

## Tương tác từ

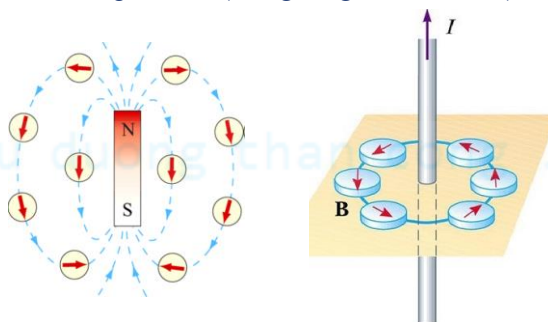
1. Từ trường tạo bởi một hạt điện chuyển động
2. Từ trường tạo bởi phần tử dòng điện
3. Định luật Gauss đối với từ trường
4. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần
5. Ứng dụng định luật Ampere
6. Tác dụng của từ trường lên điện tích chuyển động
7. Chuyển động của điện tích trong từ trường
8. Tác dụng của từ trường lên dòng điện
9. Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín

1

cuuduongthancong.com

**Hiện tượng từ** đã được phát hiện nhiều thế kỷ trước CN. Từ trường tự nhiên (địa từ, quặng sắt từ hóa - nam châm,...), và nhân tạo (trong các thiết bị điện từ như mô-tơ điện, ti vi, lò vi sóng, lò từ, loa, ổ đĩa máy tính, băng từ, thẻ từ,...)

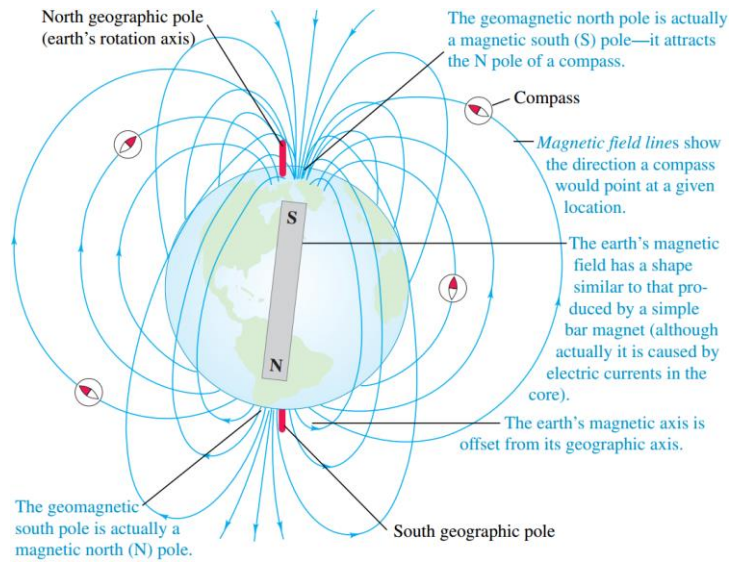
**Bản chất của tương tác từ** là lực tác dụng lên các điện tích chuyển động, khác với bản chất của tương tác điện (tương tác giữa 2 điện tích).



Kim la bàn định hướng theo từ trường.

1. **Điện tích chuyển động** hay dòng điện **tạo ra từ trường**.
2. **Từ trường tác dụng lực** lên **điện tích chuyển động** hay dòng điện.

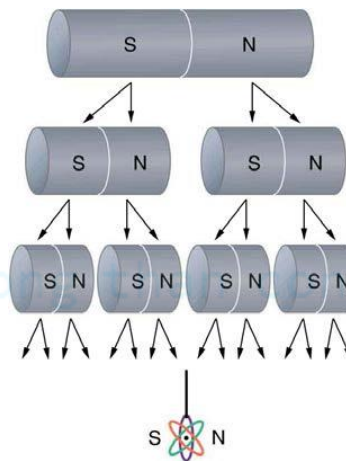
2



Phác họa từ trường của trái đất.

3

cuu duong than cong . com



*Luôn tồn tại cặp cực Nam – Bắc từ. Cố gắng tách cực từ sinh ra nhiều cặp cực từ. Nếu tiếp tục phân chia nam châm, cuối cùng dẫn đến một nguyên tử sắt cũng có cực Nam – Bắc.*

4

## 1. Từ trường tạo bởi điện tích chuyển động (Điện tích chuyển động tạo ra từ trường)

Một điện tích  $q$  di chuyển với vận tốc  $v$  tạo ra xung quanh một từ trường  $\vec{B}$ :

$$B = \frac{\mu_0 |q| v \sin \phi}{4\pi r^2}, \quad \phi = (\vec{v}, \vec{r})$$

$$\text{Vector: } \vec{B} = \frac{\mu_0 q \vec{v} \times \hat{r}}{4\pi r^2}, \quad \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (T.m/A)}$$

Đơn vị  $B$ : T (Tesla)

$$\text{Định nghĩa vector H: } \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} \quad (\text{A/m})$$

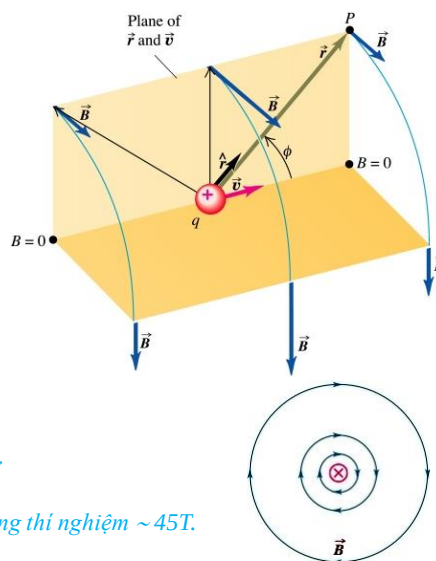
$$1 \text{ T} = 1 \text{ N/A.m}$$

$1 \text{ G (Gauss)} = 10^{-4} \text{ T}$ : thường dùng đo địa từ

Từ trường bậc  $10 \text{ T}$  xảy ra trong nguyên tử.

Từ trường đều lớn nhất đã tạo ra trong phòng thí nghiệm  $\sim 45 \text{ T}$ .

Trên mặt sao neutron ước tính là  $10^8 \text{ T}$ .



5

## 2. Từ trường tạo bởi dòng điện (Dòng điện tạo ra từ trường)

Nguyên lý chồng chất từ trường:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

Phần tử dòng điện dài  $dl$ , tiết diện  $A$ , mật độ điện tích  $n \cdot q$ , có điện tích:

$$dQ = n \cdot q \cdot A \cdot dl$$

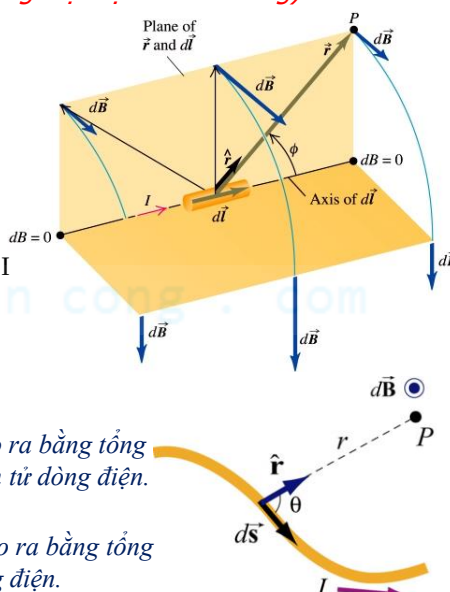
$$dB = \frac{\mu_0 n |q| A dl \cdot v_d \cdot \sin \phi}{4\pi r^2}, \quad \text{mà } n |q| A v_d = I$$

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \phi}{4\pi r^2} \rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

(Định luật Biot – Savart)

$$\vec{B} = \int_L d\vec{B} \quad \text{Từ trường do dòng điện } L \text{ tạo ra bằng tổng vector từ trường của mỗi phần tử dòng điện.}$$

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i \quad \text{Từ trường do } N \text{ dòng điện tạo ra bằng tổng vector từ trường của các dòng điện.}$$



6

## 2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

### Dòng điện thẳng

Phần tử  $Idl = Idy$  sinh ra tại P từ trường  $dB$ :

$$dB = \frac{\mu_0 Idy \cdot \sin\phi}{4\pi r^2}$$

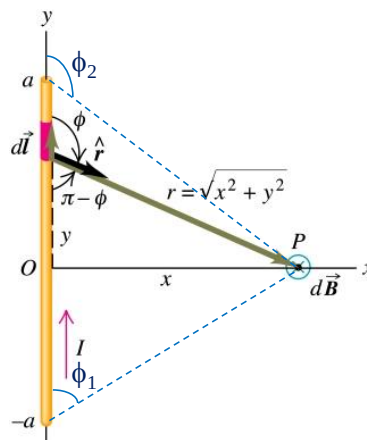
$$r = \frac{x}{\sin\phi}$$

$$y = -x \cdot \cot\phi \Rightarrow dy = \frac{x}{\sin^2\phi} d\phi$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\sin\phi}{\left(\frac{x}{\sin\phi}\right)^2} \frac{x}{\sin^2\phi} d\phi = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \sin\phi d\phi$$

$$B = \int_{\phi=\phi_1}^{\phi_2} dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} (\cos\phi_1 - \cos\phi_2)$$

Khi  $\phi_1 \rightarrow 0$  và  $\phi_2 \rightarrow \pi$  (dây rất dài so với x):  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$  Chiều của B theo quy tắc bàn tay phải.



7

## 2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

### Dòng điện tròn – Tính B tại điểm P trên trục

Phần tử  $Idl$  sinh ra tại P từ trường  $dB$ :

$$\text{Vì } Idl \perp \vec{r} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I \cdot dl}{4\pi r^2}$$

$$\cos\theta = \frac{a}{r}$$

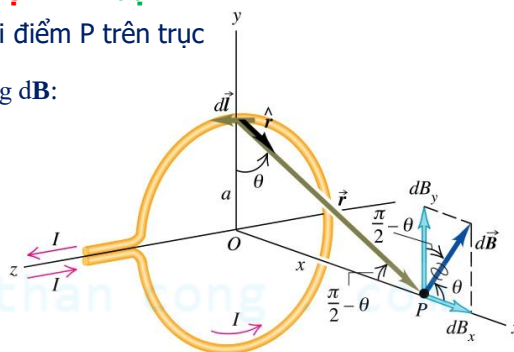
$$dB_x = dB \cdot \cos\theta = \frac{\mu_0 I a \cdot dl}{4\pi r^3}$$

$$B = B_x = \oint dB_x = \frac{\mu_0 I a}{4\pi r^3} \oint dl$$

$$\text{Từ trường tại một điểm trên trục của vòng điện tròn: } B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$\text{Từ trường tại tâm O của vòng điện tròn: } B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

Chiều của B theo quy tắc bàn tay phải.



8

## 2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

### Dòng điện cung tròn – Tính B tại tâm C

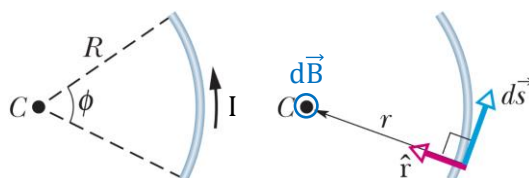
Phần tử  $I \cdot ds$  sinh ra tại tâm C từ trường  $d\vec{B}$ :

$$\text{Vì } I d\vec{s} \perp \vec{r} \Rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot ds}{R^2}$$

$$ds = R d\phi$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} d\phi$$

$$B = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\phi d\phi$$



Từ trường tại tâm C vuông góc mặt phẳng chứa dòng điện cung tròn, chiều xác định bởi quy tắc bàn tay phải (*hướng ra*):

$$B = \frac{\mu_0 I \phi}{4\pi R}$$

9

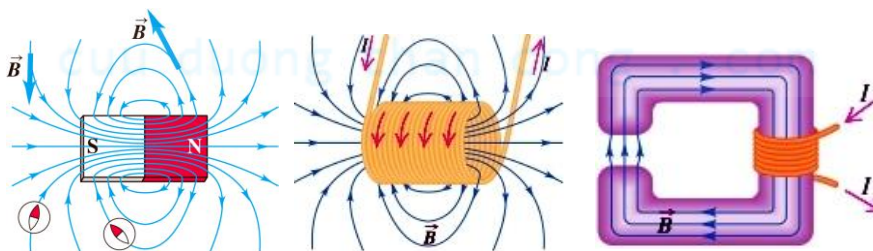
cuu duong than cong . com

## 3. Định luật Gauss đối với từ trường - Đường sức từ

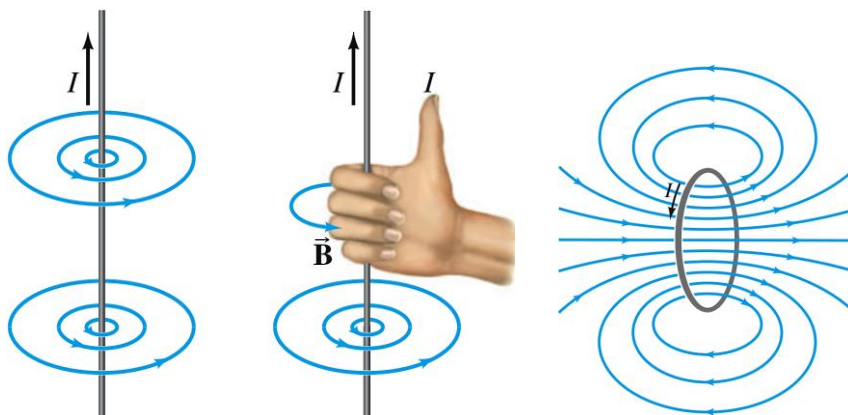
**Đường sức từ** là đường cong vẽ ra trong không gian sao cho tiếp tuyến tại mỗi điểm trùng với vector từ trường tại điểm đó. Chiều của đường sức theo chiều của từ trường (*chiều của kim la bàn*).

**Đường sức từ là đường cong kín**, khác đường sức điện là đường cong hở.

Mật độ đường sức từ tỉ lệ với độ lớn của từ trường tại mỗi điểm.



10



Đường sức từ do dòng điện thẳng

Đường sức từ do dòng điện tròn

11

cuuduongthancong.com

### 3. Định luật Gauss đối với từ trường - Từ thông

**Từ thông** qua mặt vi cấp  $dA$ :

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_{\perp} dA = B dA \cdot \cos\phi, \quad \phi = (\vec{B}, d\vec{A})$$

Từ thông qua mặt A:  $\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$

Đơn vị:  $Wb = T \cdot m^2$

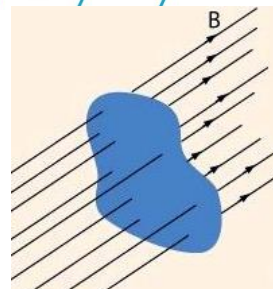
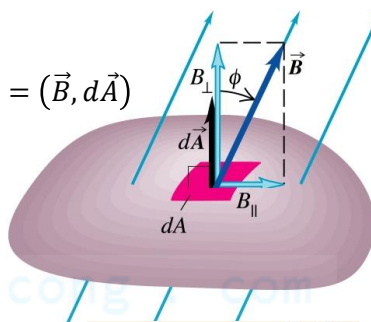
Từ thông qua nhiều mặt:  $\Phi_B = \sum_{i=1}^N \Phi_{B_i}$

**Từ thông qua mặt kín bất kỳ luôn bằng 0**

(Định luật Gauss đối với từ trường):

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Đường sức từ là đường cong kín  $\Rightarrow$  Tổng đường sức đi vào bằng tổng đường sức đi ra khỏi mặt kín.



12

### Thông lượng từ trường – Thí dụ

Vòng chữ nhật  $a \times b$  đặt gần dòng điện thẳng  $I$  như hình vẽ. Tính từ thông qua mặt chữ nhật.

Từ trường do dòng điện thẳng sinh ra:  $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
( $\vec{B} \parallel d\vec{A}$ )

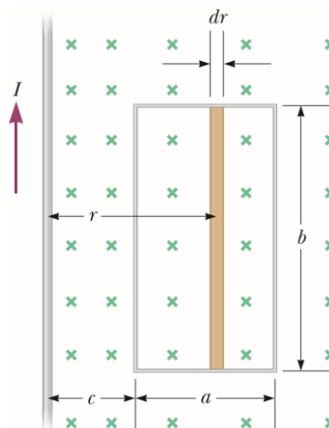
Từ thông qua mặt chữ nhật **vi cấp** (màu nâu):

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot dA = B(b \cdot dr) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} b \cdot dr$$

Từ thông qua mặt chữ nhật ( $a \times b$ ):

$$\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_c^{c+a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln r \Big|_c^{c+a}$$

$$\Rightarrow \Phi_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{a}{c}\right)$$



13

cuuduongthancong.com

### 4. Định luật Ampere về dòng điện toàn phần

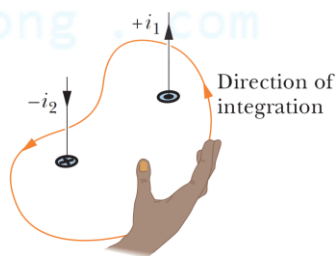
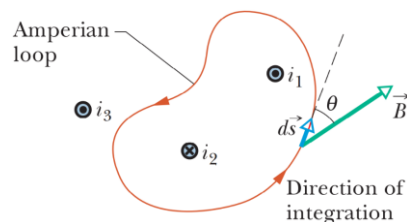
**Lưu số của từ trường** dọc theo đường cong kín bất kỳ  $C$  bằng tổng đại số cường độ dòng điện qua mặt giới hạn bởi đường  $C$  nhân với  $\mu_0$ .

$$L_B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_j I_j$$

Chiều dương của mặt giới hạn xác định bởi chiều dương đường cong  $C$  theo qui tắc bàn tay phải.

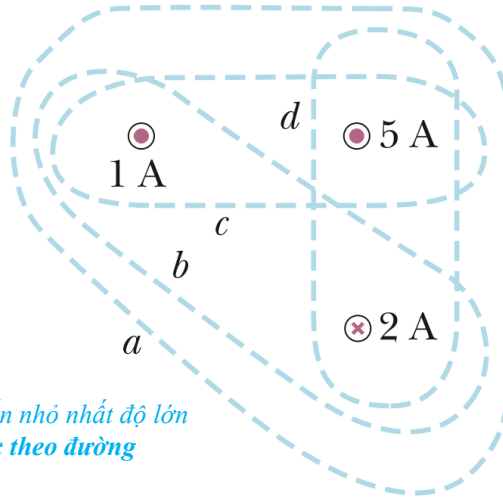
**Thí dụ:** Đường cong kín Ampere chỉ bao quanh dòng  $i_1$  và  $i_2$ , và dòng  $i_1$  theo chiều dương của mặt giới hạn:

$$L_B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_1 - i_2)$$



14

#### 4. Định luật Ampere về dòng điện toàn phần



Xếp thứ tự từ lớn nhất đến nhỏ nhất độ lớn của lưu số từ trường dọc theo đường cong kín a, b, c, d ?

15

cuu duong than cong . com

#### 5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

##### Từ trường sinh bởi trụ dẫn điện dài

Trụ dẫn dài, tiết diện bán kính R mang dòng điện không đổi I. Xác định từ trường cách trục dòng điện một khoảng r.

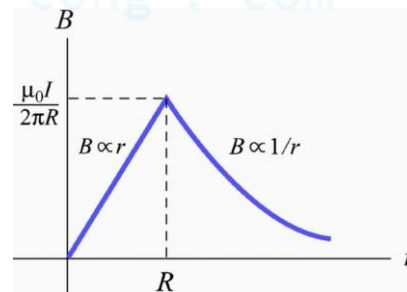
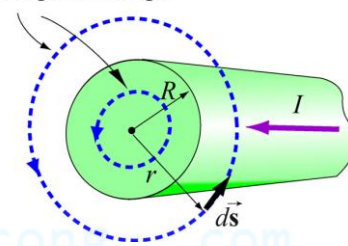
Xét đường tròn Ampere C bán kính r (đường xanh dương). Vector B tiếp xúc với C ( $\mathbf{B} // d\mathbf{l}$ ) và có độ lớn không đổi trên C. Lưu số từ trường dọc theo đường cong C:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \oint_C dl = B(2\pi r) = \mu_0 I_C$$

$$r < R, B(2\pi r) = \mu_0 I \cdot r^2 / R^2 \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{r}{R^2}$$

$$r > R, B(2\pi r) = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Amperian loops



16



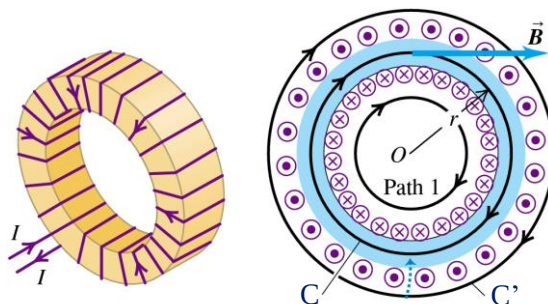
## 5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

### Từ trường sinh bởi cuộn dây hình xuyên (toroidal solenoid)

Cuộn dây hình xuyên gồm N vòng, có dòng điện I chạy qua.

Xét đường tròn C bán kính r ( $a < r < b$ ). Vectơ  $\vec{B}$  tiếp xúc với C ( $\vec{B} // d\vec{l}$ ) và có độ lớn không đổi trên C. Lưu số từ trường dọc theo đường cong C:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \oint_C dl = B(2\pi r) = \mu_0 NI \Rightarrow B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$



Xét đường tròn C' → Từ trường bên ngoài cuộn dây  $\approx 0$

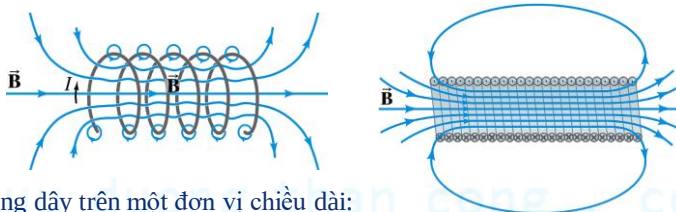
17

cuuduongthancong.com

## 5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

### Từ trường sinh bởi cuộn dây solenoid

Cuộn dây Solenoid gồm N vòng, dài L có dòng điện I chạy qua.



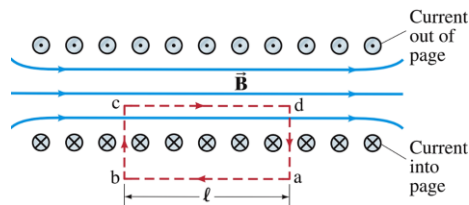
Số vòng dây trên một đơn vị chiều dài:

$$n_0 = \frac{N}{L}$$

Xét đường cong Ampere hình chữ nhật abcd

$$\oint_{abcd} \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \int_{cd} dl = Bl = \mu_0 n_0 l \cdot I$$

$$\Rightarrow B = \mu_0 n_0 I$$



18

## 6. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên điện tích chuyển động

**Điện tích điểm  $q$  đang chuyển động** với vận tốc  $\vec{v}$  hợp với vector  $\vec{B}$  một góc  $\phi$  sẽ **chịu tác dụng một lực từ  $\vec{F}$**  theo phương  $\perp$  mặt phẳng chứa vector  $\vec{v}$  và  $\vec{B}$ .

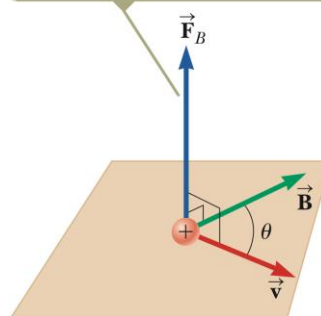
Chiều của lực  $\vec{F}$  xác định theo qui tắc bàn tay phải và có độ lớn:

Độ lớn từ lực:  $F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \cdot \sin\phi$

Biểu diễn vector:  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

Đơn vị SI:  $B$ : T (Tesla) ;  $q$ : C ;  $v$ : m/s ;  $F$ : N

The magnetic force is perpendicular to both  $\vec{v}$  and  $\vec{B}$ .



19

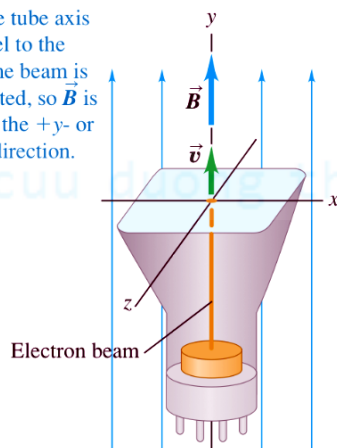
cuu duong than cong . com

## 6. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên điện tích chuyển động

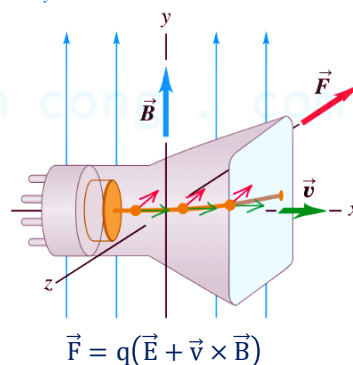
### Xác định chiều của từ trường bằng ống phóng tia âm cực

Dưới tác động của từ trường, tia  $e^-$  sẽ bị lệch phương chuyển động.

(a) If the tube axis is parallel to the y-axis, the beam is undeflected, so  $\vec{B}$  is in either the +y- or the -y-direction.



(b) If the tube axis is parallel to the x-axis, the beam is deflected in the -z-direction, so  $\vec{B}$  is in the +y-direction.



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

20

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

### Điện tích chuyển động theo phương $\perp \vec{B}$

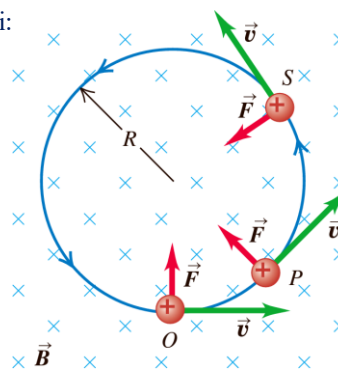
Từ lực  $\vec{F}$  trên  $q$  hướng tâm và có độ lớn không đổi:

$$F = |q|vB = m \frac{v^2}{R}$$

Bán kính quỹ đạo tròn:  $R = \frac{mv}{|q|B}$

Vận tốc góc:  $\omega = \frac{v}{R} = v \frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$

Tần số cyclotron:  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{|q|B}{2\pi m}$ ,  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$



21

cuu duong than cong . com

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

### Điện tích chuyển động theo phương hợp với $\vec{B}$ một góc $\alpha \neq \pi/2$

Phân tích  $\vec{v}$  theo phương  $\perp$  và  $\parallel$  với vector  $\vec{B}$ :

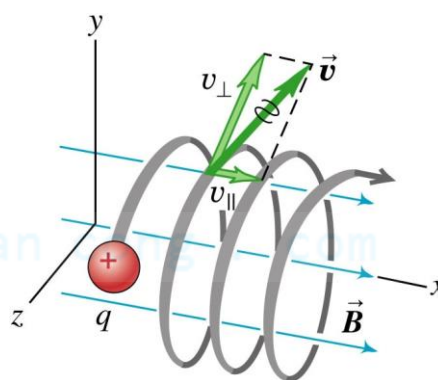
$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel}$$

Hình chiếu chuyển động của  $q$  trên mặt phẳng  $yz \perp \vec{B}$  (lực  $F = qv_{\perp}B$ ) là chuyển động tròn bán kính  $R$ :

$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \frac{mv \sin \alpha}{|q|B}$$

Hình chiếu chuyển động trên trục  $x \parallel \vec{B}$  (với  $F_{\parallel} = 0$ ) là chuyển động thẳng đều với vận tốc:  $v_x = v_{\parallel} = v \cos \alpha$

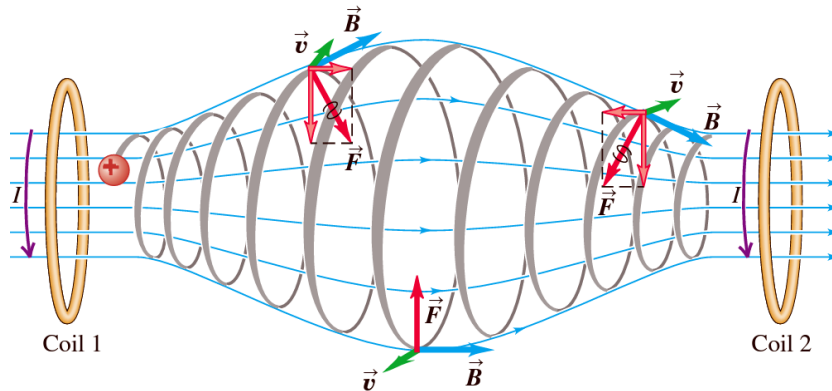
Quỹ đạo của  $q$  là **helix**. Lực từ không sinh công (vì  $\vec{F} \perp \vec{v}$ ), do đó tốc độ và động năng của hạt không đổi trong từ trường đều  $\vec{B}$ .



22

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

**Chai từ** (magnetic bottle): tạo ra vùng từ trường mạnh để nhốt các khí ion hóa năng lượng cao (plasma), nhiệt độ có thể lên đến hàng triệu độ mà các vật liệu làm bình chứa đều hóa hơi.



Hai cuộn dây điện (coil màu vàng) tạo từ trường dạng chai. Từ lực hai đầu hướng vào vùng tâm. Điện tích chuyển động xoắn ốc qua lại hai đầu chai từ.

23

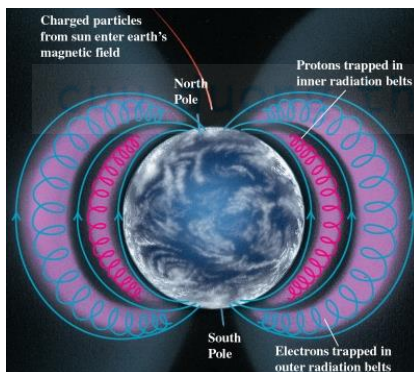
cuuduongthancong.com

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

**Vành đai bức xạ Van Allen** (Van Allen radiation belts):

Phát hiện 1958, do địa từ nhốt các hạt điện tích (chủ yếu e và p) từ gió mặt trời và một phần hạt vũ trụ. Địa từ cũng làm lệch tia vũ trụ hướng đến trái đất.

Bão từ mặt trời và điện từ biến đổi của vành đai Van Allen có thể gây hại cho vệ tinh và ảnh hưởng đến sự sống trên mặt đất.



(Van Allen belts)

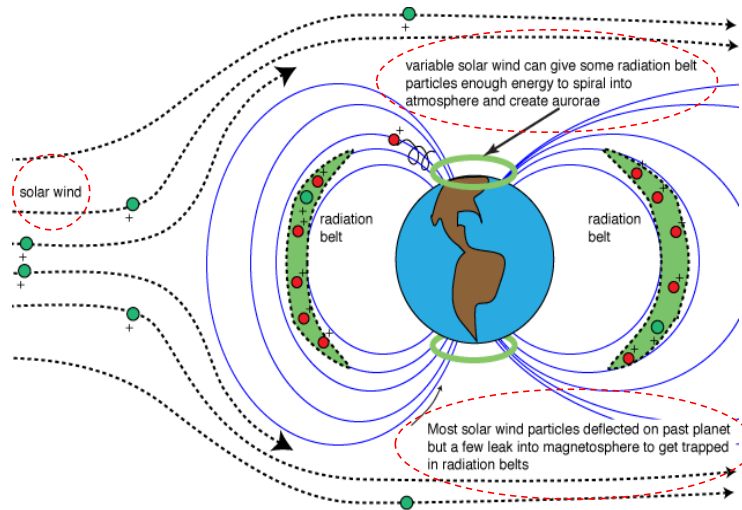


(Cực quang - Aurora)

24

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

### Vành đai bức xạ Van Allen (Van Allen radiation belts)



(Bão địa từ gây bởi gió mặt trời lên từ trường trái đất)

25

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường - Ứng dụng

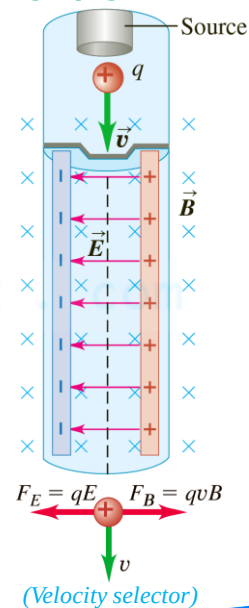
### Thiết bị lựa chọn tốc độ hạt điện tích

Các hạt điện tích  $q$  phát ra từ nguồn cathod nhiệt hoặc từ vật liệu phóng xạ **di chuyển không cùng tốc độ  $v$** .

Những hạt chịu **lực điện và lực từ cân bằng nhau** sẽ chuyển động thẳng và đi qua thiết bị lựa chọn tốc độ:

$$F_e = F_m \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = E/B$$

Điều chỉnh điện trường  $E$  và từ trường  $B$  để **cho hạt có tốc độ  $v$  thích hợp đi qua.**



26

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

### Phổ kế khối lượng (Mass Spectrometers)

Hạt (ion) khối lượng  $m$ , điện tích  $q$  đi qua khe  $S_3$  của thiết bị lựa chọn tốc độ sẽ có tốc độ  $v=E/B$  rồi đi vào từ trường  $B'$  theo phương vuông góc.

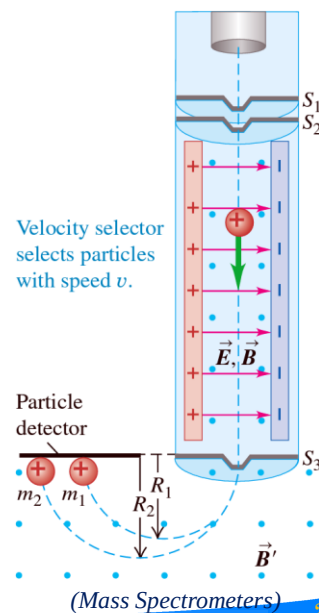
Quỹ đạo của hạt sẽ là cung tròn bán kính  $R$ :

$$R = \frac{mv}{|q|B'}$$

Biết  $q$ ,  $v$ ,  $B'$  và đo  $R$  (bằng kính ảnh) sẽ suy ra khối lượng  $m$ :

$$m = R \frac{|q|B'}{v}$$

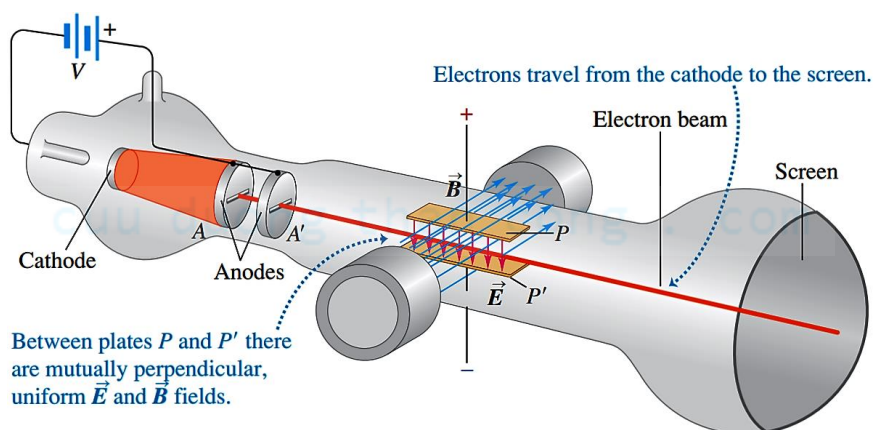
Nhờ phương pháp này, người ta đã đo khối lượng các ion và khám phá một số đồng vị của các nguyên tố.



27

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

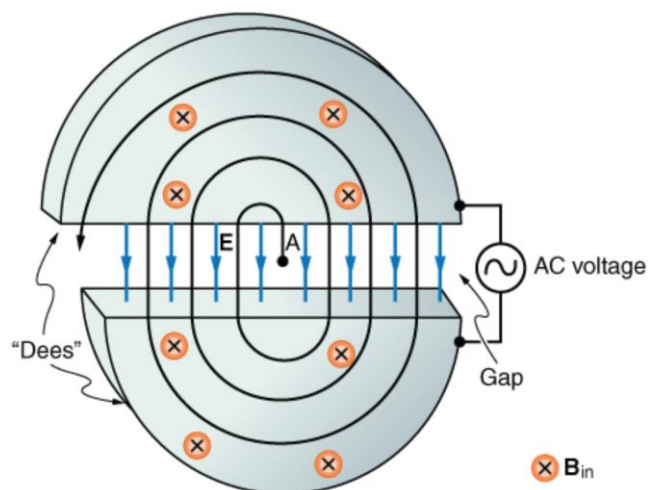
### Thiết bị Thomson



28

## 7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

### Sơ đồ Cyclotrons



29

cuu duong than cong . com

## 8. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên dòng điện

Lực từ tác dụng lên điện tích  $q$  đang chuyển động với vận tốc  $\vec{v}_d$  trong dòng điện đặt trong từ trường  $\vec{B}$ :

$$\vec{F}_q = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Lực từ tác dụng lên tất cả  $N$  điện tích  $q$  mật độ  $n$  dịch chuyển trong đoạn dòng điện dài  $l$ , tiết diện  $A$ :

$$\vec{F} = N\vec{F}_q = nqAl(\vec{v}_d \times \vec{B}) = nqAv_d \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

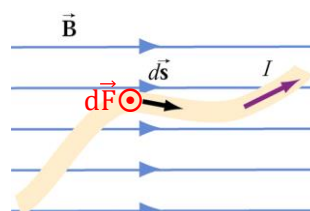
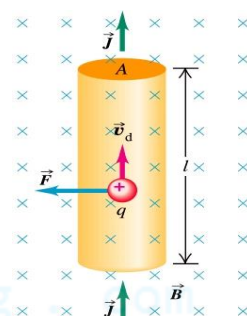
$$\Rightarrow \vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

$\Rightarrow$  Từ lực trên một phần tử dòng điện  $Id\vec{l}$ :

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

$\Rightarrow$  Từ lực tác dụng lên dòng điện  $I$  đặt trong từ trường  $\vec{B}$ :

$$\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} Id\vec{l} \times \vec{B}$$



30



## 8. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên dòng điện: Thí dụ

### Từ lực tác dụng lên dòng điện nửa vòng tròn kín

Từ lực tác dụng lên đoạn dòng điện thẳng  $2R$ :

$$\vec{F}_1 = I2R \cdot \hat{i} \times B \cdot \hat{j} = 2IRB(\hat{i} \times \hat{j}) = 2IRB \cdot \hat{k}$$

Xét cung tròn. Phần tử  $ds$ :  $ds = R d\theta$

Từ lực trên phần tử  $ds$  của cung tròn:

$$dF_2 = IR d\theta \cdot B \cdot \sin\theta = IRB \sin\theta \cdot d\theta$$

Từ lực trên nửa vòng tròn:

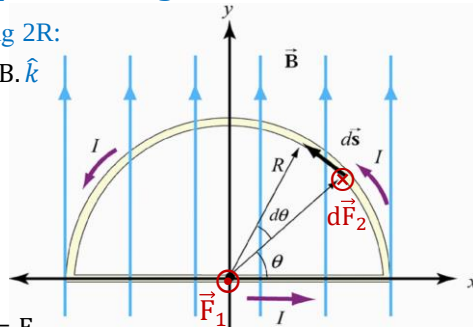
$$F_2 = \int_0^\pi dF_2 = IRB \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta = 2IRB = F_1$$

Tổng từ lực trên dòng điện nửa vòng tròn kín:  $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2 \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

Biểu diễn vector:

$$d\vec{F}_2 = Id\vec{s} \times \vec{B} = IRd\theta(-\sin\theta \hat{i} + \cos\theta \hat{j}) \times B\hat{j} = -IRB \sin\theta \cdot d\theta \hat{k}$$

$$\vec{F}_2 = \int_0^\pi d\vec{F}_2 = -IRB \hat{k} \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta = -2IRB \hat{k} = -\vec{F}_1$$



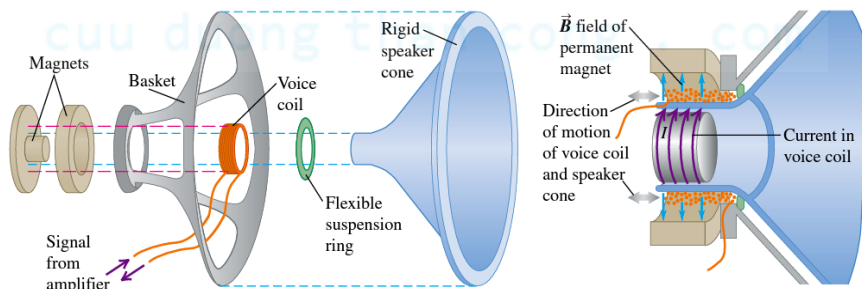
31

## 8. Tác dụng của từ trường lên dòng điện: Ứng dụng

### Loa phát thanh (Loudspeaker)

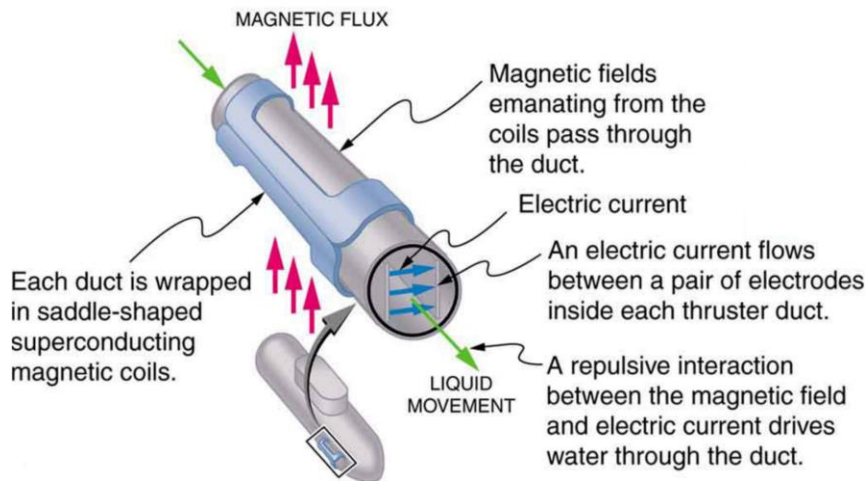
Cuộn dây điện (màu cam) đồng trục với nam châm và gắn liền với màn loa.

Từ lực của nam châm tác động lên cuộn dây điện mang tín hiệu âm làm cho màn loa dao động tạo ra sóng âm. Cường độ dòng điện qua cuộn dây càng lớn, từ lực càng mạnh và gây ra cường độ sóng âm càng lớn.



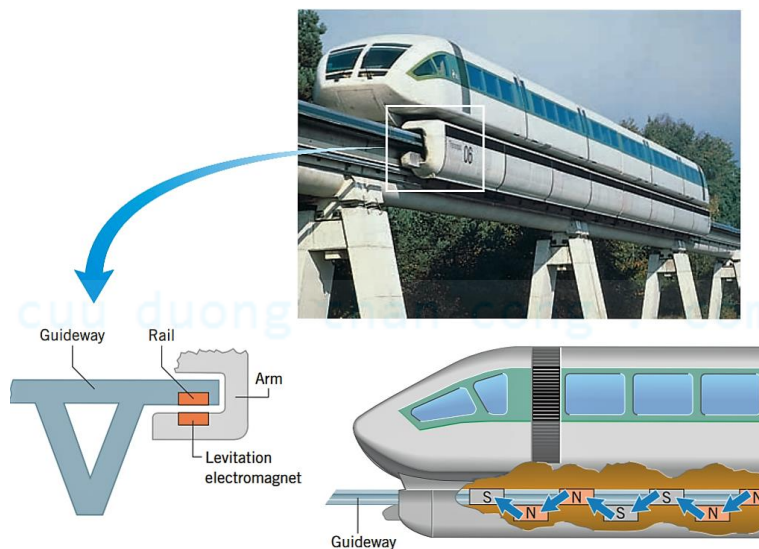
32





*Hệ thống đẩy Từ thủy động lực học MHD (MagnetoHydroDynamic propulsion system) tạo lực đẩy rất ít tiếng ồn so với hệ thống đẩy chân vịt, đặc biệt cho tàu ngầm.*

33



Magnetically Levitated Train (High-Speed Railway)

34

### 9. Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín

Xét khung dây chữ nhật (hình vẽ).

Lực  $F$  trên cạnh  $a$ :  $F = I a B$

Lực tổng hợp trên mạch kín trong từ trường đều bằng 0 nhưng momen ngẫu lực  $\tau$  (torque) nói chung khác 0.

$\tau = F \cdot b \cdot \sin\phi = I b a \cdot b \sin\phi = I A b \sin\phi$

Moment lưỡng cực từ của mạch kín:

$$\mu = I A \rightarrow \vec{\mu} = I \vec{A}$$

$$\Rightarrow \tau = \mu B \sin\phi \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

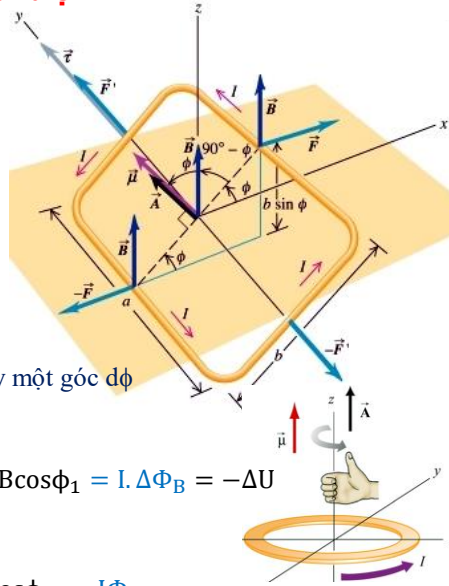
Công của ngẫu lực  $\tau$  làm lưỡng cực quay một góc  $d\phi$

$$dW = -\tau d\phi = -\mu B \sin\phi \cdot d\phi = -dU$$

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} -\mu B \sin\phi \cdot d\phi = \mu B \cos\phi_2 - \mu B \cos\phi_1 = I \cdot \Delta\Phi_B = -\Delta U$$

Thế năng của lưỡng cực từ:

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos\phi = -I A B \cos\phi = -I \Phi_B$$



35

cuuduongthancong.com

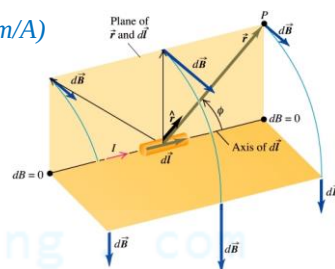
### TÓM TẮT CÔNG THỨC

1) Từ trường sinh bởi điện tích chuyển động:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2} \quad (T), \quad \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T.m/A)$$

2) Từ trường sinh bởi dòng điện:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \Rightarrow \vec{B} = \int_L d\vec{B}$$



3) Từ trường sinh bởi  $N$  dòng điện:  $\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i$

4) Từ thông qua mặt  $A$ :  $\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (Wb = T.m^2)$

5) Định luật Gauss đối với từ trường:  $\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

36

## TÓM TẮT CÔNG THỨC

6) Định luật Ampere về dòng điện toàn phần:

$$L_B = \int_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i \quad (T.m)$$

7) Từ lực trên điện tích chuyển động:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

8) Từ lực trên phần tử dòng điện:

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

9) Từ lực tác dụng lên dòng điện:  $\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} Id\vec{l} \times \vec{B}$

