CHƯƠNG 8: TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

8.1 Khái niệm cơ bản:

8.1.1 Dòng điện: Là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích. Theo quy ước chiều dòng điện là dòng chuyển dời của điện tích (+).

a/ Dòng điện trong kim loại:dòng các e^- tự do.

b/ Dòng điện trong dung dịch điện phân: dòng các ion (+), (–).

ion (+) $\rightarrow$ Cathode

ion (–) $\rightarrow$ Anode

c/ dòng điện trong chất khí: dòng các ion (+), (–) và các e^- tự do.

8.1.2 Cường độ dòng điện I:

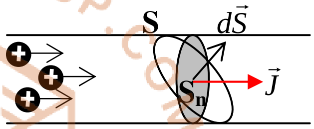
Là số điện lượng đi qua diện tích S trong 1s.

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad \left(\frac{C}{s}\right)(A)$$

8.1.3 Vectơ mật độ dòng điện: $\vec{J}$ có phương, chiều của dòng điện

* Độ lớn: $\left|\vec{J}\right| = \frac{dI}{dS_n} \qquad \left(A/m^2\right)$

$$dI = \vec{J}.d\vec{S} = \left|\vec{J}\right|.\left|d\vec{S}\right|.\cos\alpha = \left|\vec{J}\right|.dS_n$$



8.1.4 Suất điện động của nguồn:

- $\xi = \oint_{(C)} \vec{E}^*.d\vec{l} \neq 0 \quad \Rightarrow \vec{E}^*$: trường xoáy
- $\oint_{C} \vec{E}.d\vec{l} = 0 \quad \Rightarrow \vec{E}$: trường thế.

Suất điện động là công của 1 lực điện trường E^* dịch chuyển điện tích +1C đi 1 vòng quanh mạch kín của nguồn đó.

$\vec{E}^*$: trường xoáy (điện trường biến đổi theo thời gian)

8.1.5 Phần tử dòng điện: $I.d\vec{l}$

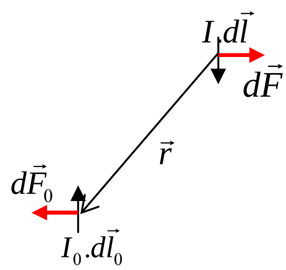
Phần tử dòng điện là 1 đoạn rất ngắn của dòng điện có phương, chiều của dòng điện và có độ lớn $I.dl$

8.2. Định luật ampe (Định luật tương tác giữa 2 phần tử dòng điện):

Xét 2 phần tử dòng điện : $I_0.d\vec{l}_0$ và $I.d\vec{l}$ cách nhau 1 đoạn r thì sẽ chịu bởi cặp lực tương tác $d\vec{F}_0$ và $d\vec{F}$ (được gọi là lực Ampe hay lực từ)

$$d\vec{F}_0 = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I_0.d\vec{l}_0 \times \left(I.d\vec{l} \times \vec{r}\right)}{r^3}$$

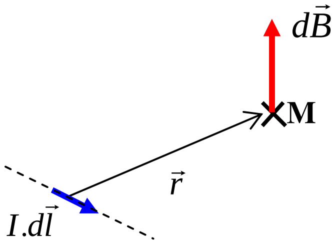
$$d\vec{F} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.d\vec{l} \times \left(I_0.d\vec{l}_0 \times \vec{r}_0\right)}{r_0^3}$$



8.3 Từ trường:

8.3.1 Từ trường gây ra bởi phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$:

Phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ sẽ tạo ra xung quanh nó 1 từ trường và người ta tính từ trường tại 1 điểm M thông qua đại lượng vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$.



$$I.d\vec{l} \rightarrow M \rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

Với: $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\left(H/m\right)$: hằng số từ

μ : độ từ thẩm tương đối của môi trường

$d\vec{B}$:
- Điểm đặt: tại M
- Phương: đường thẳng vuông góc mặt phẳng $\left(I.d\vec{l}, M\right)$
- Chiều: quy tắc vặn nút chai $I.d\vec{l}, \vec{r}, d\vec{B}$
- Độ lớn: $\left|d\vec{B}\right| = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.dl}{r^2}\sin\left(I.d\vec{l}, \vec{r}\right)$

8.3.2 Từ trường gây ra bởi dây dẫn: (nguyên lý chồng chất từ trường):

Từ trường của 1 dây dẫn thì bằng tổng từ trường của các phần tử trong dây dẫn.

$$I.d\vec{l} \rightarrow M \rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$$

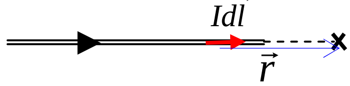
$$\text{Cả dây} \rightarrow M \rightarrow \vec{B} = \int_{\text{cả dây}} d\vec{B}$$

8.3.3 Từ trường của nhiều dây dẫn:

$$\left.\begin{array}{l} \text{dây}1 \rightarrow M \rightarrow \vec{B}_1 \\ \text{dây}2 \rightarrow M \rightarrow \vec{B}_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ n \rightarrow M \rightarrow \vec{B}_n \end{array}\right\} \text{tại } M : \vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$$

Vd1: Cho 1 dây dẫn thẳng có dòng điện I. Tính $\vec{B}$ tại M trên đường nối dài của dây.

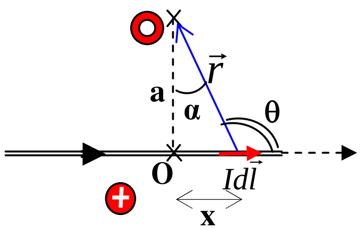
$\sin\alpha = 0 \Rightarrow \vec{B} = 0$



Vd2: Tính B tại 1 điểm ngoài dây cách đoạn a:

$$tg\alpha = \frac{x}{a} \Rightarrow x = a.tg\alpha \Rightarrow dx = \frac{a.d\alpha}{\cos^2\alpha}$$

$$\cos\alpha = \frac{a}{r} \Rightarrow r = \frac{a}{\cos\alpha} \quad ; \quad \sin\theta = \cos\alpha$$



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

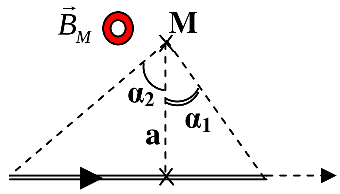
$$day \to M \to B = \int dB = \int \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.a.d\alpha}{\cos^2\alpha}.\frac{\cos\alpha}{\frac{a^2}{\cos^2\alpha}}$$

$$B = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I}{a}\int_{-\alpha_1}^{\alpha_2}\cos\alpha.d\alpha = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I}{a}\left(\sin\alpha_2 + \sin\alpha_1\right)$$

$\vec{B}_M$
- điểm đặt: tại M
- phương: đường thẳng vuông góc (dây, M)
- chiều: quy tắc vặn nút chai
- độ lớn: $B_M = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.a}\left(\sin\alpha_2 \pm \sin\alpha_1\right)$

  Dấu +: hình chiếu M trên dây

  Dấu –: hình chiếu M ngoài dây

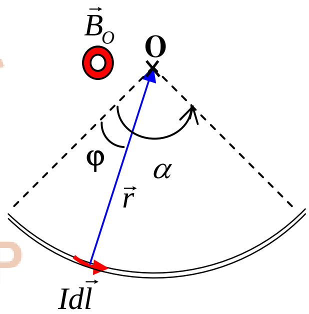


Vd3: Cho 1 cung tròn (0, R) góc chắn $\alpha, \vec{B}_O = ?$. Dài: $l = R.\alpha$

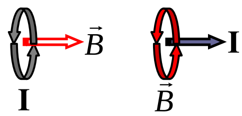
$$Id\vec{l} \to O \to d\vec{B} \qquad dB = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.dl}{r^2}.\sin 90^0$$

$$\Rightarrow B = \int dB = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I}{R^2}.\int_{dây} dl = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I}{R^2}.l$$

$$B = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}(\alpha) \qquad \alpha : radian$$



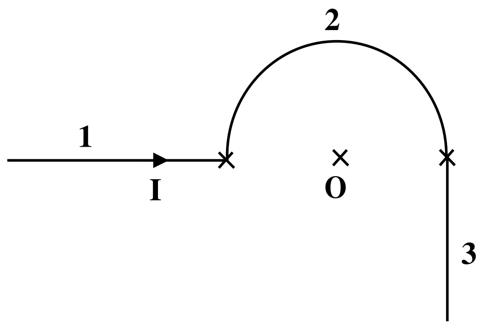
$\vec{B}_0$
- Điểm đặt: tại 0
- Phương: đường thẳng vuông góc mặt phẳng (dây, 0)
- Chiều: quy tắc vặn nút chai
- Độ lớn: $\left|\vec{B}_0\right| = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.\alpha$



Vd4: Cho dây dẫn dài vô hạn có dòng điện I chạy qua được uốn như hình vẽ. Tính $\vec{B}_O$

$$\vec{B}_O = \underbrace{\vec{B}_1}_{0} + \underbrace{\vec{B}_2}_{\oplus} + \underbrace{\vec{B}_3}_{\oplus} \quad \Rightarrow B_0 = B_2 + B_3$$

$$B_O = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.\pi + \frac{\mu.\mu_0.I}{4.\pi.R} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(\pi+1)$$

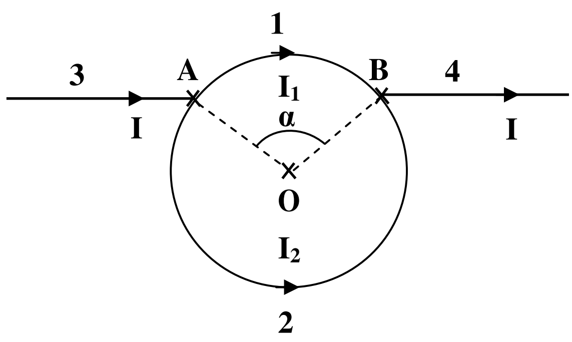


Vd5:

$$\vec{B}_O = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 \quad \Rightarrow B_0 = B_3 + B_4$$

$$\oplus \quad \oplus \quad \mathbf{0} \quad \oplus \quad \oplus$$

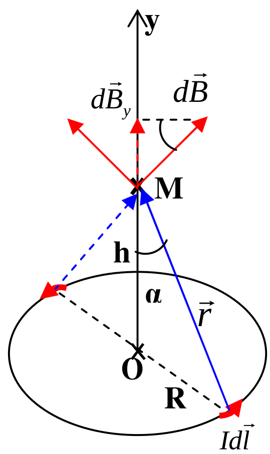
$$\left.\begin{array}{l} \begin{cases} B_1 = \dfrac{\mu.\mu_0.I_1}{4\pi R}.\alpha \\ B_2 = \dfrac{\mu.\mu_0.I_2}{4\pi R}.(2\pi - \alpha) \end{cases} \\ U_{AB} = I_1.\Re_1 = I_2.\Re_2 \\ = \rho\dfrac{l_1}{S}.I_1 = \rho\dfrac{l_2}{S}.I_2 \\ = \rho\dfrac{R.\alpha}{S}.I_1 = \dfrac{\rho.R(2\pi - \alpha)}{S}.I_2 \\ \Rightarrow I_1.\alpha = I_2.(2\pi - \alpha) \end{array}\right\} \Rightarrow B_1 = B_2$$



$$B_3 = B_4 = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R.\cos\dfrac{\alpha}{2}}\left(\sin 90 - \sin\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\Rightarrow B_0 = 2.B_3 = \frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.R.\cos\dfrac{\alpha}{2}}\left(\sin 90 - \sin\frac{\alpha}{2}\right)$$

Vd6: Vòng (0, R): xác định $\vec{B}_M$ tại M cách O khoảng h trên trục.



$$I.d\vec{l} \to M \to d\vec{B} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad ; dB = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.dl}{r^2}$$

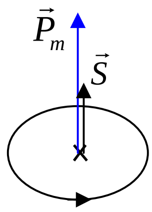
$$vong \to M \to \vec{B} = \int d\vec{B}$$

$$\int dB_X = 0$$

$$\int dB_Y = \int dB.\sin\alpha \quad ; \sin\alpha = \frac{R}{r}$$

$$\Leftrightarrow B_Y = \int \frac{\mu.\mu_0.I.dl}{4\pi.r^2}.\frac{R}{r} = \frac{\mu.\mu_0.I.R}{4\pi.r^3}.\int dl$$

$$= \frac{\mu.\mu_0.I.R^2}{2.r^3} = \frac{\mu.\mu_0.I.S}{2\pi.r^3}$$



$\vec{B}_M = \dfrac{\mu.\mu_0}{2\pi.r^3}.\vec{P}_m$ **với** $\vec{P}_m = I.\vec{S}$ **:Vecto moment từ**

8.4 Từ thông:

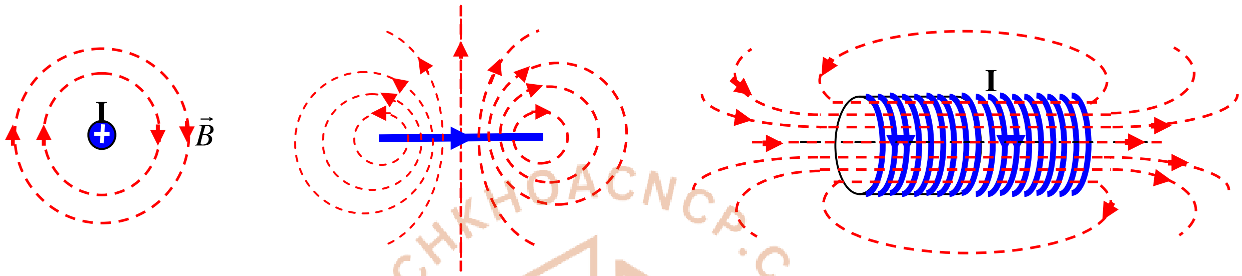
8.4.1 Đường sức của từ trường:

a/ Định nghĩa:

Đường sức của $\vec{B}$ là 1 đường cong mà tiếp tuyến tại mọi điểm trên đường cong trùng phương với $\vec{B}$, chiều của đường sức là chiều của $\vec{B}$.

b/ Tính chất:

- Các đường sức của từ trường không cắt nhau.
- Đường sức của từ trường là đường cong khép kín.
- Tập hợp các đường sức từ trường $\rightarrow$ từ phổ.
- Người ta quy ước vẽ số đường sức lên 1 đơn vị diện tích tiết diện có giá trị = B.

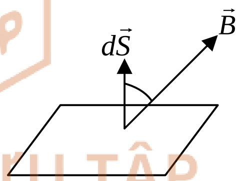


8.4.2 Từ thông:

Thông lượng vectơ $\vec{B}$ gửi qua 1 diện tích dS

$$d\phi_B = \vec{B}.d\vec{S} = B.dS.\cos\alpha$$

- $d\phi > 0$: $\vec{B}$ đi ra
- $d\phi < 0$: $\vec{B}$ đi vào



8.4.3 Định lý Gauss đối với từ trường:

a/ Phát biểu:

Thông lượng vecto cảm ứng $\vec{B}$ gửi qua mặt kín S bất kỳ thì bằng 0.

$$\oint_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = 0 \quad \text{(trường xoáy)}$$

b/ Công thức dạng tích phân, vi phân: $\oint_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = 0$, $\quad div\vec{B} = 0$

8.5 Định lý ampe (định lý dòng điện toàn phần)

8.5.1 Vectơ cường độ từ trường: $\vec{H}$ không phụ thuộc vào môi trường.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu.\mu_0} \quad \left(A/m\right)$$

8.5.2 Lưu số của vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ dọc đường cong kín (C) bất kỳ.

a/ Định nghĩa:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \oint H.dl.\cos\left(\vec{H}, d\vec{l}\right) \neq 0 \quad \Rightarrow \vec{H} : \text{trường xoáy}$$

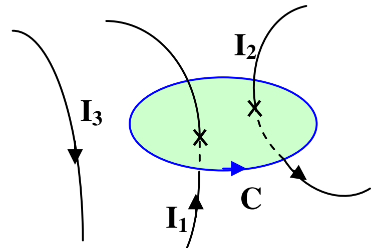
8.5.3 Định lý Ampe:

a/ Phát biểu: Lưu số vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ dọc theo đường cong kín (C) bất kỳ (1 vòng) thì bằng tổng đại số các cường độ dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

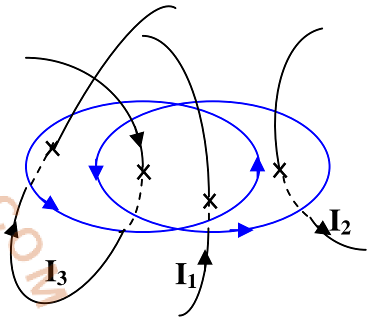
$$\oint \vec{H}.d\vec{l} = \sum_{i=}^{n} I_i$$

Cường độ dòng điện có giá trị (+) khi dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong (C) có chiều theo chiều tiến của vặn nút chai và ngược lại; còn ở ngoài thì bằng 0.

VD1: $\oint \vec{H}.d\vec{l} = I_1 - I_2$



VD2: $\oint \vec{H}.d\vec{l} = 2I_1 - I_2 - 2I_3 + I_3$

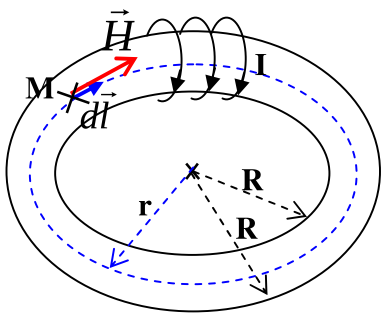


b/ Công thức của định lý Ampe dạng tích phân và vi phân:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \int_{(S)} \vec{J}.d\vec{S}$$

$$\int_{(S)} rot\vec{H}.d\vec{S} = \int_{(S)} \vec{J}.d\vec{S} \quad hay: \quad rot\ \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \quad \text{với}: \ rot\ \vec{H} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}$$

c/ Áp dụng định lý Ampe để tính $\vec{H}$ của cuộn dây hình xuyến tại M. Chọn C (0, r) có chiều như hình vẽ:



$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \oint_{(C)} H.dl = H \oint_{(C)} dl = H.2\pi.r$$

$$*R_1 < r < R_2 : H.2\pi.r = \sum I_i = +n.I \Rightarrow H \frac{n.I}{2\pi.r}$$

$$*r < R_1 : H.2\pi.r = 0 \Rightarrow H = 0$$

$$*r > R_2 : H.2\pi.r = 0 \Rightarrow H = 0$$

Cho $r, R_1, R_2 \to \infty \Rightarrow$ **cuộn dây thẳng dài vô hạn**

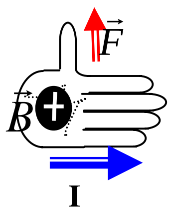
$n_0 = \dfrac{n}{2\pi.r}$ **(số vòng dây/m)** $\Rightarrow H = n_0.I \Rightarrow$ **từ trường đều (không phụ thuộc vào r)**

8.6 Lực từ (lực Ampe):

8.6.1 Định nghĩa: Một phần tử dòng điện $I_0.d\vec{l}_0$ đặt trong từ trường $\vec{B}$ sẽ chịu 1 lực từ:

$$* \; I_0.d\vec{l}_0 \rightarrow \vec{B} \rightarrow d\vec{F}_O = I_0.d\vec{l}_0 \times \vec{B}$$

$d\vec{F}_0$:
- o Điểm đặt: tại $I_0.d\vec{l}_0$
- o Phương: đường thẳng vuông góc mặt phẳng ($I_0.d\vec{l}_0$,)
- o Chiều: quy tắc bàn tay trái
- o Độ lớn: $dF_0 = I_0.dl_0.B.\sin\alpha$



$$* \text{ Nếu cả dây} \rightarrow \vec{B} \rightarrow \vec{F}_O = \int d\vec{F}_O$$

8.6.2 Áp dụng:

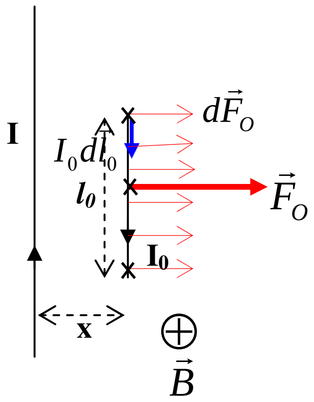
❖ Dây đặt trong $\vec{B}$ của dây dẫn dài vô hạn: $\left|\vec{B}\right| = \dfrac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.x}$

a/ Đoạn dây I_0 ,l_0 đặt song song cách dây I khoảng x:

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

$$dF_0 = I_0 dl_0.B.\sin 90^0 = I_0.dl_0.B$$

$$\Rightarrow F_0 = \int dF_0 = B.I_0 \int dl_0 = B.I_0.l_0 = \frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.x}.I_0.l_0$$



b/ Đoạn dây I_0 ,l_0 đặt vuông góc dây I khoảng x::

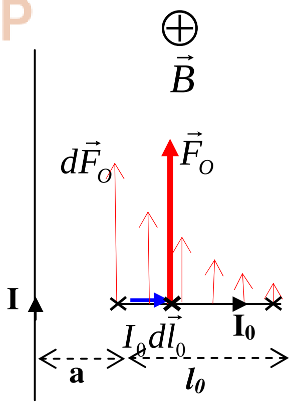
$$dF_0 = \frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.x}.I_0.dl_0$$

$$\Rightarrow F_0 = \int dF_0 = \frac{\mu.\mu_0.I.I_0}{2\pi}\int_a^{a+l_0}\frac{dx}{x} = \frac{\mu.\mu_0.I.I_0}{2\pi}\ln\left(\frac{a+l_0}{a}\right)$$

$$x_G = \frac{1}{m}\int dm.x = \frac{1}{mg}\int dmg.x = \frac{1}{p}\int dp.x = \frac{1}{F_0}\int dF_0.x$$

$$= \frac{1}{F_0}\int_a^{a+l_0}\frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.x}.I_0.dl_0.x = \frac{1}{\dfrac{\mu.\mu_0.I.I_0}{2\pi}\ln\left(\dfrac{a+l_0}{a}\right)}.\frac{\mu.\mu_0.I.I_0}{2\pi}.l_0$$

$$= \frac{l_0}{\ln\left(\dfrac{a+l_0}{a}\right)}$$

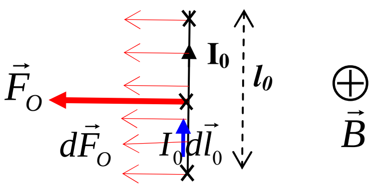


❖ $\vec{B}$ đều:

a/ Một đoạn dây thẳng:

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

$$\Rightarrow F_0 = \int I_0 dl_0.B = B.I_0.l_0$$



b/ Một cung:

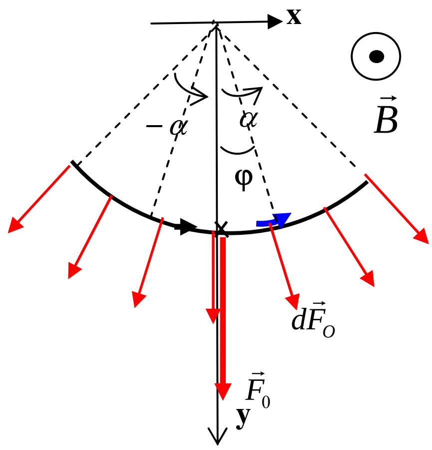
$$\vec{F}_0 = \int d\vec{F}_0$$

$$F_{0x} = \int dF_{0x} = 0$$

$$F_{0y} = \int dF_0.\cos\varphi = \int I_0.dl_0.B.\cos\varphi$$

$$F_{0y} = B.I_0.R\int_{-\alpha}^{+\alpha}\cos\varphi.d\varphi = 2.B.I_0.R.\sin\alpha$$

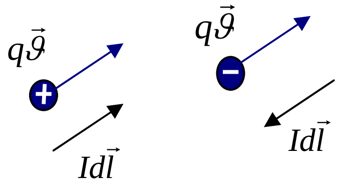
$$F_0 = 2.B.I_0.R.\sin\alpha$$



8.7 Điện tích q chuyển động với vận tốc $\vec{\vartheta}$

8.7.1 Định nghĩa:

Điện tích q chuyển động với vận tốc $\vec{\vartheta}$ được coi tương đương như dòng điện $I\vec{dl}$.



8.7.2 Từ trường gây ra bởi $\left(q\vec{\vartheta}\right)$

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

8.7.3 Lực Lorentz:

$$q.\vec{\vartheta} \to \vec{B} \to \vec{F}_L = q\vec{\vartheta}\times\vec{B}$$

$$F_L = q\vartheta.B.\sin(q\vec{\vartheta},\vec{B})$$