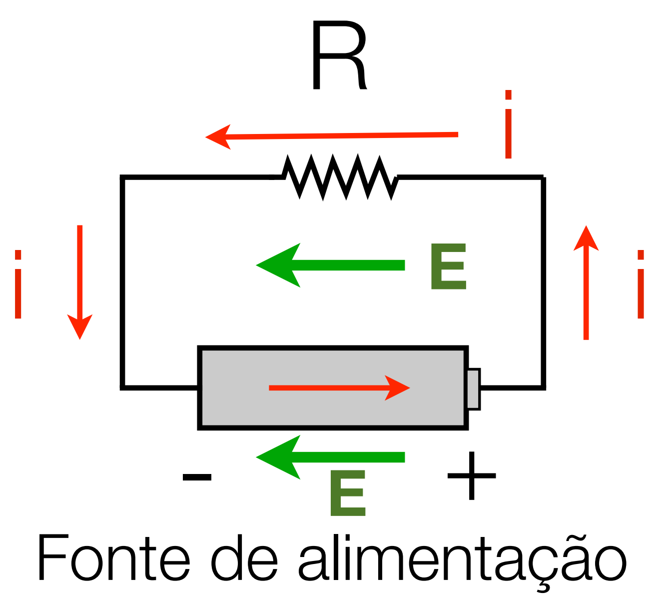
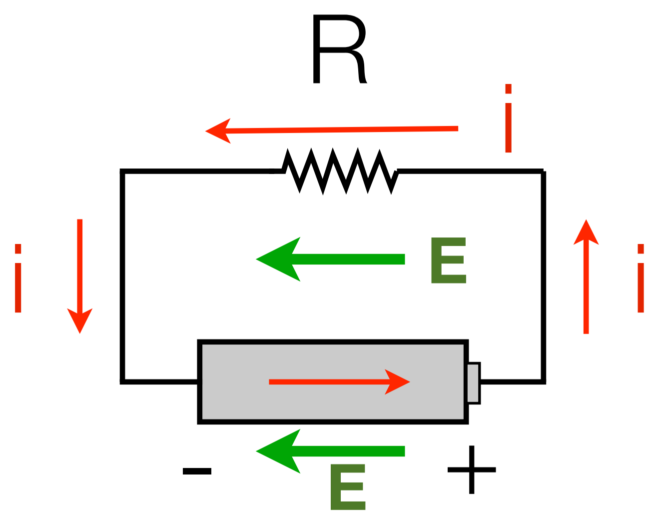
F.E.M. & CIRCUITOS

Aula # 13

FORÇA ELETROMOTRIZ



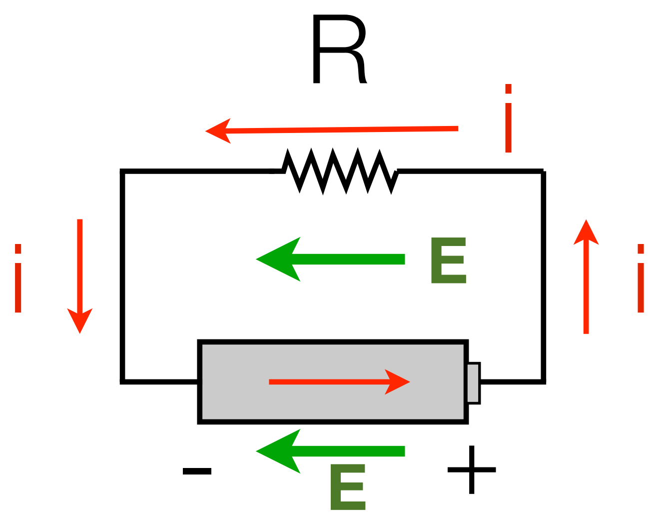
FORÇA ELETROMOTRIZ



Fonte de alimentação

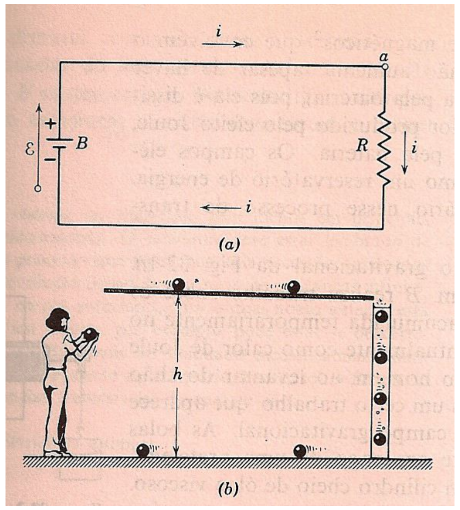
Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo

FORÇA ELETROMOTRIZ

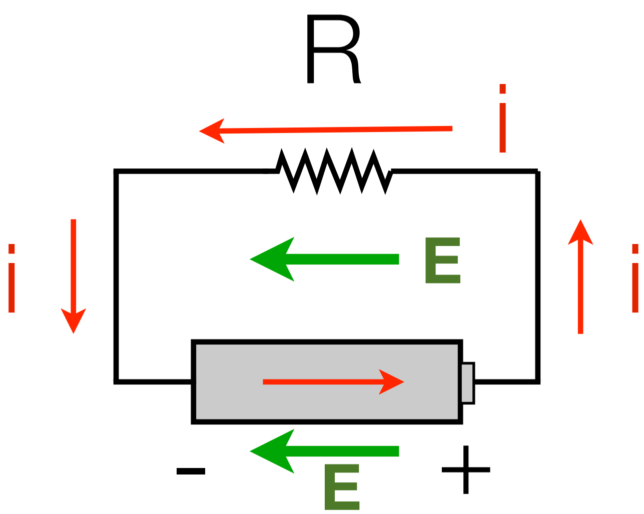


Fonte de alimentação

Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo

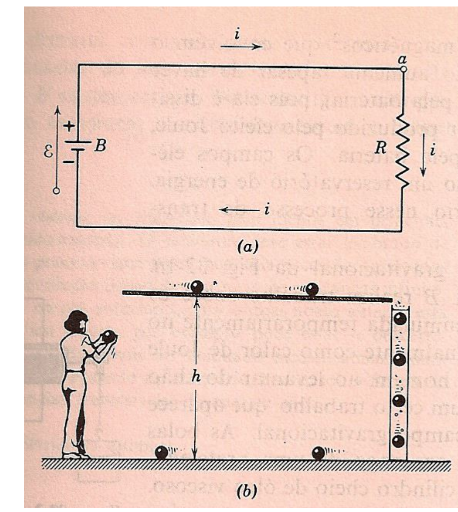


FORÇA ELETROMOTRIZ



Fonte de alimentação

Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo



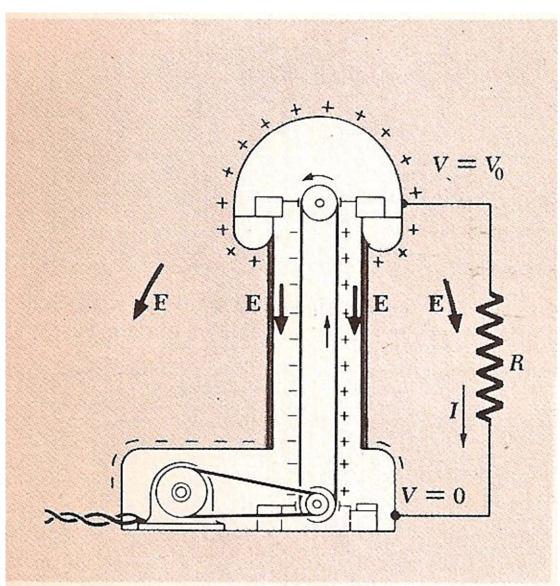
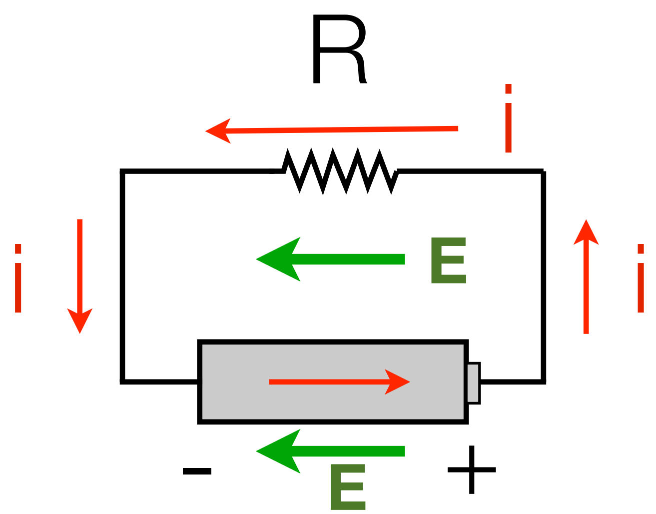


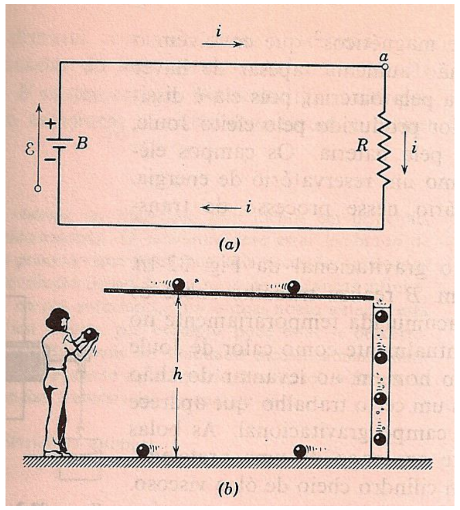
Fig. 4.15 No gerador de Van de Graaff, as cargas são transportadas mecânicamente na direção oposta àquela em que o campo elétrico as faria mover.

FORÇA ELETROMOTRIZ



Fonte de alimentação

Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo



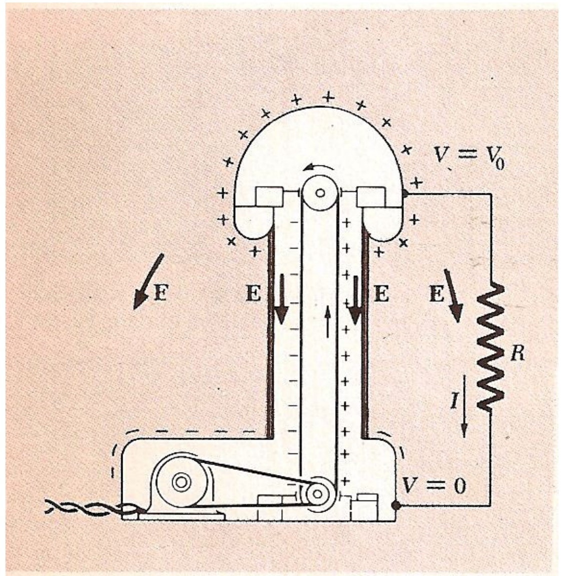
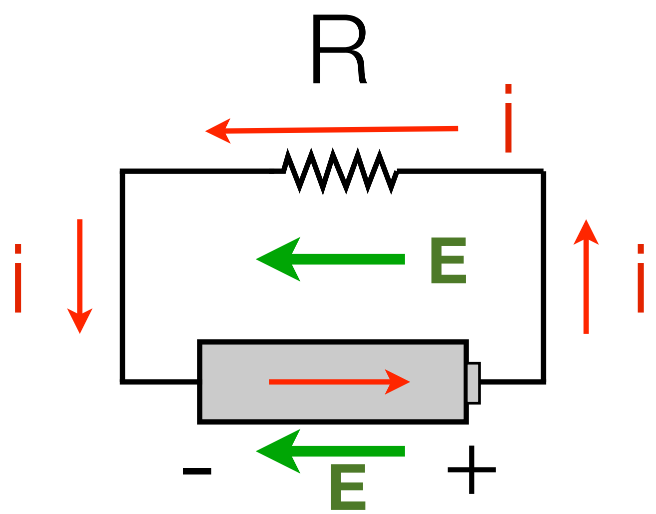


Fig. 4.15 No gerador de Van de Graaff, as cargas são transportadas mecânicamente na direção oposta àquela em que o campo elétrico as faria mover.

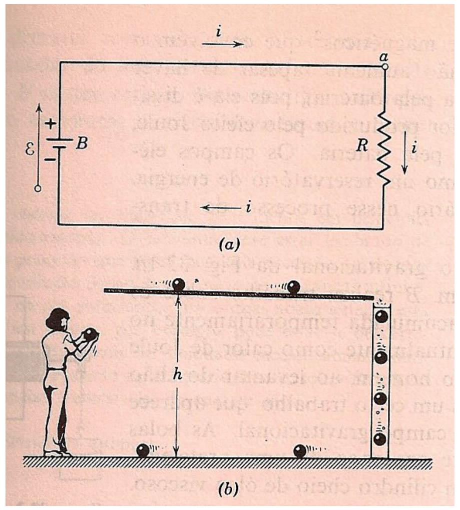
Painel Solar

FORÇA ELETROMOTRIZ



Fonte de alimentação

Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo



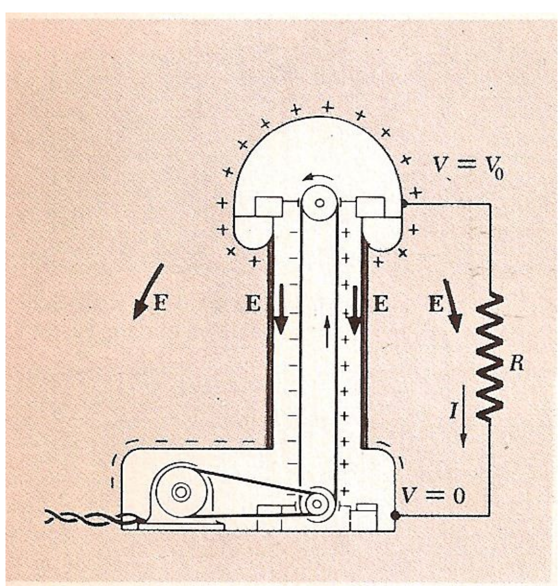
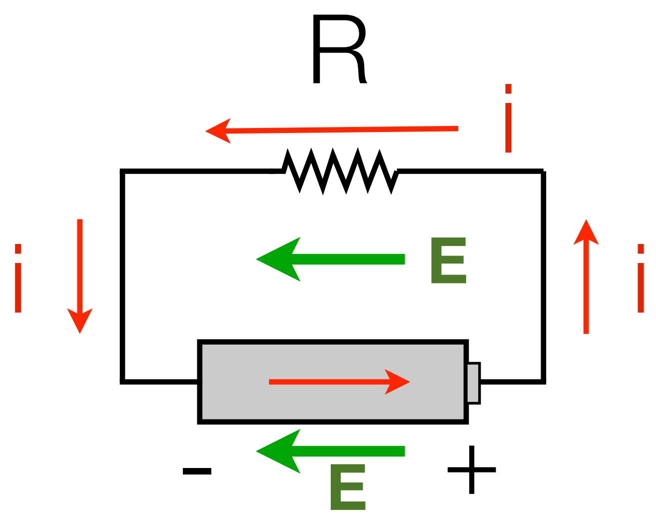


Fig. 4.15 No gerador de Van de Graaff, as cargas são transportadas mecânicamente na direção oposta àquela em que o campo elétrico as faria mover.

Painel Solar

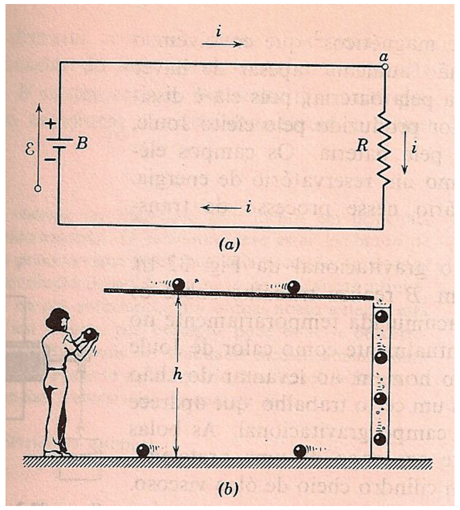
Baterias

Força eletromotriz



Fonte de alimentação

Note que dentro da fonte de alimentação a corrente flui na direção oposta ao campo



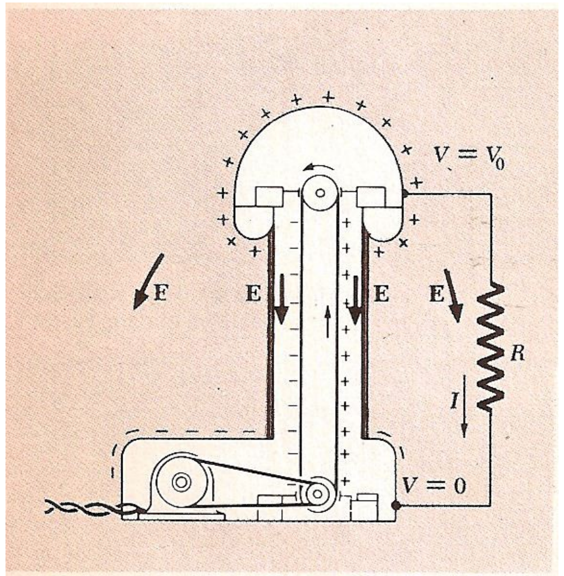
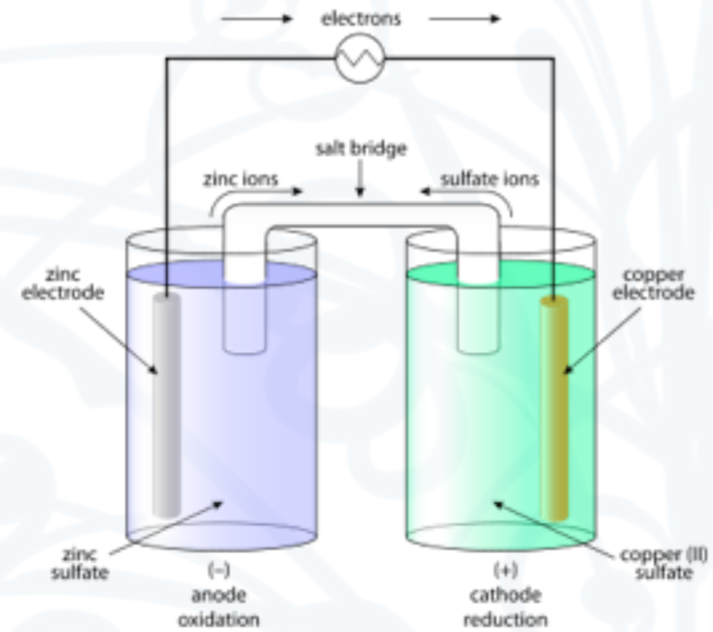


Fig. 4.15 No gerador de Van de Graaff, as cargas são transportadas mecânicamente na direção oposta àquela em que o campo elétrico as faria mover.

Painel Solar

Baterias



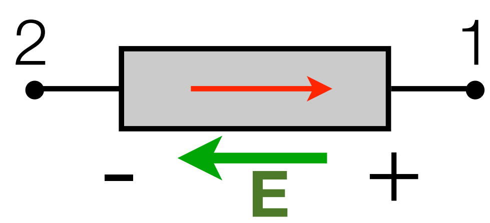
Daniell cell

FORÇA ELETROMOTRIZ

DEFINIÇÃO

Força eletromotriz: f.e.m.

$$\varepsilon = dW/dq$$



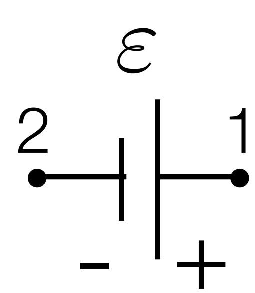
Fonte de alimentação

$$\varepsilon = -\int_2^1 \vec{E}\cdot d\vec{l} = V_1 - V_2$$

d.d.p. entre os pontos 1 e 2 em um circuito aberto

A d.d.p. entre os terminais de uma pilha de 1.5 V - medida diretamente com o voltímetro - é 1.5V

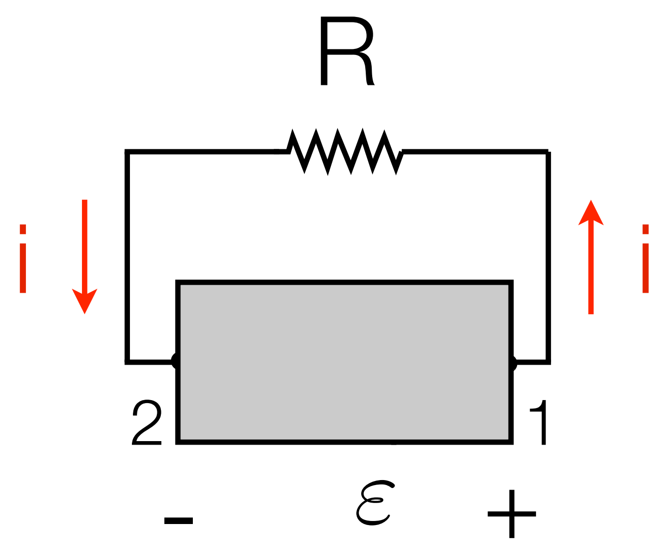
Símbolo:



Fonte de alimentação

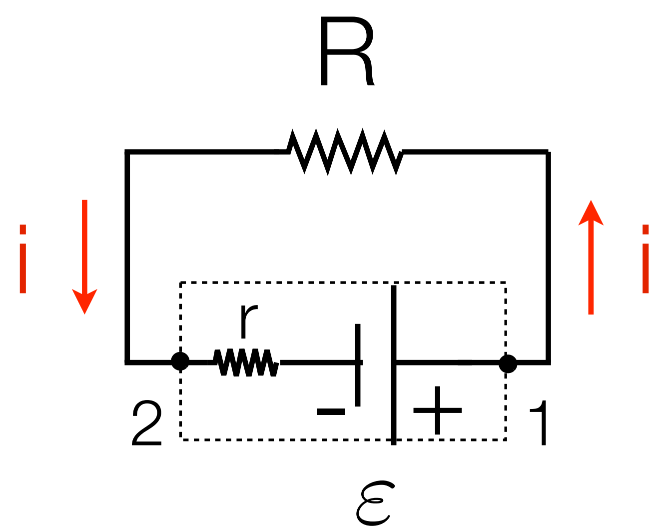
FORÇA ELETROMOTRIZ

CIRCUITO



Força eletromotriz

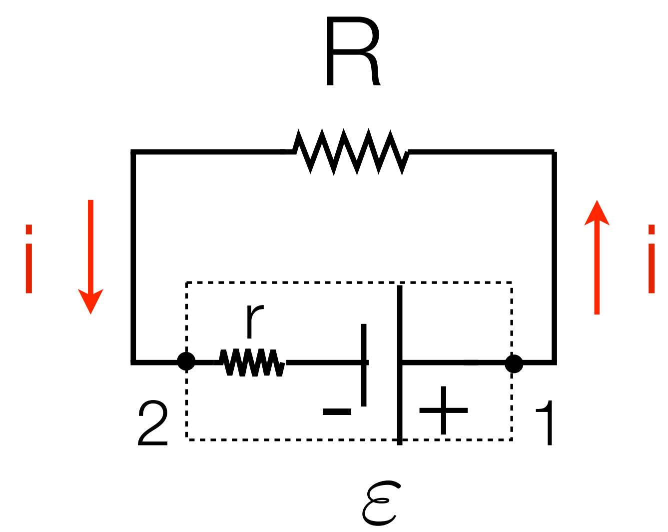
Circuito



r - resistência interna da fonte de alimentação

FORÇA ELETROMOTRIZ

CIRCUITO

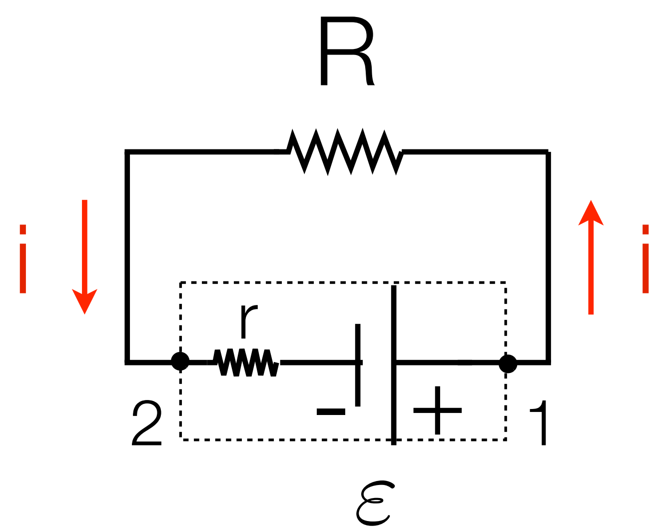


r - resistência interna da fonte de alimentação

R e r estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\mathcal{E}}{R+r}$

Força eletromotriz

CIRCUITO



r - resistência interna da fonte de alimentação

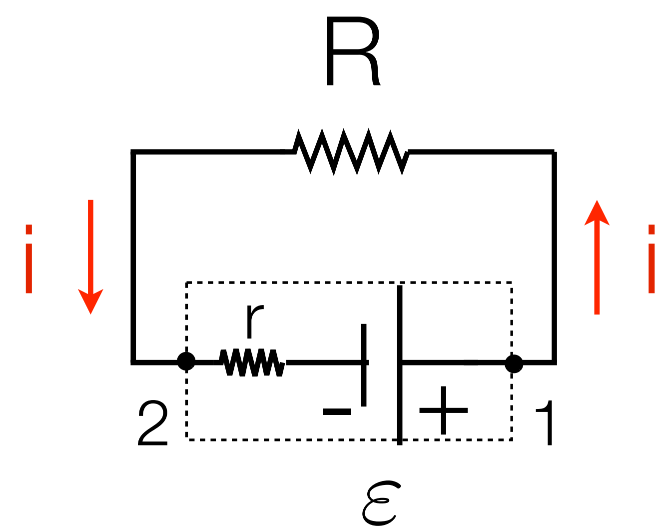
R e r estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$

Diferença de potencial nos polos da bateria:

$$V = V_1 - V_2 = Ri = \frac{R}{R+r}\varepsilon < \varepsilon$$

FORÇA ELETROMOTRIZ

CIRCUITO



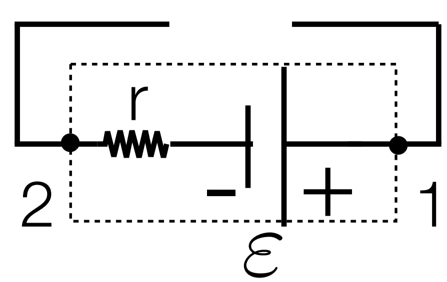
r - resistência interna da fonte de alimentação

R e r estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$

Diferença de potencial nos polos da bateria:

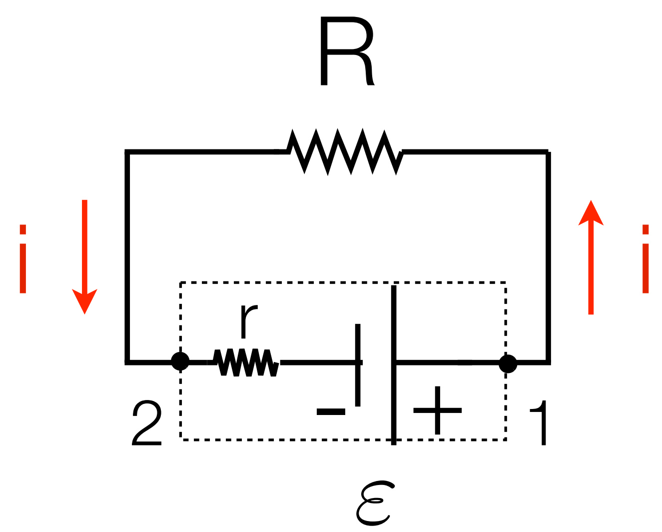
$$V = V_1 - V_2 = Ri = \frac{R}{R+r}\varepsilon < \varepsilon$$

(circuito aberto) $\lim\limits_{R\to\infty}$



FORÇA ELETROMOTRIZ

CIRCUITO



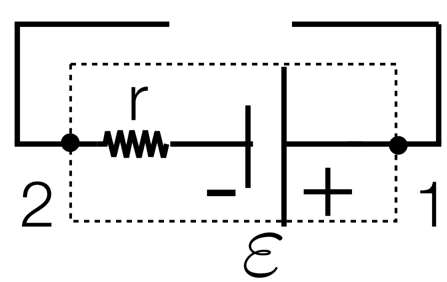
r - resistência interna da fonte de alimentação

R e *r* estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$

Diferença de potencial nos polos da bateria:

$$V = V_1 - V_2 = Ri = \frac{R}{R+r}\varepsilon < \varepsilon$$

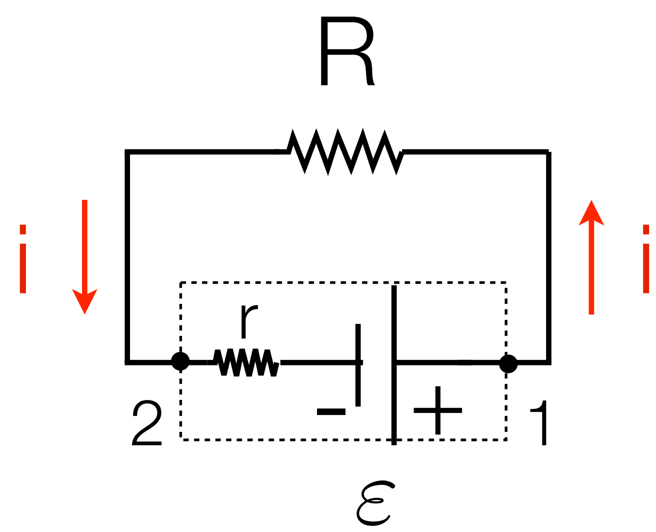
(circuito aberto) $\lim_{R\to\infty}$



$i \to 0 \quad \& \quad V \to \varepsilon$

Força eletromotriz

Circuito



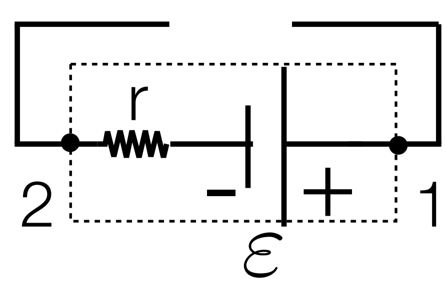
r - resistência interna da fonte de alimentação

R e r estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$

Diferença de potencial nos polos da bateria:

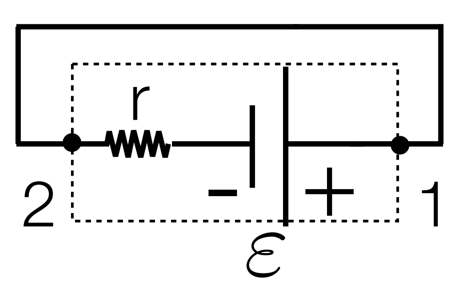
$$V = V_1 - V_2 = Ri = \frac{R}{R+r}\varepsilon < \varepsilon$$

(circuito aberto) $\lim\limits_{R\to\infty}$



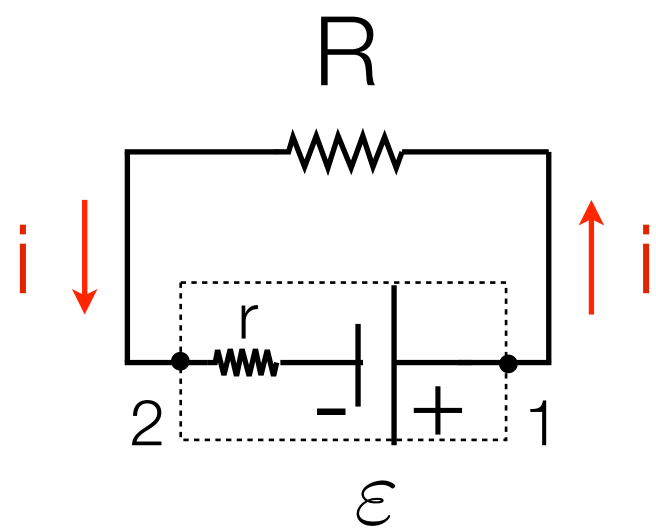
$i \to 0 \quad \& \quad V \to \varepsilon$

(curto circuito) $\lim\limits_{R\to 0}$



Força eletromotriz

Circuito



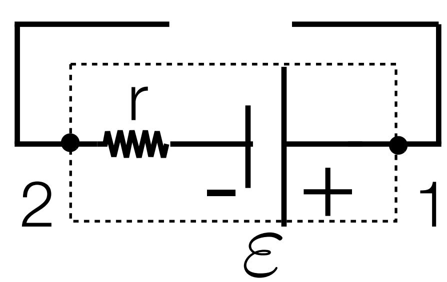
r - resistência interna da fonte de alimentação

R e r estão em série $\longrightarrow$ $i = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$

Diferença de potencial nos polos da bateria:

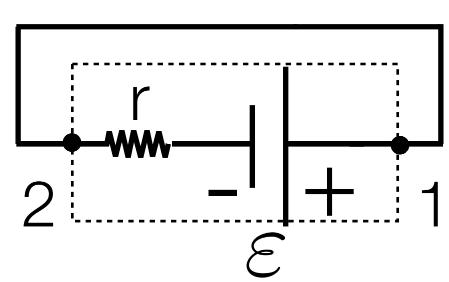
$$V = V_1 - V_2 = Ri = \frac{R}{R+r}\varepsilon < \varepsilon$$

(circuito aberto) $\lim\limits_{R\to\infty}$



$i \to 0 \quad \& \quad V \to \varepsilon$

(curto circuito) $\lim\limits_{R\to 0}$



$i \to i_{max} = \dfrac{\varepsilon}{r} \quad \& \quad V \to 0$

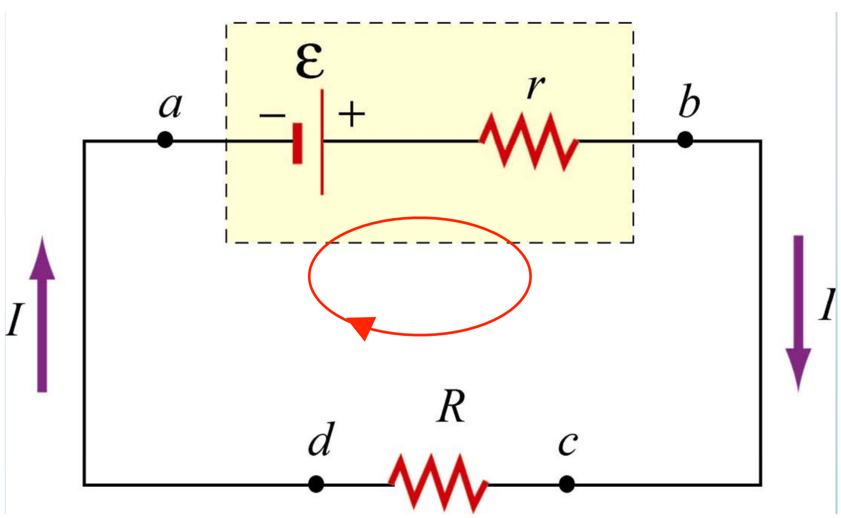
Regras de Kirchhoff

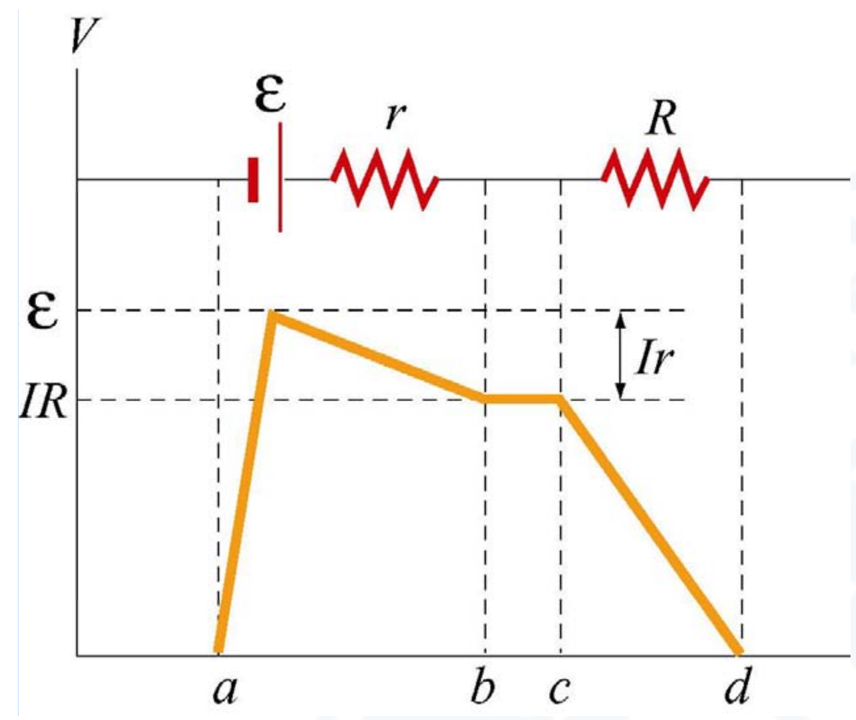
Circuito com 1 malha

1. A soma de todas as variações de potencial ao longo de um circuito fechado é nula ($\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$)

(conservação de energia - campo eletrostático é conservativo)

Escolhemos o sentido da corrente e o do percurso da malha





- Através de fonte de f.e.m. percorrida no sentido da corrente há um **ganho** de potencial

$$\Delta V = \varepsilon$$

- Através de um resistor ôhmico percorrido no sentido da corrente há uma **queda** de potencial

$$\Delta V = Ri$$

REGRAS DE KIRCHHOFF

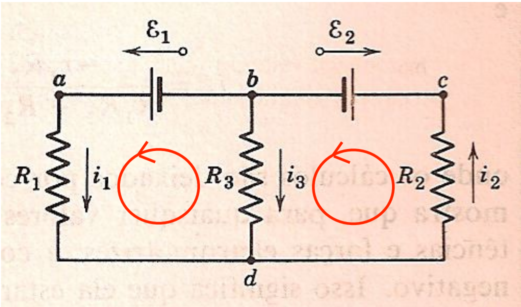
CIRCUITO COM MAIS DE 1 MALHA

2. Em um nó, a soma algébrica de todas as correntes deve ser nula (conservação de carga)

Escolhemos os sentidos das correntes e dos percursos das malhas

- No nó b ou d temos:

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0 \qquad (1)$$



- Malha abd: b-a-d-b

$$\varepsilon_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0 \qquad (2)$$

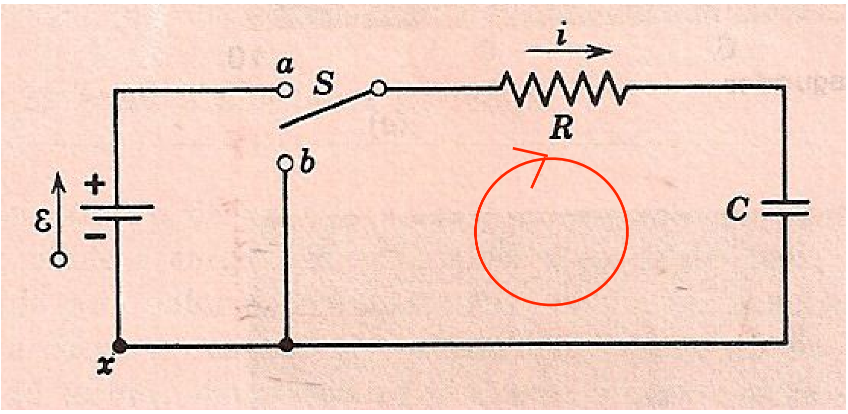
- Malha bcd: c-b-d-c

$$-\varepsilon_2 - i_3 R_3 - i_2 R_2 = 0 \qquad (3)$$

Esse sistema com três equações lineares e três incógnitas permite determinar, por exemplo, as três correntes.

Circuito RC

Carregando o capacitor



Chave S conectada na posição (a)

Condições iniciais:

Em $t = 0$ $q(t=0) = q_0 = 0$

Lei das malhas: $\varepsilon - Ri - \dfrac{q}{C} = 0$ Eq. (1) $q = q(t)$ $i = \dfrac{dq}{dt}$

Decorre que: $i(t=0) = i_0 = \dfrac{\varepsilon}{R}$

Derivando a equação (1) em relação ao tempo : $R\dfrac{di}{dt} = -\dfrac{i}{C} \Rightarrow \dfrac{di}{i} = -\dfrac{dt}{RC}$

Definindo $\tau = RC$ $\dfrac{di}{i} = -\dfrac{dt}{\tau} \Rightarrow \displaystyle\int_{i_0}^{i} \frac{di}{i} = -\int_0^t \frac{dt'}{\tau} \Rightarrow ln\left(\frac{i}{i_0}\right) = -\frac{t}{\tau}$

$\Rightarrow$ $\boxed{i(t) = i_0 e^{-t/\tau}}$ quando $t = \tau$ $i(\tau) = \dfrac{i_0}{e} \approx \dfrac{i_0}{3}$

$\boxed{\tau = RC \quad \text{tempo caracterísitco}}$

CIRCUITO RC

CARREGANDO O CAPACITOR

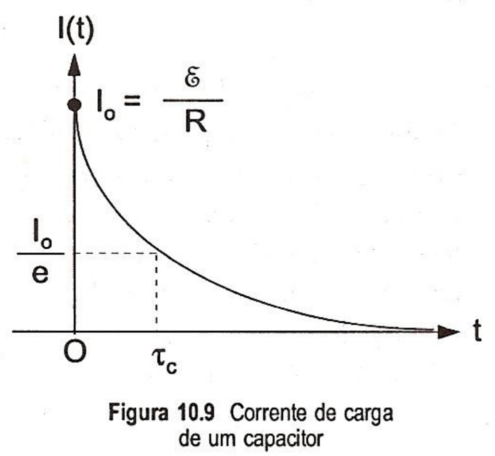


Figura 10.9 Corrente de carga de um capacitor

Carga no capacitor:

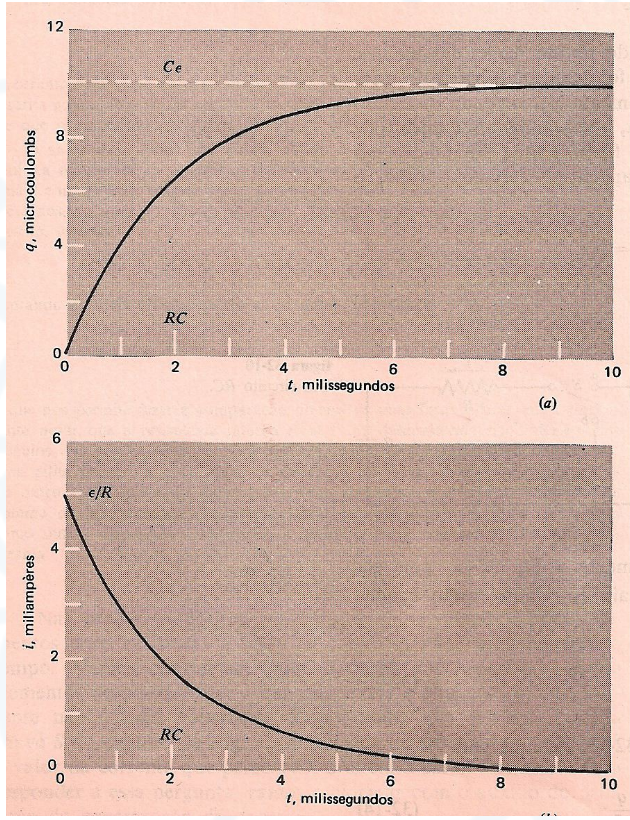
$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = i dt \Rightarrow q(t) = \int_0^t i(t')\, dt'$$

$$i(t') = i_0 e^{-t'/\tau} \Rightarrow q(t) = -i_0 \tau e^{-t/\tau}\Big|_0^t$$

$$\Rightarrow \boxed{q(t) = \varepsilon C \left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$$

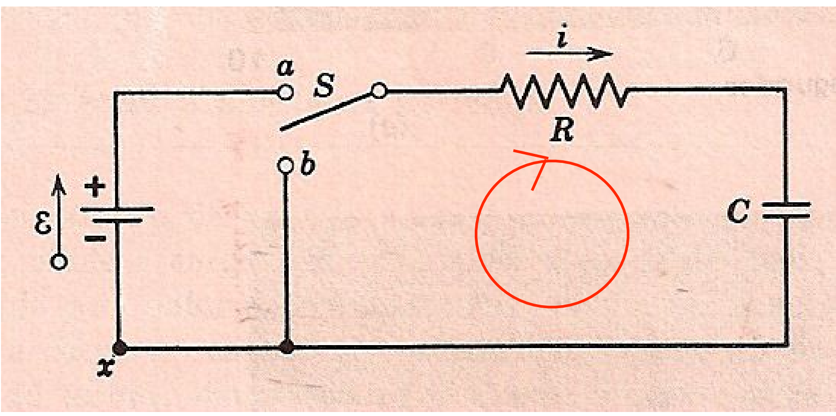
$$q(t=0) = 0 \qquad \lim_{t\to\infty} q(t) = \varepsilon C$$

$$i(t=0) = \frac{\varepsilon}{R} \qquad \lim_{t\to\infty} i(t) = 0$$



Circuito RC

Descarregando o capacitor



Chave S conectada na posição (b)

Condições iniciais:

Em $t = 0$ $q(t=0) = q_0 = C\varepsilon$ (carga máxima)

Lei das malhas: $-Ri - \dfrac{q}{C} = 0$ Eq. (2) $q = q(t)$ $i = \dfrac{dq}{dt}$

Decorre que: $i(t=0) = i_0 = \dfrac{q_0}{RC} = -\dfrac{\varepsilon}{R}$

Da equação (2): $R\dfrac{dq}{dt} = -\dfrac{q}{C} \Rightarrow \dfrac{dq}{q} = -\dfrac{dt}{RC}$

Definindo $\tau = RC$ $\dfrac{dq}{q} = -\dfrac{dt}{\tau} \Rightarrow \displaystyle\int_{q_0}^{q} \frac{dq}{q} = -\int_0^t \frac{dt'}{\tau} \Rightarrow ln\left(\frac{q}{q_0}\right) = -\frac{t}{\tau}$

$\Rightarrow$ $\boxed{q(t) = q_0\, e^{-t/\tau}}$ quando $t = \tau$ $q(t) = \dfrac{q_0}{e} \approx \dfrac{q_0}{3}$

$\boxed{\tau = RC \quad \text{tempo caracterísitco}}$

CIRCUITO RC

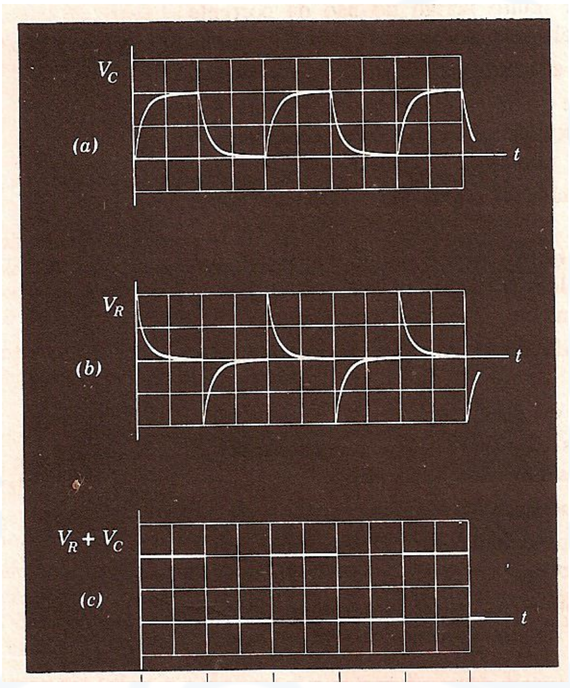
DESCARREGANDO O CAPACITOR

Corrente no circuito: $i(t) = \dfrac{dq}{dt}$ $q(t) = q_0\, e^{-t/\tau}$

$$\Rightarrow \boxed{i(t) = -\frac{q_0}{\tau}\, e^{-t/\tau}}$$

Sinal negativo indica apenas que a corrente tem sentido oposto ao escolhido na figura

Carga e descarga



$$q(t=0) = q_0 \quad \Big| \quad \lim_{t\to\infty} q(t) = 0$$

$$i(t=0) = i_0 = -\frac{q_0}{\tau} \quad \Big| \quad \lim_{t\to\infty} i(t) = 0$$

CAMPO MAGNÉTICO

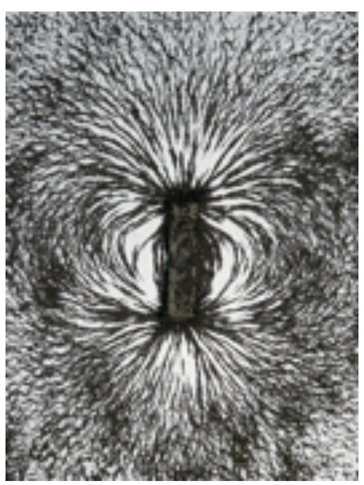
Aulas # 13/14

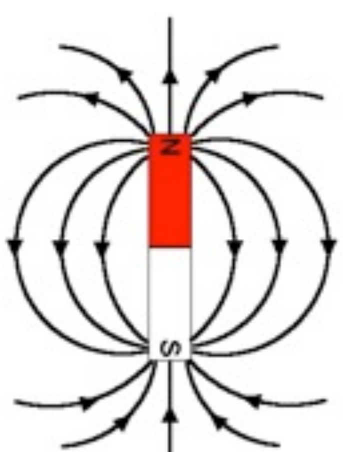
Imã e Campo magnético

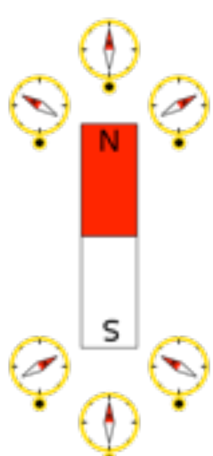
Magnetita

Proveniente de alguns lugares é um ímã natural, capaz de atrair partículas de Fe. Trata-se de um óxido de ferro Fe_3O_4

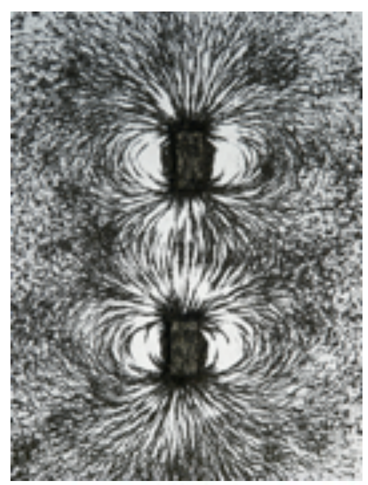
Imã

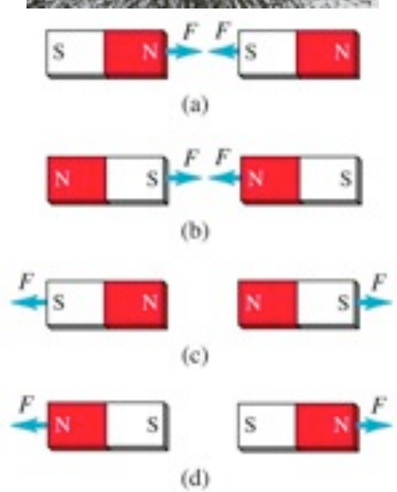


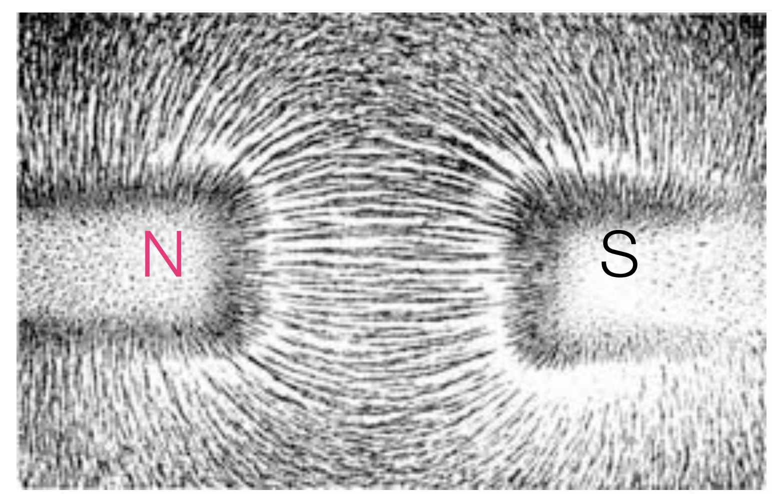


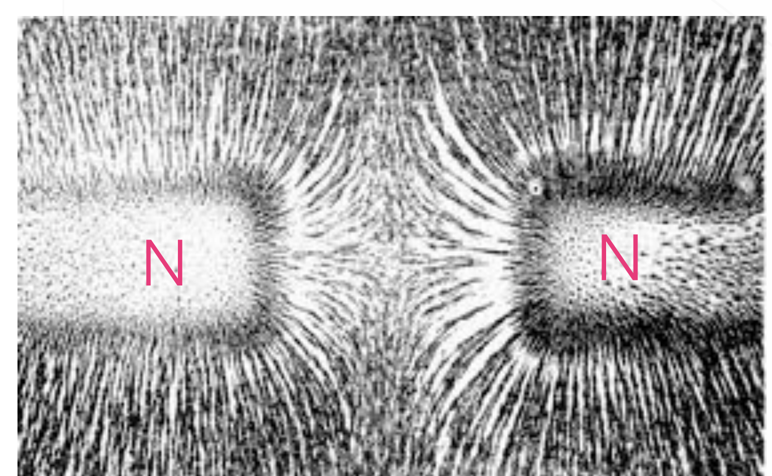


Partido em 2: 2 ímãs

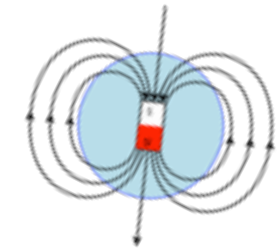






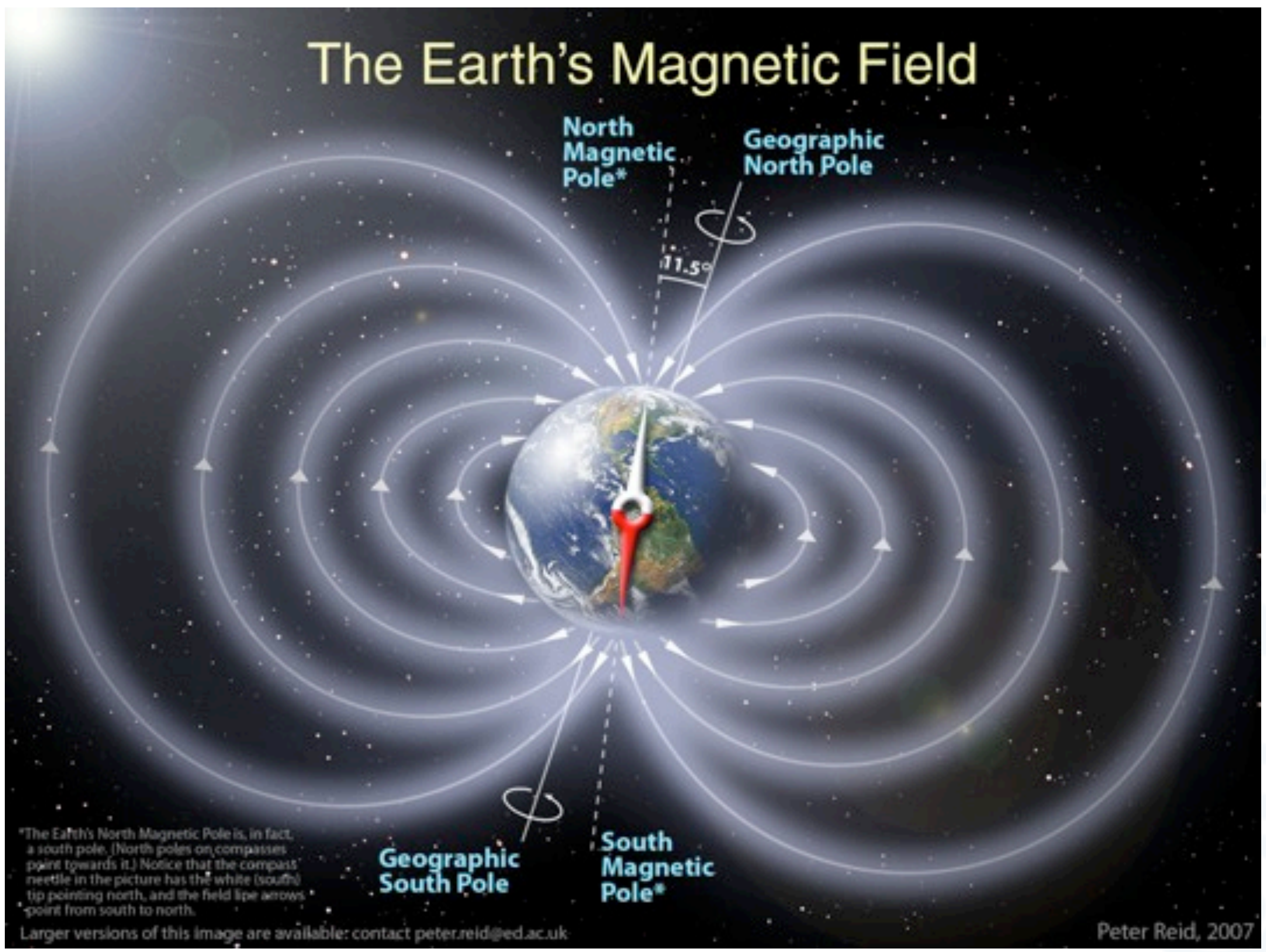


A TERRA É UM IMÃ

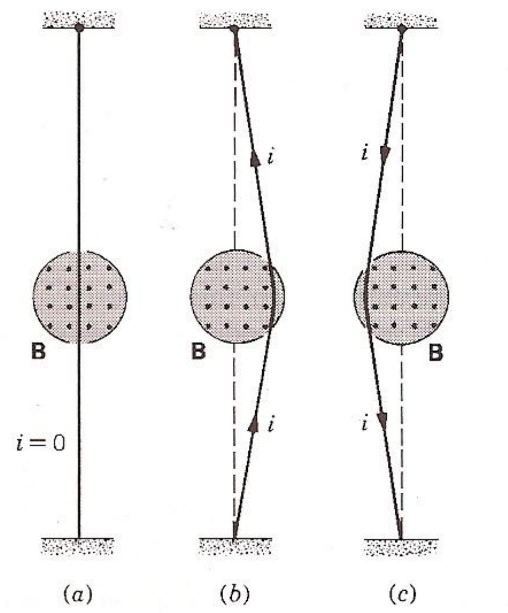


- Os polos magnéticos não coincidem com os polos geográficos.

- A polaridade magnética é oposta: a bússola na terra aponta ~ na direção do norte geográfico.

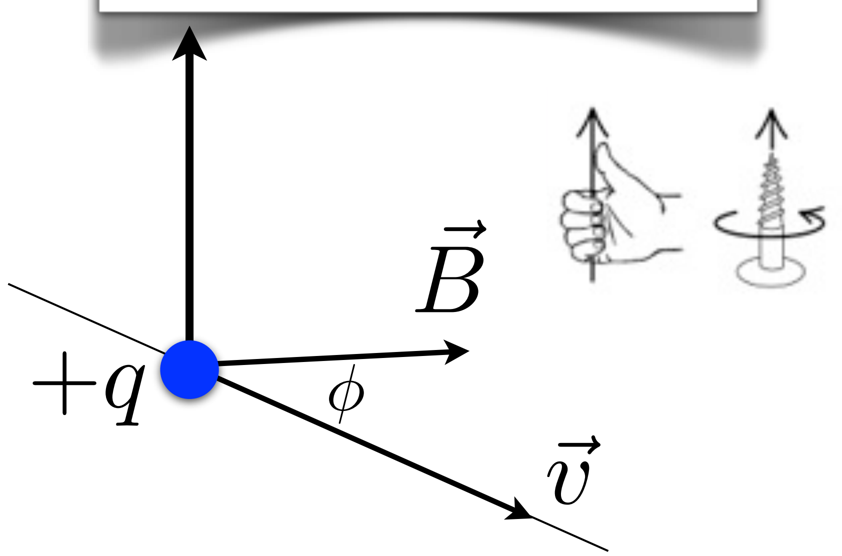


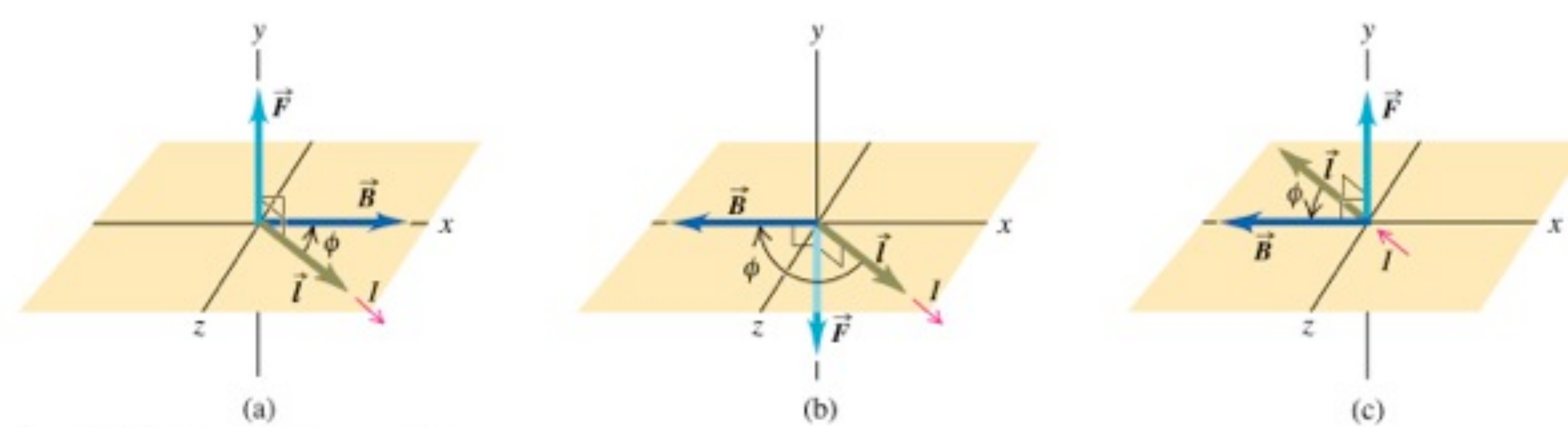
FORÇA SOBRE CARGAS EM MOVIMENTO



- A força depende do sentido e da intensidade da corrente, ou seja, da carga e da velocidade dos portadores.
- A força depende do sentido e da intensidade do campo
- É possível verificar que ela é perpendicular tanto a velocidade dos portadores, quanto ao campo magnético

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

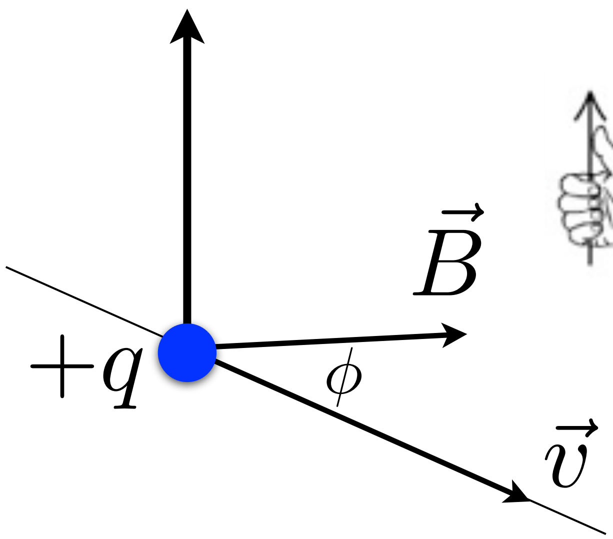


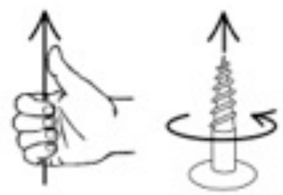


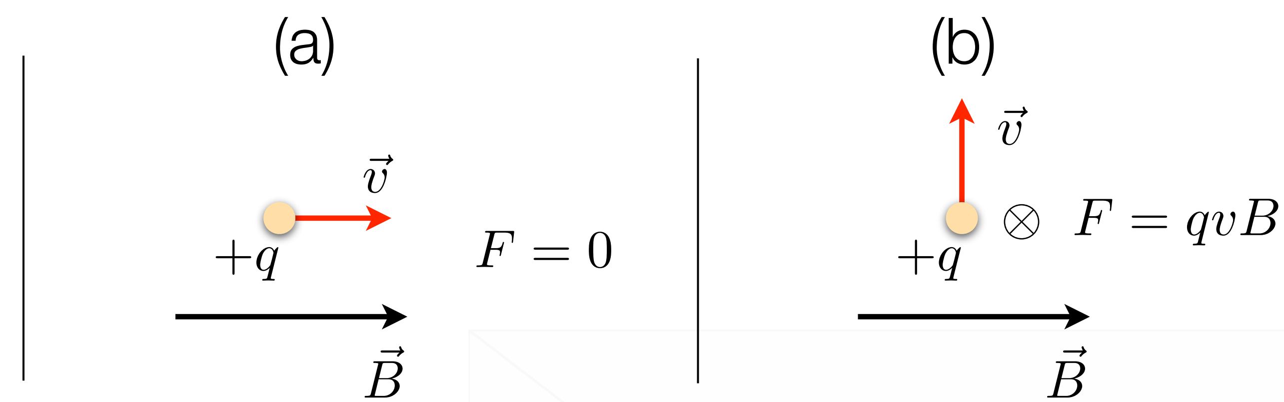
$$\Rightarrow \quad F = qvBsin(\phi)$$

Força sobre cargas em movimento

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad F = qvBsin(\phi)$$







- A força magnética sobre cargas em movimento, sendo perpendicular à velocidade, não trabalha.

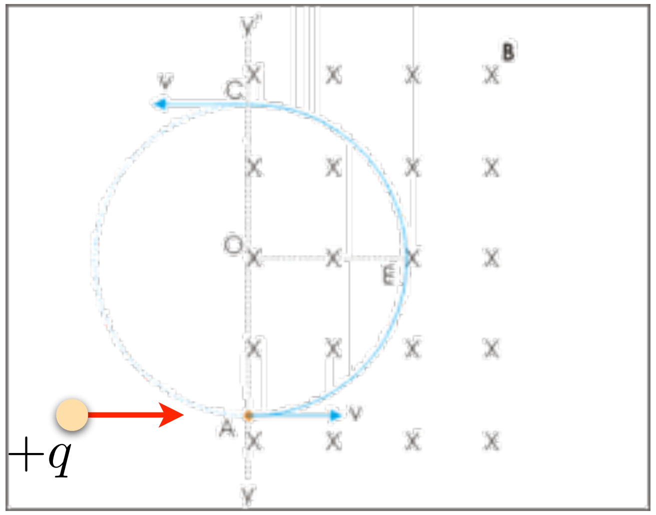
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{\ell} \qquad\qquad \vec{v} = \frac{d\vec{\ell}}{dt} \quad \Rightarrow \quad d\vec{\ell} = \vec{v}dt$$

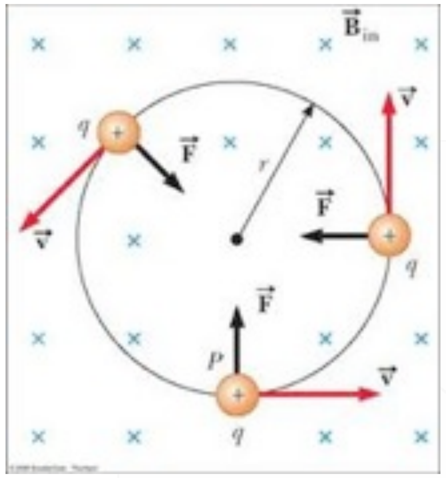
$$\vec{F} \perp \vec{v} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} \perp d\vec{\ell} \quad \Rightarrow \quad dW = 0$$

Unidades: (SI) 1Tesla = 1 N/(C m/s); 1 T = 10^4 Gauss

FORÇA SOBRE CARGAS EM MOVIMENTO

Consequentemente: $\Delta E_c = 0 \quad \Rightarrow \quad |\vec{v}|$ constante, ou seja, a força magnética pode apenas alterar a direção da velocidade da partícula carregada.





$$F = qvB = \frac{mv^2}{R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{mv}{qB}$$

O que acontece se a carga for negativa?

Raio da órbita depende do momento da partícula, da sua carga e do valor do campo B

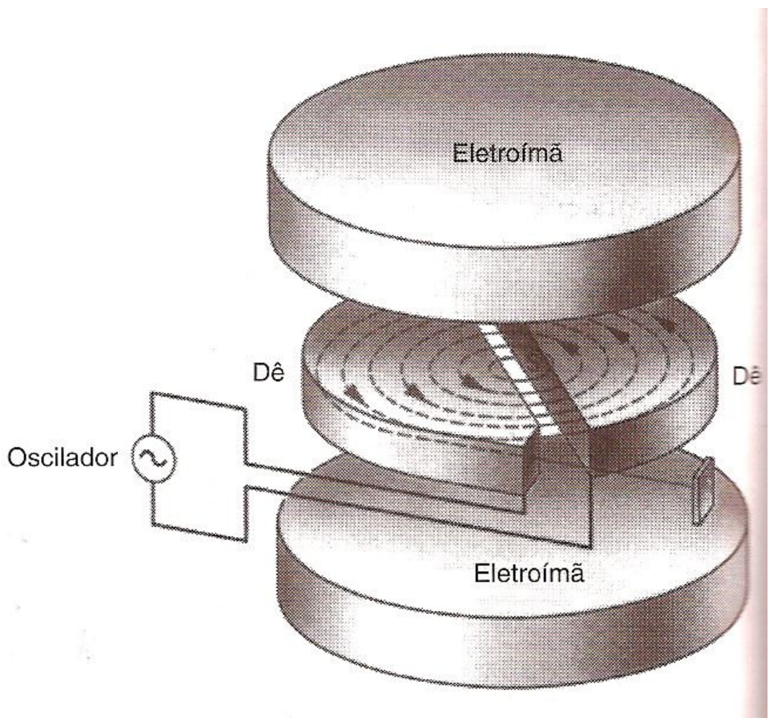
FREQUÊNCIA DE CICLOTRON

ACELERADOR CICLOTRON
SUBTITLE TEXT

$$\omega = \frac{v}{R} \quad \Rightarrow \quad \nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Frequência de cíclotron

Para $v \ll c$, a frequência ν não depende de v $\Rightarrow$ elétrons lançados com velocidades menor, levam o mesmo tempo para percorrer sua trajetória circular de raio menor.



$$R = \frac{mv}{|q|B} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{|q|BR}{m}$$

$$E_c = \frac{p^2}{2m} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

maior E_c maior R

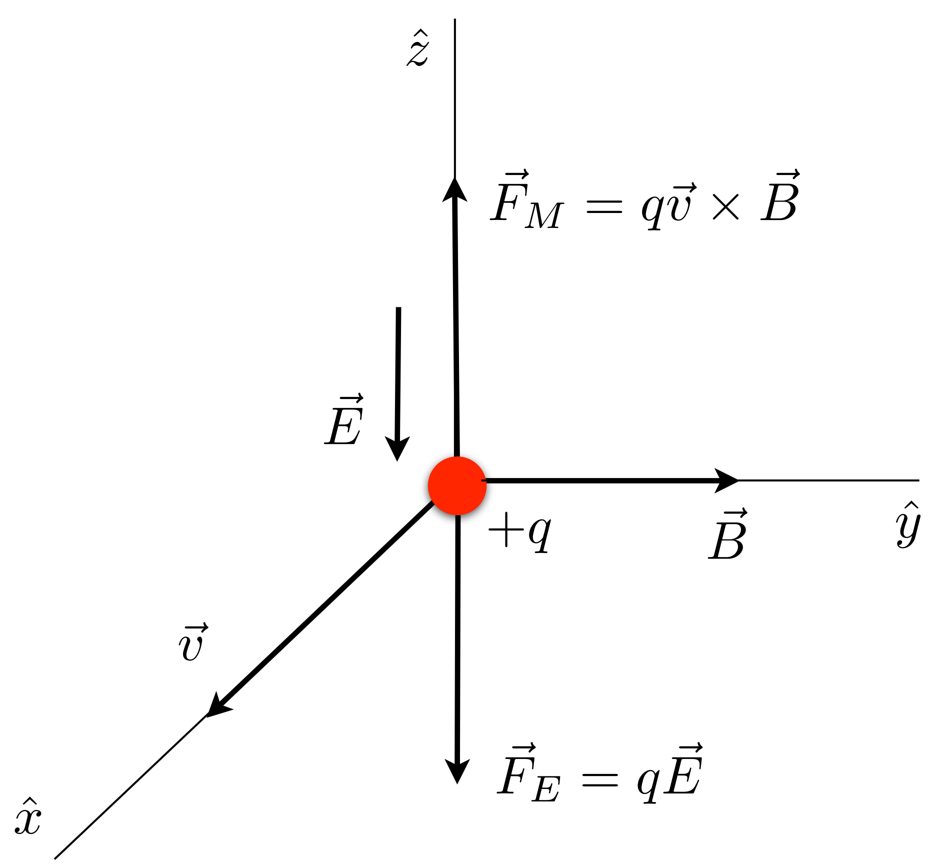
prótons acelerados até ~10MeV

Força de Lorentz

- Na presença de um campo elétrico $\vec{E}$ e de um campo magnético $\vec{B}$

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

Suponha que $\vec{E}, \vec{B}$ e $\vec{v}$ são perpendiculares entre si (como ilustrado).



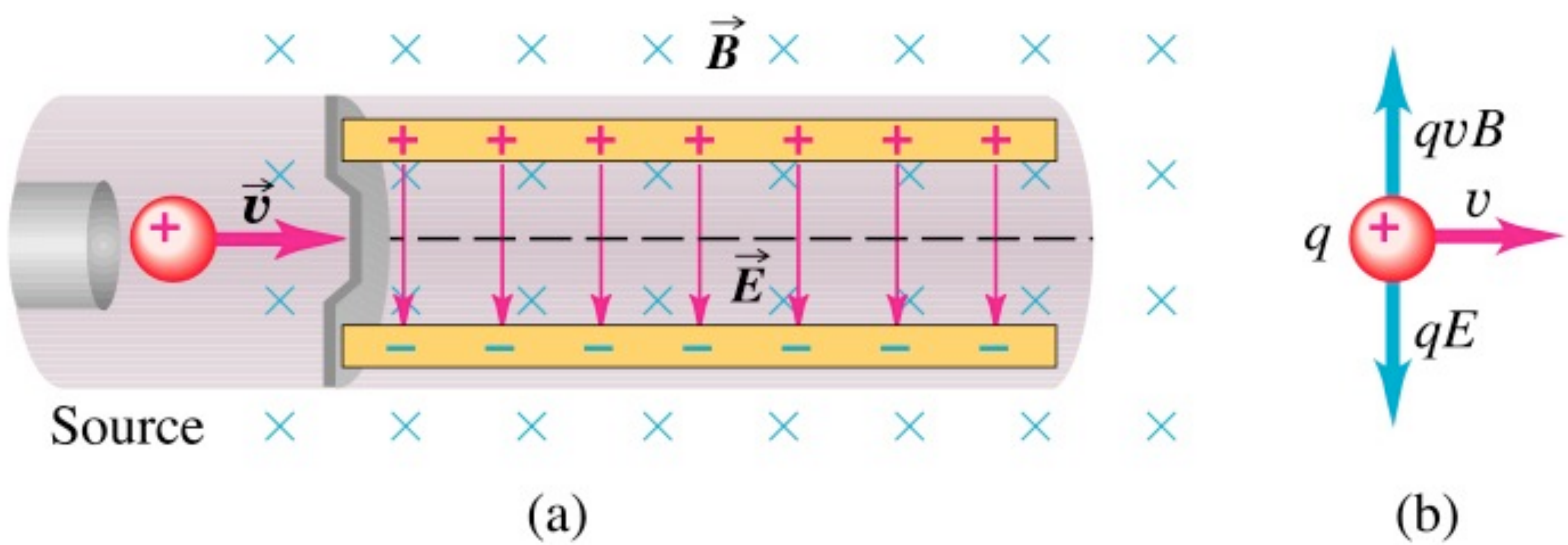
Nesse caso podemos ajustar E e B de tal forma que $\vec{F} = 0$. Dessa forma:

$$qE = qvB \quad \Rightarrow \boxed{v = \frac{E}{B}}$$

FORÇA DE LORENTZ

SELETOR DE VELOCIDADES

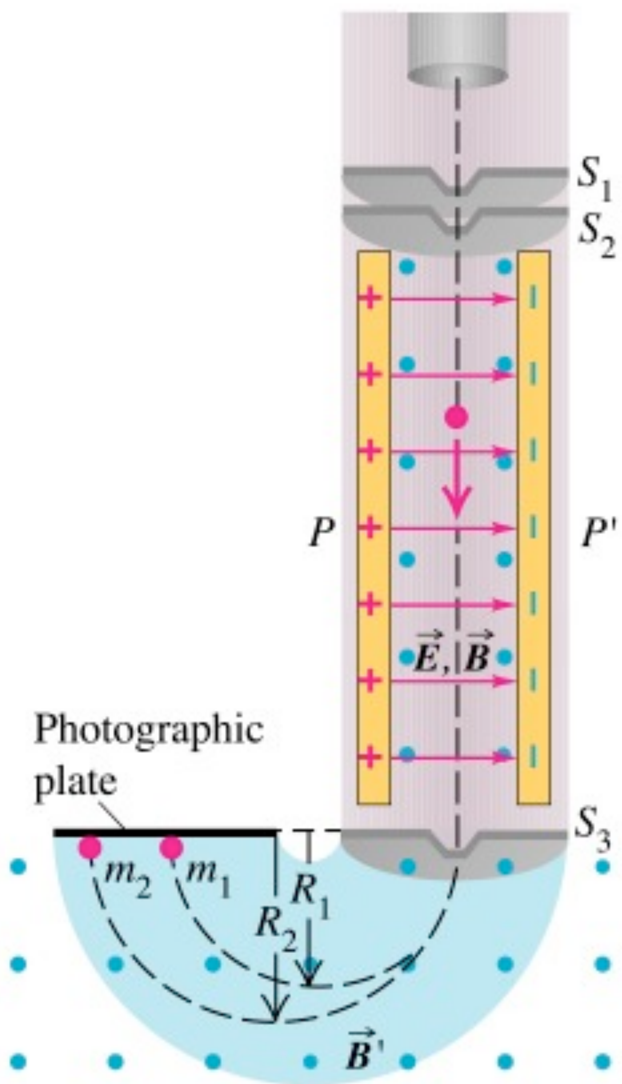
As partículas com essa velocidade não são defletidas nessa região. Podemos usar isso para como um dispositivo seletor de velocidade.



$$v = \frac{E}{B}$$

FORÇA DE LORENTZ

ESPECTRÔMETRO DE MASSA



Podemos combinar os dois resultados para construir um espectrômetro de massa. As partículas carregadas selecionadas com velocidades conhecidas

$$v = \frac{E}{B}$$

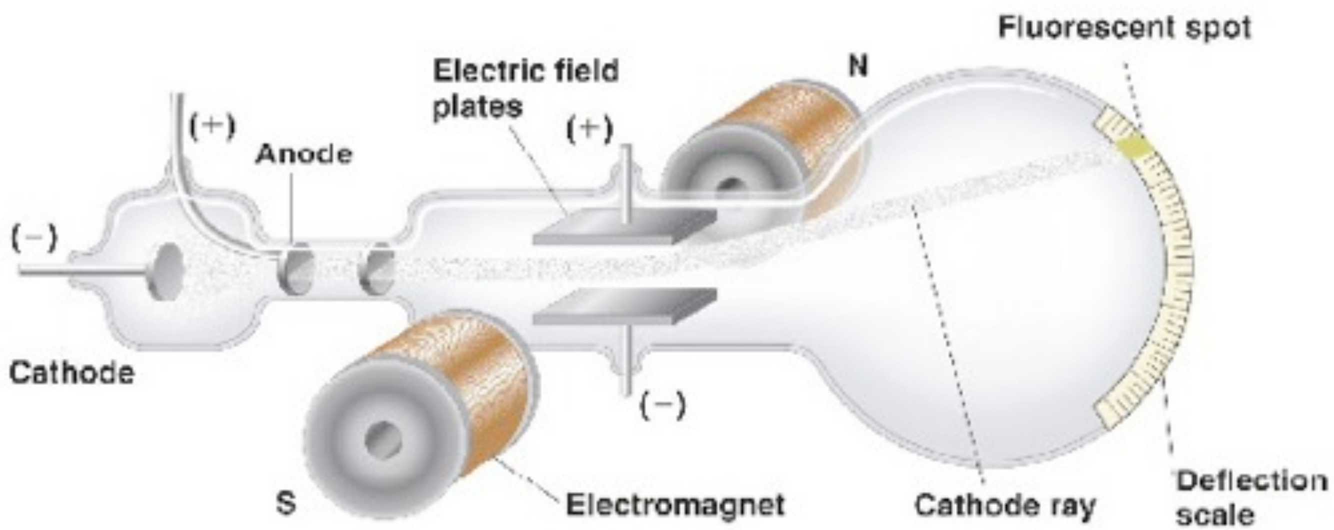
são injetadas em uma região com B apenas. Elas descrevem órbitas circulares de raio

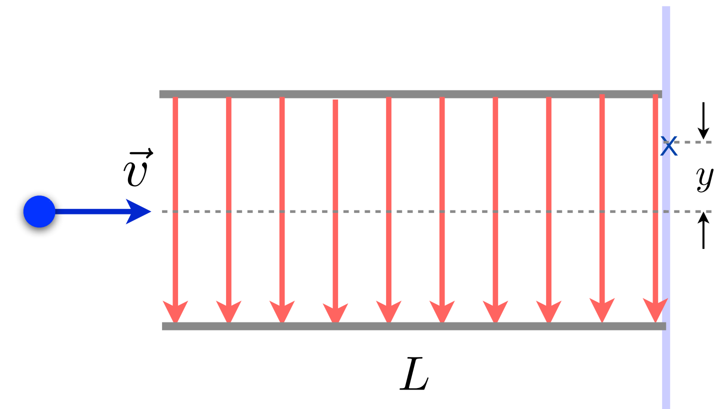
$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$\Rightarrow \boxed{R = \frac{mE}{qB^2}} \Rightarrow \quad \frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2}$$

FORÇA DE LORENTZ

RAZÃO CARGA MASSA - J. J. THOMSON





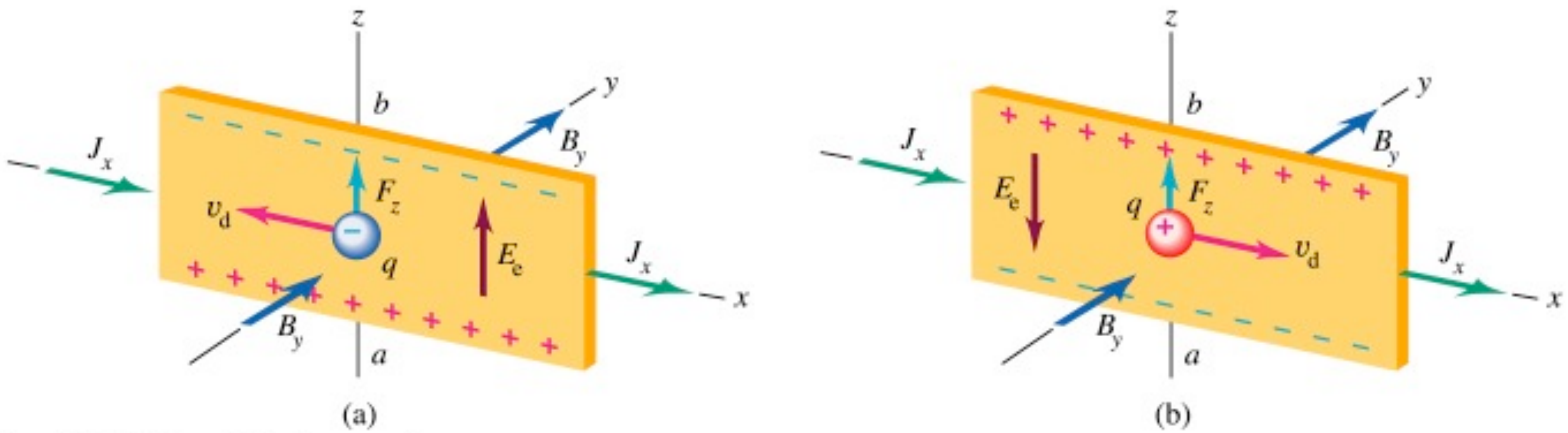
Sem campo magnético: $y = \frac{1}{2}\left(\frac{eE}{m}\right)t^2$ $\quad t = \frac{L}{v} \quad \Rightarrow y = \frac{eEL^2}{2mv^2}$

Campo magnético é ajustado de modo a que o feixe não seja defletido:

$$v = \frac{E}{B} \quad \Rightarrow \boxed{\frac{e}{m} = \frac{2Ey}{B^2L^2}} \quad \approx 1.7 \times 10^{11} \;\; C/kg$$

EFEITO HALL

CLÁSSICO



A força magnética cria uma d.d.p. transversa V_{ab}, cuja polaridade (sinal) depende da carga dos portadores de corrente. V_{ab} se estabiliza quando

$$q\vec{E} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad E = vB$$

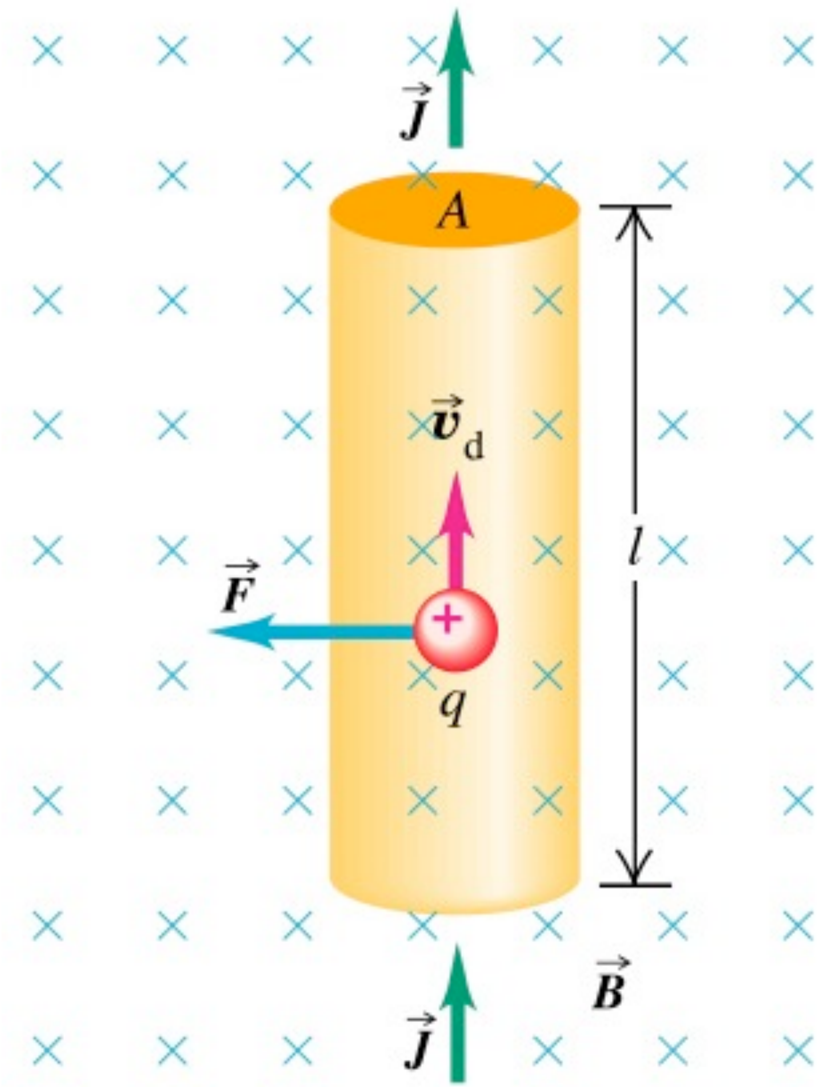
Considerando que a largura da tira é L e que sua espessura é ϵ , temos que

$$E = \frac{V}{L}\,; \quad v = \frac{j}{ne}\,; \quad j = \frac{i}{A} = \frac{i}{\epsilon L} \qquad \Rightarrow \quad \boxed{n = \frac{iB}{e\epsilon V}}$$

Medindo V obtemos o sinal da carga e a densidade de portadores n

Força magnética sobre um condutor

Percorrido por uma corrente elétrica



A força magnética cria uma d.d.p. transversa V_{ab}, cuja polaridade (sinal) depende da carga dos portadores de

$$\vec{F} = Nq < \vec{v} > \times \vec{B}$$

de portadores

carga dos portadores

velocidade média dos portadores

$$N = nA\ell \; ; \quad \vec{j} = nq < \vec{v} > \qquad \Rightarrow$$

$$\vec{F} = nA\ell q \left(\frac{\vec{j}}{nq} \right) \times \vec{B} = \ell A \vec{j} \times \vec{B}$$

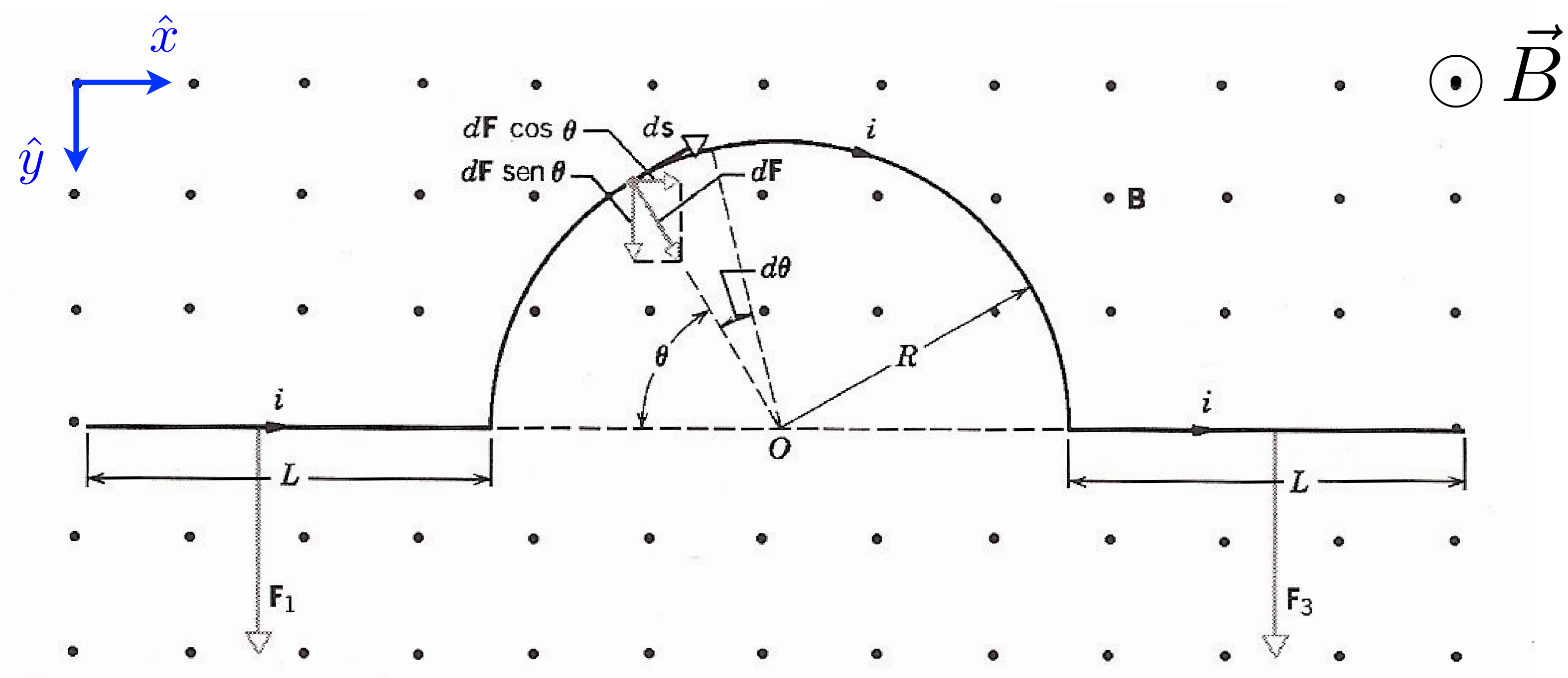
Escrevendo $\vec{j} = j\hat{j}$, $i = jA$ e definindo $\vec{\ell} = \ell\hat{j}$ obtemos:

$\vec{F} = i\vec{\ell} \times \vec{B}$ ou, infinitesimalmente, $\boxed{d\vec{F} = id\vec{\ell} \times \vec{B}}$

$d\vec{\ell}$ ao longo do condutor e na direção e sentido de $\hat{j}$

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM CONDUTOR

PERCORRIDO POR UMA CORRENTE ELÉTRICA



$$F_1 = F_3 = iLB$$

$$dF_2^x = dF cos(\theta)$$

$$dF_2^y = dF sin(\theta)$$

$$F_2^x = \int_0^\pi dF_2^x = 0$$

Consequentemente,

$$F_2^y = \int_0^\pi dF_2^y = \int_0^\pi dF sin(\theta) = \int_0^\pi id\ell B sin(\theta) = \int_0^\pi iRd\theta B sin(\theta) \Rightarrow$$

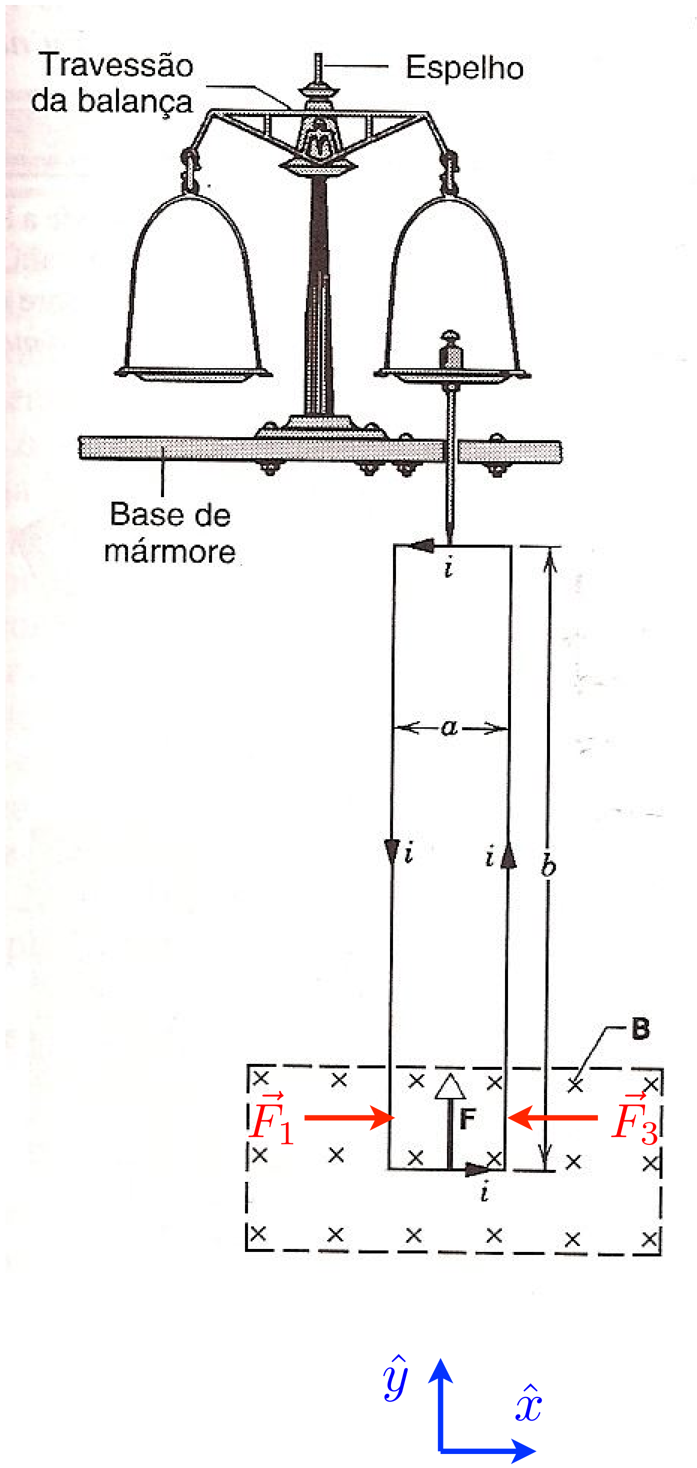
$$F_2^y = iRB \int_0^\pi d\theta sin(\theta) = 2iRB$$

Consequentemente,

$$F = F_y = F_1 + F_2^y + F_3 = 2iLB + 2iBR = \boxed{2iB(L+R)}$$

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM CONDUTOR

PERCORRIDO POR UMA CORRENTE ELÉTRICA



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_3$$

$$d\vec{F} = i d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = i\vec{\ell} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad F = iaB$$

A bobina é composta por 9 fios, consequentemente,

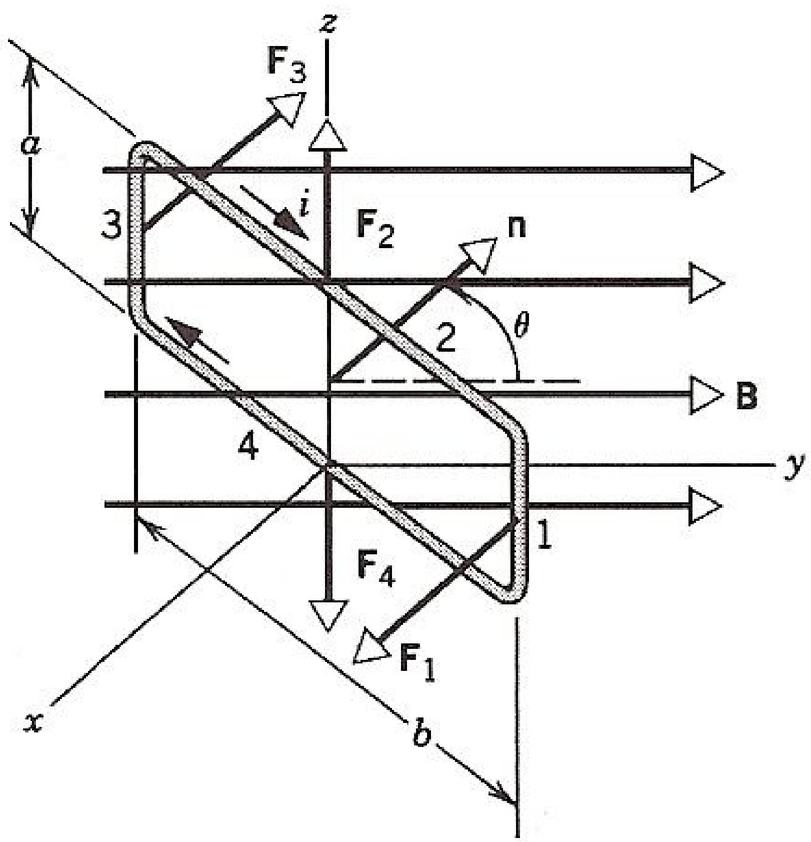
$$\vec{F} = 9iaB\hat{y}$$

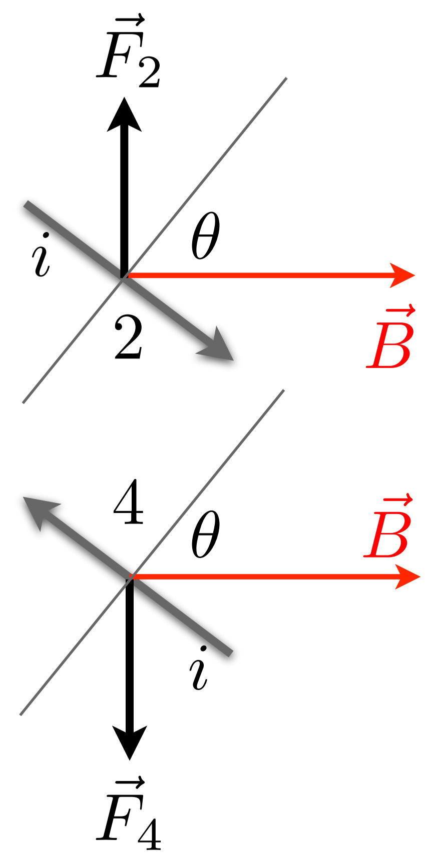
$$mg = F_T = 9iaB \quad \Rightarrow \quad \boxed{B = \frac{mg}{9ia}}$$

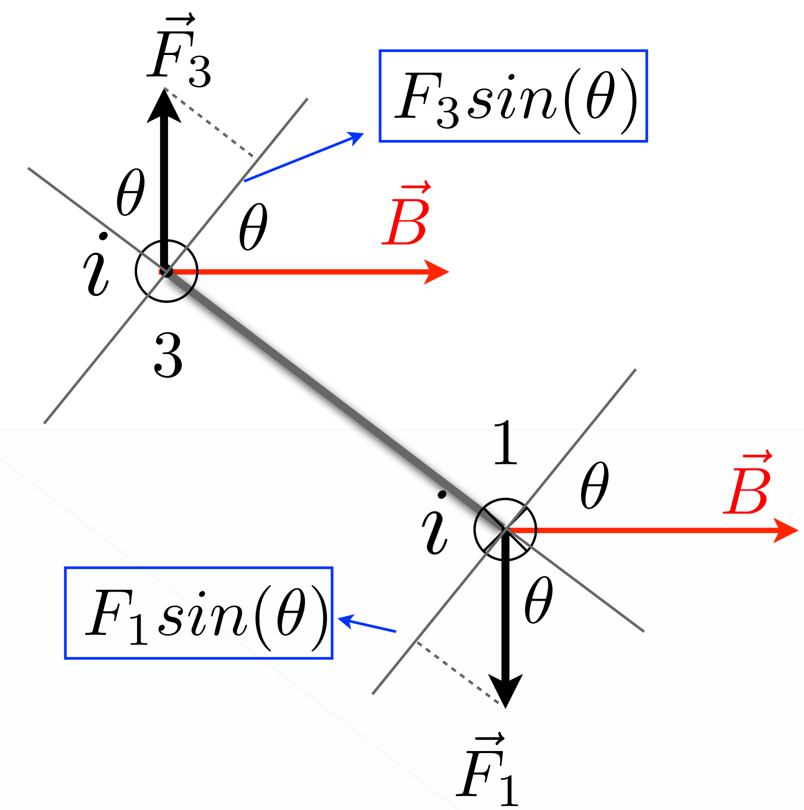
Força magnética sobre uma espira condutora

Galvanômetro

Vista de cima 







$$F_2 = F_4 = ibBcos(\theta)\,;\;\; F_1 = F_3 = iaB \qquad \boxed{\sum_{i=1,4} \vec{F}_i = 0}$$

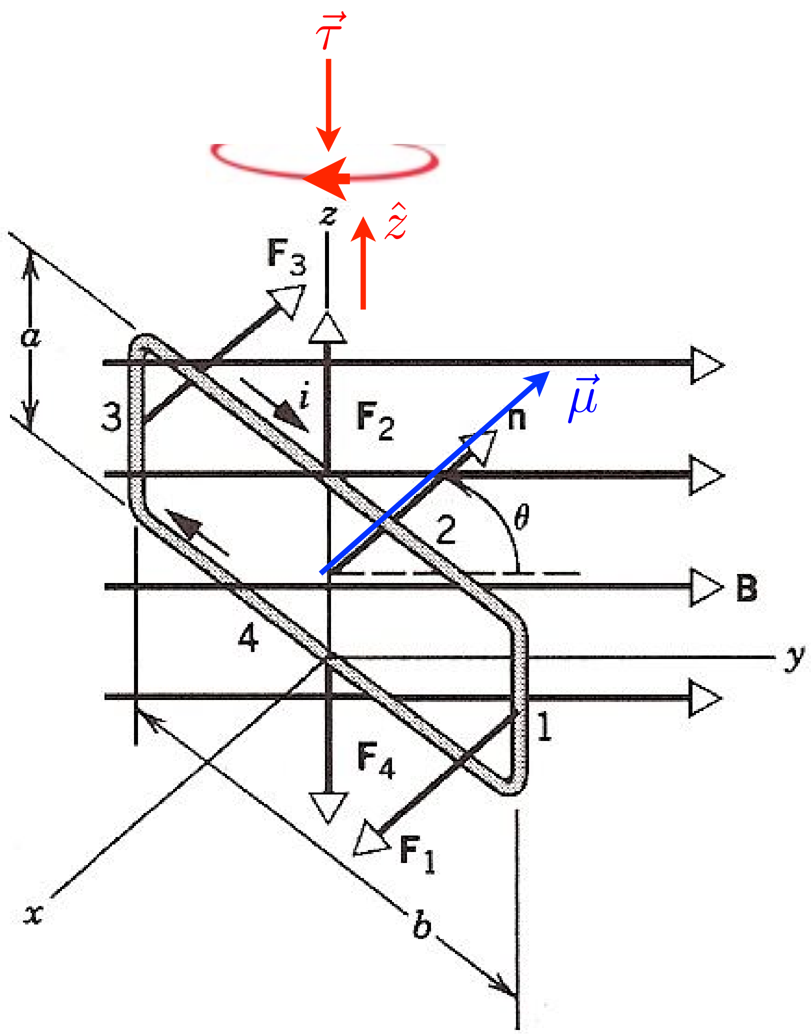
Entretanto,

$\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$ causam torque, e a espira gira em torno do eixo z: $\boxed{\vec{\tau} = -iabBsin(\theta)\,\hat{z}}$

$\vec{F}_2$ e $\vec{F}_4$ não causam torque.

Força magnética sobre uma espira condutora

Galvanômetro



$$\boxed{\vec{\tau} = -iabBsin(\theta)\ \hat{z}}$$

Definindo $\vec{A} = A\hat{n}$ onde $A = ab$

$$\vec{\mu} = iA\hat{n} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}}$$

$\vec{\mu}$ - momento de dipolo magnético da espira

O torque tende a alinhar o dipolo $\vec{\mu}$ na direção do campo $\vec{B}$

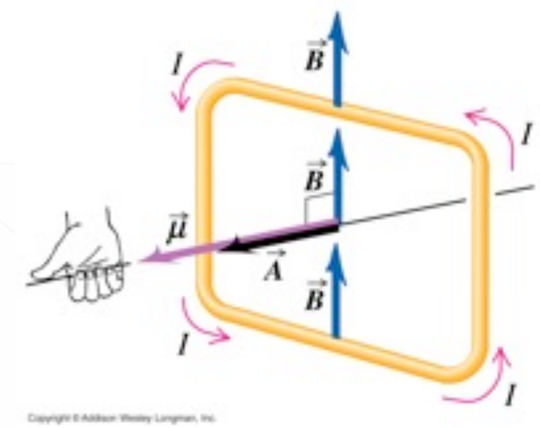
FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UMA ESPIRA CONDUTORA

ENERGIA POTENCIAL

$$dW = \tau d\theta = \mu B sin(\theta) d\theta$$

$$\Delta U = \int \mu B sin(\theta) d\theta$$

Escolha de origem: $U\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$



$$U(\theta) - U\left(\frac{\pi}{2}\right) = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} \mu B sin(\theta') d\theta' \quad \Rightarrow \quad U(\theta) = -\mu B cos(\theta)$$

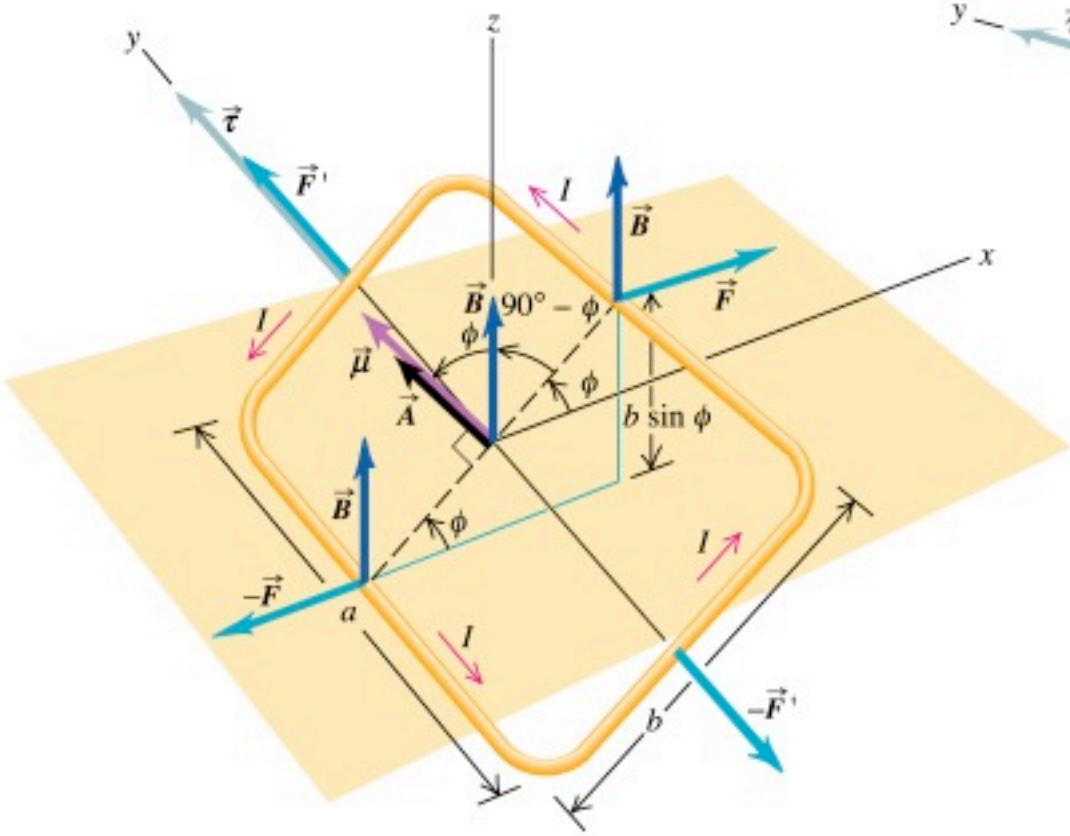
$$\boxed{U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}}$$

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UMA ESPIRA CONDUTORA

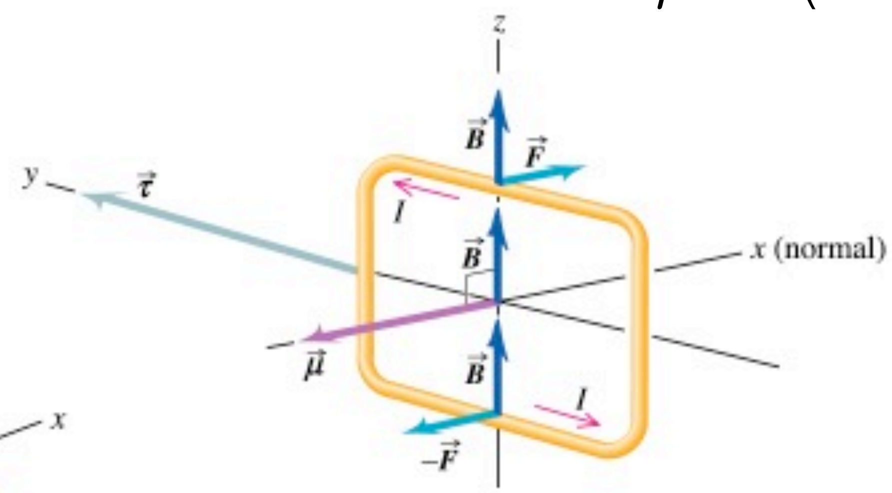
GALVANÔMETRO

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \qquad U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

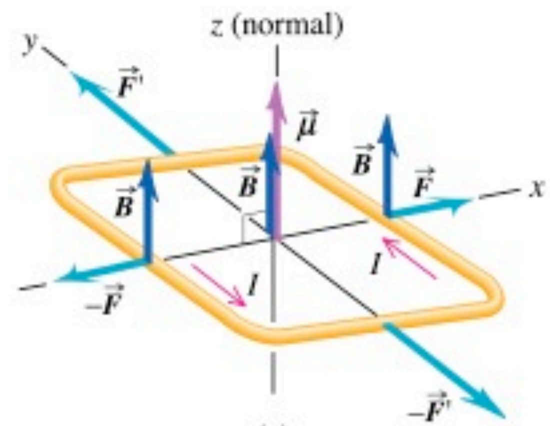
$\tau = \mu B$ (max) $U = 0$ (max)



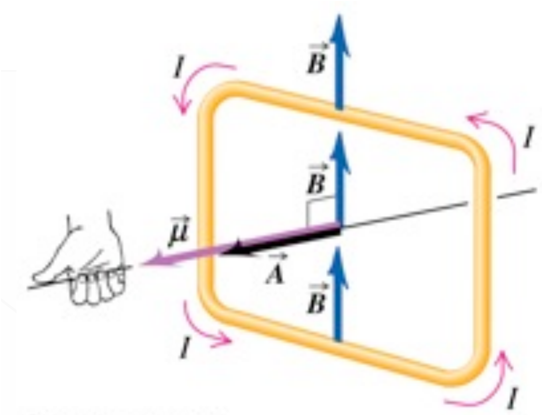
(a)



(b)



(c)

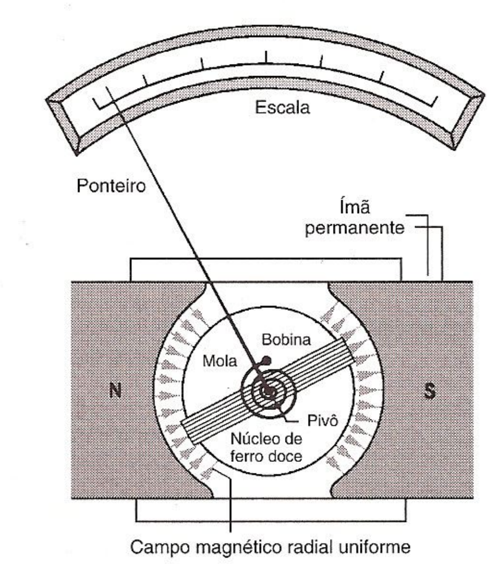


$\tau = 0\,;\quad U = -\mu B$ (mínima)

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UMA ESPIRA CONDUTORA

GALVANÔMETRO E MOTOR ELÉTRICO

Galvanômetro: ao passar corrente na bobina, o torque causado pelo campo magnético gira a bobina e, portanto, o ponteiro.



A direção da corrente deve ser revertida no tempo certo para que ocorra a rotação continuamente na mesma direção