

# Chương 6: Từ trường tĩnh trong chân không

# Nội dung

1/Tương tác từ

2/Từ trường

3/Định luật Gauss với từ trường

4/Định lý Ampère

5/Định luật Ampère

6/Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín

7/Công của lực từ

8/Từ trường của một hạt chuyển động

# I/Tương tác từ



**Hans Oersted (1777-1851)**

- Năm 1820, nhà vật lý người Đan Mạch Hans Oersted làm thí nghiệm về dòng điện và phát hiện sự lệch của kim nam châm ở gần dây dẫn có dòng điện chạy qua.
- Ngược lại, khi đưa nam châm lại gần cuộn dây có dòng điện thì nam châm sẽ hút hoặc đẩy cuộn dây tùy theo chiều dòng điện trong cuộn dây.

- Mặt khác, André Ampère cũng tiến hành các thí nghiệm & nhận thấy giữa hai dòng điện có sự tương tác.



André Ampère (1775-1836)

**Kết luận:** Sự tương tác giữa các nam châm, giữa nam châm và dòng điện, giữa dòng điện và dòng điện thì giống nhau và được gọi là tương tác từ.

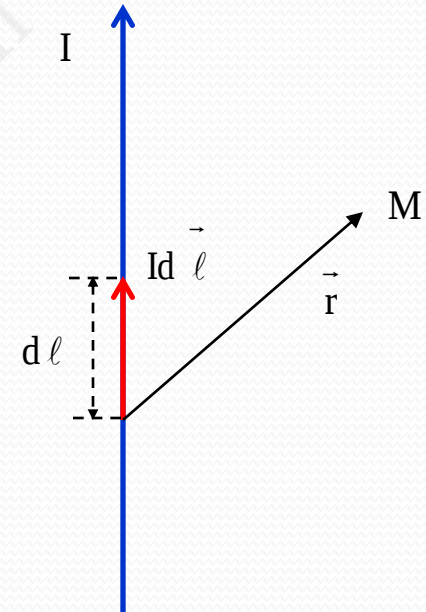
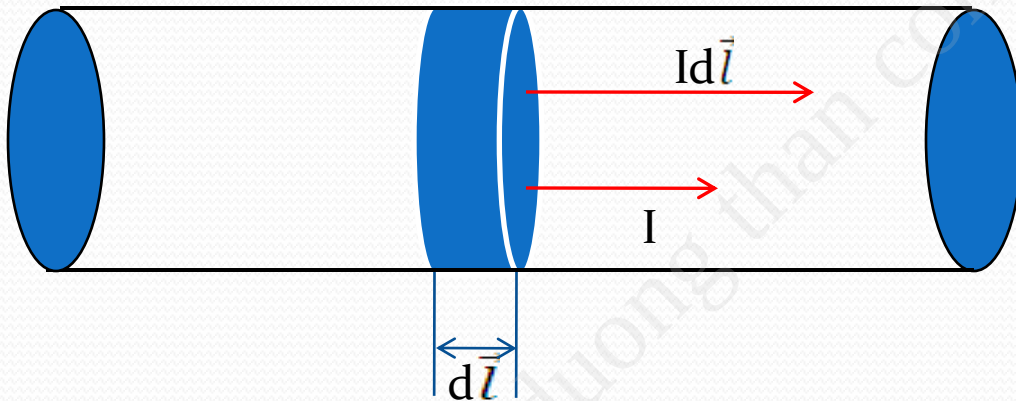
## II/Từ trường

### 1/Khái niệm từ trường và vector cảm ứng từ $\vec{B}$

- Để giải thích sự lan truyền tương tác giữa các dòng điện ta phải thừa nhận tồn tại một môi trường trung gian môi giới cho sự tương tác này. Môi trường đó gọi là từ trường.
- Từ trường được đặc trưng bởi một đại lượng vector kí hiệu là  $\vec{B}$  (vector cảm ứng từ).

## 2/Định luật Biot-Savart

### i) Vector phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$



**Vector phần tử dòng điện  $I d\vec{\ell}$  là véc tơ có phương chiều là phương chiều của dòng điện, giá trị là  $I d\ell$**

## ii) Định luật Biot-Savart



Jean Biot(1774-1862)



Felix Savart(1791-1841)

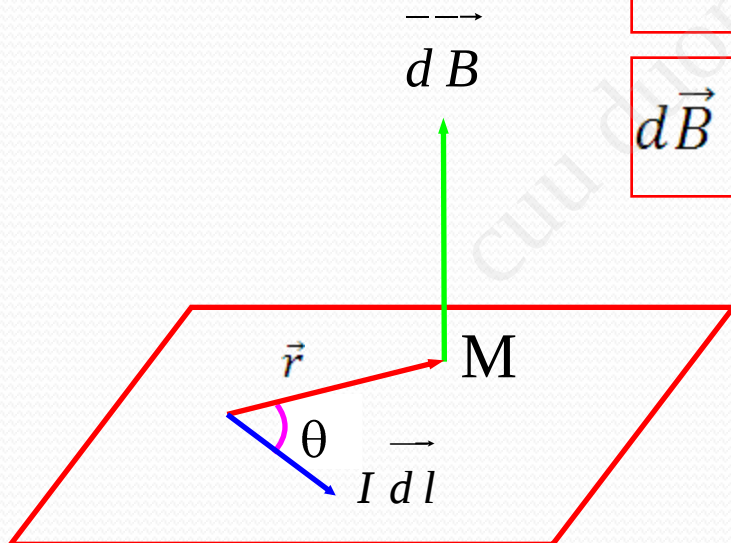
Vector cảm ứng từ  $d\vec{B}$  của vector phần tử dòng điện  $I d\vec{l}$  gây ra tại điểm M cách  $I d\vec{l}$  một đoạn r:

$$d\vec{B} = k \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad k = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad \text{H/m}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I dl \sin\theta}{4\pi r^2}$$

$$\vec{B} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{B} = \int_{\text{dòng điện}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$



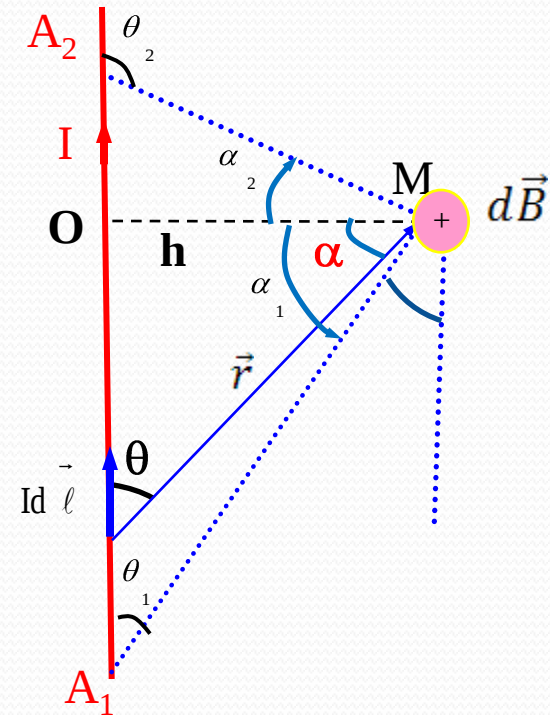
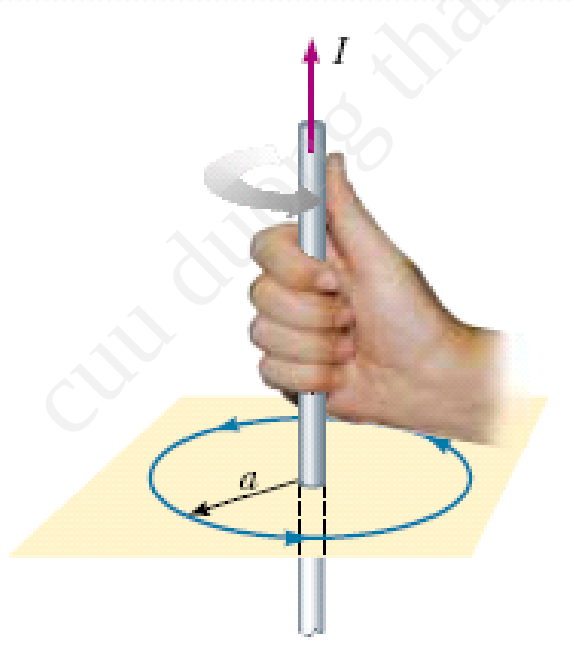
## a) Cảm ứng từ $\vec{B}$ của dòng điện thẳng

Có  $dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \theta}{4\pi r^2}$  mà  $r = \frac{h}{\sin \theta}$ ;  $dl = \frac{h d\theta}{\sin^2 \theta}$  nên  $dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} \sin \theta d\theta$

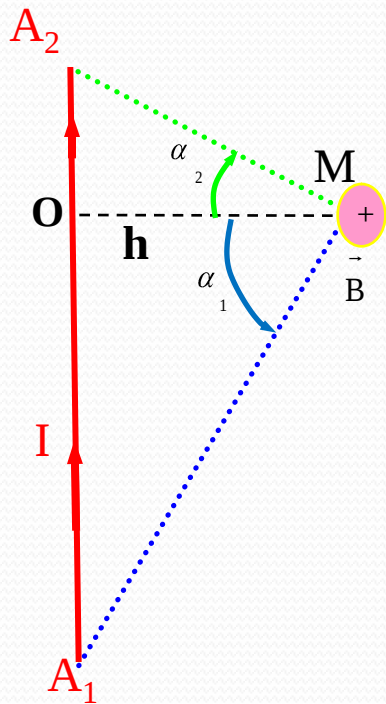
$$B_{A_1 A_2} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} dB \Rightarrow B_{A_1 A_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$

Dây dài vô hạn:

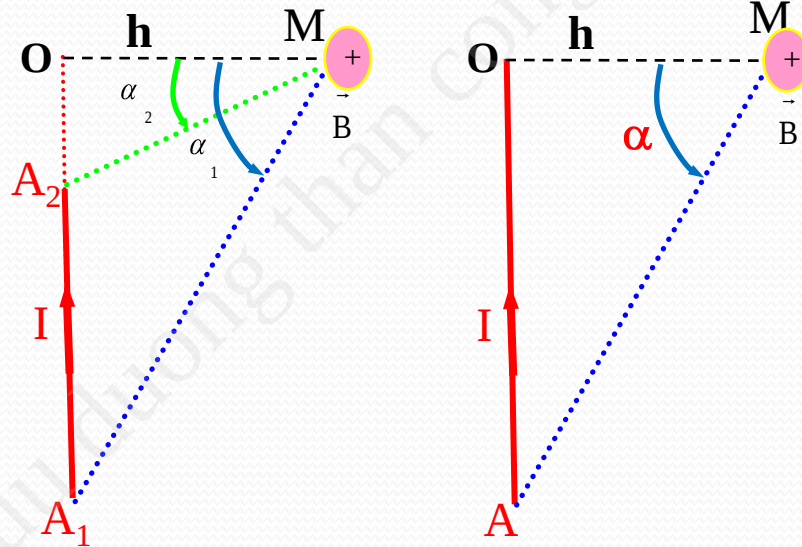
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi h}$$



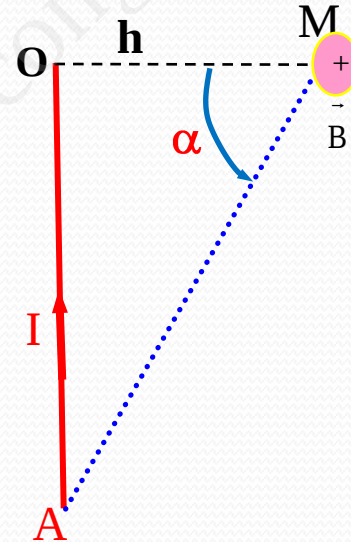
# Cảm ứng từ của dòng điện thẳng (tt)



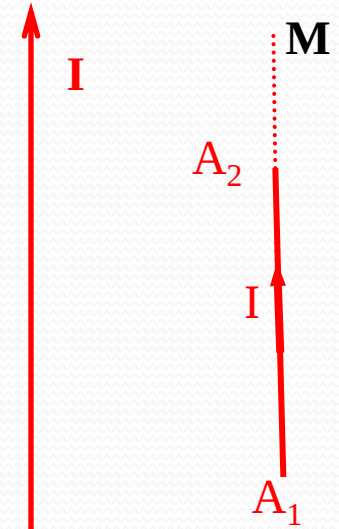
$$B_{A_1A_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$



$$B_{A_1A_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$$



$$B_{AO} = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} \sin \alpha$$



$$B_{\infty} = \frac{\mu_0 I}{2\pi h} \quad B_{A_1A_2} = 0$$

## b) Cảm ứng $\vec{B}$ của dòng điện tròn bán kính R

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} \quad \text{mà} \quad d\vec{B} = dB_x \vec{e}_x + dB_y \vec{e}_y + dB_z \vec{e}_z$$

$$\Rightarrow \vec{B} = \int_{(dd)} d\vec{B} = \vec{e}_x \int_{(dd)} dB_x + \vec{e}_y \int_{(dd)} dB_y + \vec{e}_z \int_{(dd)} dB_z = \vec{e}_z \int_{(dd)} dB_z$$

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

$$S = \pi R^2$$

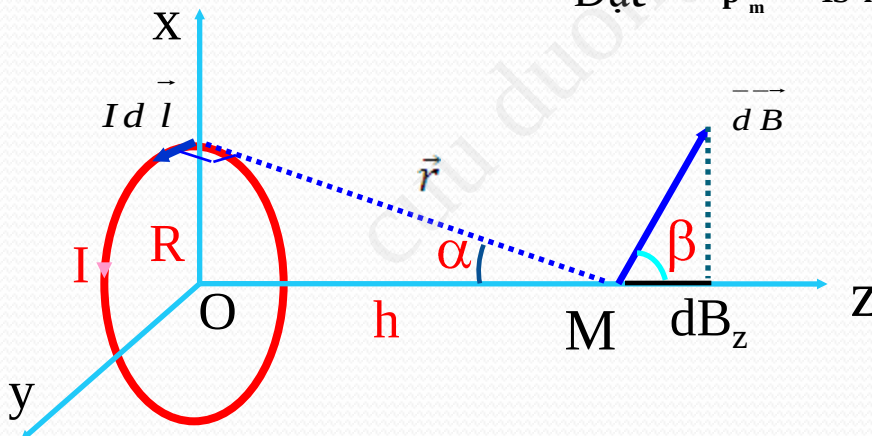
$$\vec{B} = \vec{e}_z \frac{\mu_0 I S}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

Đặt  $\vec{p}_m = IS \vec{n} = IS \vec{e}_z \rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \vec{p}_m$

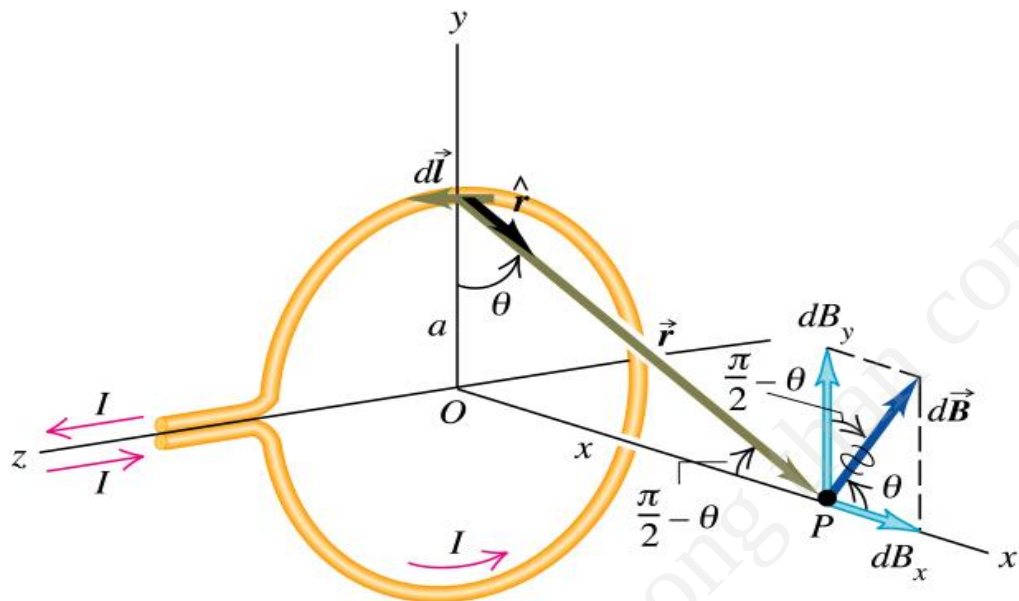
Tại tâm đường tròn tức  $h = 0$

$$\vec{B}_0 = \vec{e}_z \frac{\mu_0 I}{2R} = \vec{e}_z \frac{\mu_0 I S}{2\pi R^3} = \frac{\mu_0}{2\pi R^3} \vec{p}_m$$

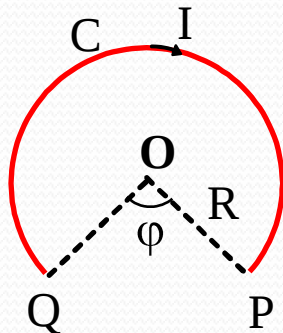
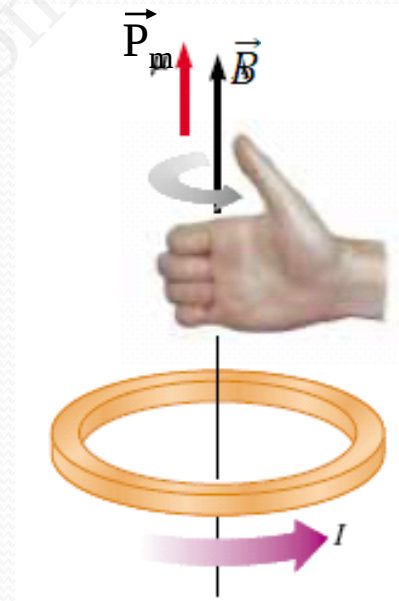
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



## b) Cảm ứng từ của dòng điện tròn bán kính R(tt)



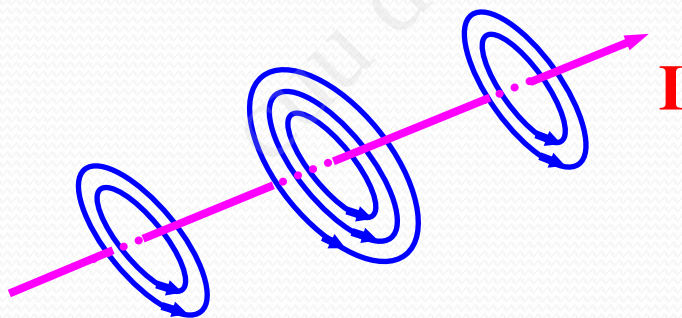
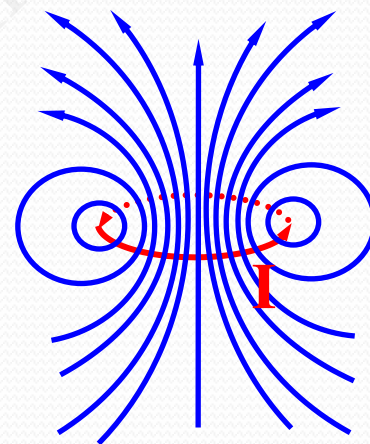
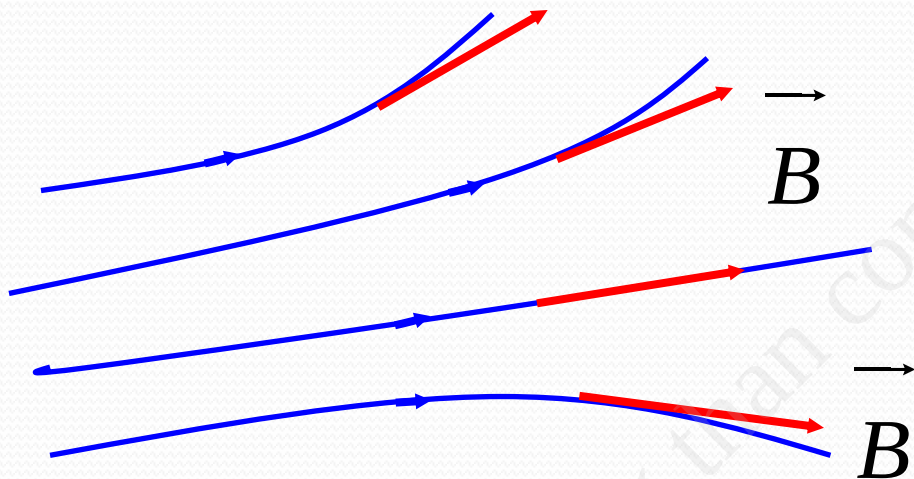
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



$$B_o = \frac{\mu_o I}{2R} \frac{(2\pi - \phi)}{2\pi}$$

$\vec{B}_o ; \otimes$

### 3/ Đường sức cảm ứng từ



$$B = \frac{dN}{dS_n}$$

# III/ ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

1/ Từ thông:

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

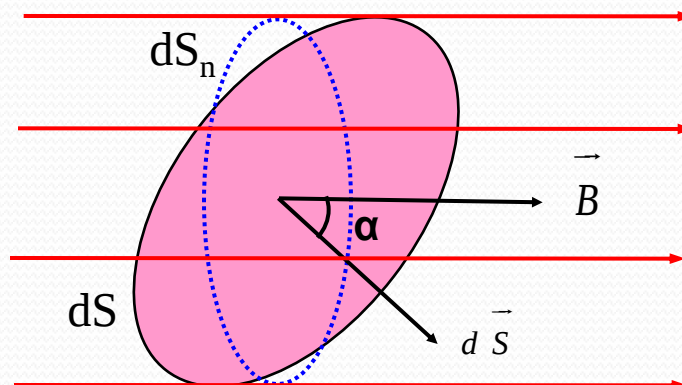
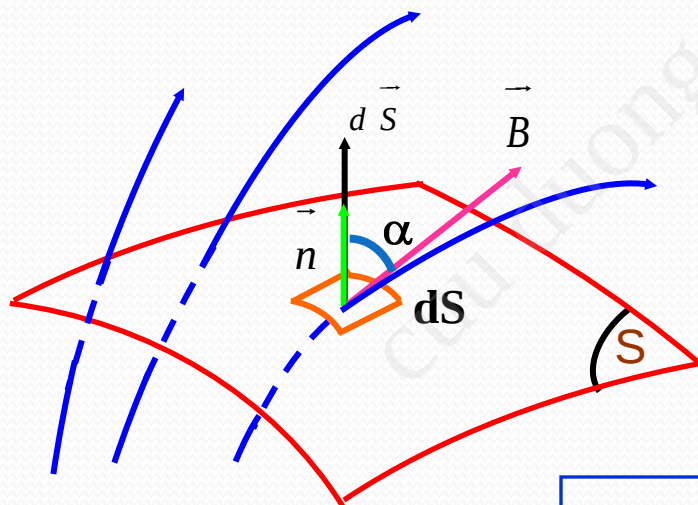
$$d\Phi_m = B dS_n$$

Mặt S

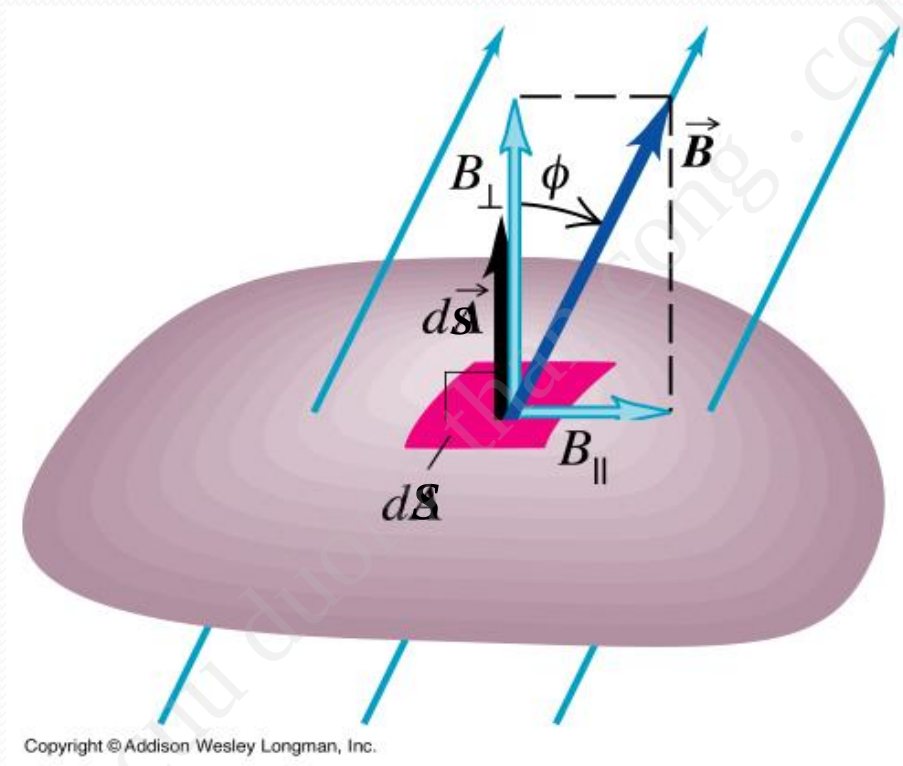
$$\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

Mặt kín S

$$\Phi_m = \oint_S \vec{B} d\vec{S}$$



$$|d\phi_m| = dN$$



## 2/ Định lý Gauss

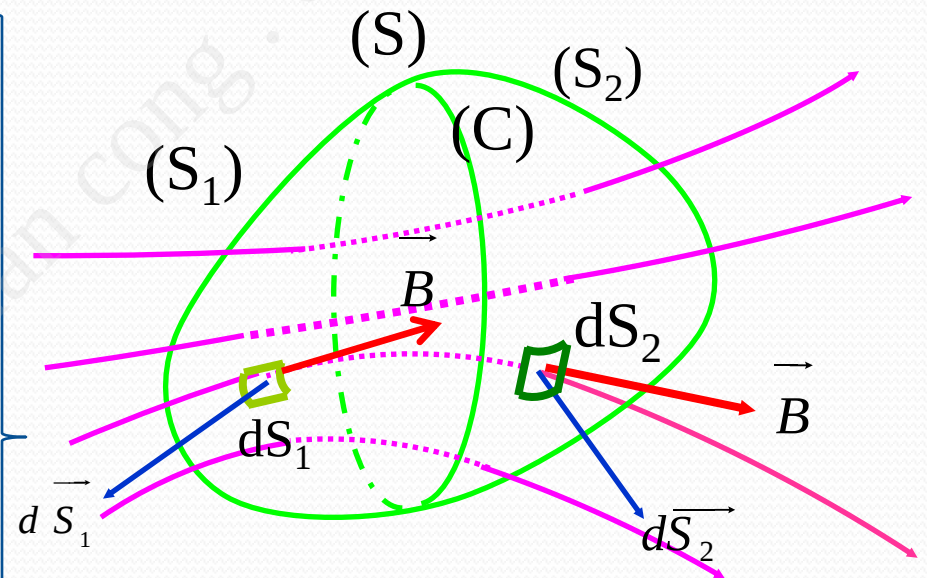
$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \int_{S_1} \vec{B} d\vec{S}_1 + \int_{S_2} \vec{B} d\vec{S}_2$$

$$\int_{S_1} \vec{B} d\vec{S}_1 > 0 \quad \int_{S_2} \vec{B} d\vec{S}_2 < 0$$

$$\left| \int_{S_2} \vec{B} d\vec{S}_2 \right| = \left| \int_{S_1} \vec{B} d\vec{S}_1 \right| \Rightarrow \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Công thức Gauss:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \int_v \nabla \cdot \vec{B} dv \Rightarrow \int_v \nabla \cdot \vec{B} dv = 0$$



$\Rightarrow$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

# IV/ Định lý Ampère (Định lý dòng toàn phần)

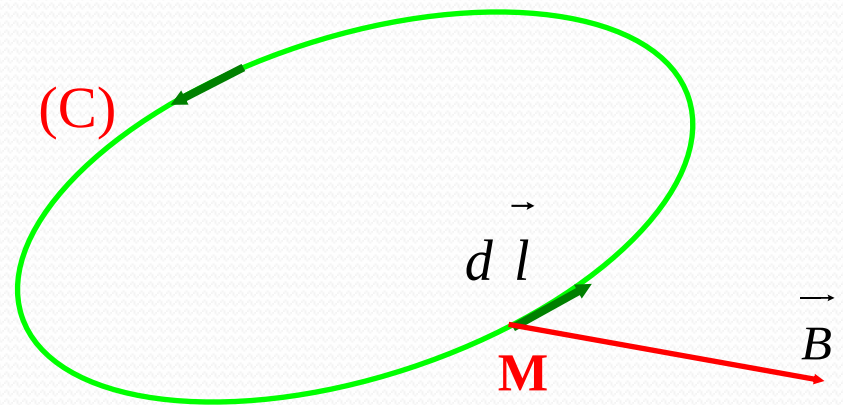
## 1/ Lưu số của vector cảm ứng từ (kí hiệu: L)

Như đã biết lưu số của véc tơ tĩnh điện trường dọc theo đường cong kín (C) bằng không:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

Ngược lại lưu số của véc tơ cảm ứng từ dọc theo đường cong kín (C) khác không:

$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} \neq 0$$



## 2/ Định lý dòng toàn phần

i) Phát biểu: Lưu số của vectơ cảm ứng từ dọc theo một đường cong kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ dòng điện qua diện tích giới hạn bởi đường cong nhân cho  $\mu_0$

$$L = \oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$

ii) Chứng minh:

A) Từ trường của dòng điện dài vô tận

a) Đường cong (C) nằm trong mặt phẳng (P)

b) Đường cong (C) không nằm trong mặt phẳng (P)

B) Trường hợp tổng quát

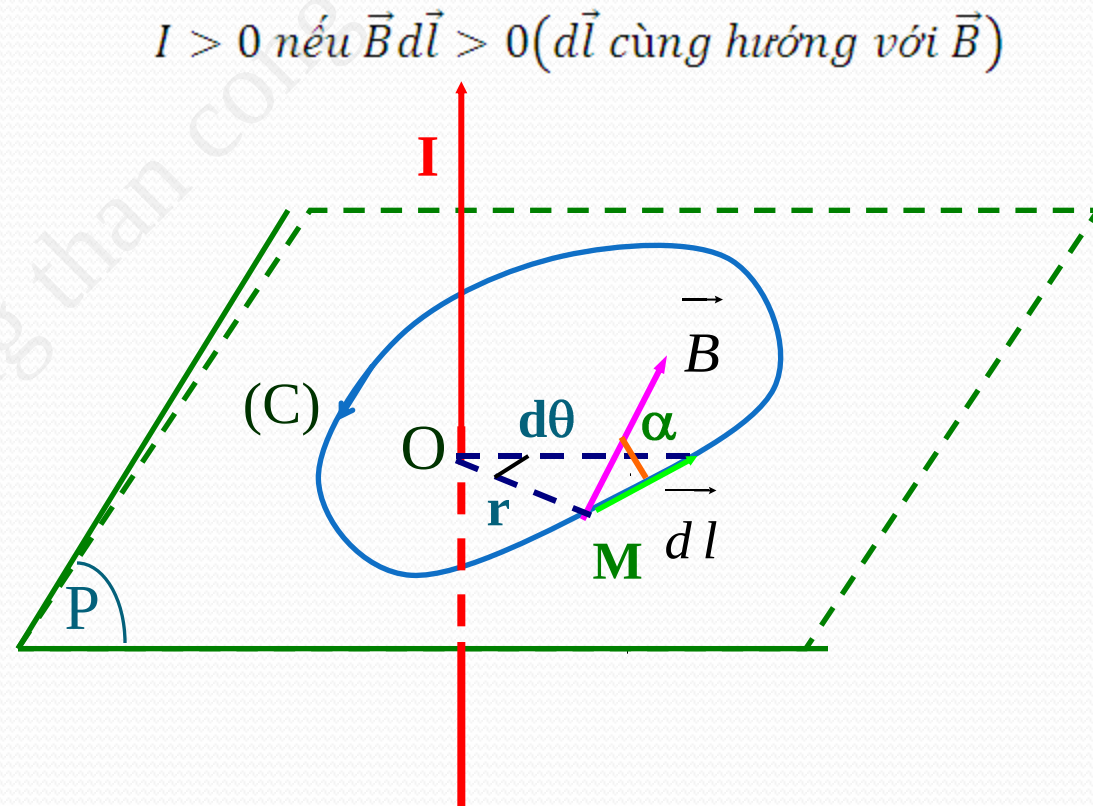
## A) Từ trường của dòng điện dài vô tận

a) Đường cong kín (C) nằm trong mặt phẳng (P) và bao quanh dòng điện

$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \oint_C B dl \cos \alpha$$
$$= \oint_C \frac{\mu_0 I}{2\pi r} r d\theta = \oint_C \frac{\mu_0 I}{2\pi} d\theta = \mu_0 I$$

$$(dl \cos \alpha = r d\theta)$$

$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I$$

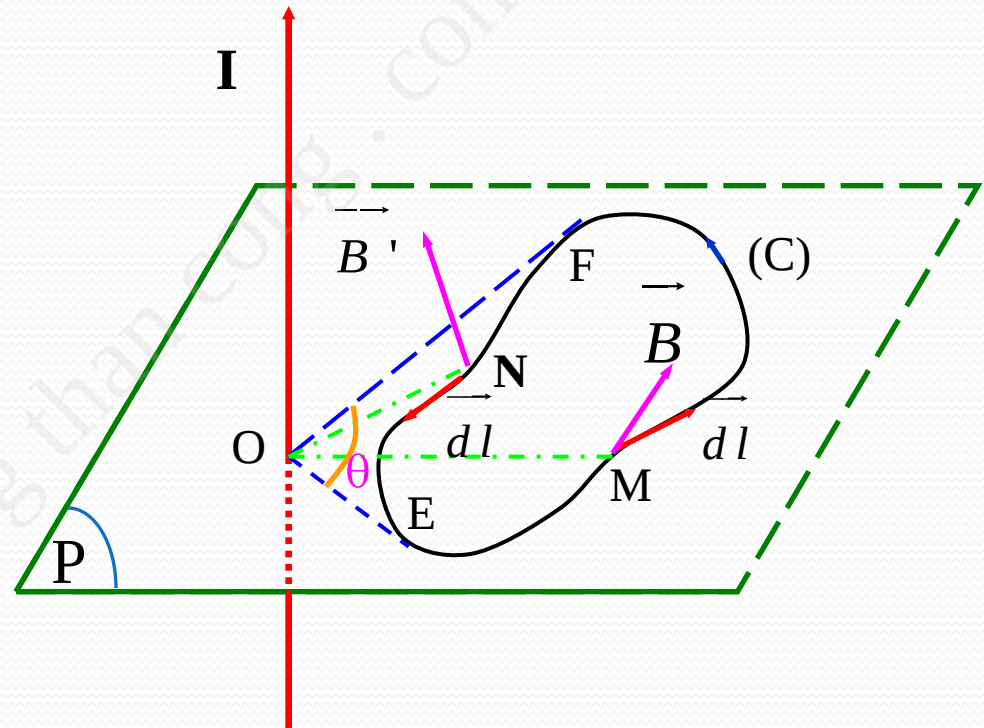


(C) bao quanh dòng điện

a) Trường hợp đường cong kín (C) nằm trong mặt phẳng (P) nhưng không bao quanh dòng điện

$$L = \int_{EMF} \vec{B} d\vec{l} + \int_{FNE} \vec{B}' d\vec{l}$$

$$= \int_0^\theta \vec{B} d\vec{l} + \int_\theta^0 \vec{B} d\vec{l} = 0$$

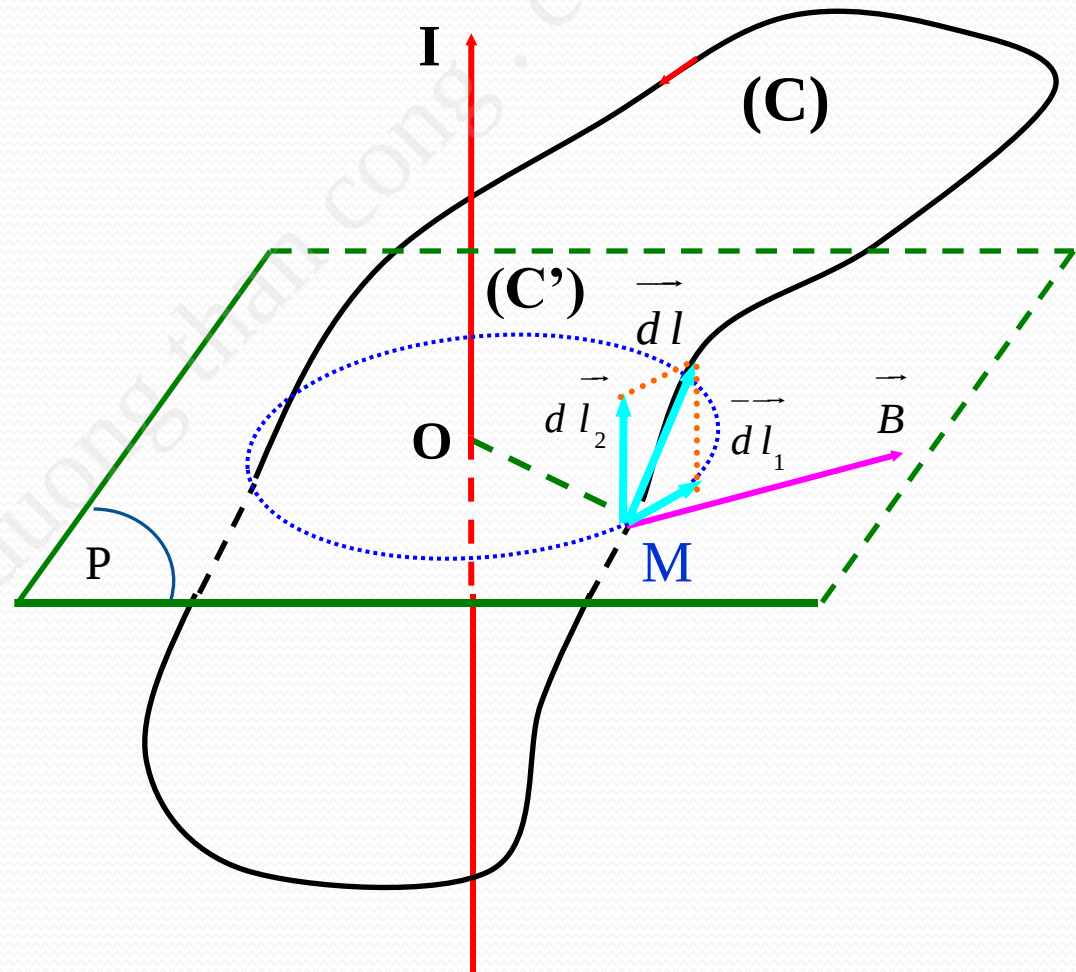


(C) không bao quanh I

b) Trường hợp đường cong (C) không nằm trong mặt phẳng (P)

$$\vec{B} d\vec{l} = \vec{B} d\vec{l}_1 + \vec{B} d\vec{l}_2 = \vec{B} d\vec{l}_1$$

$$L = \oint_C \vec{B} d\vec{l} = \oint_{C'} \vec{B} d\vec{l}_1 = \mu_0 I$$



## B) Trường hợp tổng quát:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i$$

Với  $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$

$$\sum_{i=1}^n I_i = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

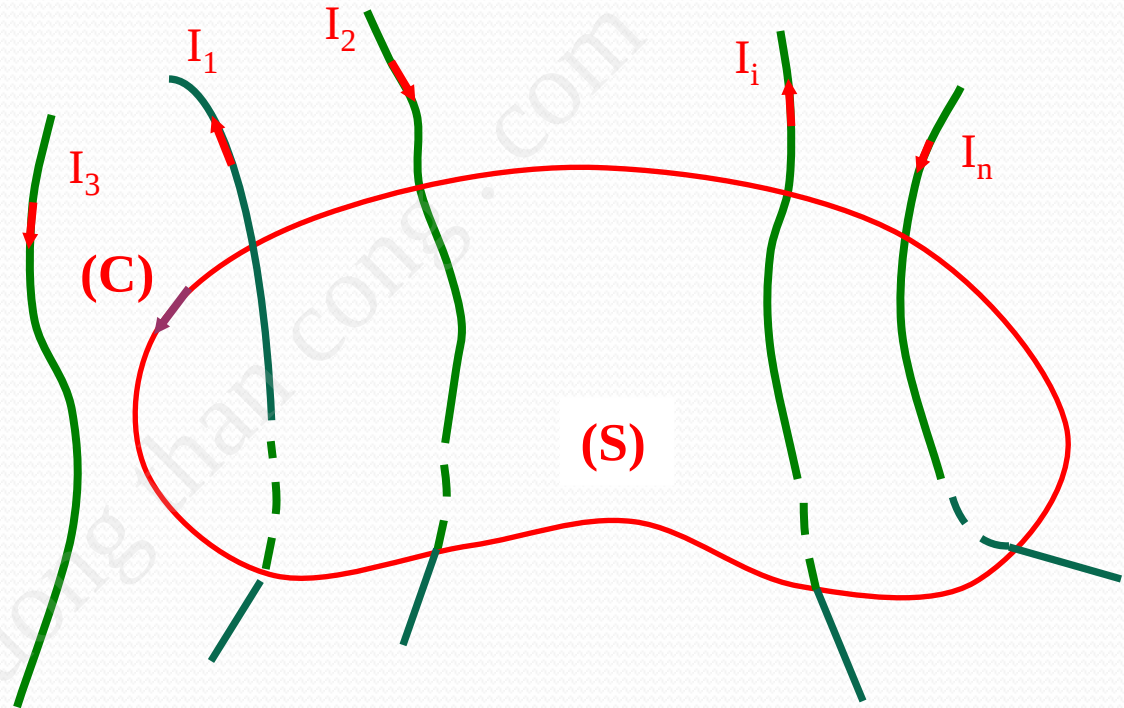
Công thức Stokes:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_S (\nabla \times \vec{B}) \cdot d\vec{S}$$

$$\Rightarrow \boxed{\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}}$$

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

là vector cường độ từ trường:  $\vec{H} \left( \frac{A}{m} \right) \Rightarrow \boxed{\nabla \times \vec{H} = \vec{j}}$



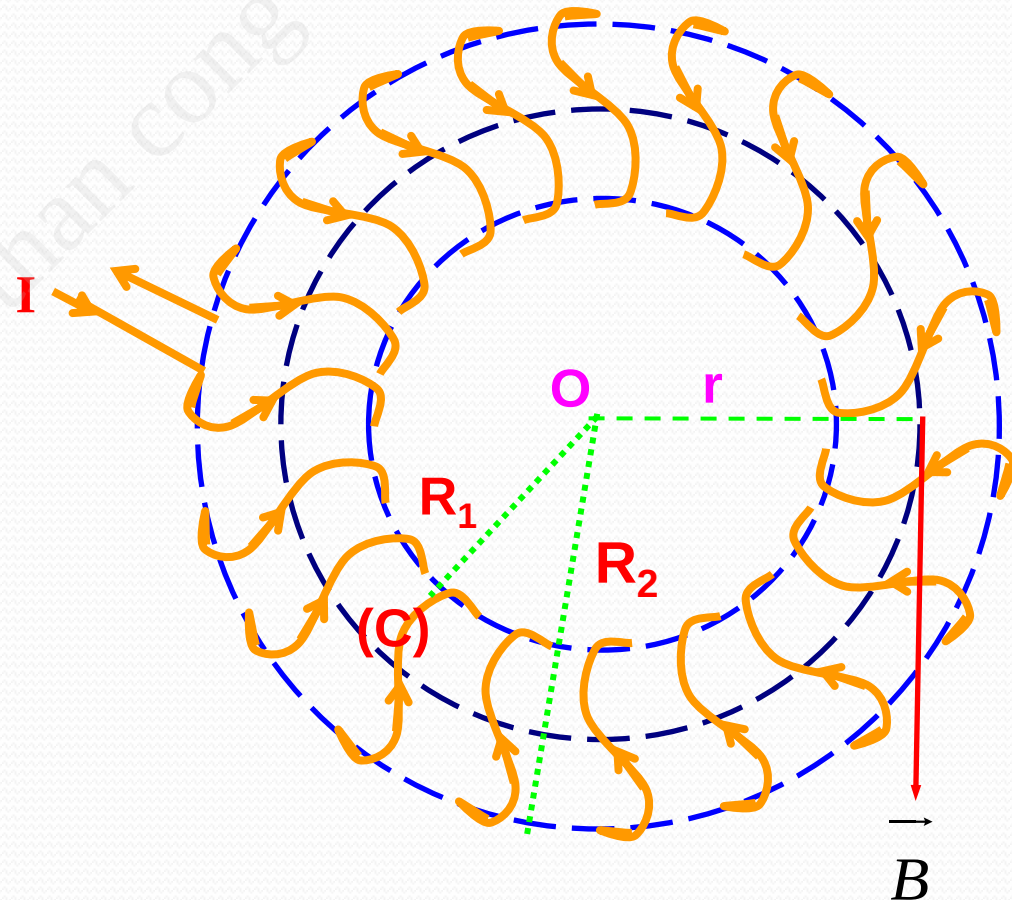
### 3/ Áp dụng định lý dòng toàn phần để xác định từ trường:

#### a) Từ trường trong cuộn dây hình xuyến (toroid)

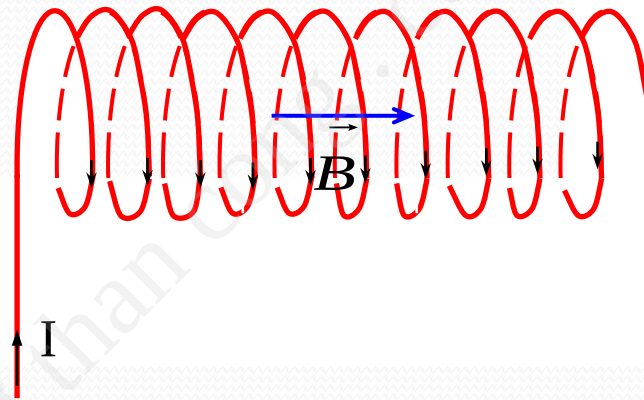
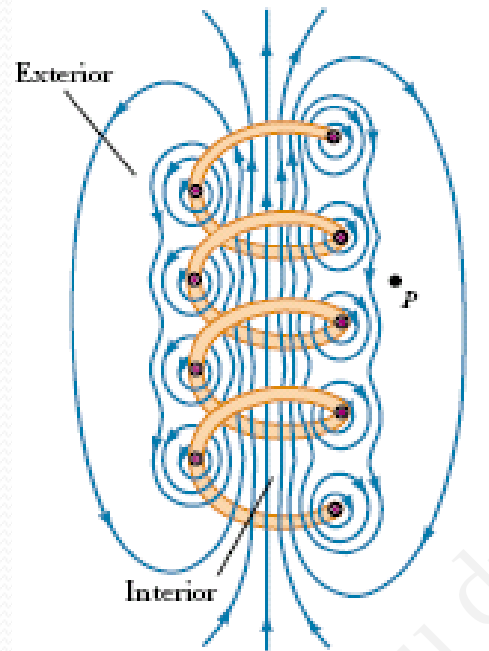
$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 NI \Rightarrow B 2\pi r = \mu_0 NI$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} = n\mu_0 I$$

Với  $n = \frac{N}{2\pi r}$  là số vòng dây trên đơn vị chiều dài



## b) Từ trường trong ống dây điện rất dài (solenoid)

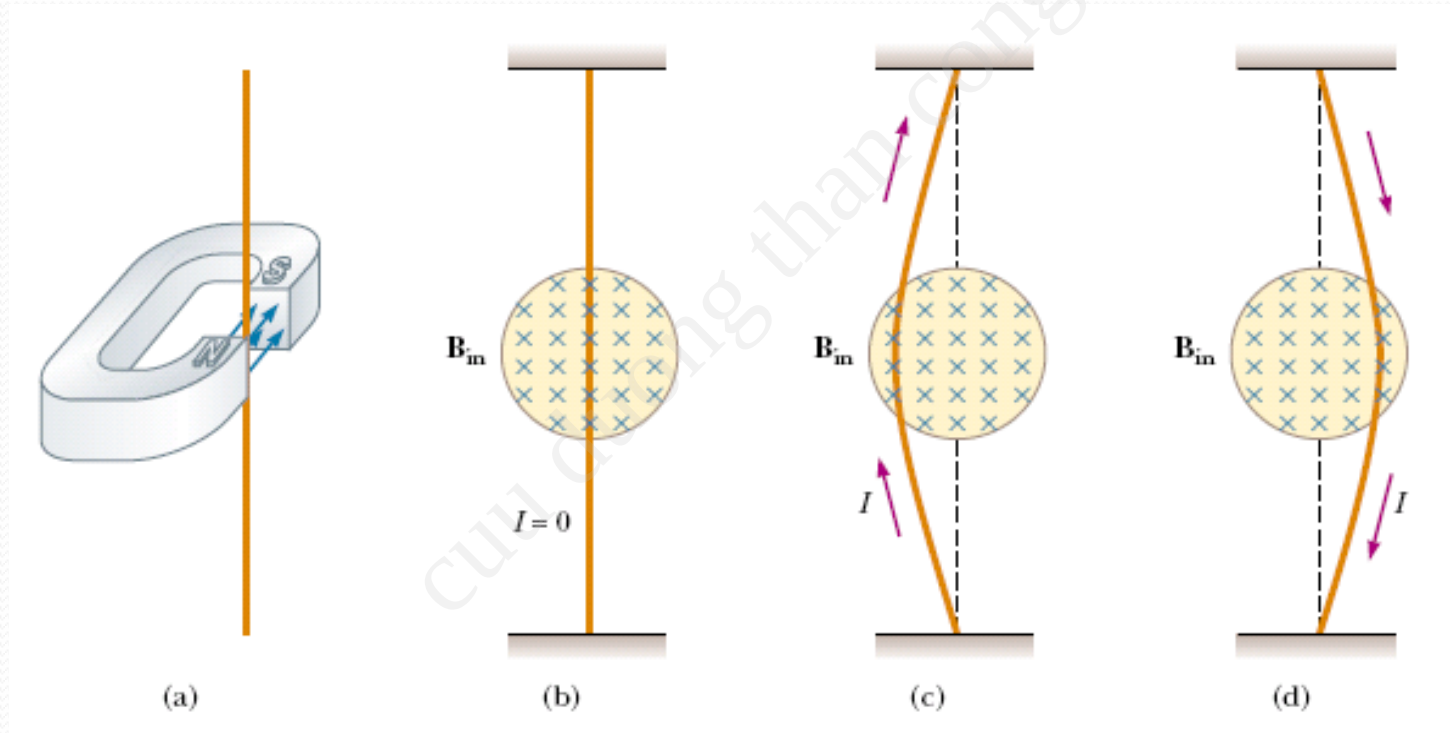


**Solenoid**

$$R_1 = R_2 = \infty$$

$$B = n\mu_0 I$$

## V/ ĐỊNH LUẬT AMPÈRE

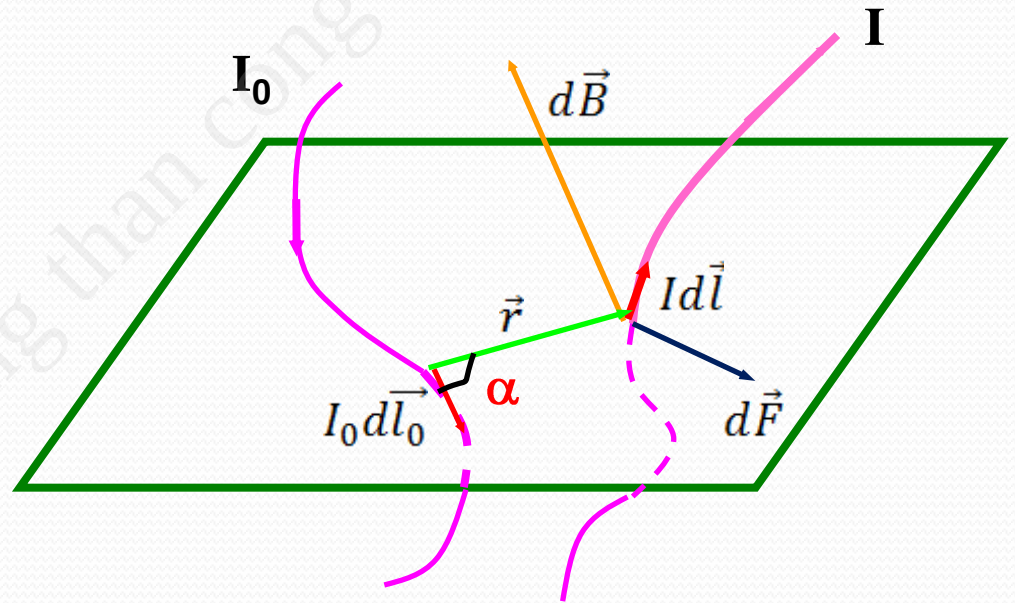


# ĐỊNH LUẬT AMPÈRE

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{r}}{r^3}$$

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times d\vec{B}$$

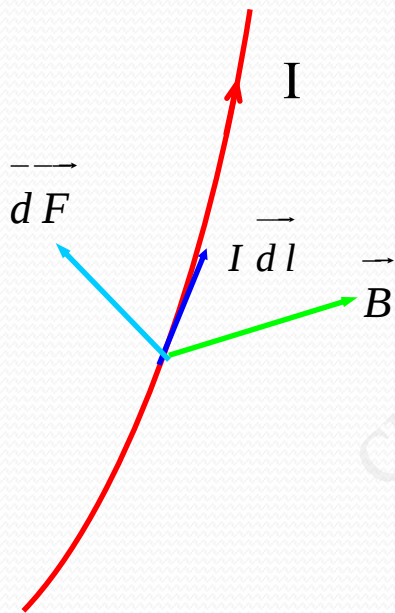
$$d\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times (I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{r})}{r^3}$$



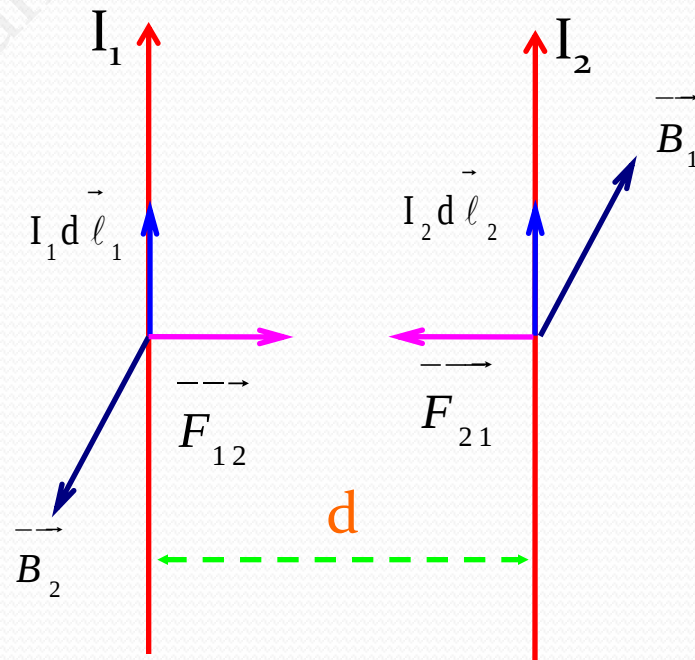
## VI ĐỊNH LUẬT AMPÈRE (tt):

$$\Rightarrow d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$dF = IdlB \sin \alpha$$



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \Rightarrow F_{21} = I_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$



## VI/ TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN MẠCH ĐIỆN KÍN:

### 1/ Xét lực từ tác dụng lên khung dây dẫn kín:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = \oint_{dd} d\vec{F}$$

$$\vec{F} = \oint_{dd} I d\vec{l} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = I \left( \oint_c d\vec{l} \right) \times \vec{B}$$

$$\text{Mà } \oint_c d\vec{l} = 0 \Rightarrow \vec{F} = 0$$

$\Rightarrow$  Mạch điện không chuyển động tịnh tiến trong từ trường.

## 2/ Mômen lực tác dụng lên khung dây dẫn kín:

$$\vec{S} = S\vec{n} = ab\vec{n}$$

$$F = F' = IbB\sin((\Delta), \vec{B})$$

$$(\Delta) \perp \vec{B} \Rightarrow F = F' = IBb$$

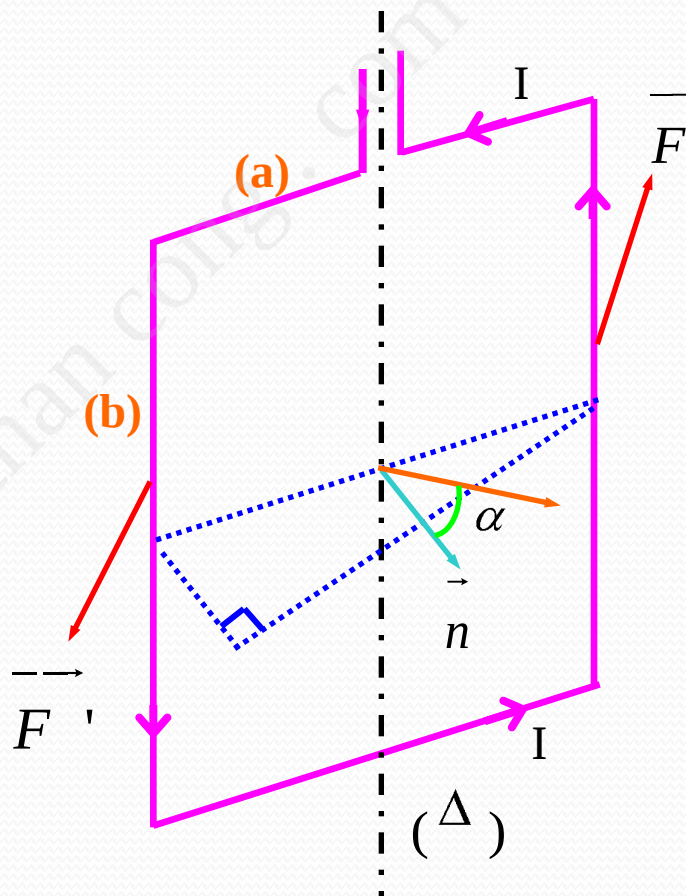
$$F = F' = IBb$$

$$M = IabB\sin\alpha = ISB\sin\alpha$$

$$\boxed{\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B})}$$

$$\vec{p}_m = I\vec{S}$$

$$\boxed{\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}}$$

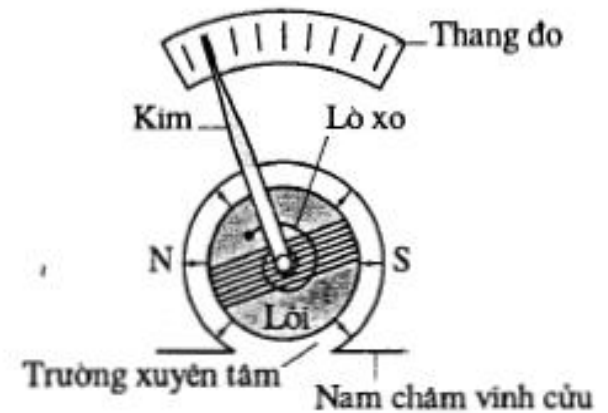


$$dA = -M d\alpha \Rightarrow dA = -p_m B \sin \alpha d\alpha$$

$$A = - \int_{\alpha}^0 p_m B \sin \alpha d\alpha = p_m B (1 - \cos \alpha)$$

$$\begin{aligned} W_m(\alpha) - W_m(0) &= p_m B (1 - \cos \alpha) \\ &= -p_m B \cos \alpha - (-p_m B \cos 0) \end{aligned}$$

$$W_m(\alpha) = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$$



## VII/ CÔNG CỦA LỰC TỪ:

Trong vùng không gian có từ trường đều  $\vec{B}$ , đặt mạch điện không đổi  $I$ , trong đó thanh  $MN = l$ , chuyển động tịnh tiến trong mặt phẳng khung dây.

Thanh chịu tác dụng của lực từ:

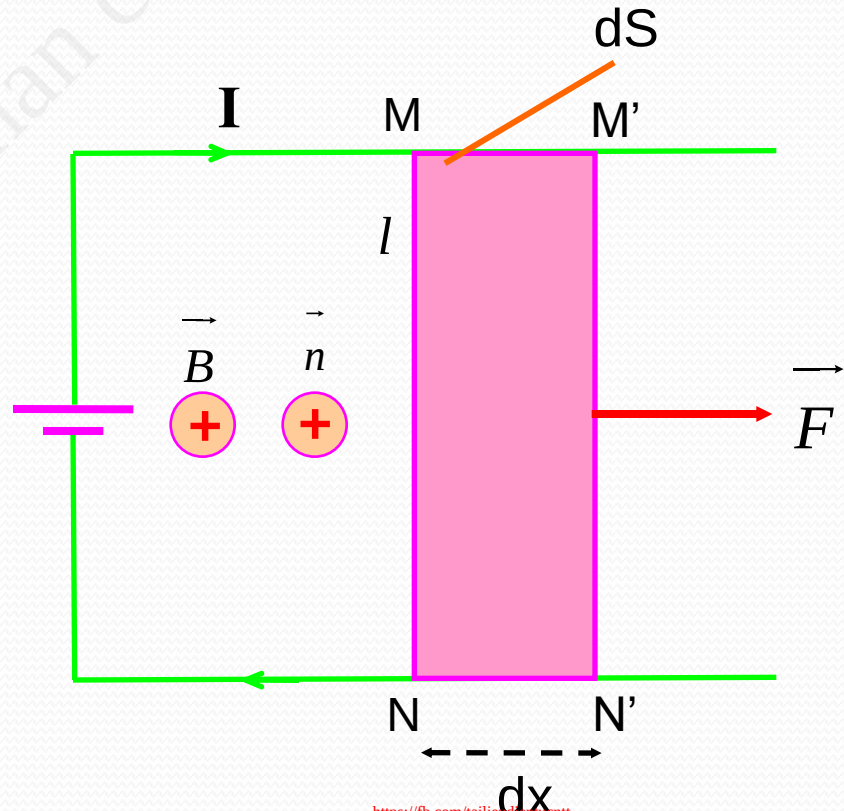
$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\begin{aligned} \text{nên } dA &= \vec{F} d\vec{x} = I(\vec{l} \times \vec{B}) d\vec{x} \\ &= I\vec{B} (d\vec{x} \times \vec{l}) \end{aligned}$$

Từ hình vẽ, ta thấy  $(d\vec{x} \times \vec{l}) = \vec{n} dS$

$$\text{Suy ra } dA = I\vec{B}\vec{n}dS = Id\Phi_m$$

$d\Phi_m$  là số gia của từ thông gửi qua khung khi thanh chuyển động



## VII/ CÔNG CỦA LỰC TỪ (tt):

$$dA_{pt} = (I d\vec{l} \times \vec{B}) d\vec{x} = I \vec{B} (d\vec{x} \times d\vec{l})$$

$$\text{mà } (d\vec{x} \times d\vec{l}) = \vec{n} dS$$

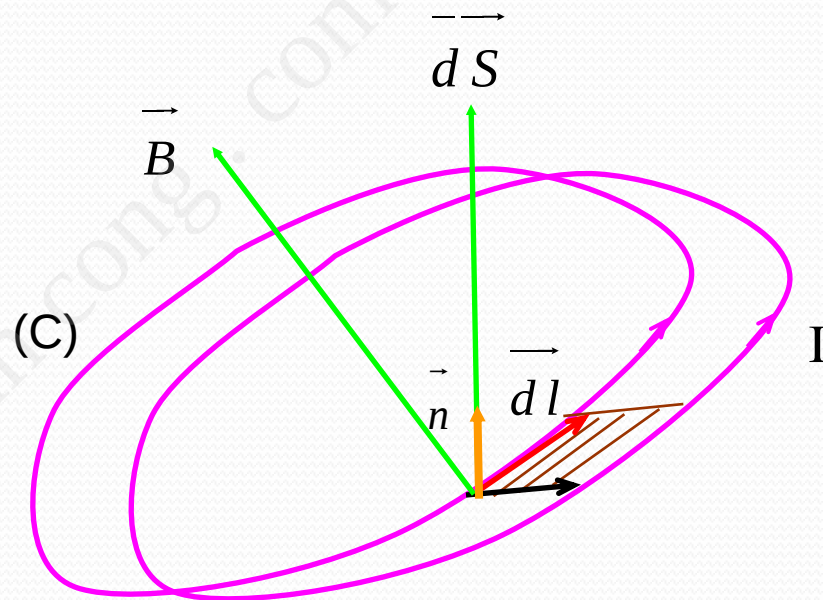
$$\Rightarrow dA_{pt} = I \vec{B} \vec{n} dS = I d\Phi_{mpt}$$

$$\text{Vậy } dA = \int dA_{pt} = \int I d\Phi_{mpt} = I d\Phi_m$$

Suy ra

$$A_{12} = \int_1^2 I d\Phi_m = I \Delta\Phi_m = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

$\Phi_{m1}, \Phi_{m2}$  là từ thông gửi qua khung ở vị trí 1 và 2



## VIII/ TỪ TRƯỜNG CỦA MỘT HẠT CHUYỂN ĐỘNG:

1/ Vector cảm ứng từ  $\vec{B}$  của một hạt chuyển động:

Ta có  $\vec{j} = n_o q \vec{v}$

nên  $Id\vec{l} = \vec{j}Sdl = n_o q \vec{v} Sdl$

$$\Rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} n_o q Sdl \frac{(\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

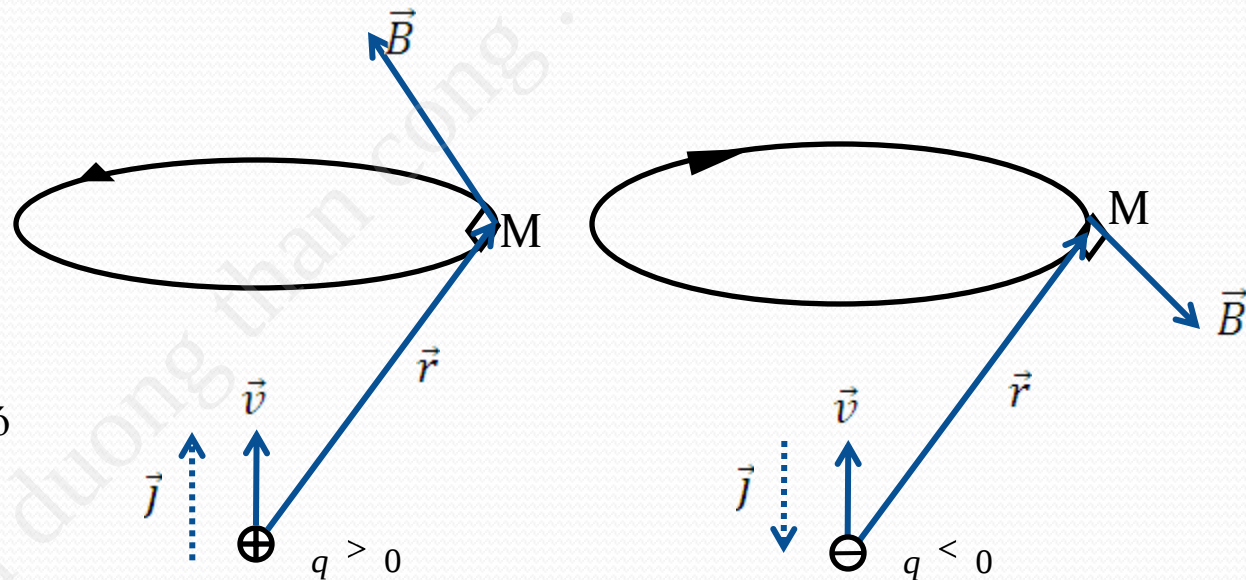
Gọi N là số hạt mang điện, ta có

$$N = n_o Sdl$$

Do đó,

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{n_o Sdl}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{B}_q = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3}}$$



là cảm ứng từ gây ra tại M do 1 điện tích q, chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$

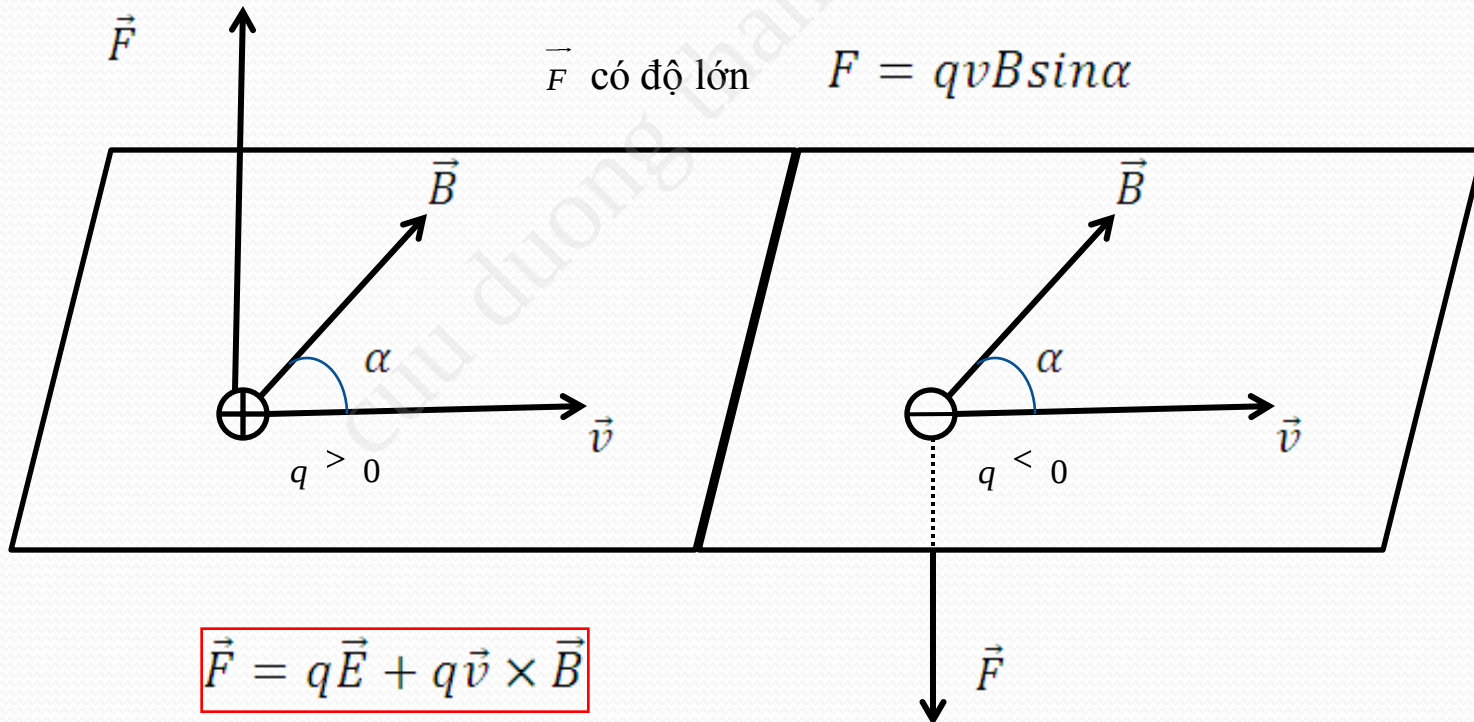
## 2/Lực Lorentz:

Ta có:  $I d\vec{l} = n_0 q \vec{v} S \cdot d\vec{l} \Rightarrow d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} = n_0 q S d\vec{l} (\vec{v} \times \vec{B})$

$\vec{F}$  lực từ tác dụng lên 1 điện tích chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  trong từ trường  $\vec{B}$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{F}}{n_0 S d\vec{l}} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}}$$

$\vec{F}$  có độ lớn  $F = qvB \sin \alpha$





# The End

cuu duong than cong . com