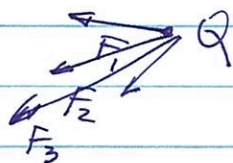
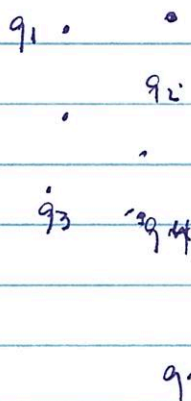


Magnetostática

Cargas estacionárias

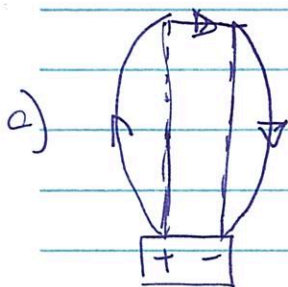


$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i$$

$$\vec{F}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i Q}{r_{i1}^2} \hat{r}_{i1}$$

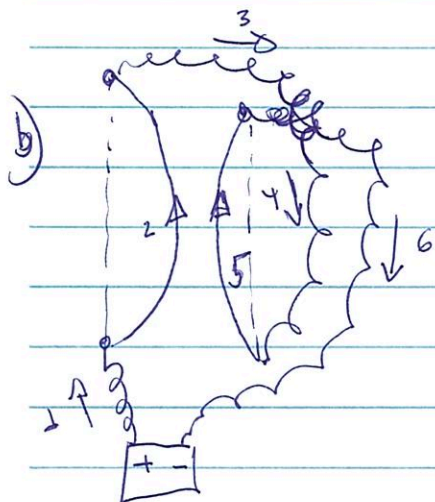
O que ocorre agora se as cargas estiverem em movimento?

Cargas em movimento em ~~uma~~ fios paralelos.



Correntes em sentidos opostos se repelem.

Seja este caso um efeito eletrostático de cargas os fios e tenham as cargas de mesmo sinal se repelindo?

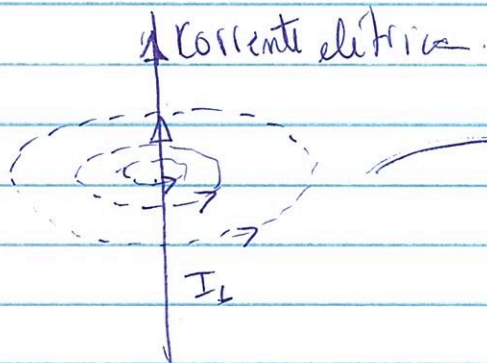


Não é correta pois colocando uma carga de prova perto dos fios vemos que eles de fato estão neutros eletricamente.

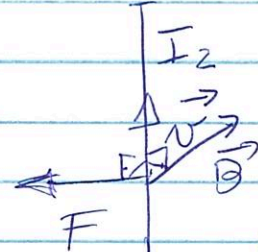
(De fato existem muitas cargas + e - nos segmentos.)

A prova inequívoca da natureza da força não ser eletrostática é o caso b. onde os fios se atraem.

Cargas em movimento produzem não somente um campo $\vec{E}$, mas também um campo magnético $\vec{B}$.



Dirigeo dedo
pelo regra da
MÃO direita!



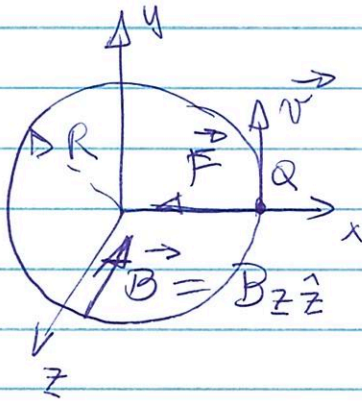
A MÃO!
Indicador
Polegar
Deolmo meio

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

Força de Lorentz

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

Ex. 5.1 → Movimento ciclotron



$$\vec{F}_{mg} = q \vec{v} \times \vec{B} = qvB \hat{n}$$

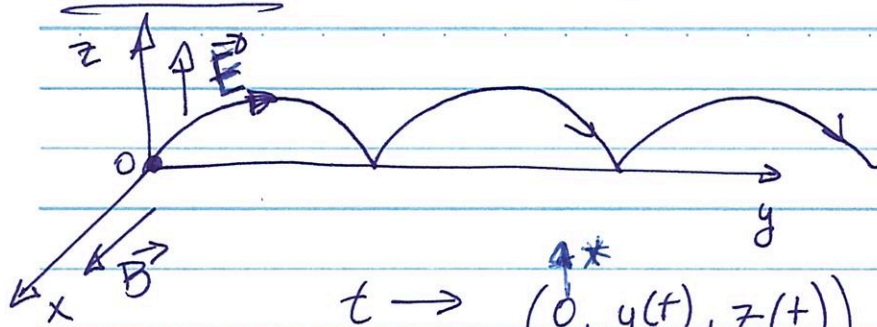
$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{v^2}{R} \hat{n}$$

$$\therefore qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \boxed{R = \frac{mv}{qB}}$$

Se existir uma componente da velocidade no eixo $\hat{z}$ (fora do plano xy) então o movimento será de uma hélise.

Ex. 5.2 Movimento Circular

pg 194



$$\vec{v}_0 = 0 \text{ em } (0,0,0)$$

$$t \rightarrow (0, y(t), z(t))$$

$$\therefore \vec{v} = (0, \dot{y}, \dot{z})$$

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ 0 & \dot{y} & \dot{z} \\ B & 0 & 0 \end{vmatrix} = B\dot{z}\hat{y} - B\dot{y}\hat{z}$$

$$\therefore \vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = Q(\vec{E}\hat{z} + B\dot{z}\hat{y} - B\dot{y}\hat{z})$$

$$= m(\ddot{y}\hat{y} + \ddot{z}\hat{z})$$

$$\therefore \begin{cases} QB\dot{z} = m\ddot{y} \\ QE - QB\dot{y} = m\ddot{z} \end{cases}$$

$$\text{fazendo } \omega = \frac{QB}{m}$$

$$\begin{cases} \ddot{y} = \omega \dot{z} \\ \ddot{z} = \omega \left(\frac{E}{B} - \dot{y} \right) \end{cases}$$

Sistema de Equações Acopladas.
(Resolvemos isto em F315
Máxon Cap. 2)

Diferencia a primeira e substituímos na segunda.

$$\ddot{y} = \omega \dot{z} \Rightarrow \frac{\ddot{y}}{\omega} = \dot{z}$$

$$\therefore \ddot{y} + \omega^2 y = \omega^2 \frac{E}{B}$$

Aplicando M. Euler : $p^3 + \omega^2 p = 0 \Rightarrow p = 0$ e $p = \pm i\omega$
Homogênea

$$y_H(t) = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t + A_3 e^{\frac{0}{1}}$$

$y_p(t) = Ct \Rightarrow \ddot{y}(t) = 0$ e $\dot{y}(t) = C$ solução na eq. diferencial

$$\omega^2 \frac{E}{B} = \omega^2 \frac{E}{B} \Rightarrow C = \frac{E}{B}$$

$$\therefore \boxed{y(t) = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t + \frac{E}{B} t + A_3}$$

$$v) \ddot{z} = -\omega \dot{y} \Rightarrow \ddot{z} = -\omega^2 z \Rightarrow \ddot{z} + \omega^2 z = 0$$

$$\therefore \boxed{z(t) = B_1 \cos \omega t + B_2 \sin(\omega t) + B_3}$$

$$\text{Aplicando } \dot{y} = \omega \dot{z} \Rightarrow -A_1 \omega^2 \cos \omega t - \omega^2 A_2 \sin \omega t = -B_1 \omega^2 \sin \omega t + B_2 \omega^2 \cos \omega t$$

$$\therefore \boxed{A_2 = B_1} \text{ e } \boxed{B_2 = -A_1}$$

$$\begin{cases} y(t) = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t + \frac{E}{B} t + A_3 \\ z(t) = A_2 \cos \omega t - A_1 \sin \omega t + B_3 \end{cases}$$

$$\text{Aplicando as cond. de contorno } \begin{cases} y(0) = z(0) = 0 \\ \dot{y}(0) = \dot{z}(0) = 0 \end{cases}$$

$$0 = A_1 + A_3 \Rightarrow \boxed{A_1 = -A_3}$$

$$0 = A_2 + B_3 \Rightarrow \boxed{A_2 = -B_3}$$

$$y/\dot{y} \text{ e } z/\dot{z} \text{ e } y/t = 0$$

$$0 = -A_1 \omega \sin \omega t + \omega A_2 \cos \omega t + \frac{E}{B} \Rightarrow \boxed{A_2 = -\frac{E}{\omega B}}$$

$$0 = -\omega A_2 \sin \omega t - A_1 \omega \cos \omega t \Rightarrow \boxed{A_1 = 0}$$

$$\therefore y(t) = -\frac{E}{\omega B} \sin \omega t + \frac{E}{B} t$$

$$z(t) = -\frac{E}{\omega B} \cos \omega t + \frac{E}{\omega B}$$

$$\therefore \boxed{y(t) = \frac{E}{\omega B} (\omega t - \sin \omega t)} \text{ e } \boxed{z(t) = \frac{E}{\omega B} (1 - \cos \omega t)}$$

fazendo $R = \frac{E}{\omega B}$

$$(y - R\omega t)^2 + (z - R)^2 = R^2 (\underbrace{\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t}_1)$$

Círculo de Raio R centrado em:

$(0, R\omega t, R)$ movendo-se com velocidade constante na direção y ~~ou R~~ $V_y = \omega R = \frac{E}{B}$

Algo muito importante a ser lembrado é que a Força Magnética NÃO realiza trabalho



$$\vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt} ; dW = \vec{F}_{mg} \cdot d\vec{l}$$

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

$$\therefore dW = q (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt$$

$$\begin{matrix} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \vec{B} & \vec{C} & \vec{A} \end{matrix}$$

e lembrando que $\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$

$$\therefore \vec{v} \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{B} \cdot (\underbrace{\vec{v} \times \vec{v}}_0)$$

$$\therefore \boxed{dW = 0}$$

obviamente é muito fácil observar isto geometricamente já que $\boxed{\vec{v} \times \vec{B} = \vec{D}} \perp \vec{v}$

De pto o campo magnético pode mudar a direção de trajetória de uma partícula cargada mas não pode mudar ~~para~~ velocidade.

$$|\vec{v}| = \text{rapidez ou speed em Inglês}$$