.S \Rightarrow Id\vec{l} = n_0.S.d\vec{l}.q.v = dn.q.v$

(trong đó, $dn = n_0.dV$ là số điện tích có trong một đơn vị thể tích $dV = S.d\vec{l}$ của phần tử dòng $Id\vec{l}$)

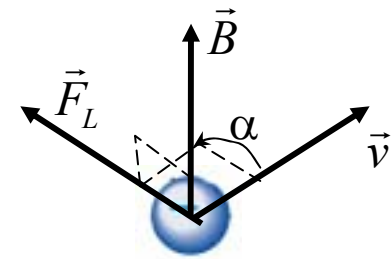
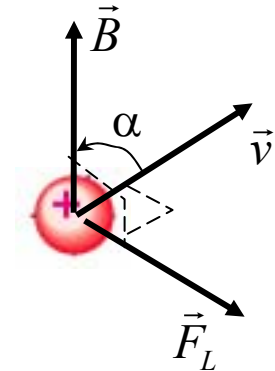
☞ Trong từ trường \vec{B} , phần tử dòng $Id\vec{l}$ (có dn điện tích) chịu tác dụng của lực Ampere:

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

☞ 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 : $\frac{dF}{dn} = F_L = q.v.B.\sin\alpha$

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



5. Lực từ trường

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

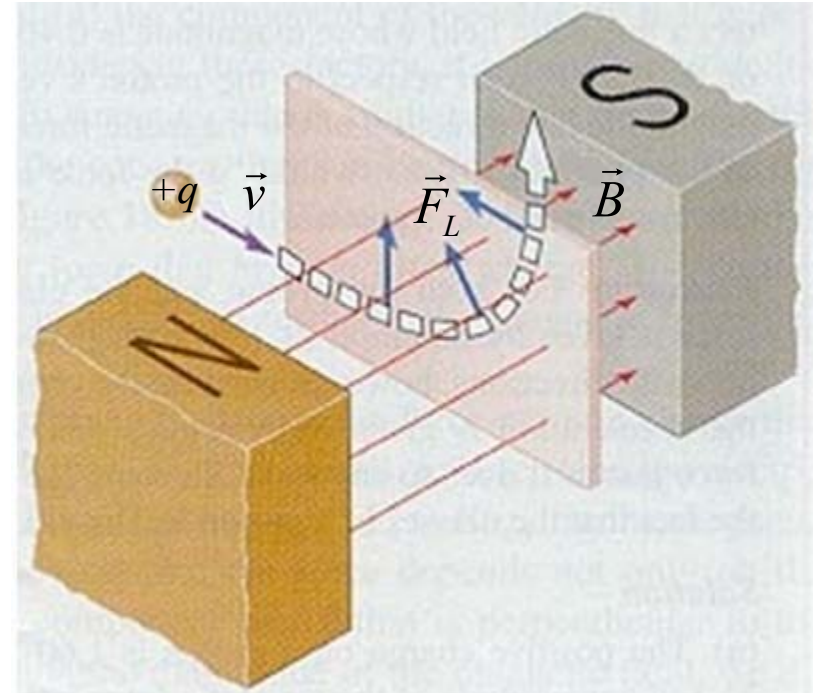
☞ F_L không sinh công khi q CĐ do

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

☞ Động năng của $q = \text{const}$ 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:

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



5. Lực từ trường

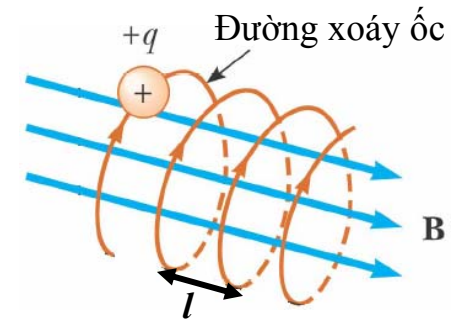
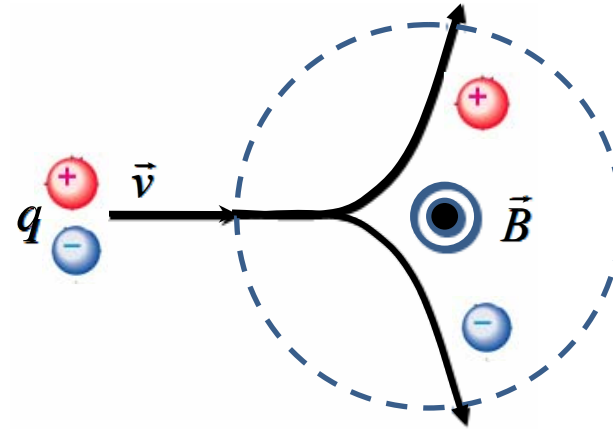
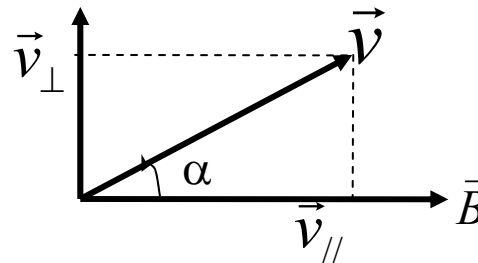
Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

☞ $\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow F_L = qvB = \frac{mv^2}{R}$

☞ q CĐ theo quỹ đạo tròn:

$\left\{ \begin{array}{l} + \text{ Bán kính: } R = \frac{mv}{qB} \\ + \text{ Chu kỳ: } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \\ + \text{ Tần số: } \omega = \frac{qB}{m} \end{array} \right.$

☞ $(\vec{v}, \vec{B}) = \alpha \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel$



$\left\{ \begin{array}{l} \text{☞ } v_\perp \text{ làm điện tích CĐ theo quỹ đạo tròn có bán kính: } R = \frac{mv}{qB} \\ \text{☞ } v_\parallel \text{ làm điện tích CĐ theo phương B có bước lặp quỹ đạo tròn: } l = v_\parallel T \end{array} \right.$
 q CĐ theo quỹ đạo hình xoắn ốc.

6. 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

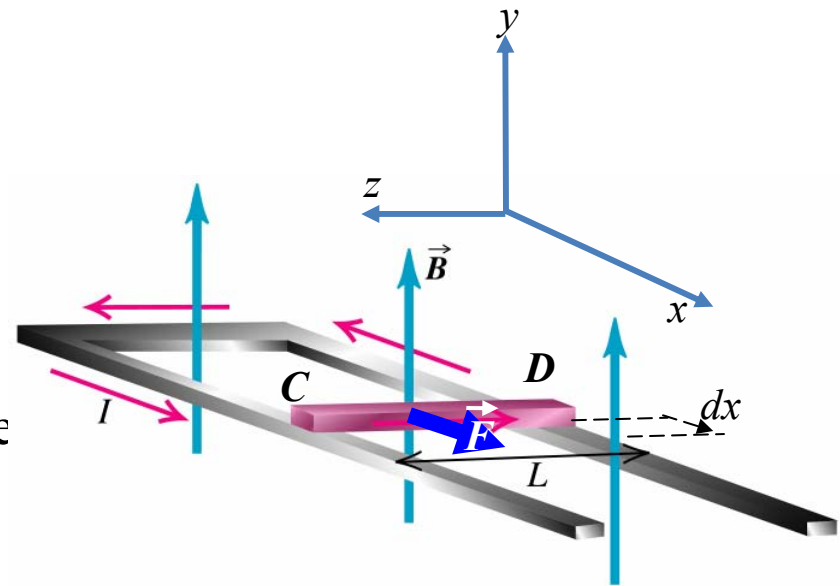
☞ Thanh chịu tác dụng của lực Ampere

$$F = I.L.B$$

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

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

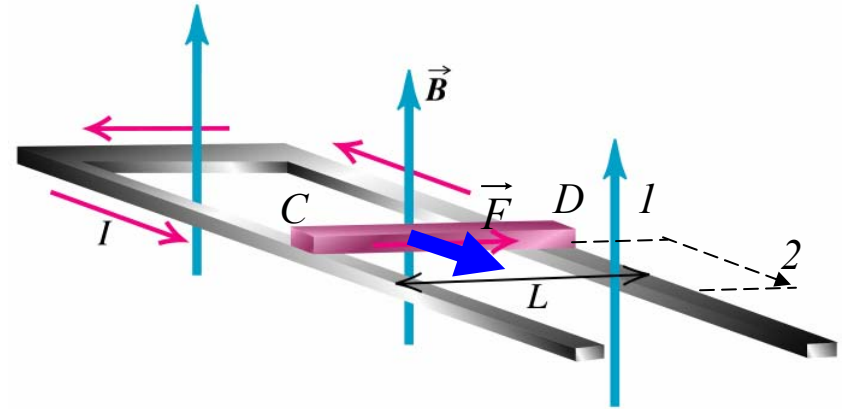
- + $dS = L.dx$: diện tích quét bởi CD khi di chuyển
 - + $d\Phi_m = B.dS$
- $dA = I.d\Phi_m$



6. 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)