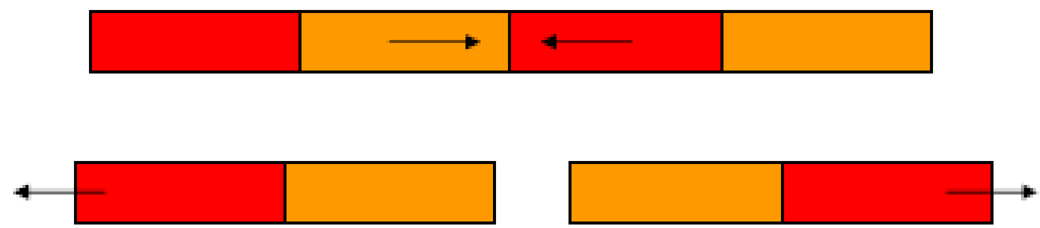
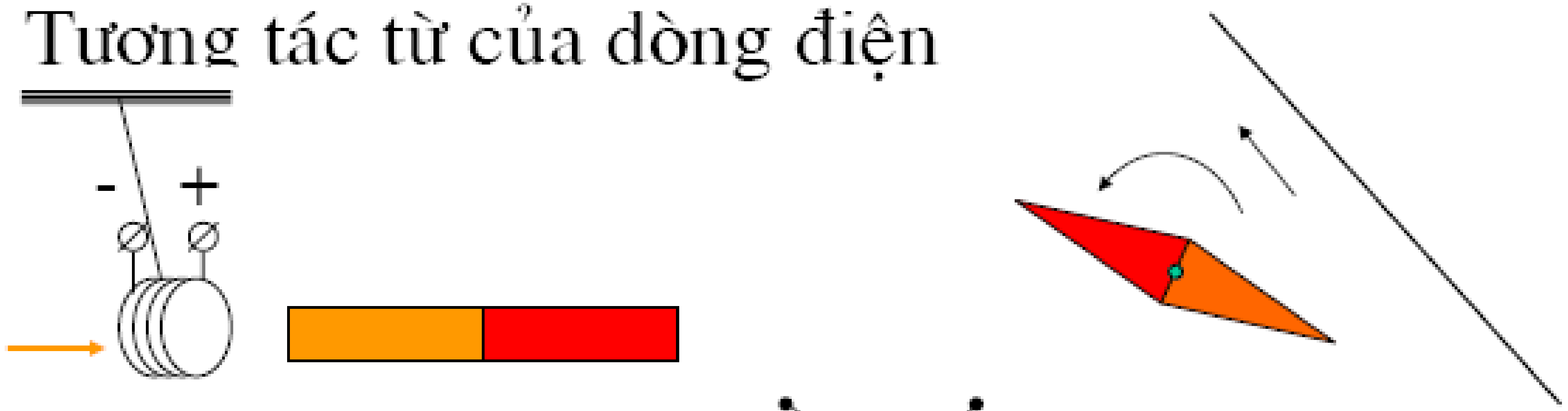
1. Tương tác từ của dòng điện, định luật Ampe

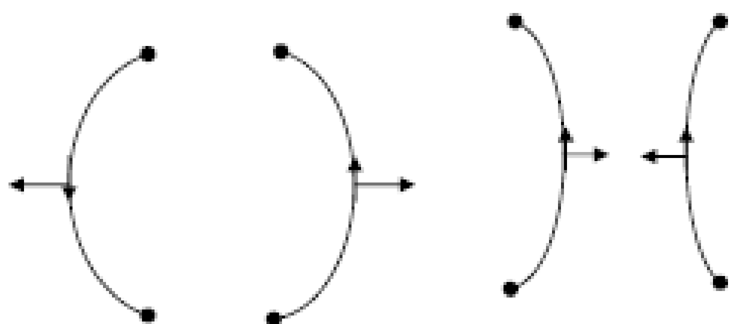
1.1. Thí nghiệm về tương tác từ

Tương tác từ



Tương tác từ của dòng điện

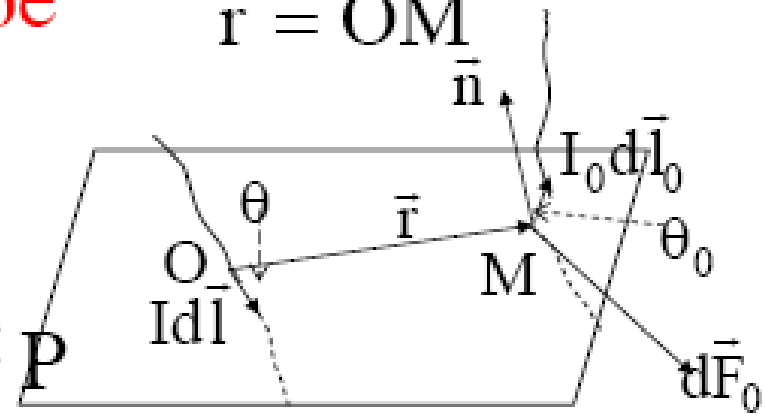




1.2. Định luật Ampe

$\vec{r} = \overrightarrow{OM}$

$d\vec{l}, \vec{r}$ và $\vec{n}$ theo thứ tự này hợp thành tam diện thuận



ĐLAmpe trong chân không:

$Id\vec{l}$ tác dụng lên $I_0 d\vec{l}_0$ lực $d\vec{F}_0$ có :

- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa $\vec{n}$, $d\vec{l}_0$
- Có chiều sao cho $d\vec{l}_0, \vec{n}$ và $d\vec{F}_0$ theo thứ tự này tạo thành tam diện thuận
- Có độ lớn bằng $dF_0 = k.\dfrac{I_0 dl_0 \sin\theta_0 Idl \sin\theta}{r^2}$

$k = \dfrac{\mu_0}{4\pi}$ $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H/m - Hằng số từ

Biểu thức: $d\vec{F}_0 = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \cdot \dfrac{I_0 d\vec{l}_0 \times (I d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$

$|I d\vec{l} \times \vec{r}| = I dl . r \sin\theta$ $\quad |I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{n}| = I_0 dl_0 . \sin\theta_0$

Trong môi trường: $d\vec{F} = \dfrac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \dfrac{I_0 d\vec{l}_0 \times (I d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$

μ - Hằng số từ môi hay độ từ thẩm tỷ đối của môi trường nói lên khả năng dẫn từ $\mu_{KK} \approx 1$; μ_{Fe} rất lớn

Định luật Ampe là định luật cơ bản trong tương tác từ (*tương ứng Đ/L Culông trong tương tác điện*)

Đúng với tương tác giữa các dòng điện hữu hạn

2.Véc tơ cảm ứng từ và véc tơ cường độ từ trường

2.1. Khái niệm về từ trường:

- Tương tác giữa các dòng thực hiện như thế nào?
- Có 2 thuyết: Thuyết tương tác xa, và Thuyết tương tác gần

Thuyết tương tác xa: Không thông qua môi trường nào, tức thời $v_{tt} = \infty$, Dòng điện không gây biến đổi môi trường => Trái với tiền đề Anhxtanh

Thuyết tương tác gần: Dòng điện làm môi trường xung quanh biến đổi, gây ra một từ trường lan truyền với $v=c$, Từ trường gây từ lực lên dòng điện khác $v_{tt} = c$; Đúng

2.2. Véc tơ cảm ứng từ

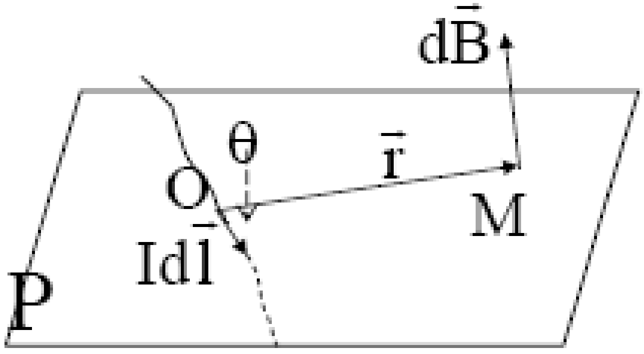
Trường tĩnh điện, lực tương tác tĩnh điện

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{q.q_0\vec{r}}{r^3} \qquad \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{q.\vec{r}}{r^3}$$

Lực tương tác từ của 2 dòng điện

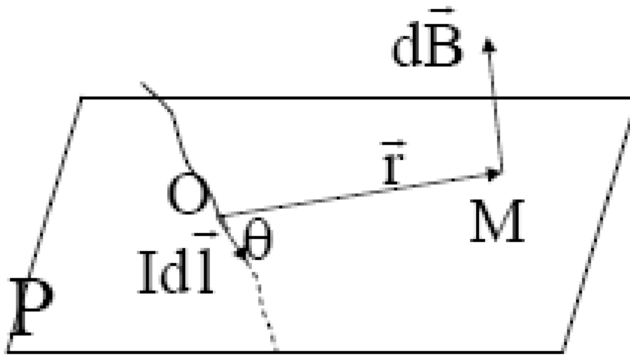
$$d\vec{F} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\cdot\frac{I_0 d\vec{l}_0 \times (Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$

$Id\vec{l}$ gây ra từ trường với véc tơ cảm ứng từ



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

Định lý Biô-xava-Laplatz:



$d\vec{B}$ do $Id\vec{l}$ gây ra tại M cách $\vec{r}$ là một véc tơ có:

- Gốc tại M
- Phương $d\vec{B} \perp$ P chứa $Id\vec{l}$ và $\vec{r}$
- Chiều sao cho 3 véc tơ $d\vec{l}, \vec{r}$ và $d\vec{B}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận

Qui tắc vặn ren phải: Chiều vặn của từ trường, Chiều tiến của dòng điện

- Giá trị $dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$ $\Rightarrow d\vec{F} = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$

2.3. Nguyên lý chồng chất từ trường

Véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ do một dòng điện bất kỳ gây ra tại M bằng tổng các véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử nhỏ của dòng điện gây ra:

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

Trong các bài toán cụ thể:

æ Xác định phương, chiều bằng hình vẽ.

ı Tính tích phân xác định giá trị của B.

Véc tơ cảm ứng từ do nhiều dòng điện gây ra

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

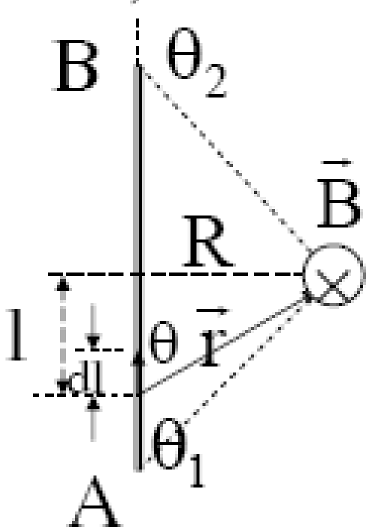
2.4. Véc tơ cường độ từ trường

Véc tơ cảm ứng từ chứa μ nên mật độ đường sức thay đổi => Véc tơ cường độ từ trường không phụ thuộc vào môi trường:

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

2.5. Ứng dụng:

a, Cảm ứng từ của một dòng điện thẳng



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

$$\frac{l}{R} = \cot g\theta \Rightarrow dl = \frac{R d\theta}{\sin^2\theta} \qquad r = \frac{R}{\sin\theta}$$

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

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

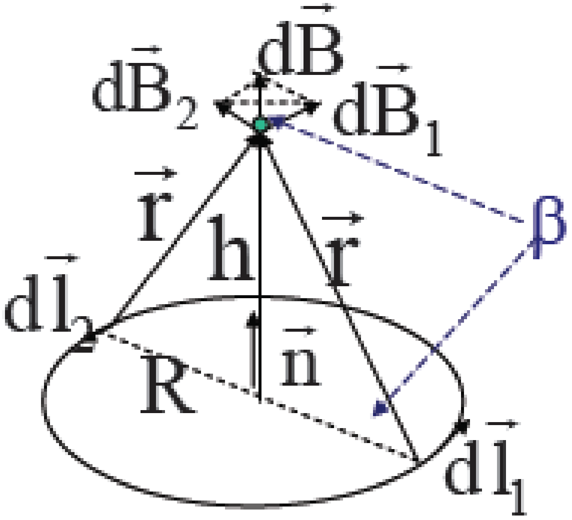
Dòng điện thẳng dài vô hạn: $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi$

$B = \dfrac{\mu_0 \mu I}{2\pi R}$, $H = \dfrac{I}{2\pi R}$, I=1A, $2\pi R$=1m $H = \dfrac{1A}{1m}$

A/m là cường độ từ trường sinh ra trong chân không bởi một dòng điện chạy qua một dây dẫn thẳng dài vô hạn, thiết diện tròn tại các điểm trên vòng tròn đồng trục với dây có chu vi là 1m

b, Dòng điện tròn

$$dB = 2dB_1 \cos\beta$$



$$\cos\beta = \frac{R}{r} \qquad dB_1 = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$

$$r = (R^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} \qquad \sin\theta = \sin\frac{\pi}{2} = 1$$

$$dB = \frac{\mu_0\mu}{2\pi}.\frac{Idl.R}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \qquad \vec{B} = \frac{\mu_0\mu\vec{P}_m}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

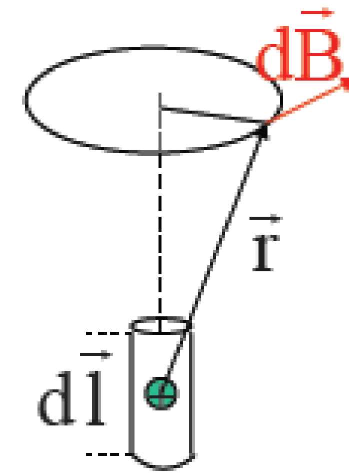
$$B = \frac{\mu_0\mu IR}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}\int_0^{\pi R} dl = \frac{\mu_0\mu I\pi R^2}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

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

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

c, Hạt điện chuyển động

do phần tử dòng điện

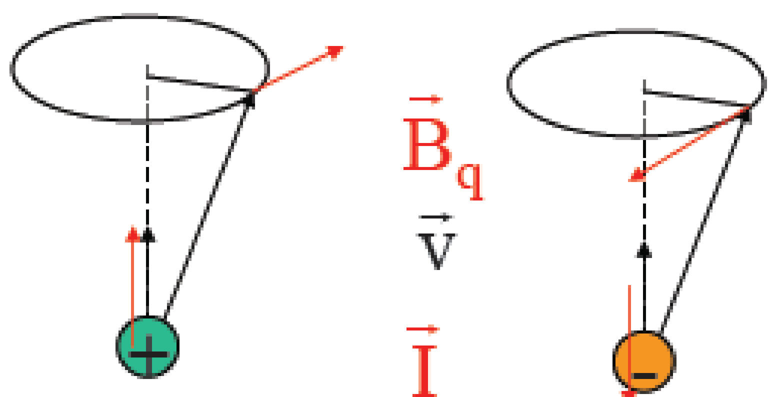


$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \qquad dn = n_0 dV = n_0 S_n dl$$

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dn} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{n_0 S_n dl.r^3} \qquad \frac{v d\vec{l}}{dl} = \vec{v}$$

$$I = jS_n = n_0 \,|\, q \,|\, v S_n$$

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



$q>0$ $\quad \vec{B}_q \quad q\vec{v} \quad \vec{r}$

theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận

3. Từ thông, ĐL Öxtrôgratxki-Gauox

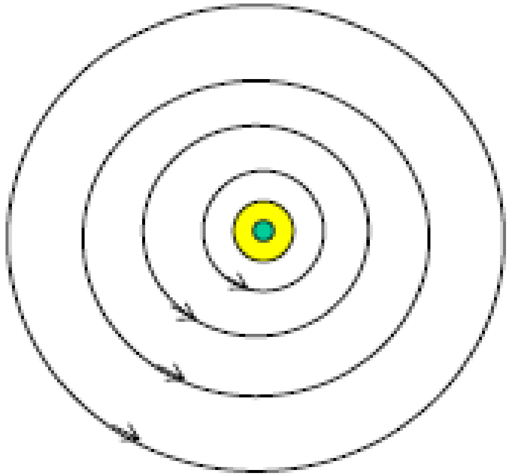
3.1. Đường cảm ứng từ / đường sức của từ trường

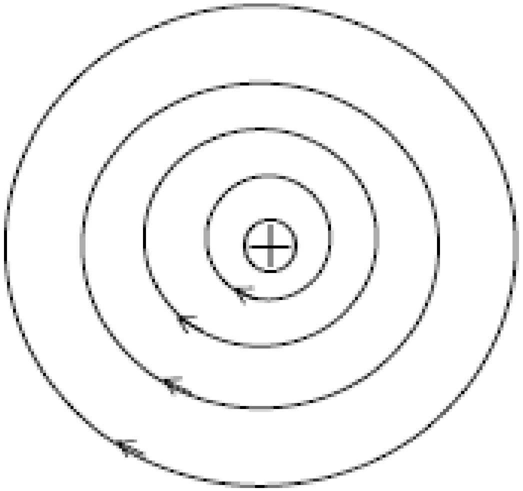
là đường cong vạch ra trong từ trường mà tiếp tuyến tại mọi điểm của nó trùng với phương của véc tơ cường độ từ trường tại điểm đó, chiều của đường cảm ứng từ là chiều của véc tơ cường độ từ trường

$$dn_m = B.dS_n$$

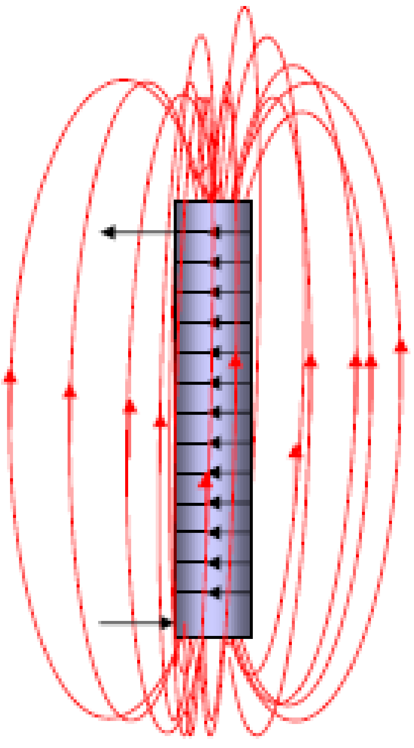
Số đường sức đi vuông góc qua một đơn vị diện tích = độ lớncủa véc tơ cảm ứng từ

Tập hợp đường sức của từ trường= từ phổ

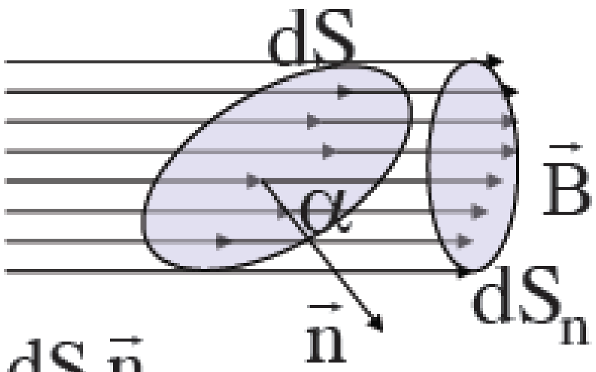




- Đường sức của từ trường là các đường khép kín



3.2. Từ thông



gửi qua diện tích dS là đại lượng

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

$\vec{B}$ Véc tơ cảm ứng từ, $\quad d\vec{S} = dS.\vec{n}$

$$d\Phi_m = BdS\cos\alpha = B_n dS = BdS_n$$

Từ thông gửi qua diện tích S $\quad \Phi_m = \int_S \vec{B}d\vec{S}$

Từ trường đều gửi vuông góc qua diện tích S

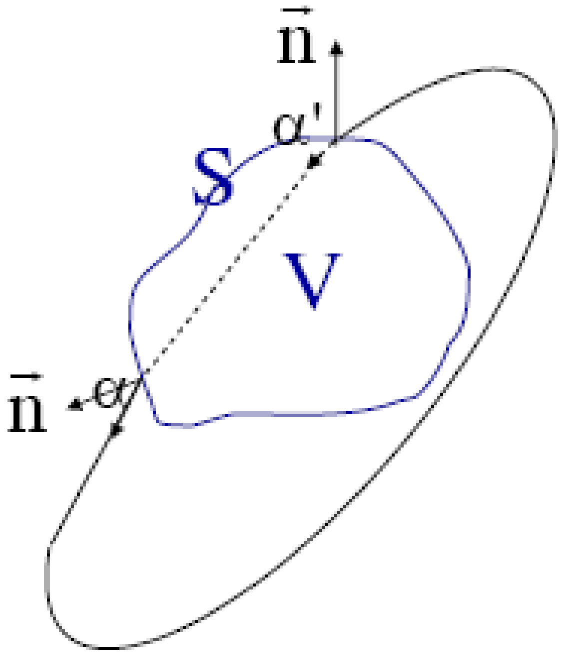
$$\Phi_m = \int_S BdS = B\int_S dS = BS$$

$$B = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{1Wb}{1m^2} = 1Wb/m^2 = 1T(Tesla)$$

Tesla là cảm ứng từ của một từ thông đều 1vebe xuyên vuông góc qua diện tích phẳng $1m^2$

3.3. Tính chất xoáy của từ trường: Các đường sức của từ trường là các đường cong khép kín

3.3. ĐL Ôxtrôgratxki-Gauox



$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$ Dạng tích phân

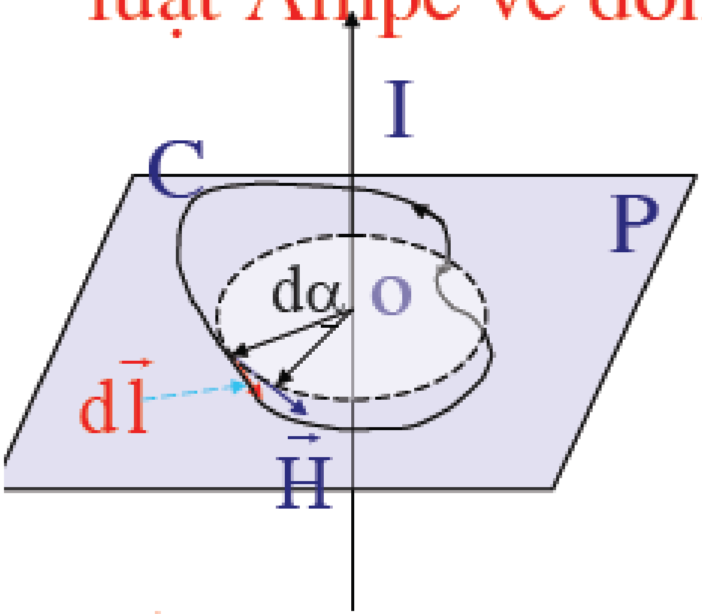
Từ thông toàn phần gửi qua mặt kín bất kỳ thì bằng không

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = \int_V \mathrm{div}\vec{B}dV = 0$$

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

Dạng vi phân

4. Lưu số của véc tơ cường độ từ trường, Định luật Ampe về dòng điện toàn phần:



Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C) là đại lượng về trị số bằng tích phân $\vec{H}d\vec{l}$ dọc theo đường cong đó:

$$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = \oint_C Hdl\cos(\vec{H}\hat{\ }d\vec{l})$$

Định luật Ampe về dòng điện toàn phần: $H = \dfrac{I}{2\pi r}$

$$dl\cos(\vec{H}\hat{\ }d\vec{l}) = rd\alpha$$

$$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = \oint_C \frac{I}{2\pi r} rd\alpha = \frac{I}{2\pi}\oint_C d\alpha$$

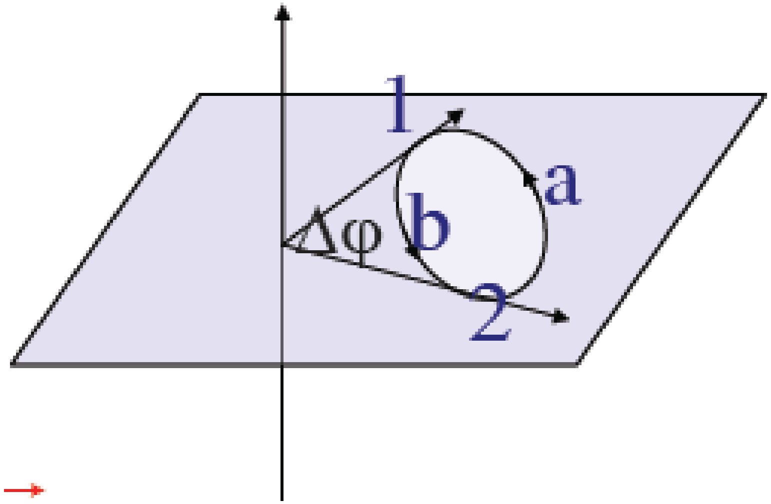
- C bao quanh dòng điện:

$$\oint_C d\alpha = 2\pi \qquad \oint_C \vec{H}d\vec{l} = I$$

- C không bao quanh dòng điện:

$$\oint_C d\alpha = \int_{1a2} d\alpha + \int_{2b1} d\alpha$$

$$= \Delta\varphi + (-\Delta\varphi) = 0$$

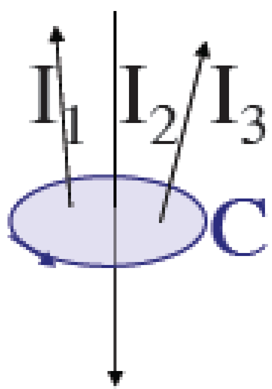


$$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = 0$$

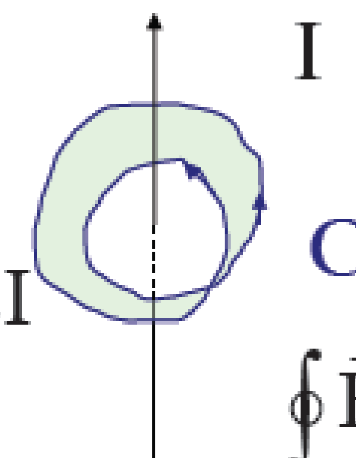
Tổng quát $$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = \sum_i I_i$$

Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín bất kỳ (1 vòng) bằng tổng đại số các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

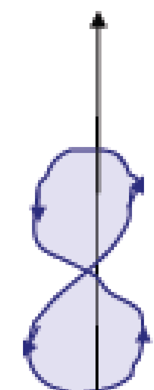
Chiều dương của dòng điện theo qui tắc vặn ren phải: Chiều vặn - chiều lấy tích phân, chiều tiến- chiều dòng điện.



$$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = I_1 - I_2 + I_3$$



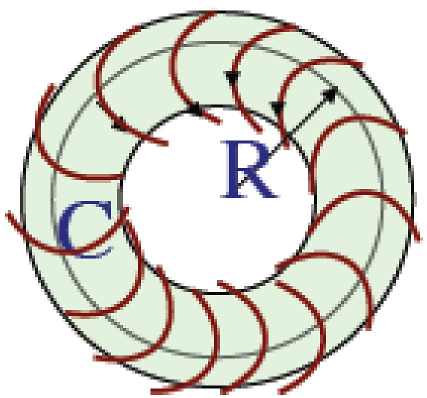
$$\oint_C \vec{H}d\vec{l} = 2I$$



$$\oint \vec{H}d\vec{l} = 0$$

4.3. Ứng dụng Tính cường độ từ trường

4.3.1. Tính cường độ từ trường tai một điểm bên trong cuộn dây hình xuyến: n vòng dây

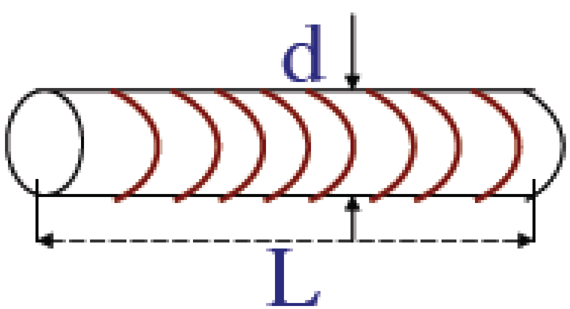


$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = nI \qquad H\oint_C dl = nI$$

$$H.2\pi R = nI$$

$$H = \frac{nI}{2\pi R} \qquad B = \frac{\mu_0 \mu n I}{2\pi R}$$

4.3.2. Tính cường độ từ trường trong ống dây



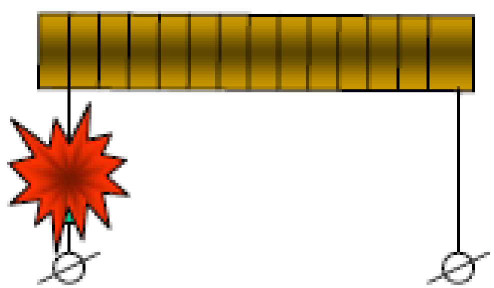
$R = \infty$

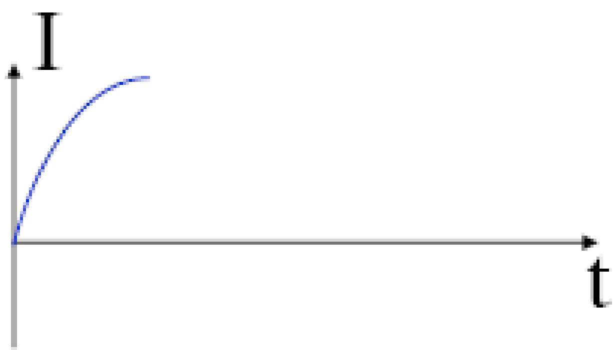
$$H = \frac{NI}{2\pi R} = \frac{nI}{L} = n_0 I$$

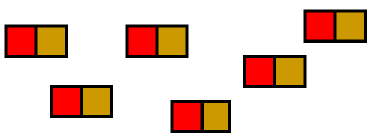
N số vòng dây trên $2\pi R$

$$B = \mu_0 \mu n_0 I \qquad L > 20d$$

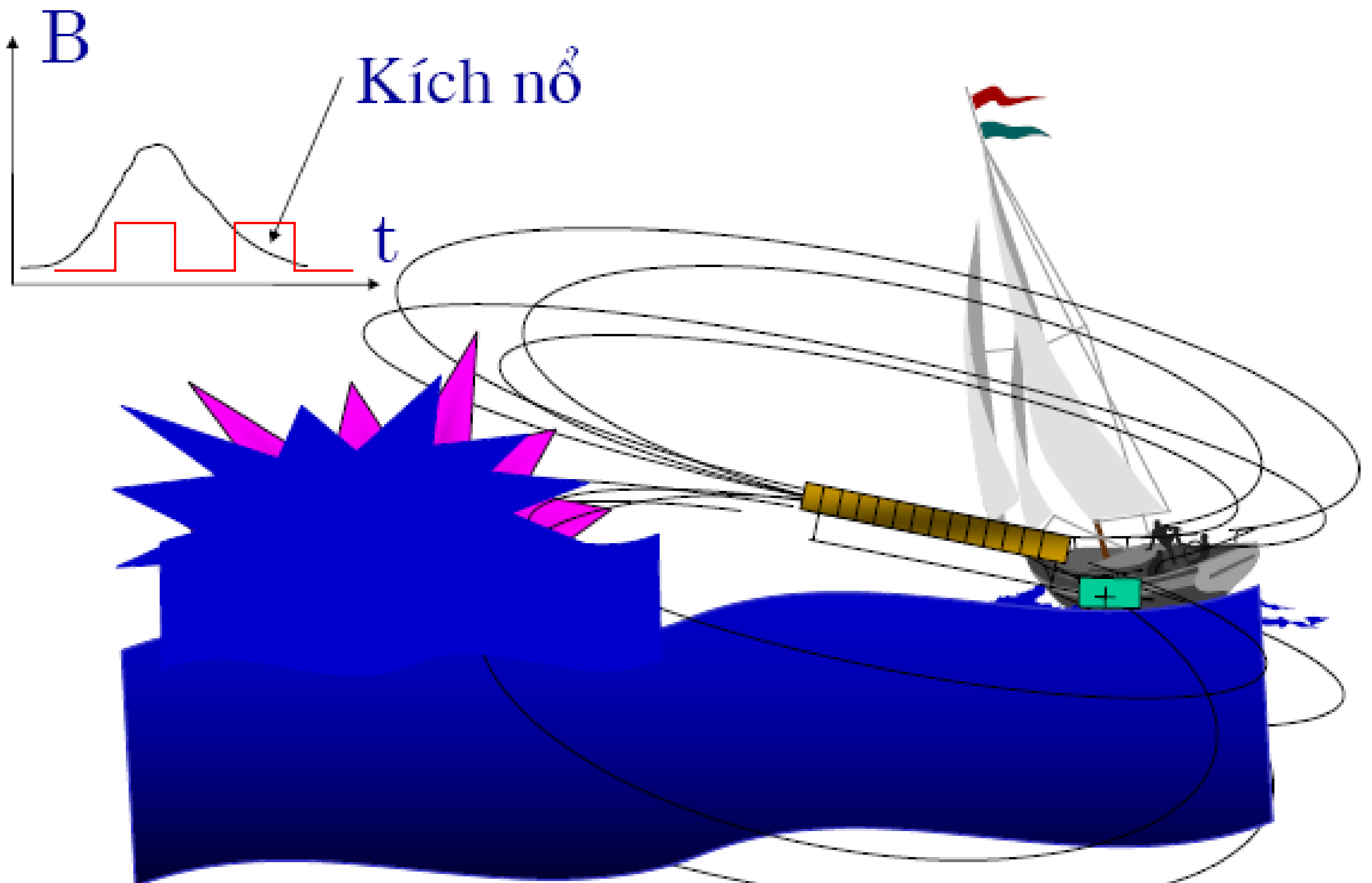
Ứng dụng: tạo từ trường



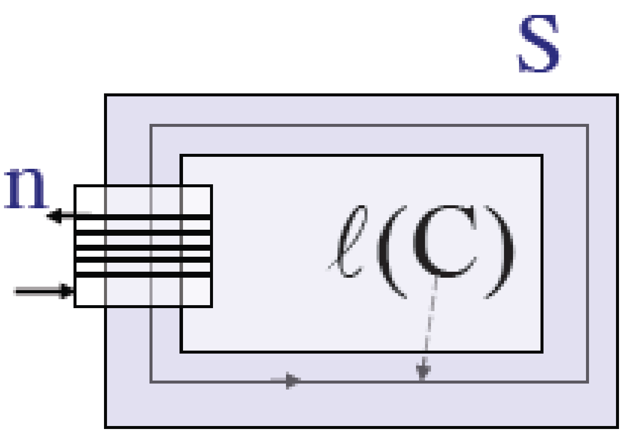




Phá thuỷ lôi, mìn, bom từ trường



4.4. Mạch từ



$$B = \frac{\mu_0 \mu n I}{\ell}$$

$$\Phi_m = BS = \frac{\mu_0 \mu n I}{\ell} S = \frac{nI}{\dfrac{\ell}{\mu_0 \mu S}}$$

$R_m = \dfrac{\ell}{\mu_0 \mu S}$ từ trở

$$\Phi_m = \frac{\varepsilon_m}{R_m}$$

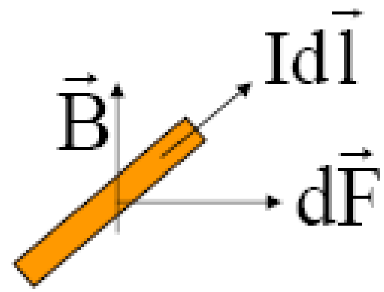
$\varepsilon_m = nI$ suất từ động

Từ trở mắc nối tiếp và song song cũng được tính tương tự như đối với điện trở

5. Tác dụng của từ trường lên dòng điện

5.1. Tác dụng của từ trường lên phần tử dòng điện, lực Ampe

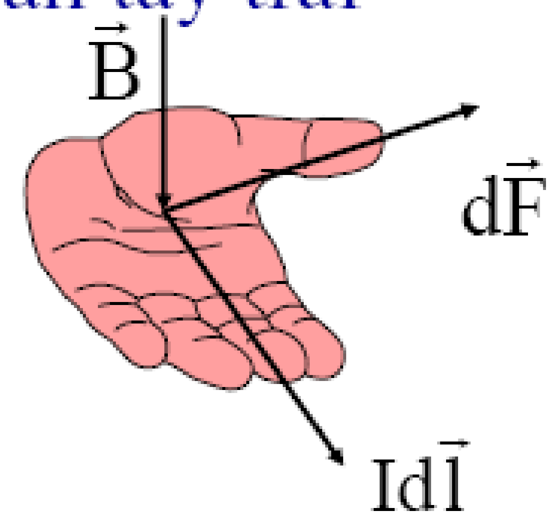
$$d\vec{F} = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$$



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

$d\vec{l}, \vec{B}, d\vec{F}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận.

Qui tắc bàn tay trái

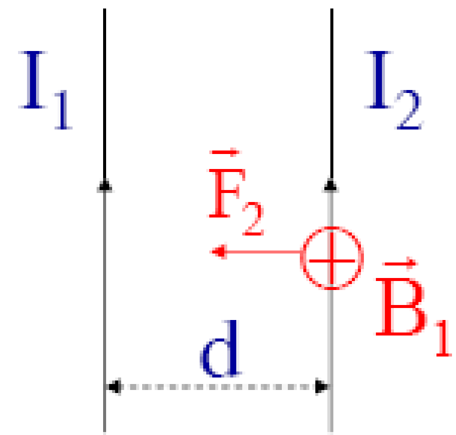


Giá trị lực bằng:

$$dF = Idl.B.\sin\alpha$$

α - góc giữa véc tơ dl và véc tơ cảm ứng từ B

5.2. Tác dụng tương hỗ giữa hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn



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

Lực tác dụng lên đoạn dây dài l

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

$$F_2 = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$$

d=1m, I_1=I_2=1A => F=2.10^{-7}N/m

Định nghĩa Ampe: Ampe là cường độ dòng không đổi chạy qua 2 dây thẳng song song dài vô hạn trong chân không cách nhau 1m gây ra lực tác dụng trên mỗi m dây là 2.10^{-7}N

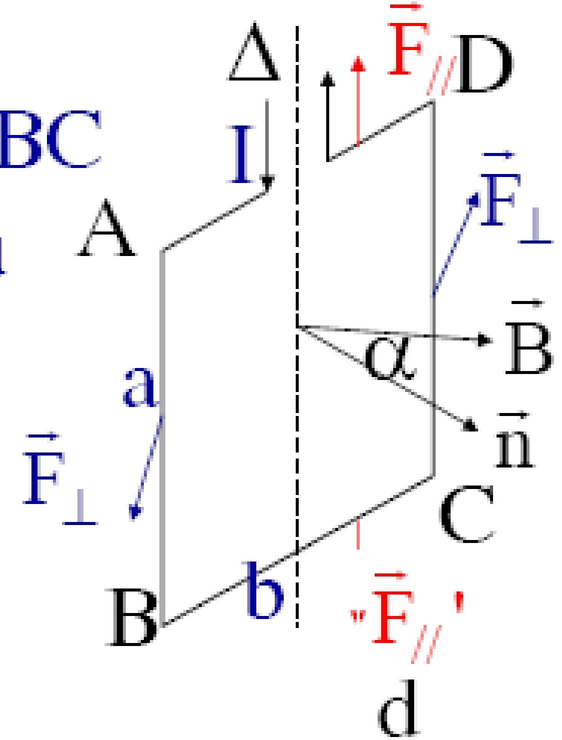
5.3. Tác dụng của từ trường đều lên một mạch điện kín

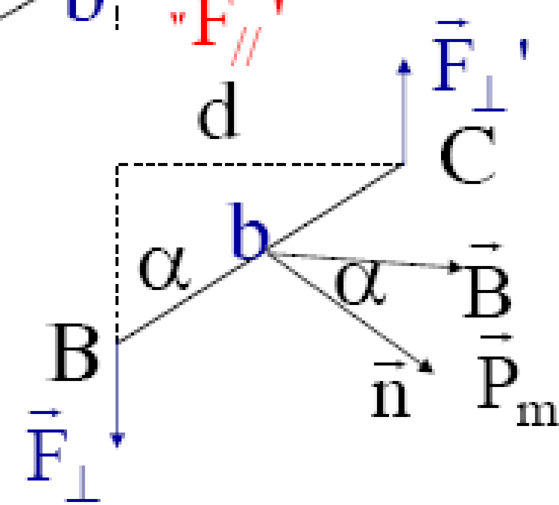
- Từ lực tác dụng lên AD và BC ssong Δ và ngược chiều nhau
- Từ lực tác dụng lên AB và CD vuông góc với dây và tạo thành ngẫu lực

$$F_{\perp} = I.a.B$$

$\vec{P}_m$ cùng phương và chiều với véc tơ pháp tuyến của ABCD và từ trường do khung gây ra

Mômen của ngẫu lực $\mu = F_{\perp}.d$





$\mu = F_{\perp}.d = I.aBb.\sin\alpha = ISB\sin\alpha$

$= P_m.B.\sin\alpha$

$$\vec{\mu} = \vec{P}_m \times \vec{B}$$

- Năng lượng tương tác giữa mạch điện và từ trường:

Khi khung quay đi góc $d\alpha$, ngẫu lực thực hiện công: $dA = -\mu d\alpha = -P_m.B.\sin\alpha\, d\alpha$

Dấu - do góc giảm -> giảm năng lượng

Ngẫu lực từ sinh công đưa góc α về 0:

$$A = \int_0^\alpha (-P_m B\sin\alpha)d\alpha = P_m B(1-\cos\alpha)$$

Công này bằng độ giảm năng lượng của khung trong từ trường:

$$W_m(\alpha) - W_m(0) = P_m.B.(1-\cos\alpha)$$

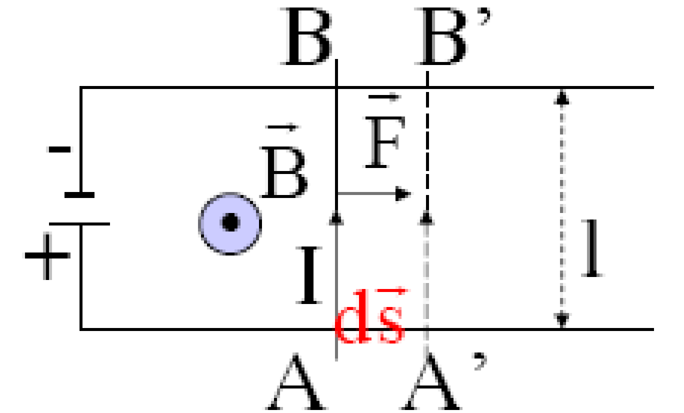
Có thể viết thành:

$$W_m(\alpha)-W_m(0) = -P_m.B\cos\alpha-(-P_m.B\cos 0)$$

$$W_m(\alpha) = -P_m.B\cos\alpha$$

$$W_m(\alpha) = -\vec{P}_m.\vec{B}$$

5.4. Công của từ lực



Từ lực tác dụng lên AB:

$$F=I.l.B$$

$$dA=F.ds=IlBds=IBdS=Id\Phi_m$$

$$dA=Id\Phi_m$$

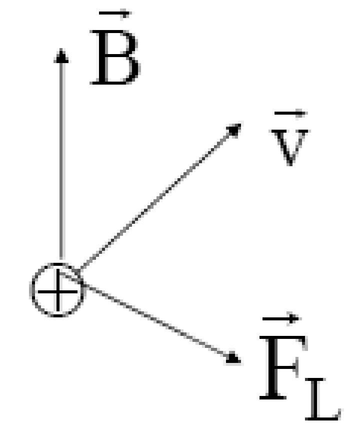
Công của từ lực làm mạch từ 1->2 bằng tích I với độ biến thiên từ thông qua mạch

$$A = \int_1^2 Id\Phi_m = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

6. Chuyển động của hạt điện trong từ trường

6.1. Lực Lorentz

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} \qquad Id\vec{l} \equiv q\vec{v}$$

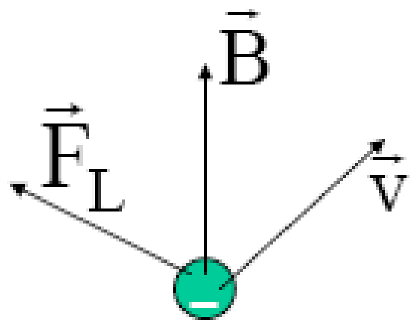


Lực Lorentz: $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$

Độ lớn lực:

$$F = qv.B.\sin\alpha$$

α - góc giữa véc tơ vận tốc v và véc tơ cảm ứng từ B



6.2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường

Lực Lorentz: $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$

$\vec{B}(0,0,B)$

$\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$

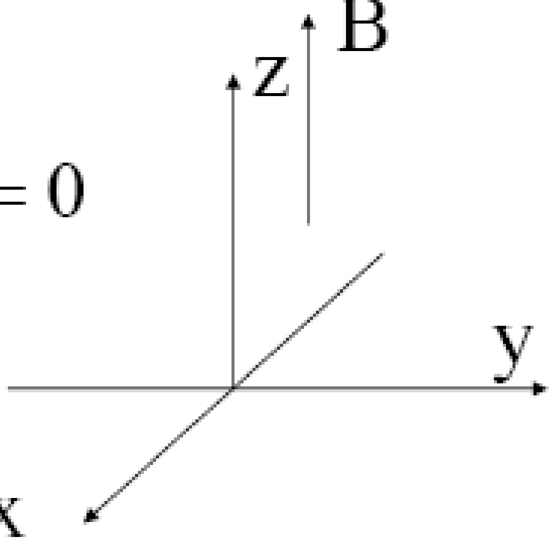
$\vec{r} = \vec{r}(x, y, z)$

$$F_{Lx} = m\frac{dv_x}{dt} = qBv_y$$

$$F_{Ly} = m\frac{dv_y}{dt} = -qBv_x$$

$$F_{Lz} = m\frac{dv_z}{dt} = 0$$

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix}$$

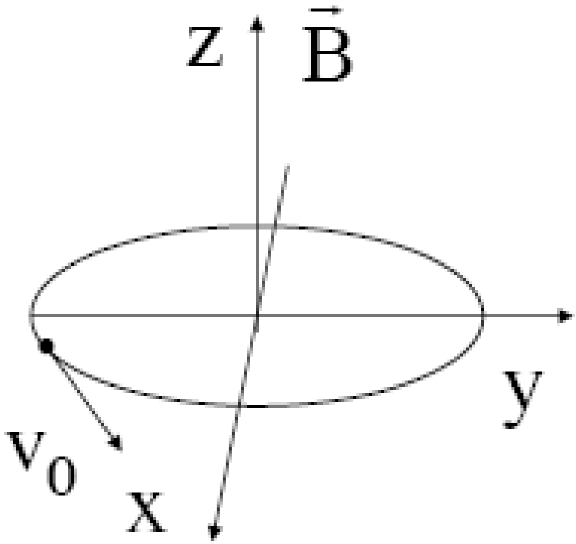


Với $\vec{v} \perp \vec{B}$

Đặt: $\omega = \dfrac{qB}{m}$

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega v_y$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\omega v_x$$



$v_x = v_0 \sin(\omega t + \varphi)$ $\quad$ $v_{0x} = v_0 \sin\varphi$, $x_0 = -v_0 \cos\varphi/\omega$

$v_y = v_0 \cos(\omega t + \varphi)$ $\quad$ $v_{0y} = v_0 \cos\varphi$, $y_0 = v_0 \sin\varphi/\omega$

$$x = -\frac{v_0}{\omega}\cos(\omega t + \varphi) \qquad x^2 + y^2 = \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2 = R^2$$

$$y = \frac{v_0}{\omega}\sin(\omega t + \varphi) \qquad \omega = \frac{v_0}{R} \qquad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Quĩ đạo tròn vuông góc với $\vec{B}$