

# **CHƯƠNG 8**

## **TRƯỜNG TĨNH TỪ TRONG CHÂN KHÔNG**

- 1. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI**
- 2. TỪ TRƯỜNG TĨNH**
- 3. ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG**
- 4. ĐỊNH LÝ AMPÈRE VỀ DÒNG ĐIỆN TOÀN PHẦN**
- 5. LỰC TỪ**
  - 5.1. Lực Ampère**
  - 5.2. Lực Lorentz**

# 1. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

## a) Cường độ dòng điện:

- Cường độ dòng điện qua một mặt S bất kỳ là điện lượng chuyển qua mặt đó trong một đơn vị thời gian.

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

- Nếu chiều và cường độ dòng điện không đổi theo thời gian thì ta có dòng điện không đổi.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q}{t}$$

## b) Mật độ dòng điện:

- Xét dòng các hạt mang điện q chuyển động với vận tốc v. Vectơ mật độ dòng điện là:

$$\vec{j} = nq\vec{v} = \rho\vec{v}$$

Trong đó: n – mật độ hạt mang điện,  $\rho = nq$  – mật độ điện tích.

- Đơn vị của mật độ dòng điện là A/ m<sup>2</sup> .

**c) Liên hệ giữa mật độ và cường độ dòng điện:**

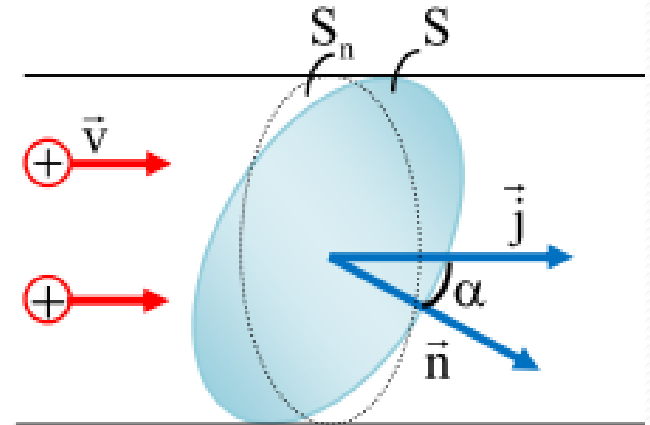
$$i = \int_S \vec{j} d\vec{S} = \int_S \vec{j} \cdot \vec{n} \cdot dS = \int_S j \cdot \cos \alpha \cdot dS = \int_S j dS_n$$

Trong đó:

$\vec{n}$  – vecto pháp tuyến của mặt  $dS$ .

$\alpha$  – góc giữa  $\vec{j}$  và  $\vec{n}$ .

$S_n$  – hình chiếu của  $S$  lên phương vuông góc với hướng chuyển động của các điện tích.



- Nếu mật độ dòng điện như nhau tại mọi điểm thì:

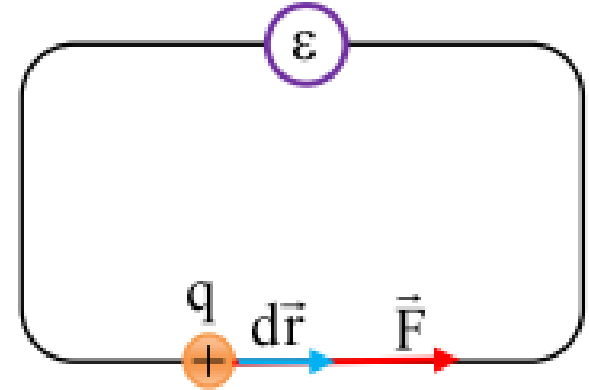
$$i = jS_n$$

### d) Suất điện động

Suất điện động  $\varepsilon$  của nguồn điện là công mà nguồn thực hiện khi dịch chuyển một đơn vị điện tích dương thành một dòng kín trong mạch:

$$\varepsilon = \frac{1}{q} \oint \vec{F} d\vec{r}$$

Trong đó:  $\vec{F}$  – lực do nguồn điện tác dụng lên  $q$ .  
 $d\vec{r}$  – độ dịch chuyển của  $q$ .

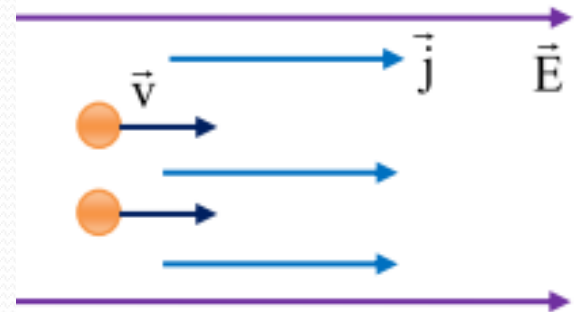


e) **Định luật Ohm** xác định mối liên hệ giữa mật độ dòng điện và điện trường ở một vị trí trong vật dẫn:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho}$$

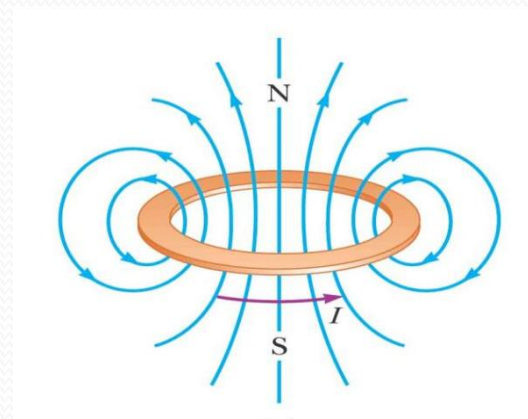
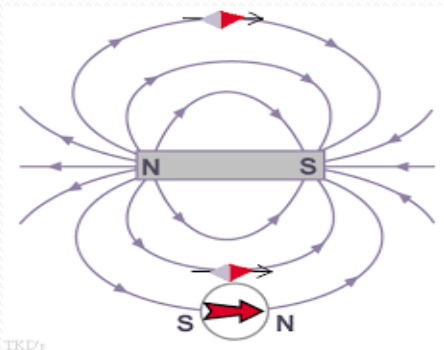
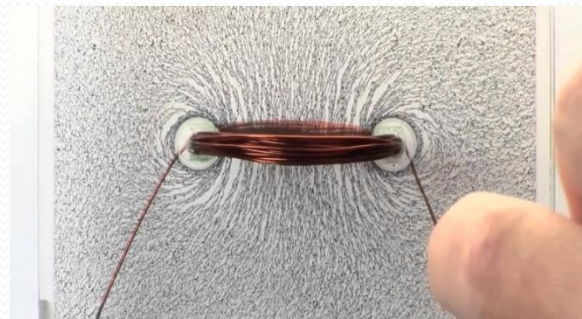
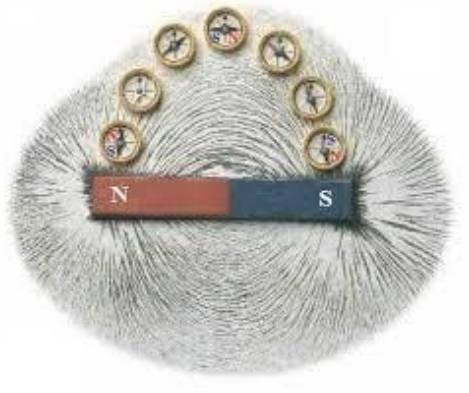
Trong đó:  $\rho$  – điện trở suất của vật dẫn ( $\Omega \cdot m$ ).

$\sigma$  – điện dẫn suất của vật dẫn ( $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ).



## 2. TỪ TRƯỜNG TĨNH

- Chung quanh một thanh nam châm hay dòng điện không đổi có một từ trường tĩnh (từ trường không đổi theo thời gian), là khoảng không gian trong đó ở mỗi điểm có một vector cảm ứng từ  $B$  xác định.
- Để mô tả từ trường ta dùng các đường sức, là những đường tiếp tuyến với vector cảm ứng từ ở mọi điểm.
- Đường sức từ luôn khép kín, nên từ trường có tính chất xoáy.



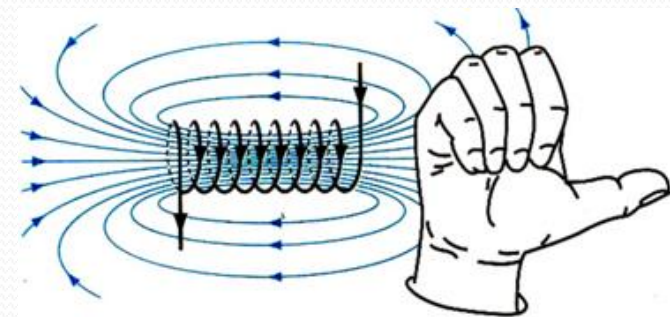
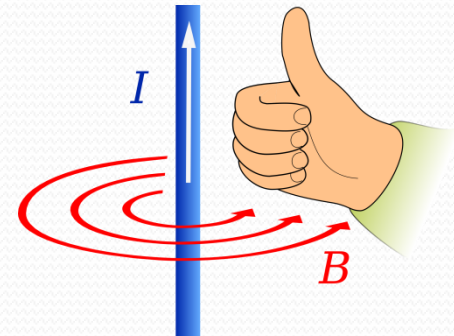
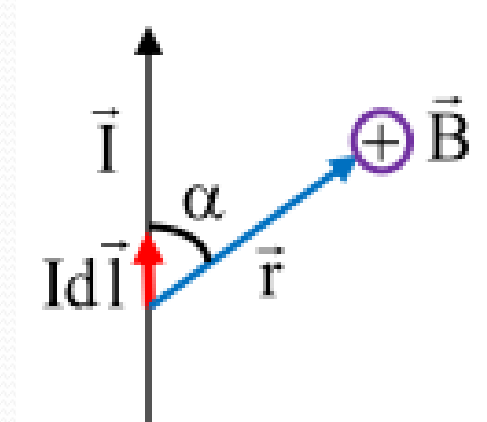
# ĐỊNH LUẬT BIOT – SAVART – LAPLACE

- Trong không gian bao quanh một phần tử dòng điện không đổi  $Id\vec{l}$  tồn tại một từ trường có vectơ cảm ứng từ  $d\vec{B}$  được xác định như sau:

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

- Chiều của  $d\vec{B}$  tuân theo quy tắc bàn tay phải.
- Độ lớn của  $d\vec{B}$ :  $dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I.dl.\sin \alpha}{r^2}$

Trong đó:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  – hằng số từ.  
 $\mu$  – độ từ thẩm của môi trường.  
 $\alpha$  – góc hợp bởi  $Id\vec{l}$  và  $\vec{r}$ .



- **Nguyên lý chồng chất từ trường:**

- ✓ Từ trường do một dòng điện (L) tạo ra:  $\vec{B} = \int_L d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

- ✓ Từ trường do nhiều dòng điện tạo ra:  $\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$

- Vecto cảm ứng từ  $\vec{B}$  phụ thuộc vào bản chất môi trường nên sẽ bị biến đổi đột ngột tại mặt phân cách của 2 môi trường có độ từ thẩm  $\mu$  khác nhau.

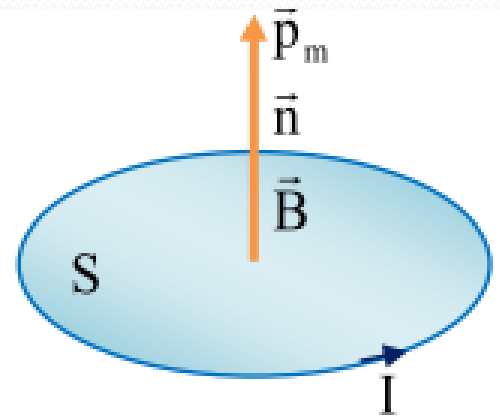
- **Vecto cường độ từ trường**  $\vec{H}$  không phụ thuộc vào  $\mu$  nên không bị gián đoạn tại mặt phân cách giữa 2 môi trường:

$$\boxed{\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}} \quad (\text{A/m})$$

- **Momen từ** của một dòng điện tròn cường độ I:

$$\boxed{\vec{p}_m = IS\vec{n}}$$

$\vec{n}$  là vecto pháp tuyến của mặt phẳng S giới hạn bởi dòng điện và chiều xác định bởi quy tắc bàn tay phải.





## BÀI TẬP VÍ DỤ 1

Xác định vecto cảm ứng từ do dòng điện có cường độ  $I$  chạy trong đoạn dây dẫn thẳng gây ra tại điểm  $M$  cách dây một đoạn  $R$ .

### HƯỚNG DẪN GIẢI

- Từ trường do một phần tử dòng điện gây ra tại  $M$ :

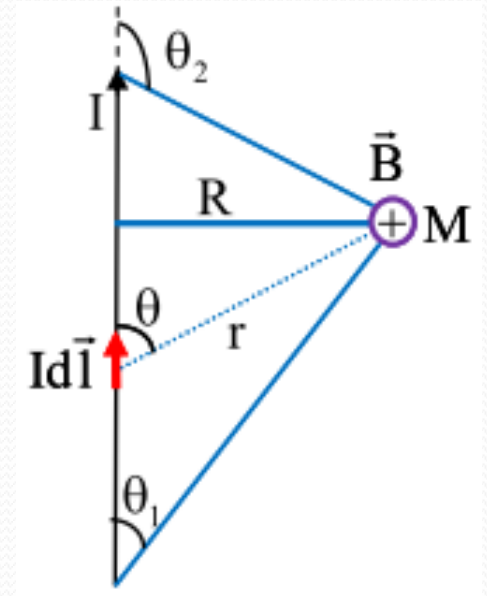
$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2}$$

- Ta có:  $r = \frac{R}{\sin \theta}$

$$l = R \cot \theta \rightarrow dl = \frac{R}{\sin^2 \theta} d\theta$$

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

- Nếu dây dẫn dài vô hạn:  $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi \rightarrow B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$





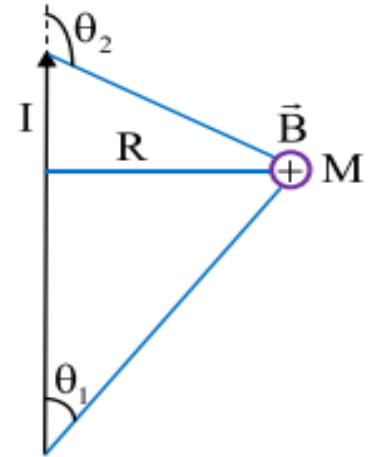
# TỪ TRƯỜNG CỦA MỘT SỐ DẠNG DÒNG ĐIỆN

**1. Dòng điện thẳng:** điểm M cách dòng điện một đoạn r.

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

Nếu dòng điện thẳng dài vô hạn:  $\theta_1 = 0$ ,  $\theta_2 = 180^\circ$

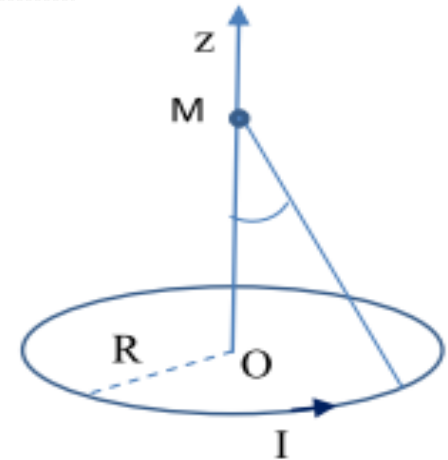
$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$$



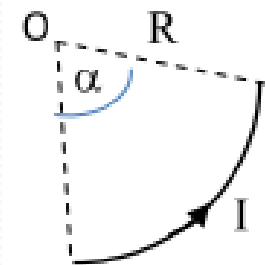
**2. Dòng điện tròn:** M nằm trên trục của dòng điện.

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

Nếu M nằm ở tâm dòng điện tròn:  $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$



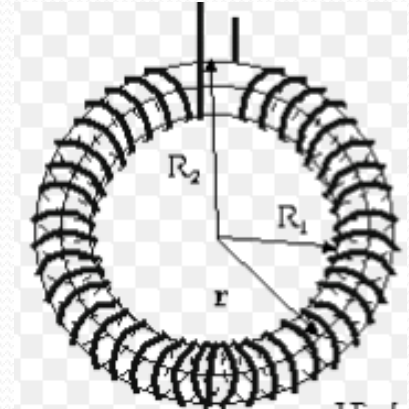
Nếu M nằm ở tâm cung tròn góc  $\alpha$ :  $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \alpha$



# TỪ TRƯỜNG CỦA MỘT SỐ DẠNG DÒNG ĐIỆN

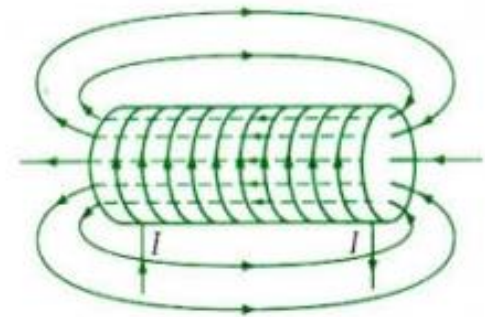
- 3. Cuộn dây hình xoắn** có  $N$  vòng, bán kính trong  $R_1$  và bán kính ngoài  $R_2$

$$B = \begin{cases} \frac{\mu\mu_0 NI}{2\pi r} & (R_1 < r < R_2) \\ 0 & (r < R_1, r > R_2) \end{cases}$$



- 4. Ống dây solenoid** dài vô hạn có mật độ vòng dây là  $n$ :

$$B = \begin{cases} \mu\mu_0 nI & (r < R) \\ 0 & (r > R) \end{cases}$$



- 5. Mặt phẳng tích điện đều** với mật độ điện mặt  $\sigma$  chuyển động đều vận tốc  $v$ :

$$B = \mu\mu_0 \frac{\sigma v}{2}$$



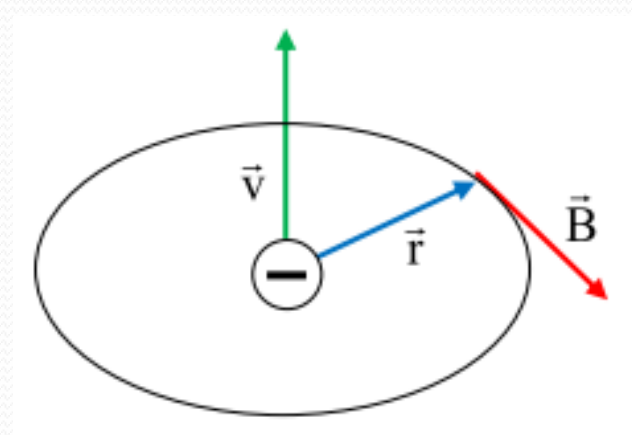
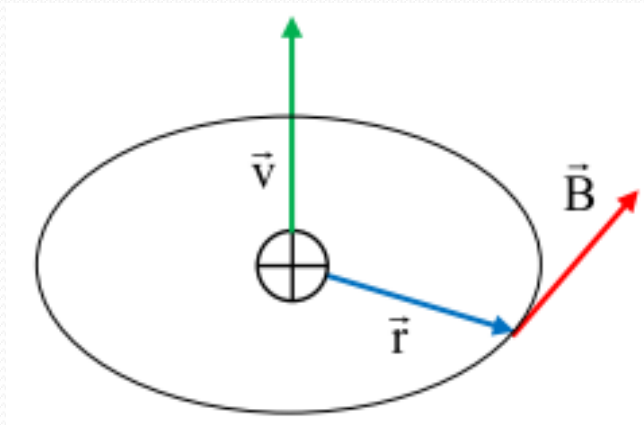
# TỪ TRƯỜNG CỦA ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG

- Một điện tích  $q$  chuyển động với vận tốc  $v$  tạo ra một từ trường  $B$  tại vị trí cách nó một khoảng  $r$  như sau:

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{q(\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

- So sánh với từ trường do dòng điện tạo ra ta thấy điện tích  $q$  chuyển động với vận tốc  $v$  tương đương với một phần tử dòng điện sao cho:

$$Id\vec{l} = q\vec{v}$$



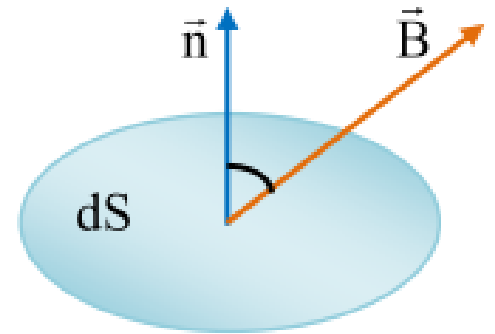
### 3. ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

- **Từ thông** là thông lượng của vectơ cảm ứng từ  $d\Phi$  gửi qua một diện tích  $dS$ :

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

- Từ thông toàn phần gửi qua một mặt hữu hạn (S)

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



- **Định lý Gauss:** Thông lượng của vectơ cảm ứng từ gửi qua mặt kín bất kỳ thì luôn luôn bằng không.

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

- Định lý Gauss ở dạng vi phân:

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

- **Ý nghĩa của ĐL Gauss:** đường sức từ luôn luôn khép kín, hay từ trường có tính chất xoáy.

## 4. ĐỊNH LÝ AMPÈRE VỀ DÒNG ĐIỆN TOÀN PHẦN

- **Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo đường cong (L)** là đại lượng bằng tích phân đường của  $\vec{H}$  dọc theo toàn bộ đường cong đó:

$$\int_L \vec{H} d\vec{l} = \int_L H \cdot dl \cdot \cos \alpha$$

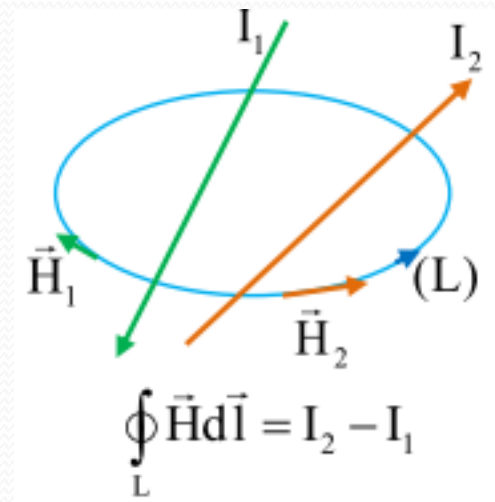
- **Định lý Ampere:** Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_i I_i$$

với  $I_i > 0$  nếu thuận chiều (L) và  $I_i < 0$  nếu ngược chiều (L) theo quy tắc bàn tay phải.

- **Dạng vi phân của định lý Ampere:**  $\text{rot} \vec{H} = \vec{j}$

- **Ý nghĩa của định lý Ampere:** từ trường không phải là trường thế mà là trường xoáy.



## 5. LỰC TỪ

### 5.1. LỰC AMPERE

- Phần tử dòng điện  $Idl$  đặt trong từ trường  $B$  sẽ chịu tác dụng của lực từ gọi là lực Ampere:

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

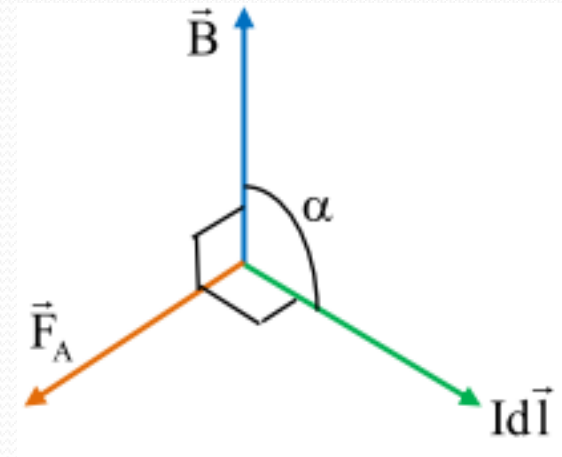
- Hướng của lực Ampere tuân theo quy tắc bàn tay phải.
- Độ lớn của lực Ampere:

$$dF_A = I.dl.B.\sin \alpha$$

Trong đó:  $\alpha$  – góc hợp bởi  $Id\vec{l}$  và  $\vec{B}$ .

- Theo nguyên lý chồng chất, dòng điện dài  $L$  đặt trong từ trường  $B$  sẽ chịu tác dụng của lực Ampere:

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



# TƯƠNG TÁC GIỮA HAI DÒNG ĐIỆN THẲNG

- Xét 2 dòng điện thẳng  $I_1$  và  $I_2$  dài vô hạn, song song với nhau và đặt cách nhau một khoảng  $r$ .
- Cảm ứng từ do dòng điện  $I_1$  gây ra tại điểm đặt phần tử dòng điện  $I_2 dl$  là:

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

- Phần tử dòng điện  $I_2 dl$  chịu tác dụng lực từ là:

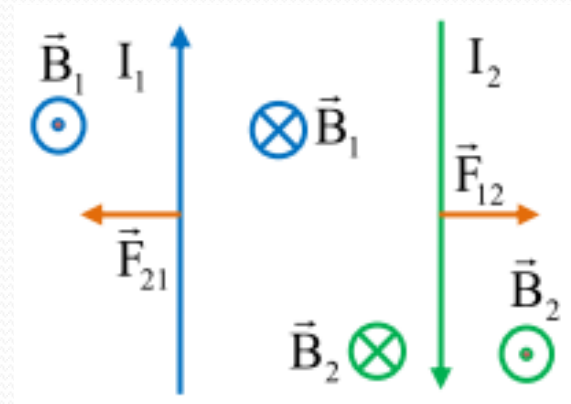
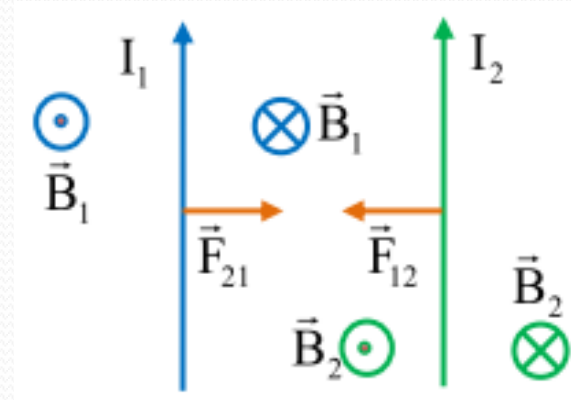
$$dF_{12} = I_2 \cdot dl \cdot B_1 \sin 90^\circ = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi r}$$

- Tương tự, phần tử dòng điện  $I_1 dl$  chịu tác dụng lực từ là:

$$dF_{21} = I_1 \cdot dl \cdot B_2 \sin 90^\circ = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi r}$$

- Với:  $d\vec{F}_{21} = -d\vec{F}_{12}$

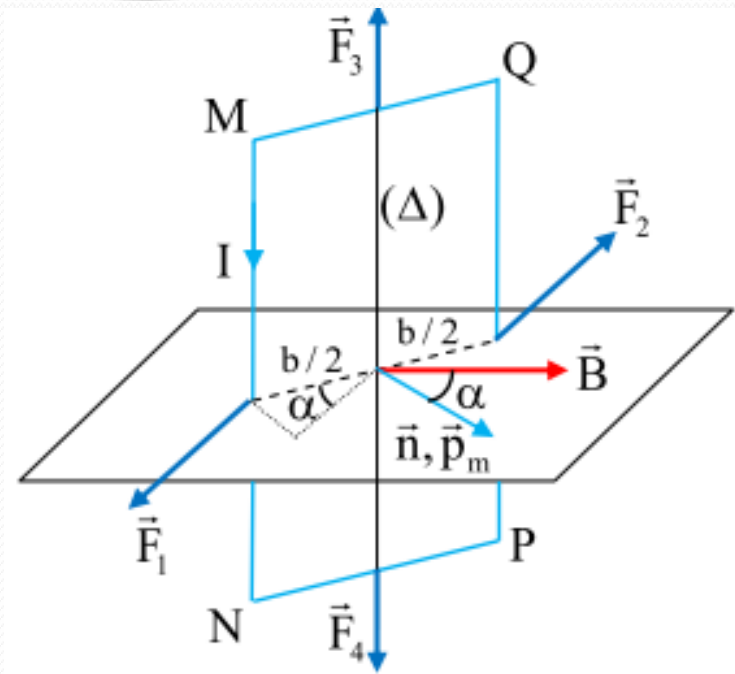
- Nếu 2 dòng điện cùng chiều thì lực tương tác là lực hút, nếu 2 dòng điện ngược chiều thì lực tương tác là lực đẩy.





# TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN MẠCH ĐIỆN KÍN

- Xét khung dây chữ nhật MNPQ (MN = a, MQ = b) có dòng điện I chạy qua. Khung không bị biến dạng, được treo bằng một sợi dây thẳng đứng đi qua khối tâm như hình vẽ.
- Khung dây đặt trong từ trường đều  $\vec{B}$  nằm ngang.
- Lúc đầu, vecto pháp tuyến của khung dây hợp với  $\vec{B}$  một góc  $\alpha$ .



- Lực từ tác dụng lên cạnh NP và QM triệt tiêu nhau.
- Lực từ tác dụng lên cạnh MN và PQ tạo thành một ngẫu lực có momen lực đối với trục  $\Delta$  là:

$$M = F_1 \frac{b}{2} \sin \alpha + F_2 \frac{b}{2} \sin \alpha = IBab \sin \alpha = p_m B \sin \alpha \rightarrow \vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$$

→ Momen ngẫu lực từ do từ trường đều tác dụng lên khung dây bằng tích có hướng của vecto momen từ của khung dây và vecto từ cảm.

- Momen quay  $M$  làm khung quay xung quanh trục  $\Delta$  đến khi  $\alpha = 0$  (tức  $F_1$  và  $F_2$  bằng 0).

- Khi khung quay một góc  $d\alpha$ , momen  $M$  thực hiện được một công là:

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

Dấu (-) là vì khi ngẫu lực thực hiện công ( $dA > 0$ ) thì góc  $\alpha$  giảm ( $d\alpha < 0$ )

- Công của momen ngẫu lực thực hiện khi làm cho khung dây quay từ vị trí lệch góc  $\alpha$  về vị trí cân bằng  $\alpha=0$  là:

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

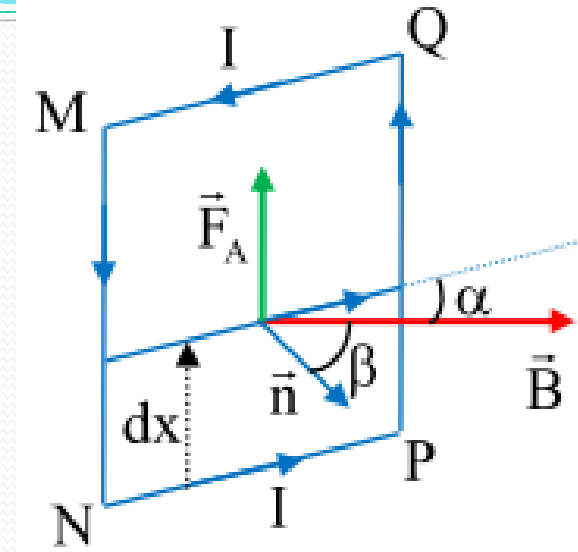
- Thế năng của khung dây trong từ trường  $B$  là:

$$U = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$$

- Các kết quả trên cũng đúng trong trường hợp khung dây dẫn có hình dạng bất kỳ.

# CÔNG CỦA LỰC TỪ

- Xét một mạch điện kín MNPQ đặt trong từ trường đều. Trong mạch điện có dòng điện  $I$  chạy qua. Cạnh  $NP=a$  có thể trượt không ma sát trên 2 cạnh  $MN$  và  $PQ$ .



- Vecto  $\vec{B}$  hợp với mặt phẳng mạch điện một góc  $\alpha$ , tức  $\vec{B}$  hợp với vecto pháp tuyến  $\vec{n}$  của mặt phẳng mạch điện một góc  $\beta = 90^\circ - \alpha$ .

- Thanh  $NP$  chịu tác dụng của lực từ  $F_A = IaB \sin \alpha$  nên dịch chuyển đoạn  $dx$ . Công của lực từ trong quá trình dịch chuyển này là:

$$dA = Fdx = IaB \sin \alpha dx = IB \cos \beta dS = Id\Phi$$

$$A = \int_1^2 dA = \int_1^2 Id\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$$

- Vậy công của lực từ khi di chuyển một mạch điện kín trong từ trường bằng tích số giữa cường độ dòng điện chạy trong mạch và độ biến thiên từ thông gửi qua mạch.

## 5.2. LỰC LORENTZ

- Hạt mang điện tích  $q$  chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  trong từ trường  $\vec{B}$  sẽ chịu tác dụng của lực từ gọi là lực Lorentz:

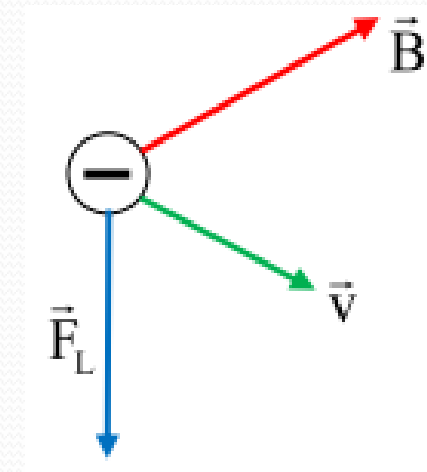
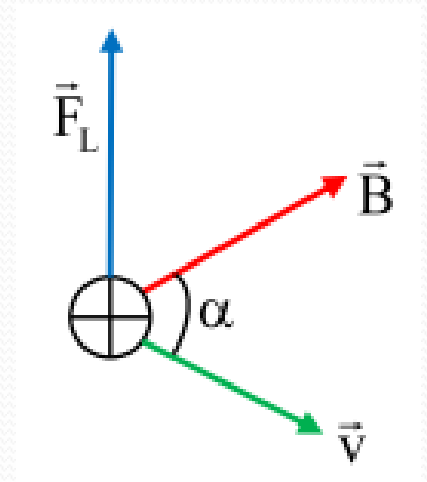
$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

- Hướng của lực Lorentz tuân theo quy tắc bàn tay phải.
- Độ lớn của lực Lorentz:  $F_L = qvB \sin \alpha$

Trong đó:  $\alpha$  – góc hợp bởi  $\vec{v}$  và  $\vec{B}$ .

- Lực Lorentz luôn vuông góc với vận tốc chuyển động của hạt nên đây là lực hướng tâm, công của lực Lorentz luôn bằng 0.

$$F_L = ma_{ht} \rightarrow qvB \sin \alpha = m \frac{v^2}{R}$$



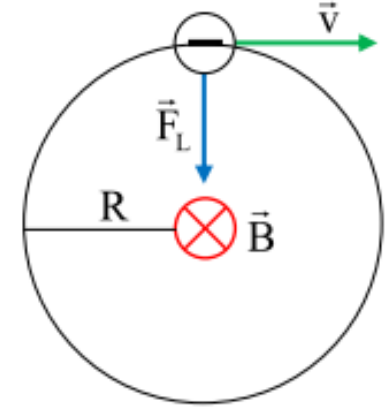
a) Nếu  $\alpha = 90^\circ$ : lực Lorentz làm hạt chuyển động tròn đều trong mặt phẳng vuông góc với từ trường.

- Bán kính quỹ đạo, chu kỳ quay và vận tốc góc của hạt là:

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

$$T = 2\pi \frac{m}{qB}$$

$$\omega = \frac{qB}{m}$$



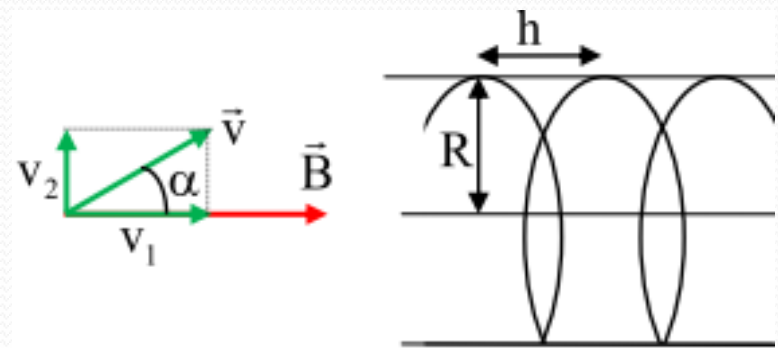
b) Nếu  $\alpha \neq 90^\circ$ : vecto vận tốc được phân tích thành 2 thành phần:

- Thành phần  $v_1 = v \cdot \cos \alpha$  song song với  $B$ : làm hạt chuyển động tịnh tiến theo phương của từ trường.
- Thành phần  $v_2 = v \cdot \sin \alpha$  vuông góc với  $B$ : làm hạt chuyển động tròn đều như trường hợp (a).

Do đó, quỹ đạo của hạt là đường xoắn ốc với bán kính  $R$  và bước  $h$  (khoảng cách giữa 2 vòng) là:

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

$$h = 2\pi \frac{mv}{qB} \cos \alpha$$



# HIỆU ỨNG HALL

- Khi đặt một vật dẫn có dòng điện chạy qua trong một từ trường theo phương vuông góc với dòng điện thì một hiệu điện thế sẽ xuất hiện giữa hai mặt vật dẫn gọi là **hiệu điện thế Hall**.
- Các điện tích dưới tác dụng của lực từ sẽ chuyển động về một mặt của vật dẫn → hai mặt vật dẫn tích điện trái dấu → xuất hiện điện trường bên trong vật dẫn.
- Điện trường tác dụng lên điện tích lực điện ngược chiều với lực từ.
- Khi lực điện và lực từ cân bằng ta xác định được cường độ điện trường trong vật dẫn:  $eE = evB \rightarrow E = vB$ .

- Hiệu điện thế Hall giữa 2 mặt vật dẫn: 
$$U_H = Ed = vBd = \frac{jBd}{n_0 e} = R_H jBd$$

$n_0$  – mật độ điện tích.

$j$  – mật độ dòng điện.

$R_H = 1 / n_0 e$  – hằng số Hall.

$d$  – khoảng cách giữa 2 mặt vật dẫn.

