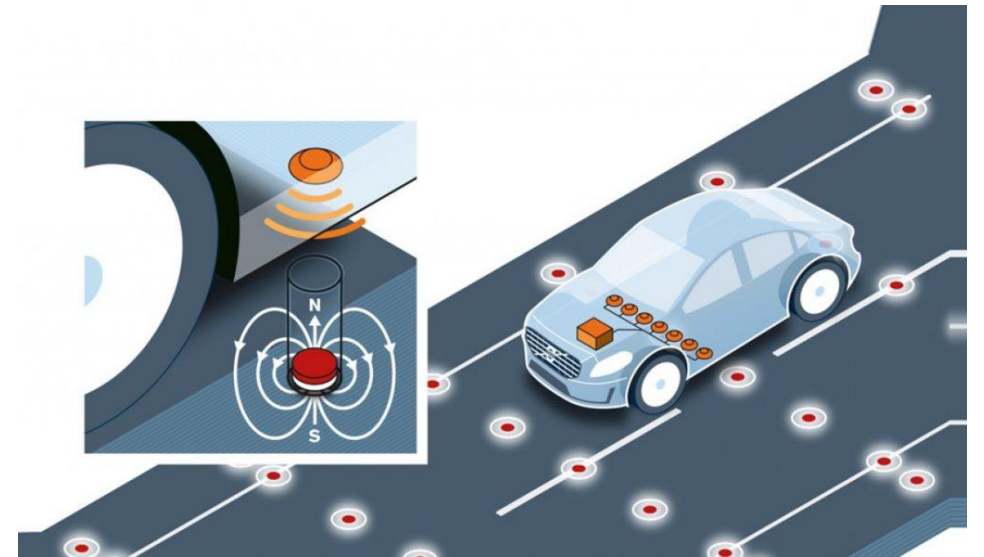
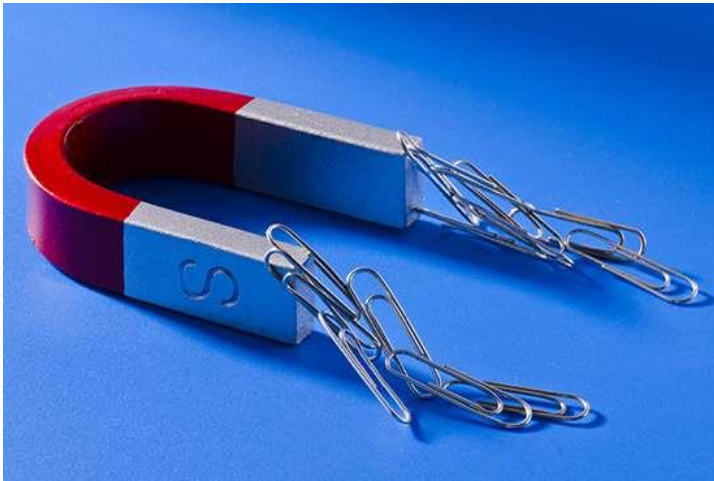


Aula 4 – Campos Magnéticos

Hilde Harb Buzzá

Magnetismo

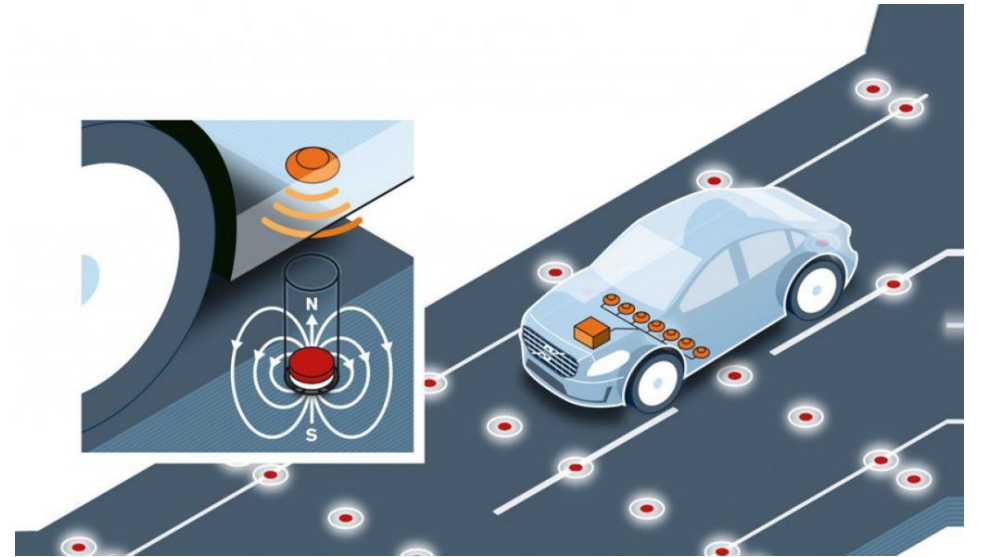
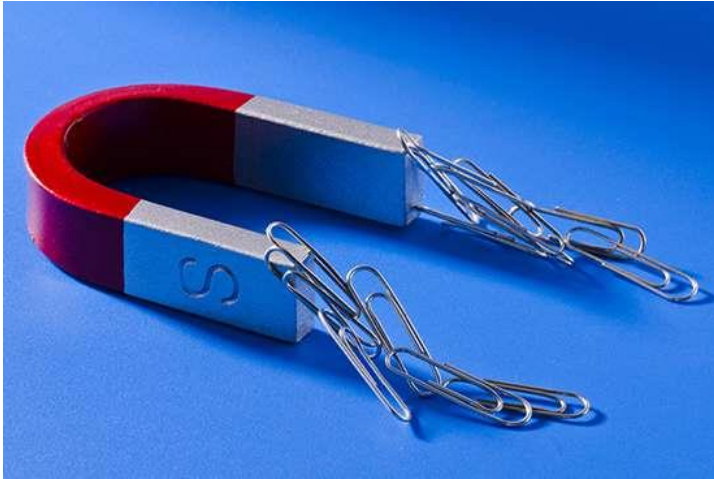


<https://www.imamagnets.com/pt-pt/blog/imas-industriais-para-automoveis-com-autonomia-de-conducao/>

<https://escola.britannica.com.br/artigo/magnetismo/481800>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/VCD>

Magnetismo



<https://www.imamagnets.com/pt-pt/blog/imas-industriais-para-automoveis-com-autonomia-de-conducao/>

<https://escola.britannica.com.br/artigo/magnetismo/481800>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/VCD>

<https://www.e-farsas.com/sera-que-ima-de-geladeira-pode-causar-cancer-descubra-aqui.html>

O que produz um Campo Magnético?

Campo Elétrico → produzido por cargas elétricas!

O que produz um Campo Magnético?

Campo Elétrico → produzido por cargas elétricas!

Campo Magnético → produzido por cargas magnéticas?

O que produz um Campo Magnético?

Campo Elétrico → produzido por cargas elétricas!

Campo Magnético → produzido por cargas magnéticas?



O que produz um Campo Magnético?

Campo Elétrico → produzido por cargas elétricas!

Campo Magnético → produzido por cargas magnéticas?



→ Movimento de cargas elétricas

→ Propriedade intrínseca das partículas elementares

Campo Magnético **B**

Campos elétricos numa carga q:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$$

Campo Magnético **B**

Campos elétricos numa carga q:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$$

Se existisse monopolos magnéticos?

Campo Magnético **B**

Campos elétricos numa carga q:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$$

Se existisse monopolos magnéticos?

Não existe! Precisamos de cargas em movimento!

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

Campo Magnético \mathbf{B}

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

Experimentalmente, sabemos que: $F_B \propto v \sin \theta$, $\theta \equiv F_B = 0 \text{ e } \vec{v}$

Direção de $\vec{F}_B \perp \vec{v}$

Direção de $\vec{B} \equiv \vec{F}_B = 0$

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

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

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

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

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

$$[B] = \frac{N}{Cm/s}$$

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

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

$$[B] = \frac{N}{\frac{Cm}{s}} \rightarrow \text{Tesla (T)}$$

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

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Campo Magnético **B**

$$B = \frac{F_B}{|q|v}$$

$$[B] = \frac{N}{\frac{Cm}{s}} \rightarrow \textit{Tesla (T)}$$

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

$$[B] = \frac{N}{A \cdot m} \rightarrow \textit{Tesla (T)}$$

$$F_B = |q|vB\textit{sen}\theta$$

Força Magnética \mathbf{F}_B

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

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

Força Magnética \mathbf{F}_B

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

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

Quando a Força é zero?

Força Magnética \mathbf{F}_B

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

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Força Magnética \mathbf{F}_B

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

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Pra onde aponta F_B ?

Força Magnética F_B

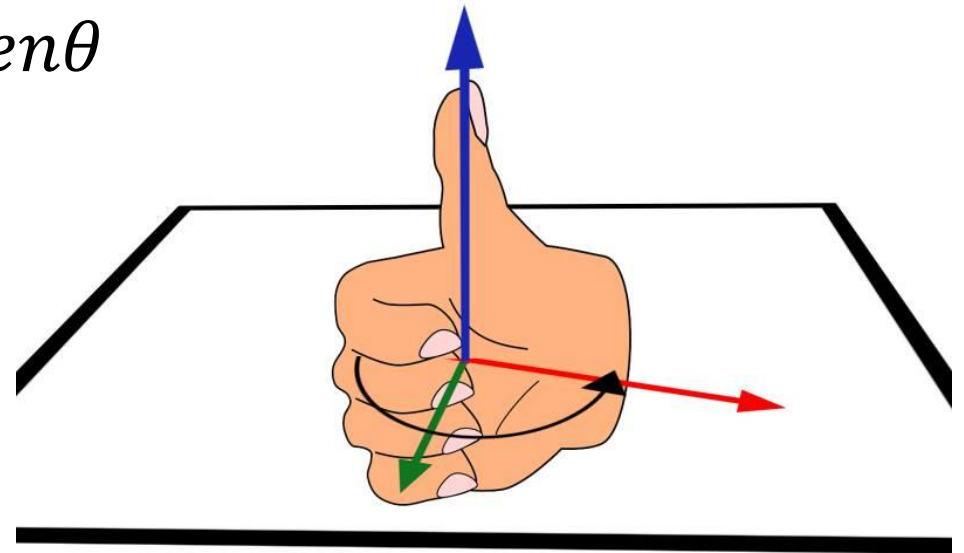
$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Pra onde aponta F_B ?



$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

Força Magnética F_B

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

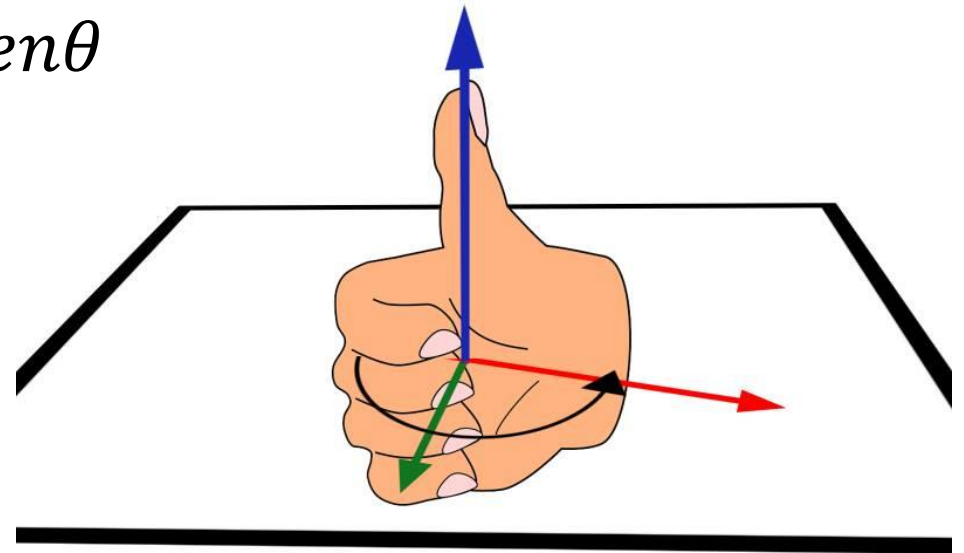
F é sempre perpendicular a V e B!

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Pra onde aponta F_B ?



$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

Força Magnética F_B

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

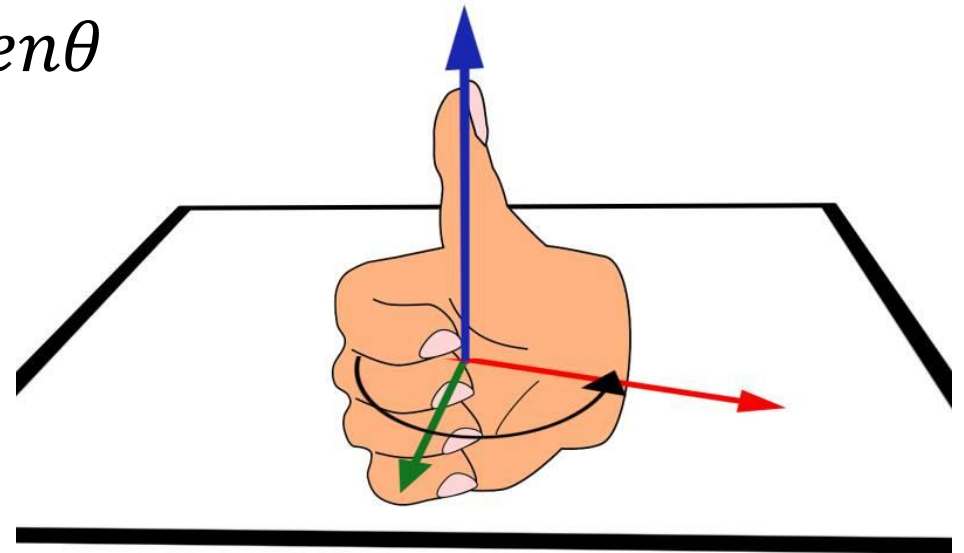
F é sempre perpendicular a v e B!

$$F_B = |q|vB\text{sen}\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Pra onde aponta F_B ?



$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

Força Magnética F_B

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

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

Quando a Força é zero?

Quando a Força é máxima?

Pra onde aponta F_B ?

F é sempre perpendicular a v e B!



F não altera o módulo de v, só a direção

Linhas de Campo Magnético

Seguem as mesmas regras do Campo Elétrico:

Linhas de Campo Magnético

Seguem as mesmas regras do Campo Elétrico:

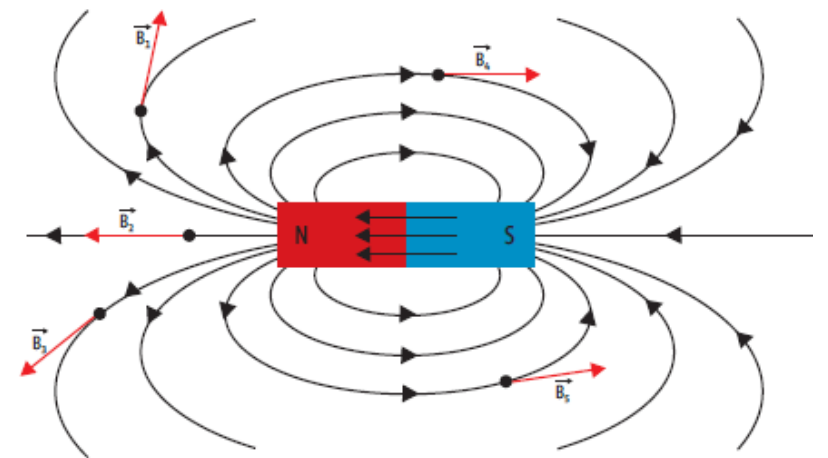
- A direção de B é tangente à linha de campo
- A densidade das linhas representa o módulo de B
(*quanto mais intenso, menos espaçadas*)

Linhas de Campo Magnético

Seguem as mesmas regras do Campo Elétrico:

- A direção de B é tangente à linha de campo
- A densidade das linhas representa o módulo de B
(*quanto mais intenso, menos espaçadas*)

Mas tem dois polos sempre! =)



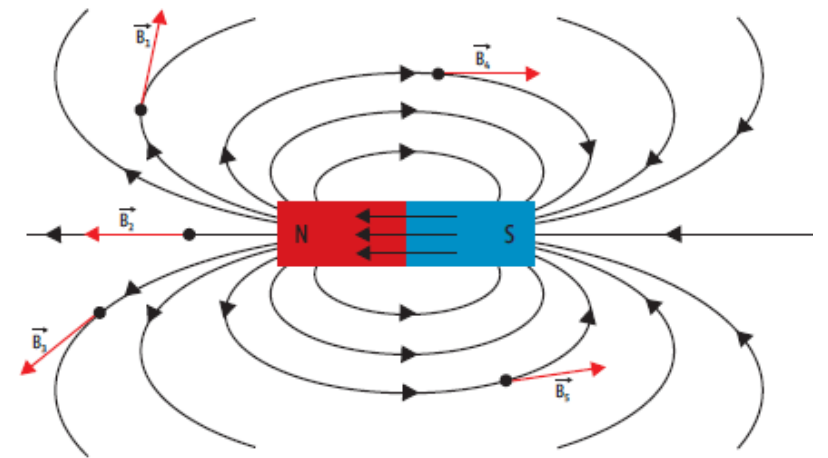
Linhas de Campo Magnético

Seguem as mesmas regras do Campo Elétrico:

- A direção de B é tangente à linha de campo
- A densidade das linhas representa o módulo de B
(*quanto mais intenso, menos espaçadas*)

Mas tem dois polos sempre! =)

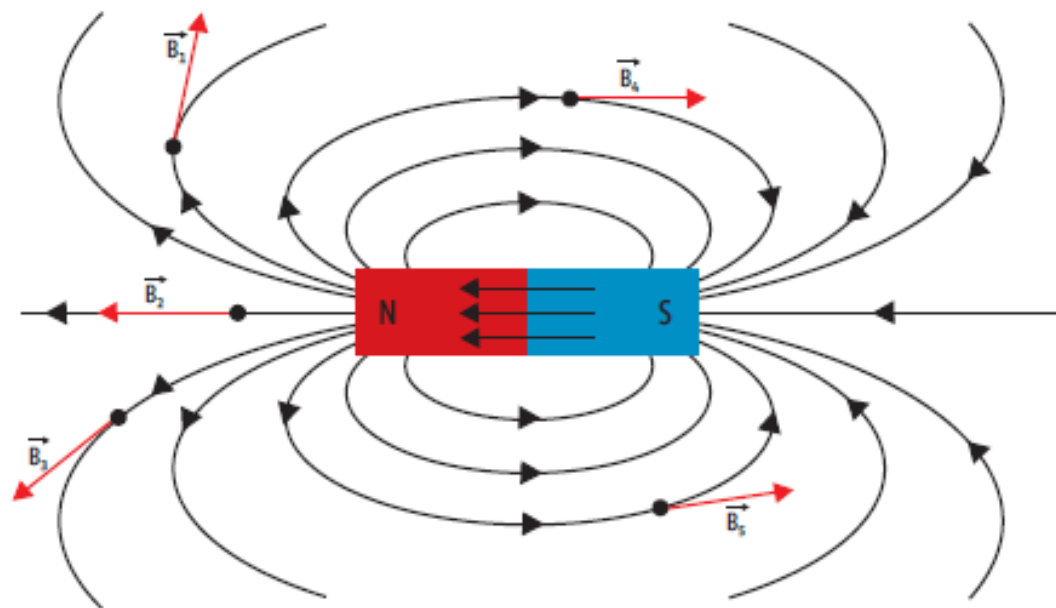
Curvas fechadas, mesmo que não pareça



Linhas de Campo Magnético

Dois polos:

As linhas saem

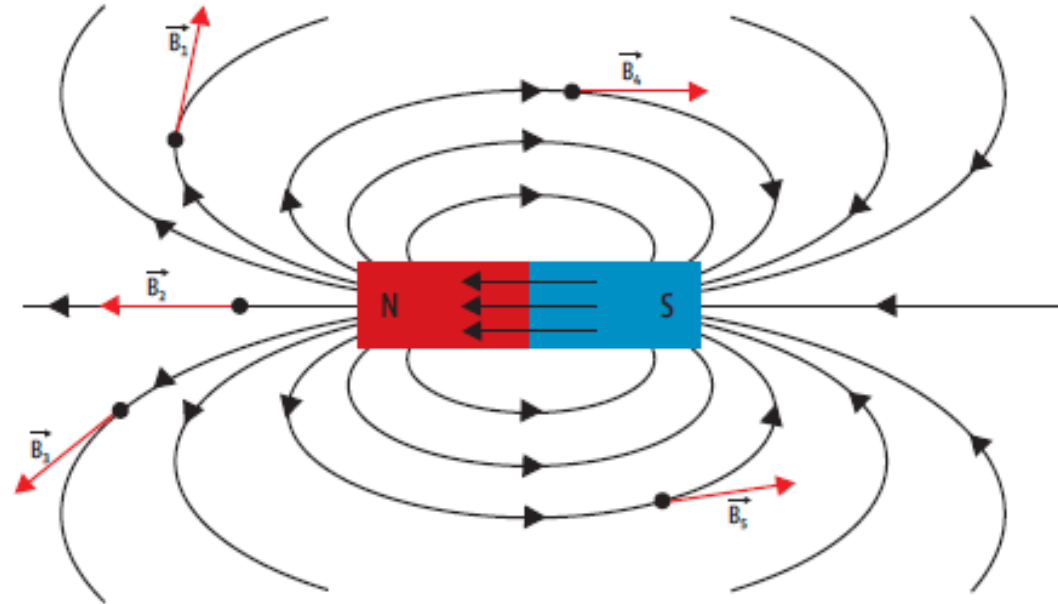


As linhas entram

Linhas de Campo Magnético

Dois polos \rightarrow Dipolo Magnético

As linhas saem

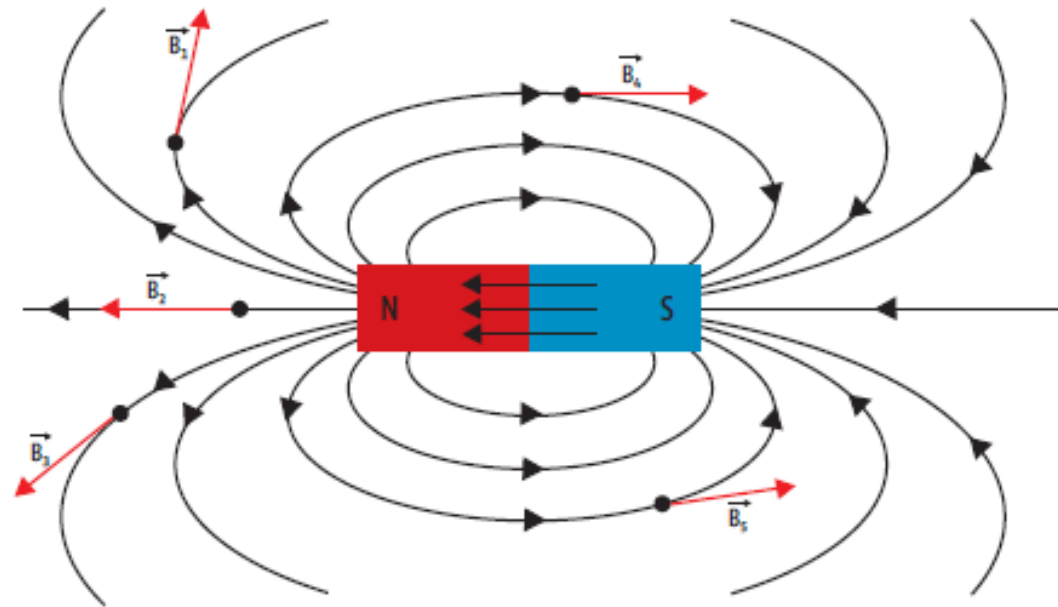


As linhas entram

Linhas de Campo Magnético

Dois polos \rightarrow Dipolo Magnético

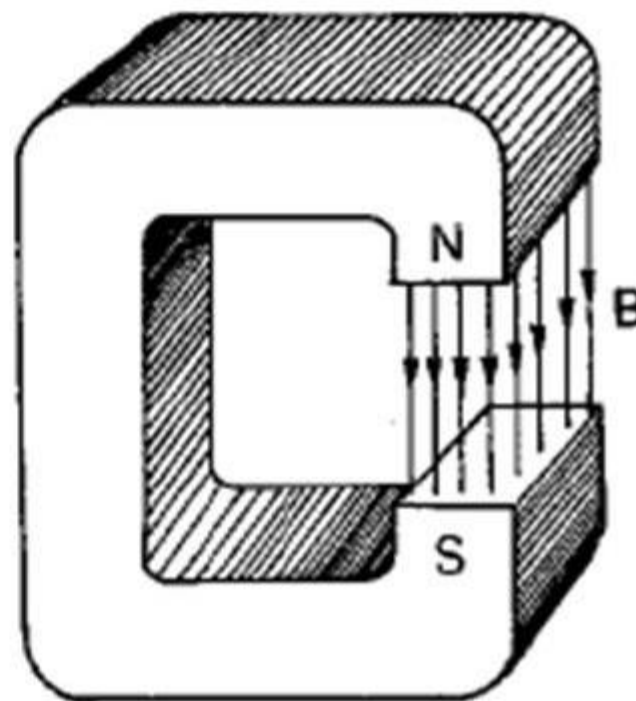
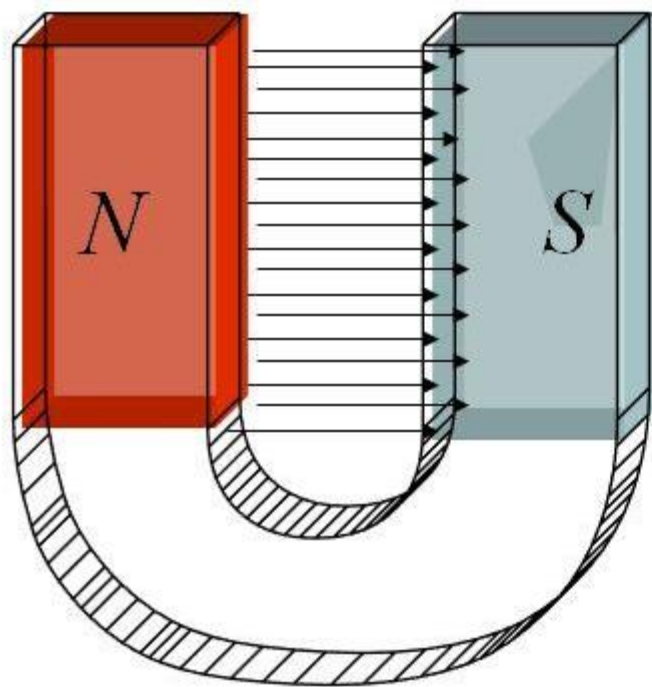
As linhas saem



As linhas entram

Os opostos se atraem. Polos do mesmo tipo se repelem!

Linhas de Campo Magnético



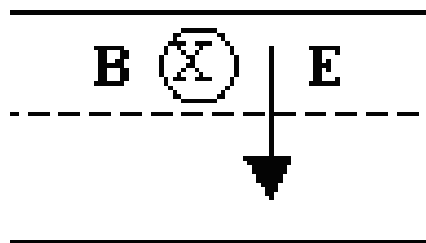
A Descoberta do Elétron

E e B podem exercer uma força sobre q!

A Descoberta do Elétron

E e B podem exercer uma força sobre q!

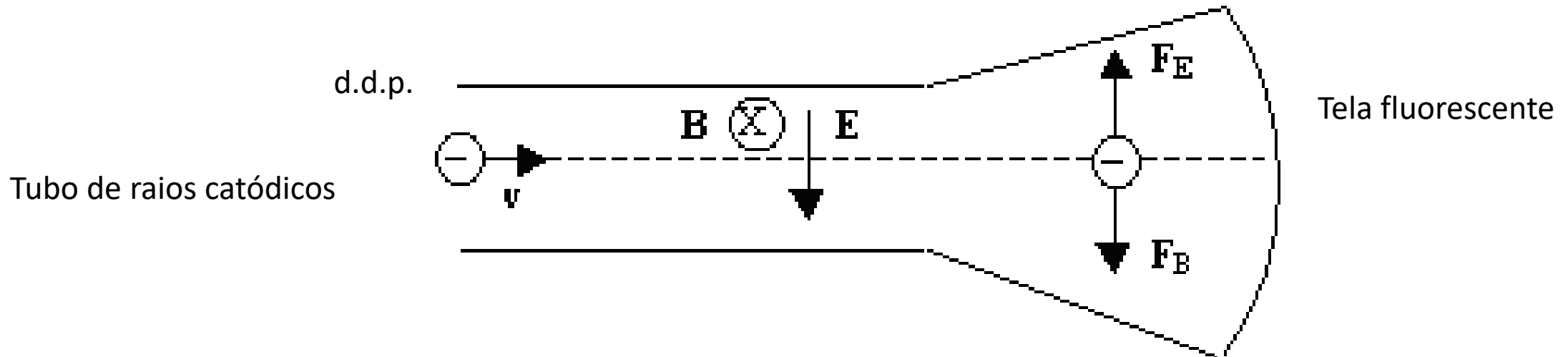
Se E e B são perpendiculares → Campos cruzados



A Descoberta do Elétron

E e B podem exercer uma força sobre q!

Se E e B são perpendiculares → Campos cruzados

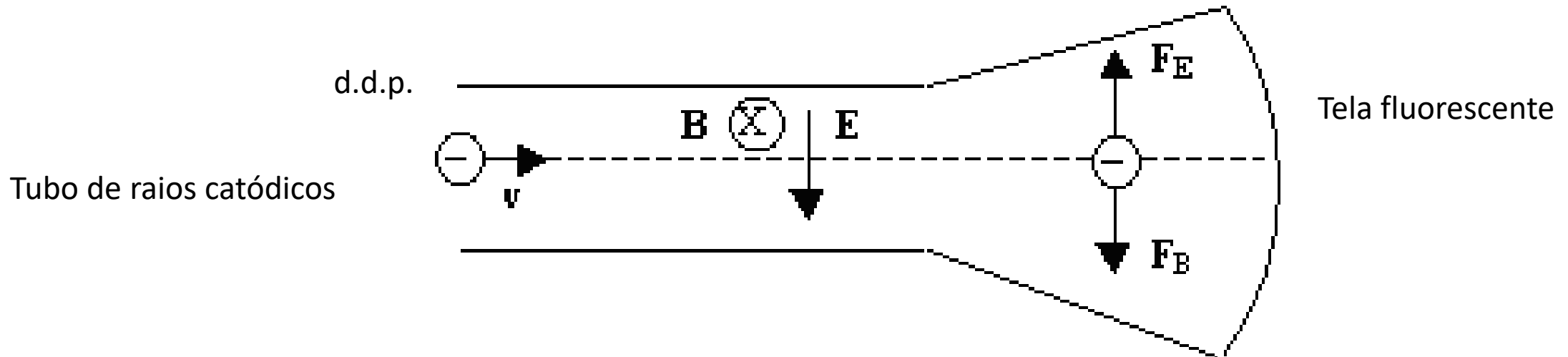


A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

E e B podem exercer uma força sobre q!

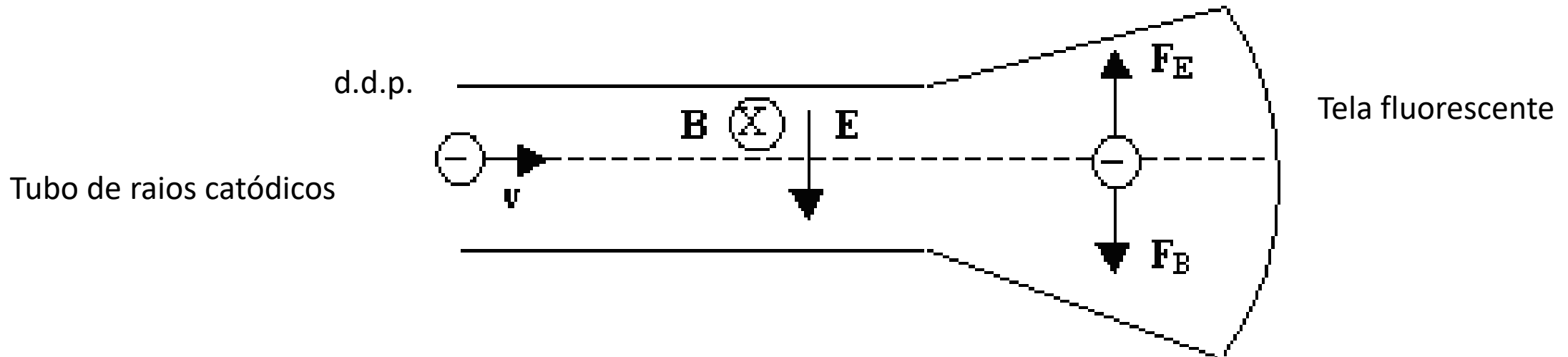
Se E e B são perpendiculares \rightarrow Campos cruzados



A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

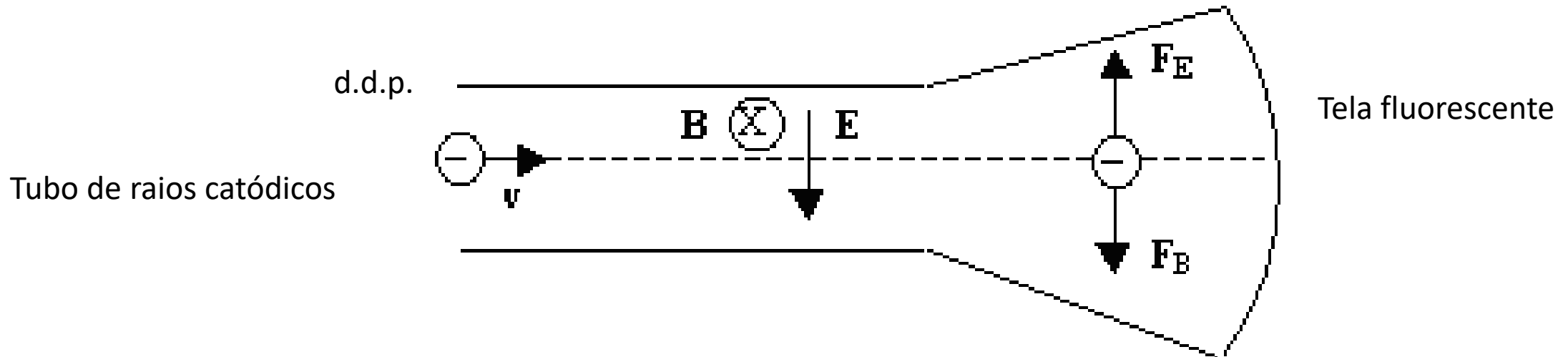
$$F_E = F_B$$



A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

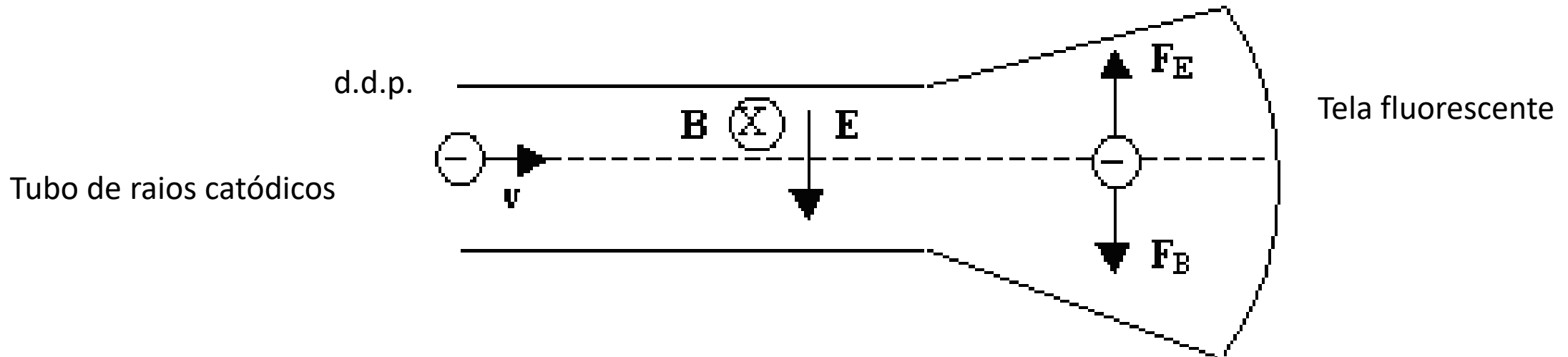
$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB.\text{sen}90$$



A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

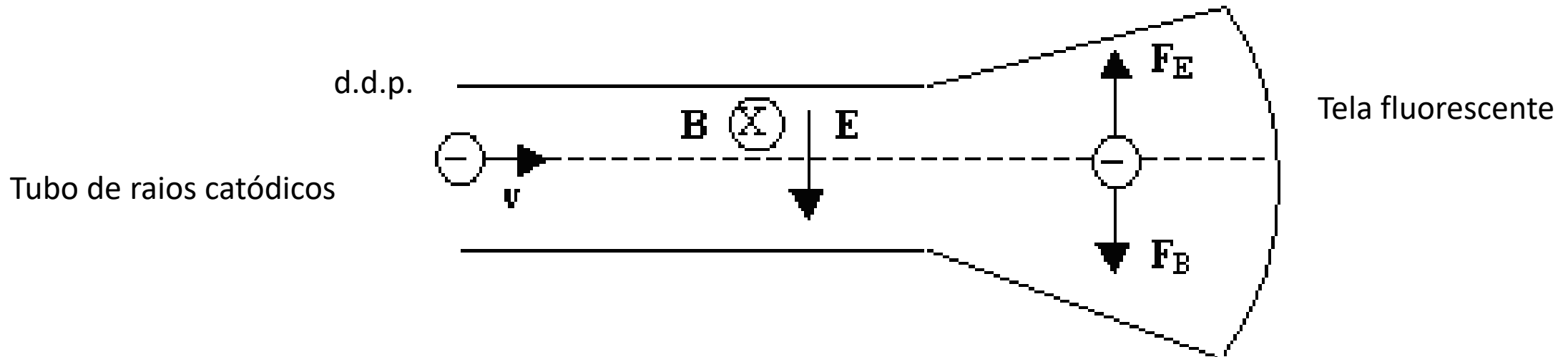


A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

$$E = vB$$

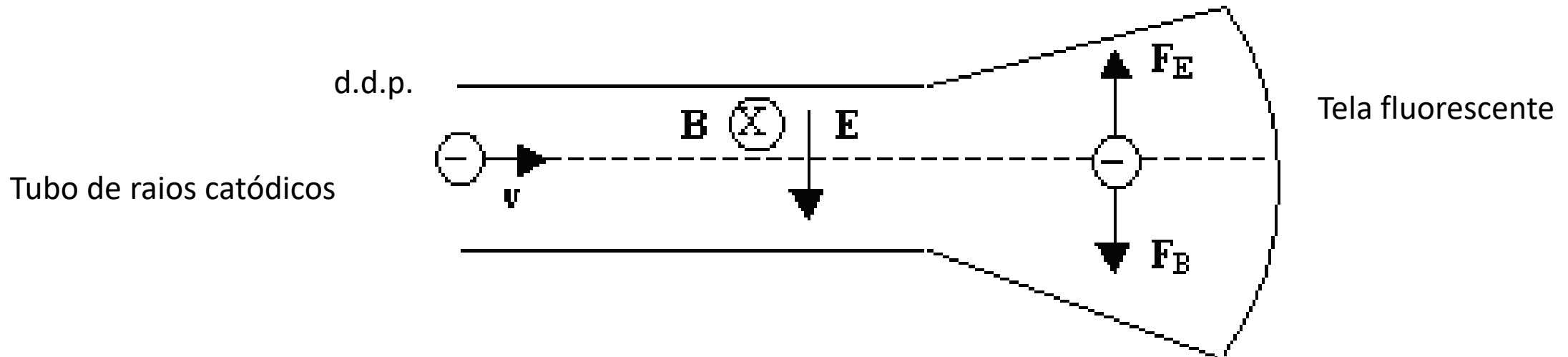


A Descoberta do Elétron

- 1) $E=0=B$
- 2) E
- 3) $E=B$ até se anularem

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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



A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mE^2} B^2 \rightarrow$$

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mE^2} B^2 \rightarrow y = \frac{|q|L^2 B^2}{2mE}$$

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mE^2} B^2 \rightarrow y = \frac{|q|L^2 B^2}{2mE} \rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{2yE}{B^2 L^2}$$

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mE^2} B^2 \rightarrow y = \frac{|q|L^2 B^2}{2mE} \rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{2yE}{B^2 L^2}$$

Descobriu-se que existia uma partícula com uma massa muuuuito pequena

A Descoberta do Elétron

$$F_E = F_B \rightarrow |q|E = |q|vB$$

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

Já sabíamos que q submetida a E contante:

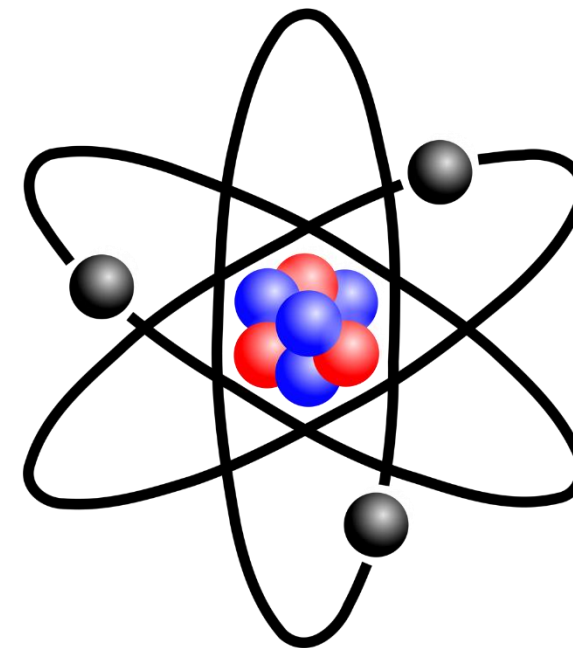
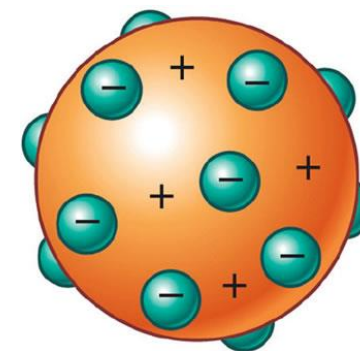
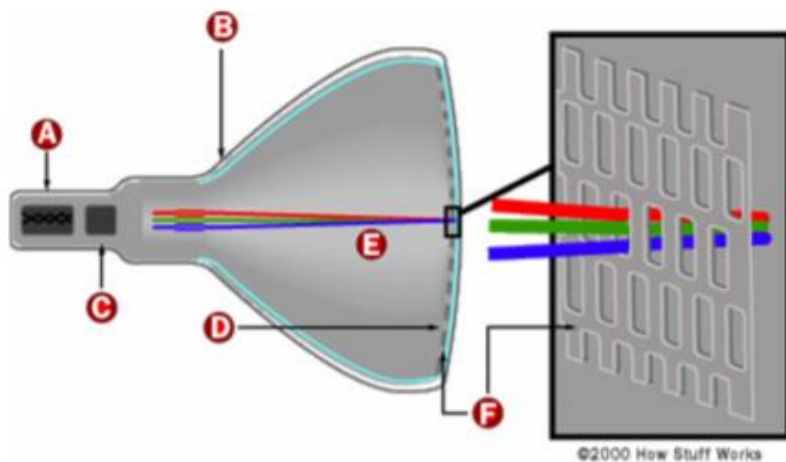
$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}$$

Deflexão da partícula

$$y = \frac{|q|EL^2}{2mE^2} B^2 \rightarrow y = \frac{|q|L^2 B^2}{2mE} \rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{2yE}{B^2 L^2}$$

Descobriu-se que existia uma partícula com uma massa muuuuito pequena

A Descoberta do Elétron



https://mesonpi.cat.cbpf.br/_escola2019/downloads/poster-profcem/tubos-de-raios-catodicos.pdf

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-experimento-thomson-com-descargas-eletricas.htm>

<https://ideiasquecidas.com/2018/06/29/sobre-atomos-e-vazio/>

O efeito Hall

Lousa!

O efeito Hall

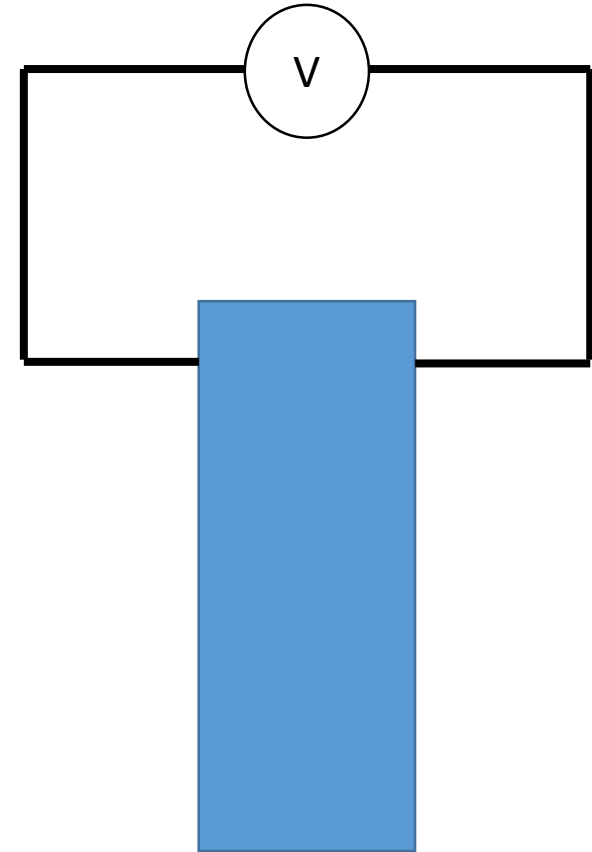
Lousa!

$$d.d.p. de Hall \equiv V = Ed$$

O efeito Hall

Lousa!

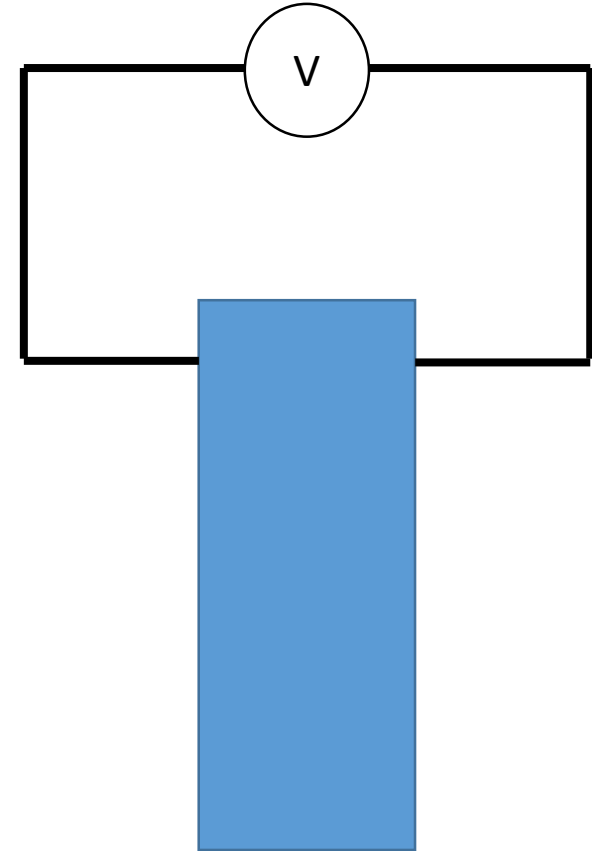
$$d.d.p. de Hall \equiv V = Ed$$



O efeito Hall

Lousa!

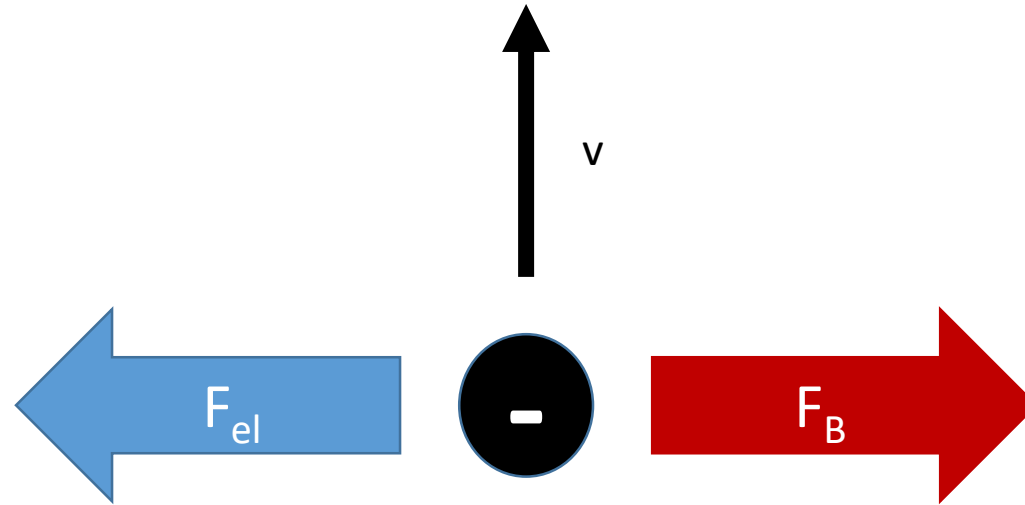
$$d.d.p. de Hall \equiv V = Ed$$



Onde o potencial é maior? Podemos identificar se as cargas são + ou -.

O efeito Hall

Equilíbrio



Quando as forças se igualam \rightarrow para de se acumular

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$$E = \frac{i}{neA} B \rightarrow n = \frac{iB}{EeA}$$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

$$E = \frac{i}{neA} B \rightarrow n = \frac{iB}{EeA}$$

$$n = \frac{iB}{Ee(l.d)}$$

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

$$E = \frac{i}{neA} B \rightarrow n = \frac{iB}{EeA}$$

$$n = \frac{iB}{Ee(l.d)} \rightarrow n = \frac{iB}{Ve(l)}$$

O efeito Hall

Se eu desloco o fio:

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

$$E = \frac{i}{neA} B \rightarrow n = \frac{iB}{EeA}$$

$$n = \frac{iB}{Ee(l.d)} \rightarrow n = \frac{iB}{Ve(l)}$$

O efeito Hall

Quantificando o efeito Hall:

$$F_{el} = F_B$$

$$eE = ev_d B$$

Se eu desloco o fio:

$$V = vBd$$

Lembrando: $v_d = \frac{J}{ne} = \frac{i}{neA}$

$J \rightarrow$ densidade de corrente (i/A)

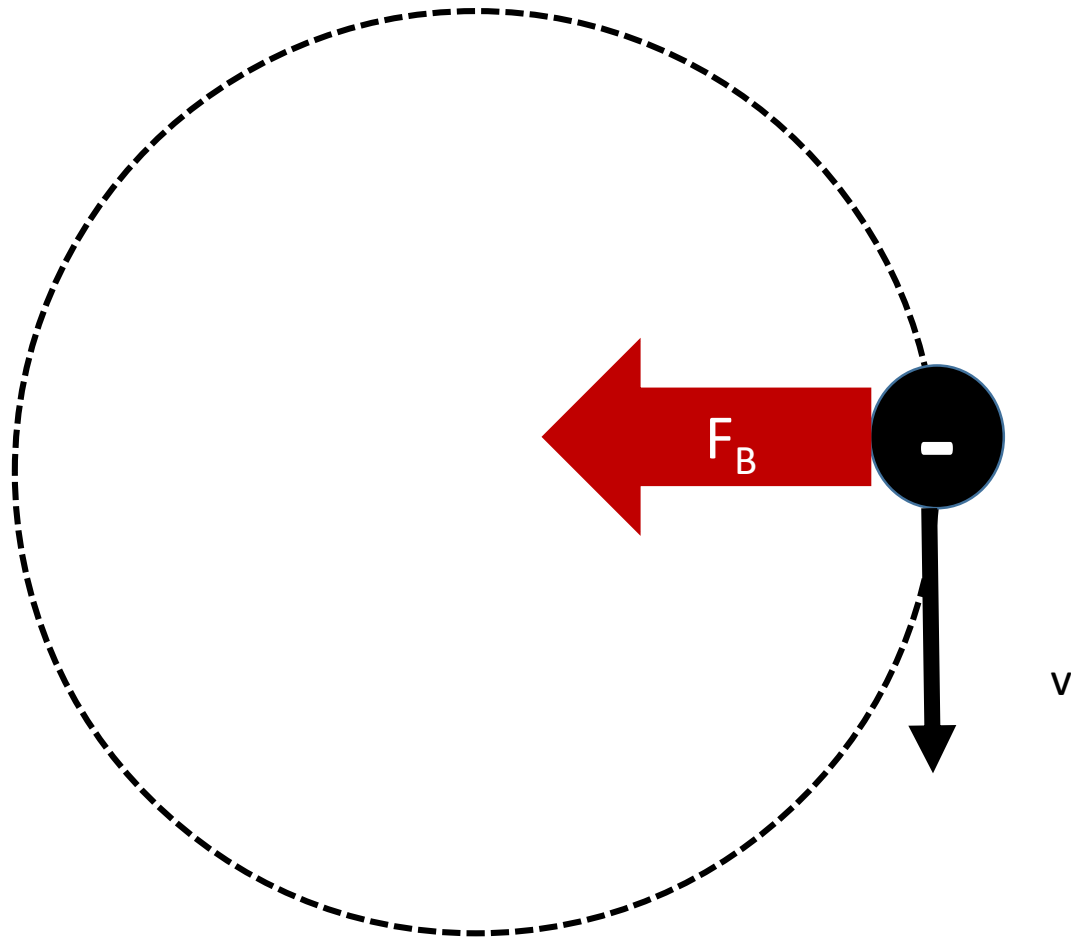
$A \rightarrow$ área da seção

$n \rightarrow$ portadores/volume \rightarrow concentração de portadores

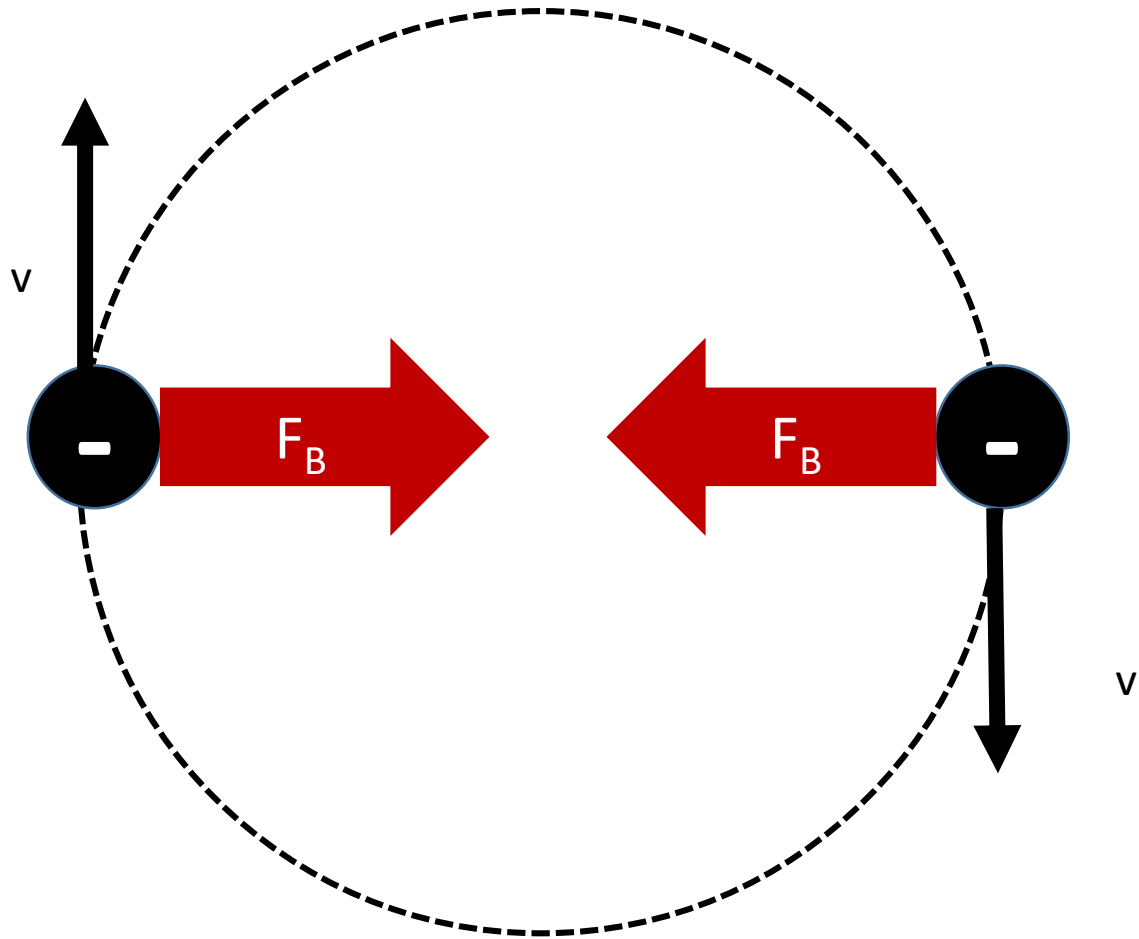
Movimento Circular

Lousa!

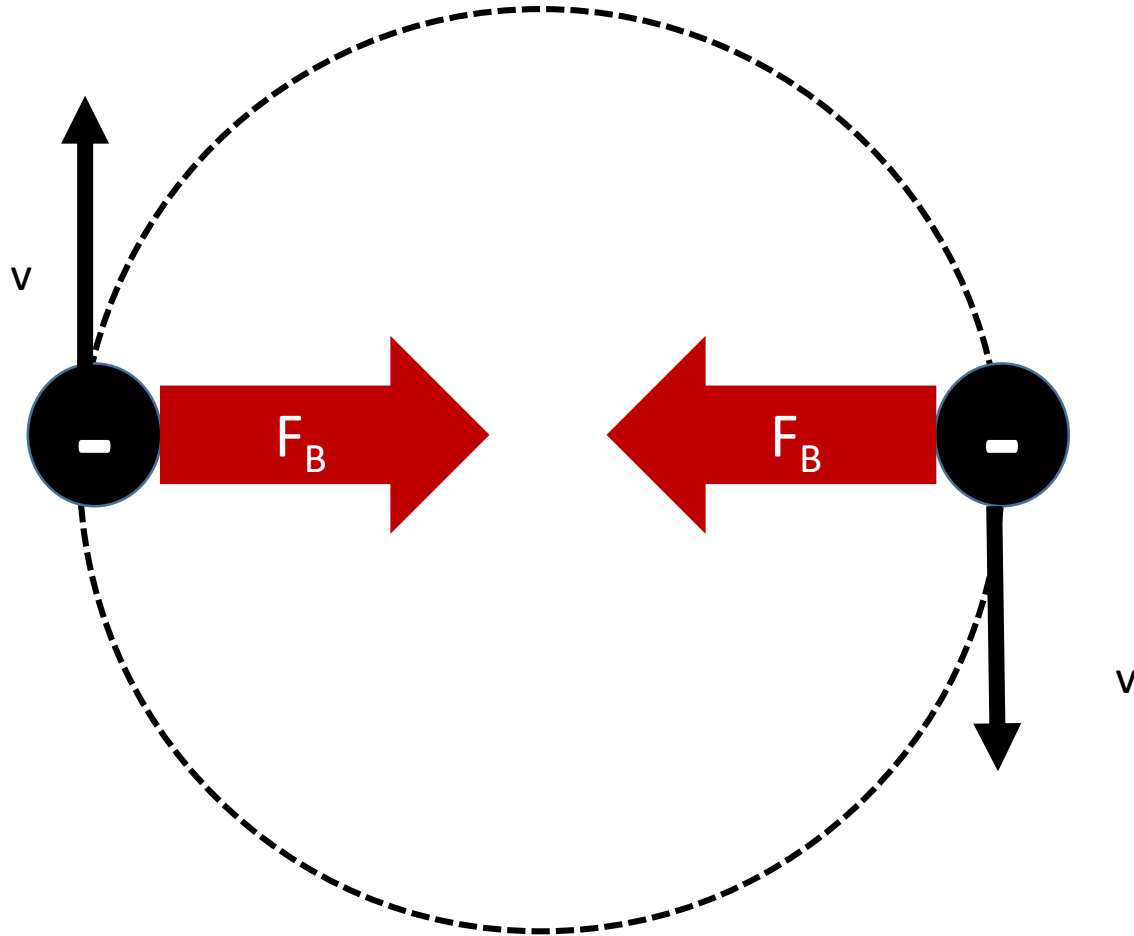
Movimento Circular



Movimento Circular

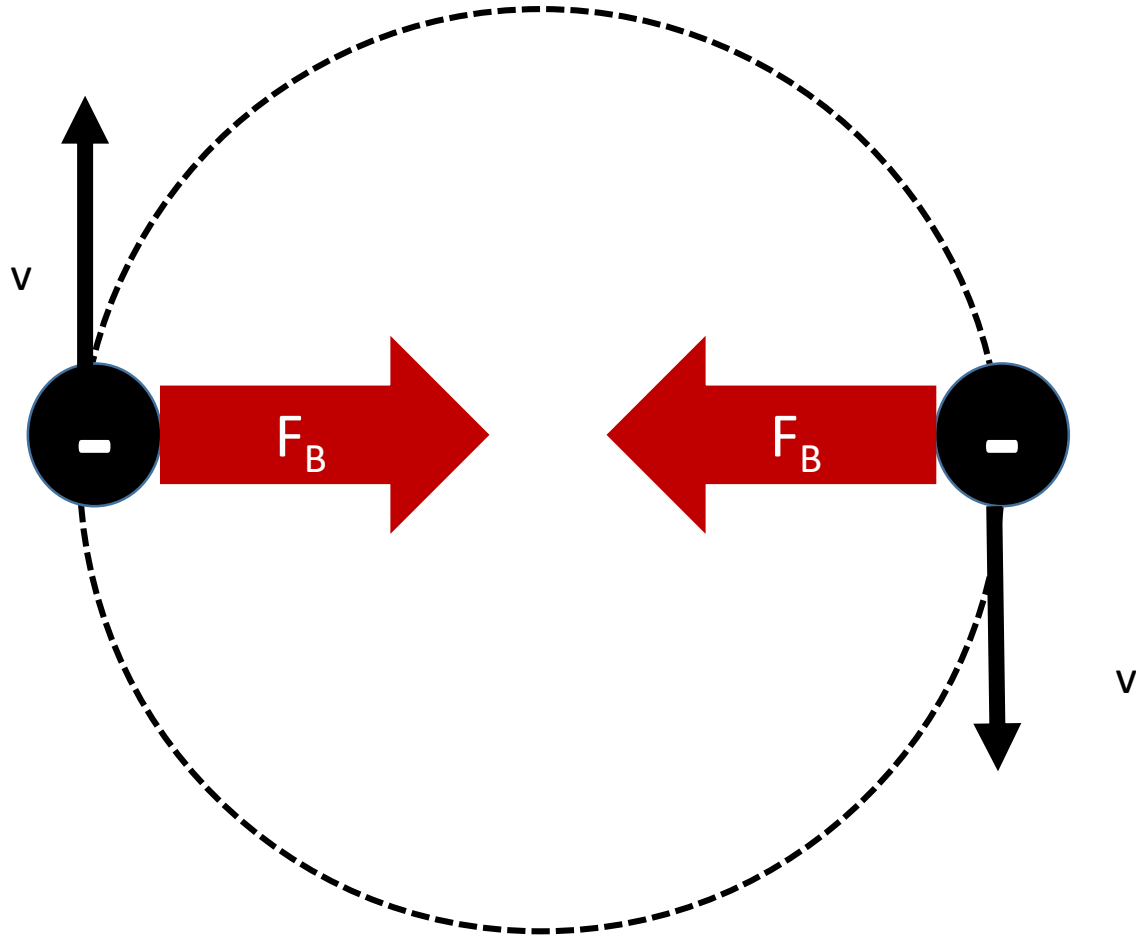


Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

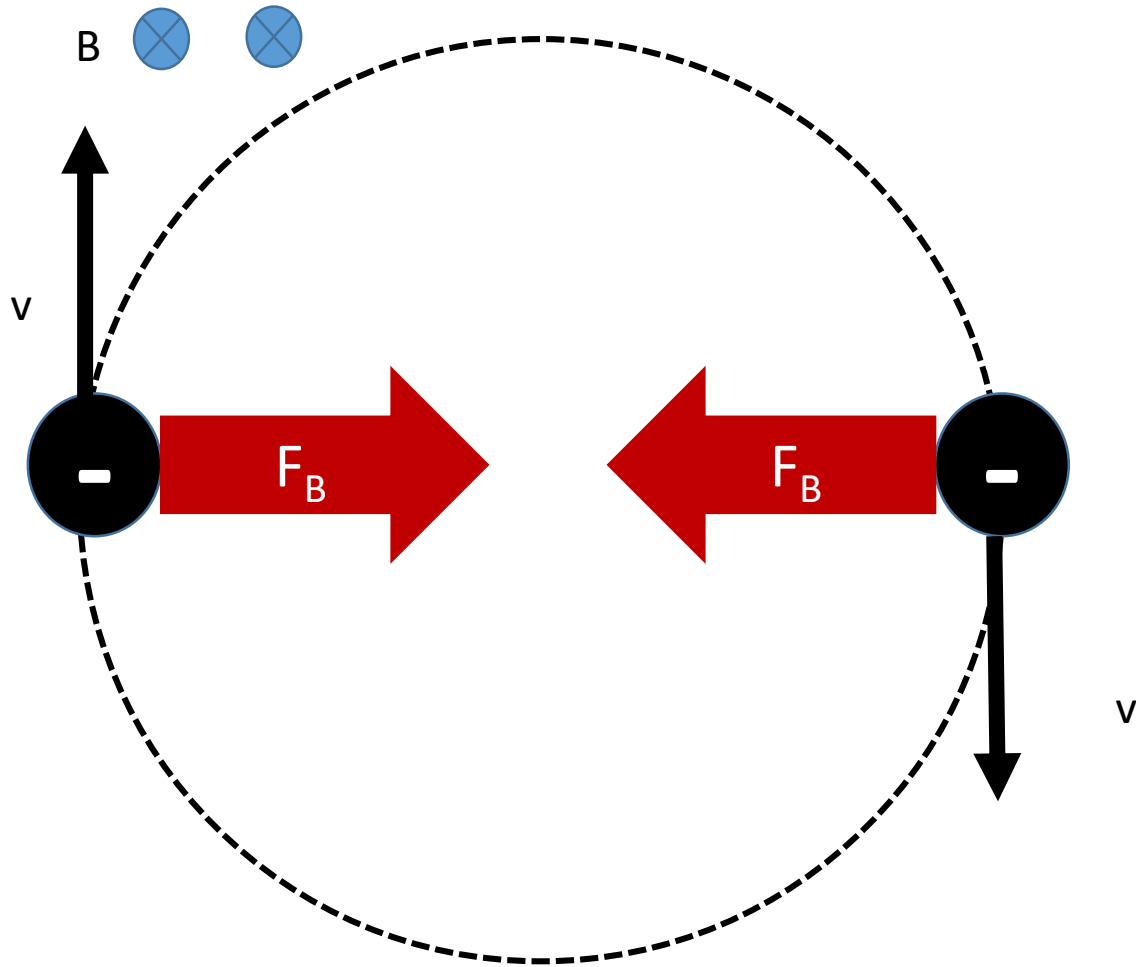
Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

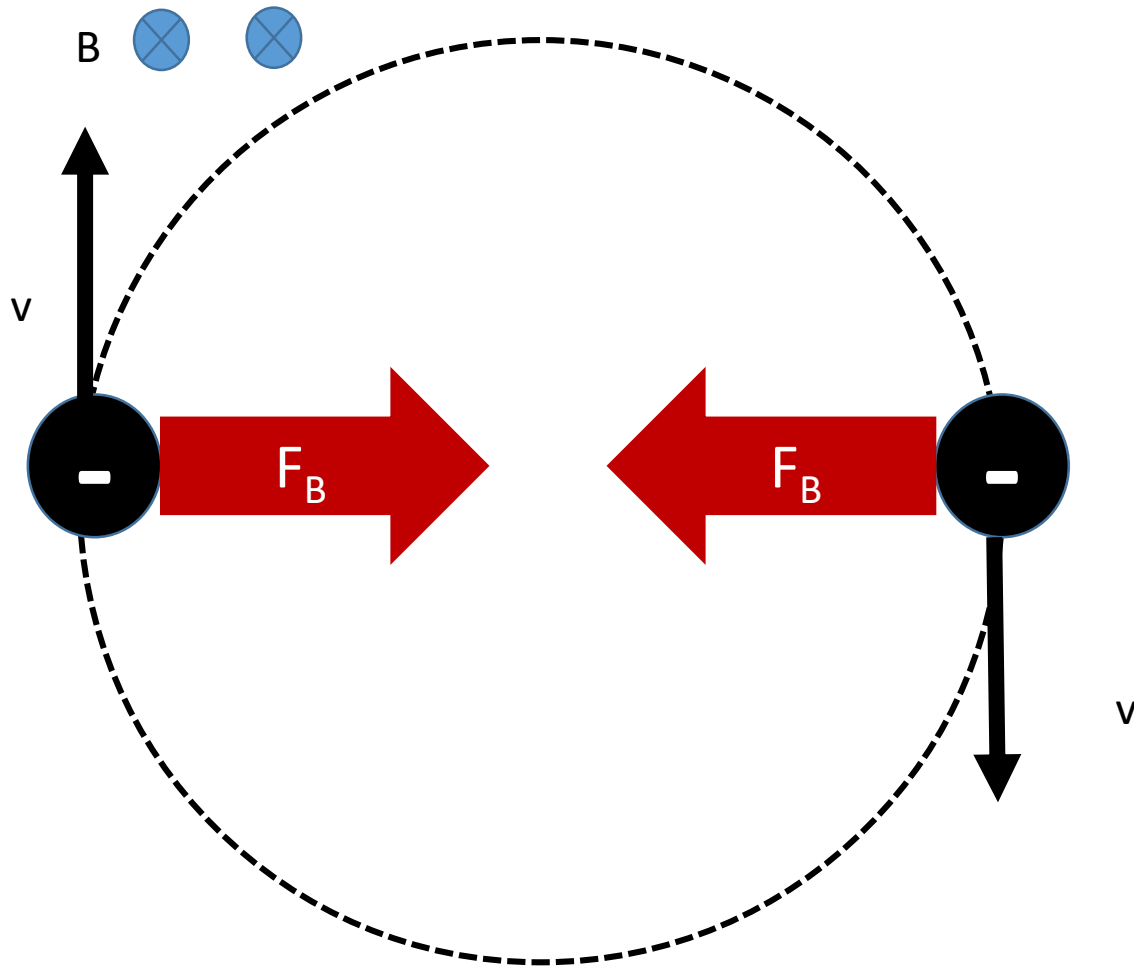
Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

Movimento Circular

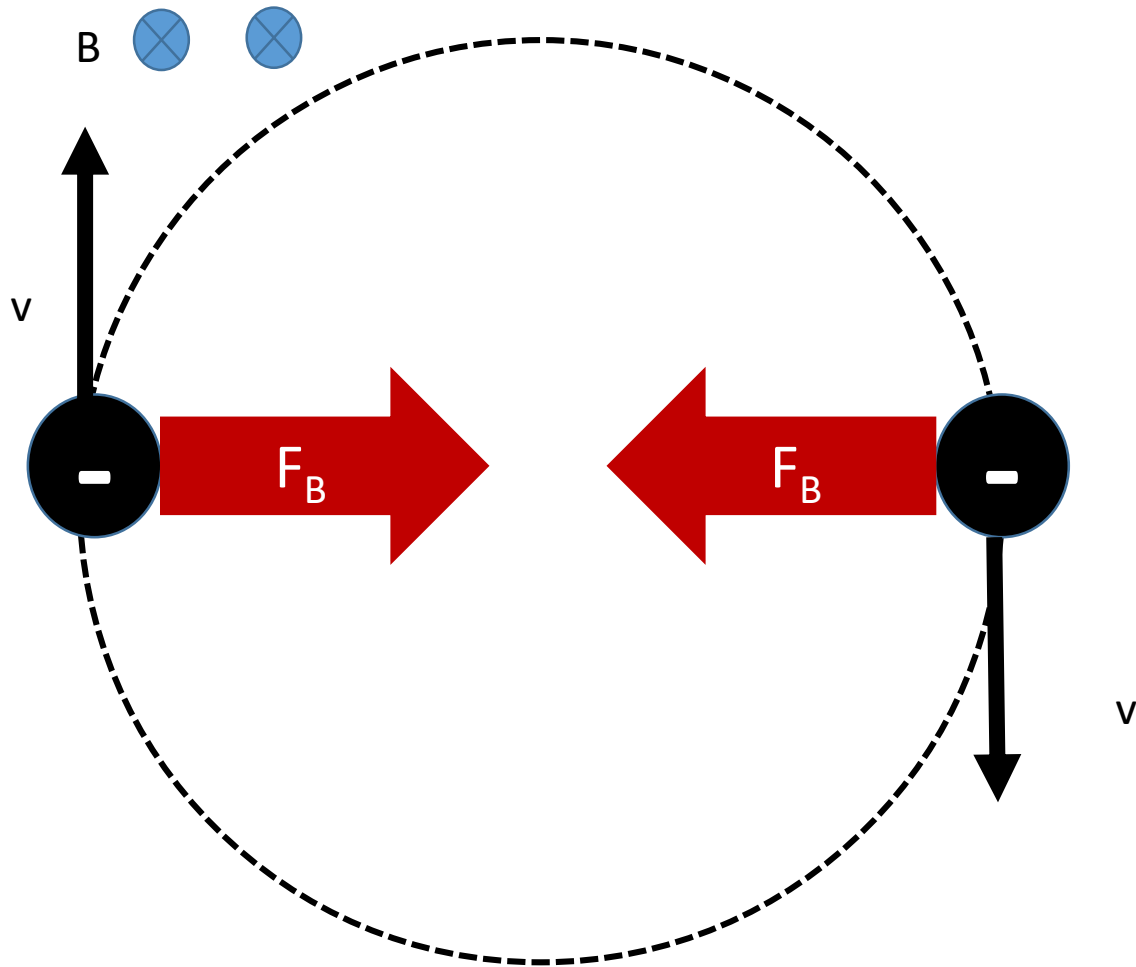


$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

$$F_B = qvB\text{sen}90$$

Movimento Circular



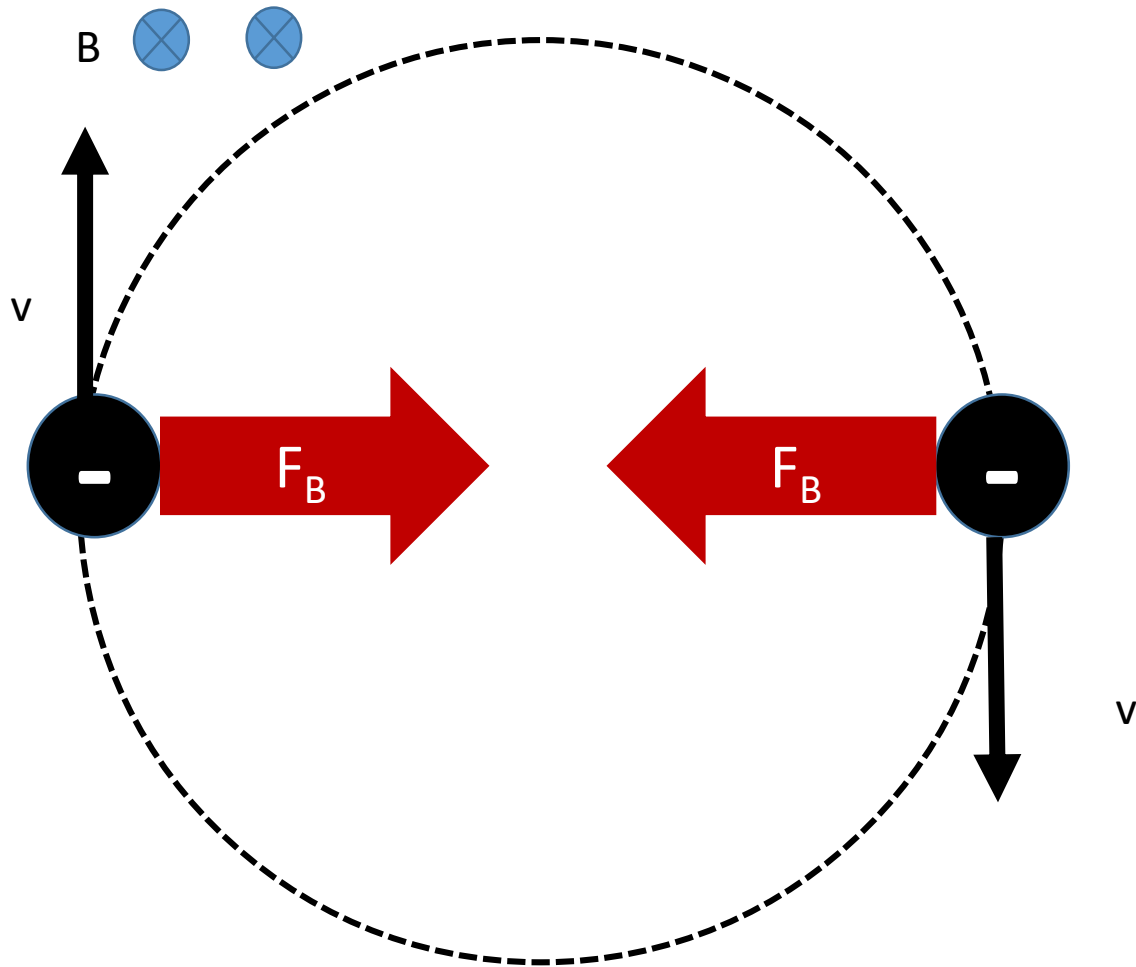
$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

$$F_B = qvB\text{sen}90$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

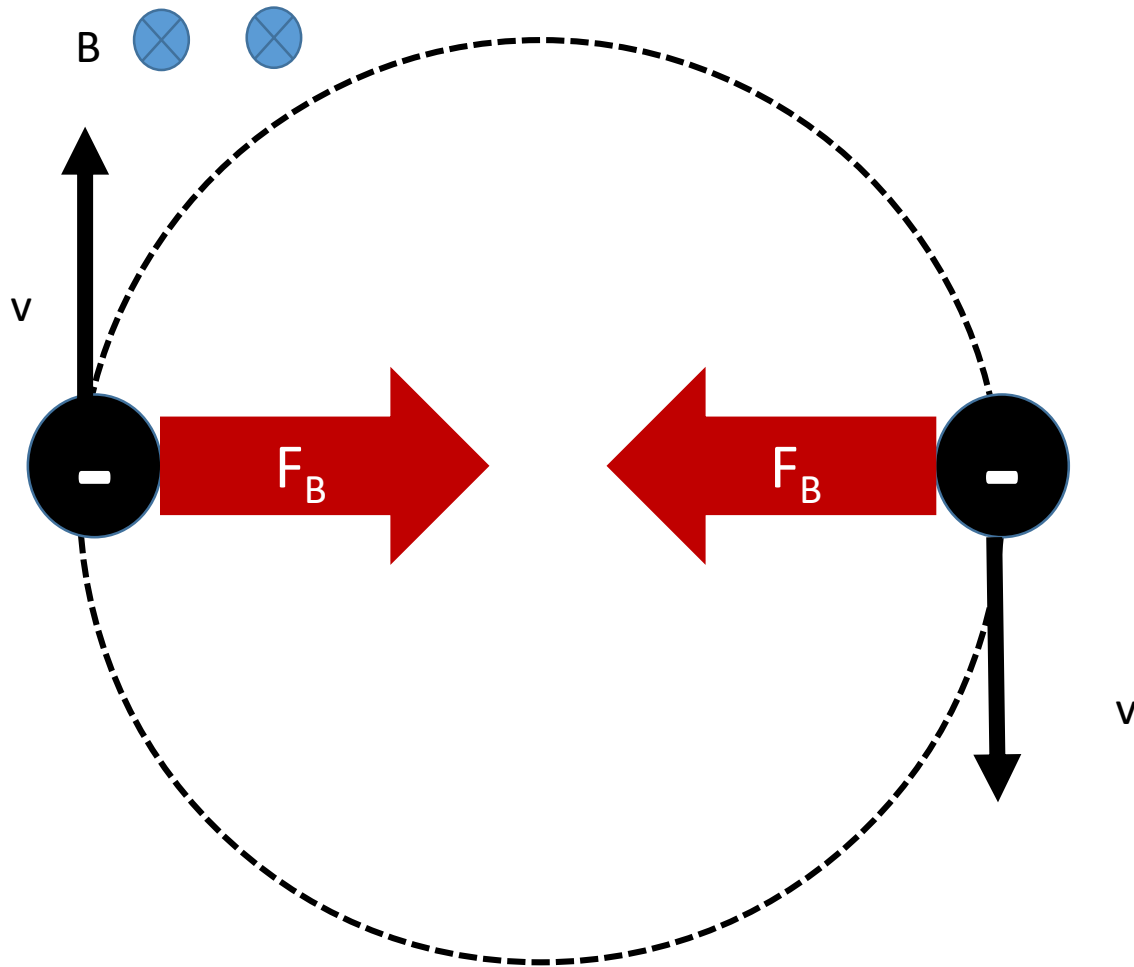
$$F_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F_B = qvB\text{sen}90$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

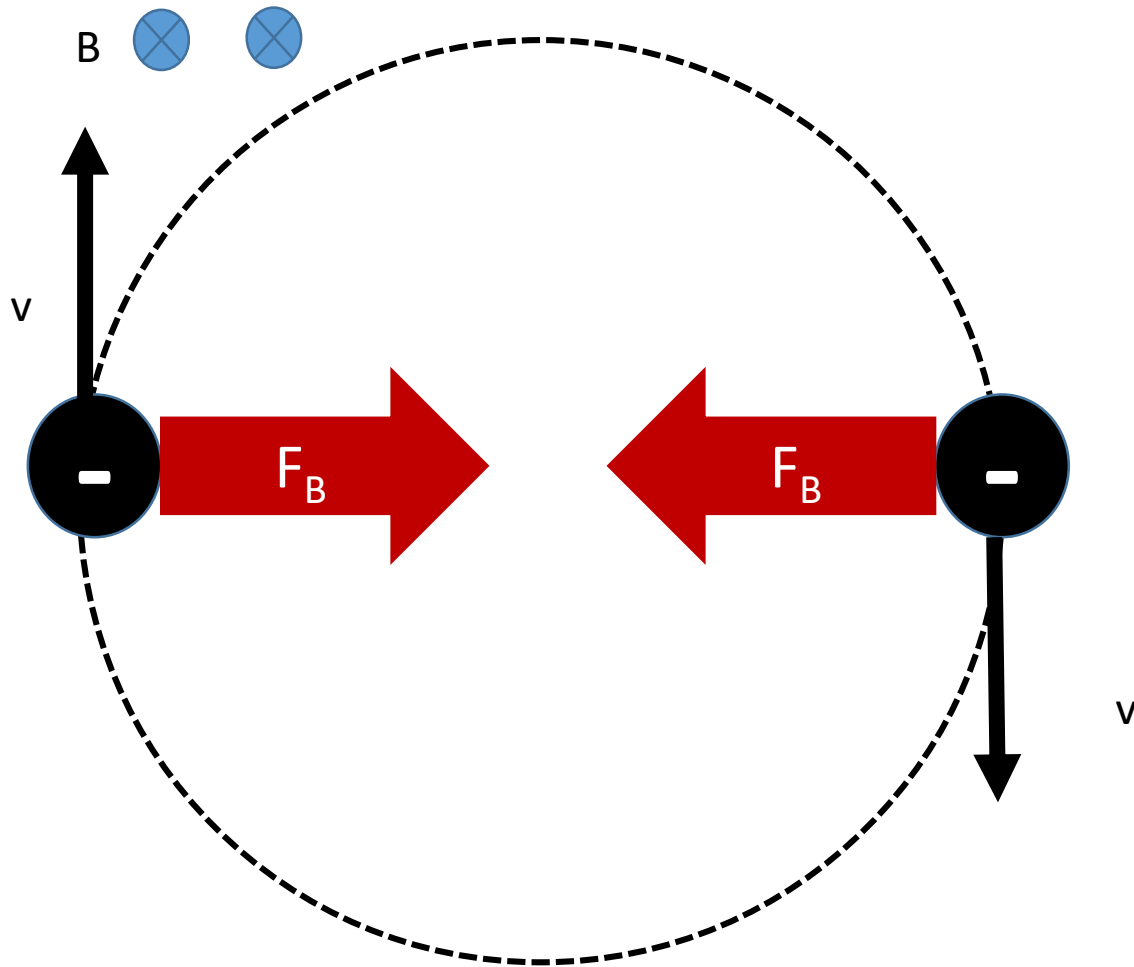
$$F_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F_B = qvB\text{sen}90$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

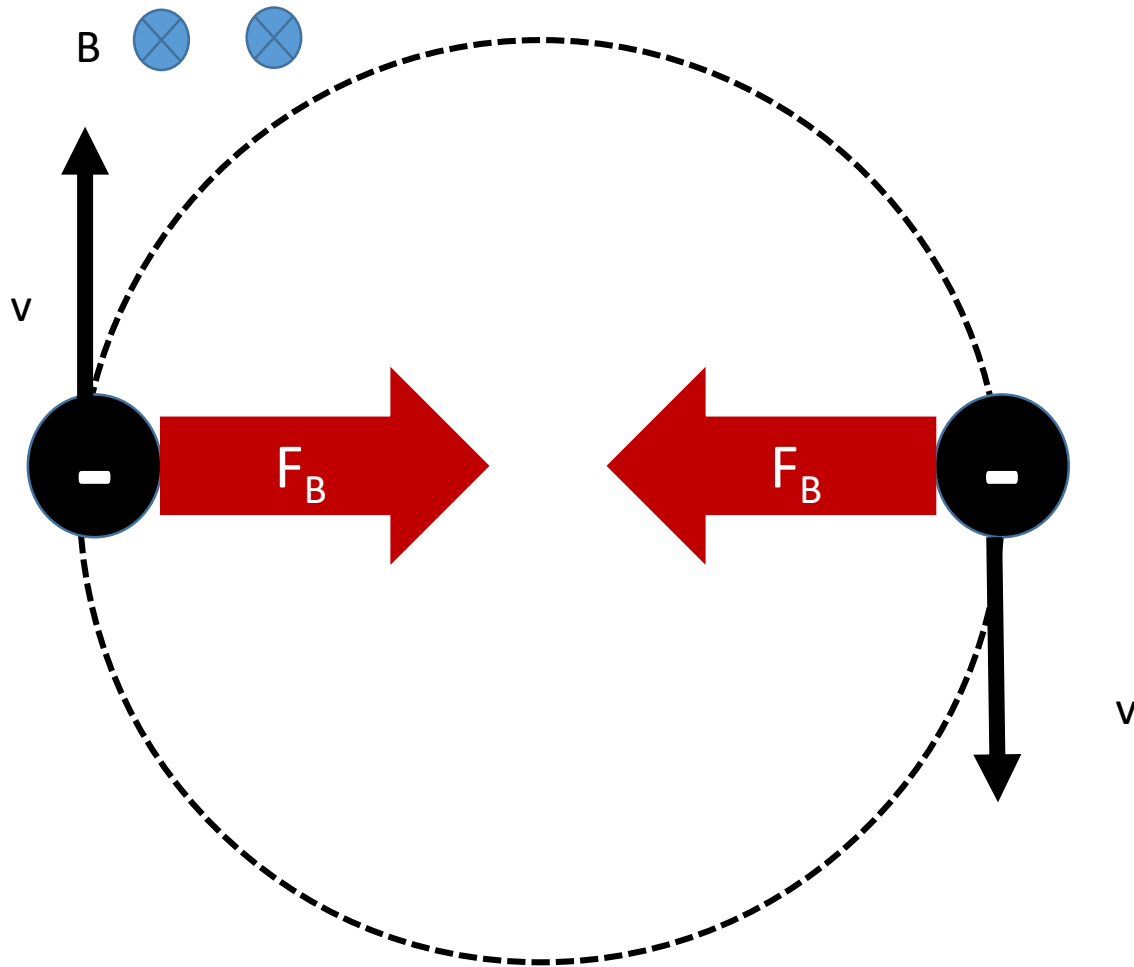
$$F_B = qvB\text{sen}90$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

$T, f, \omega!$

Movimento Circular



$$F = \frac{mv^2}{R}$$

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

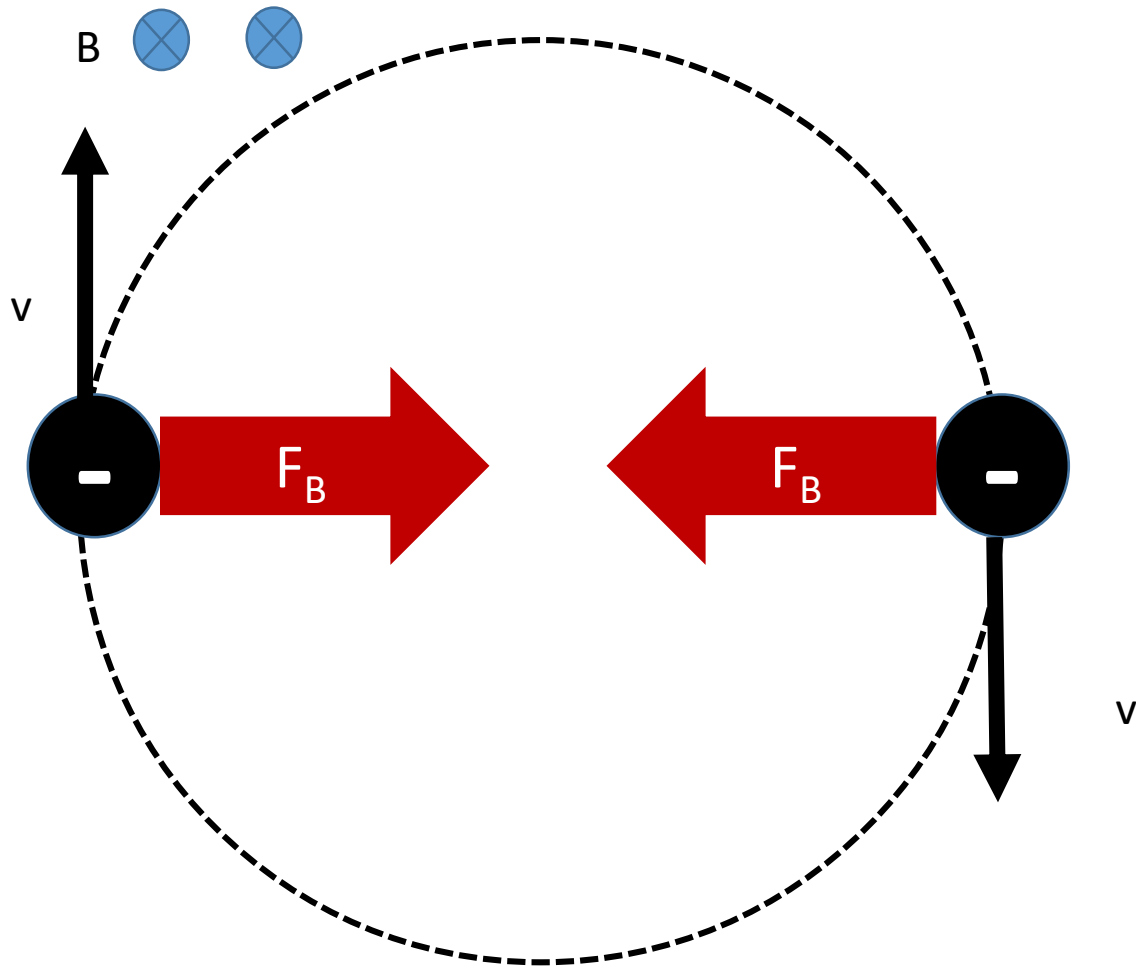
$$F_B = qvB \sin 90$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

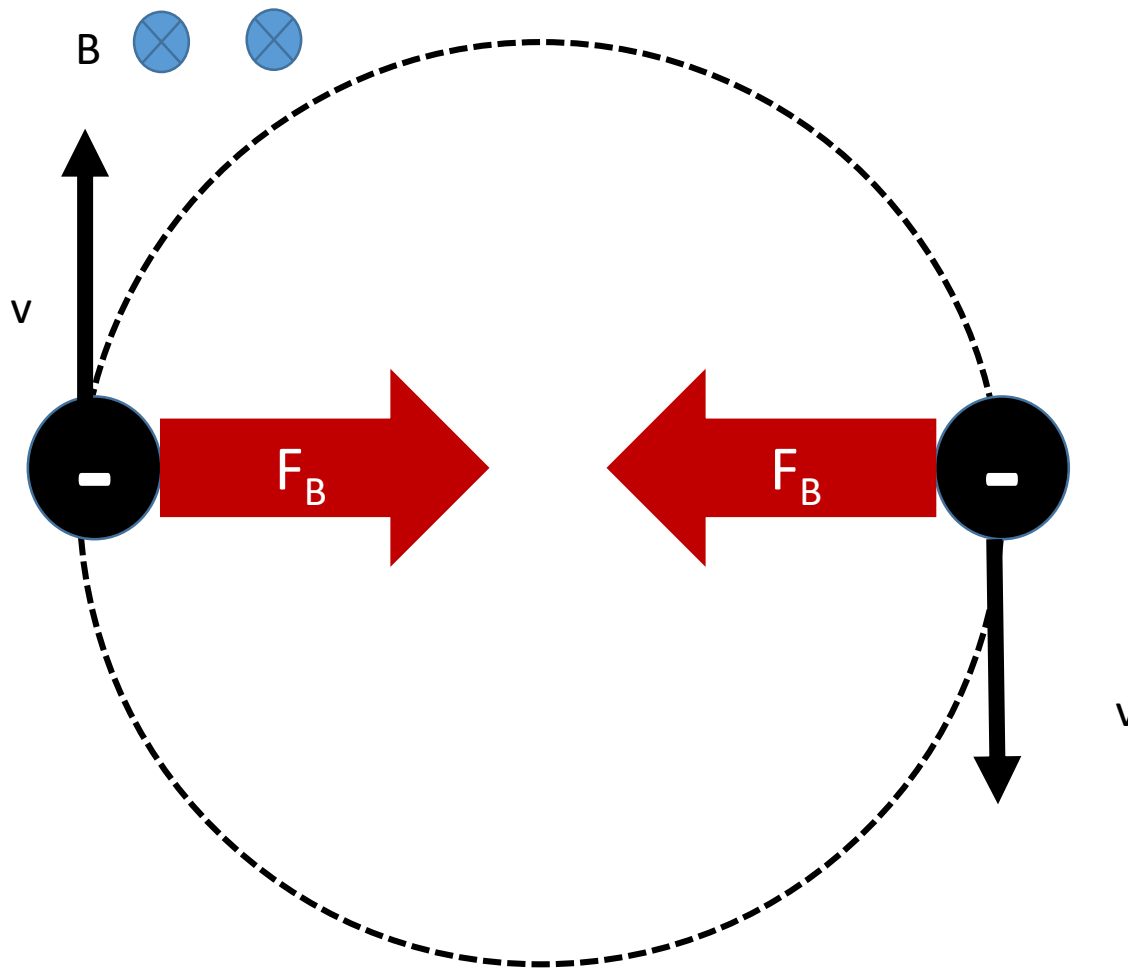
$$T, f, \omega! \rightarrow T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Movimento Circular

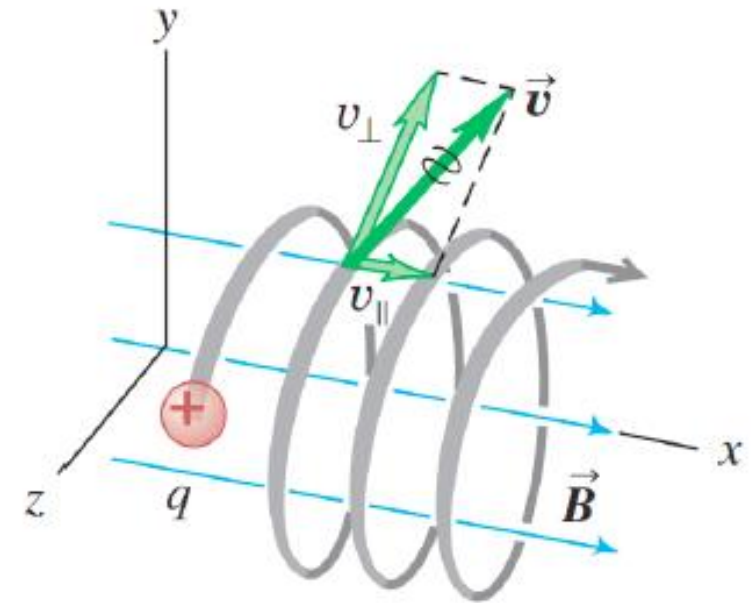


E se a velocidade tivesse componente paralela a B?

Movimento Circular



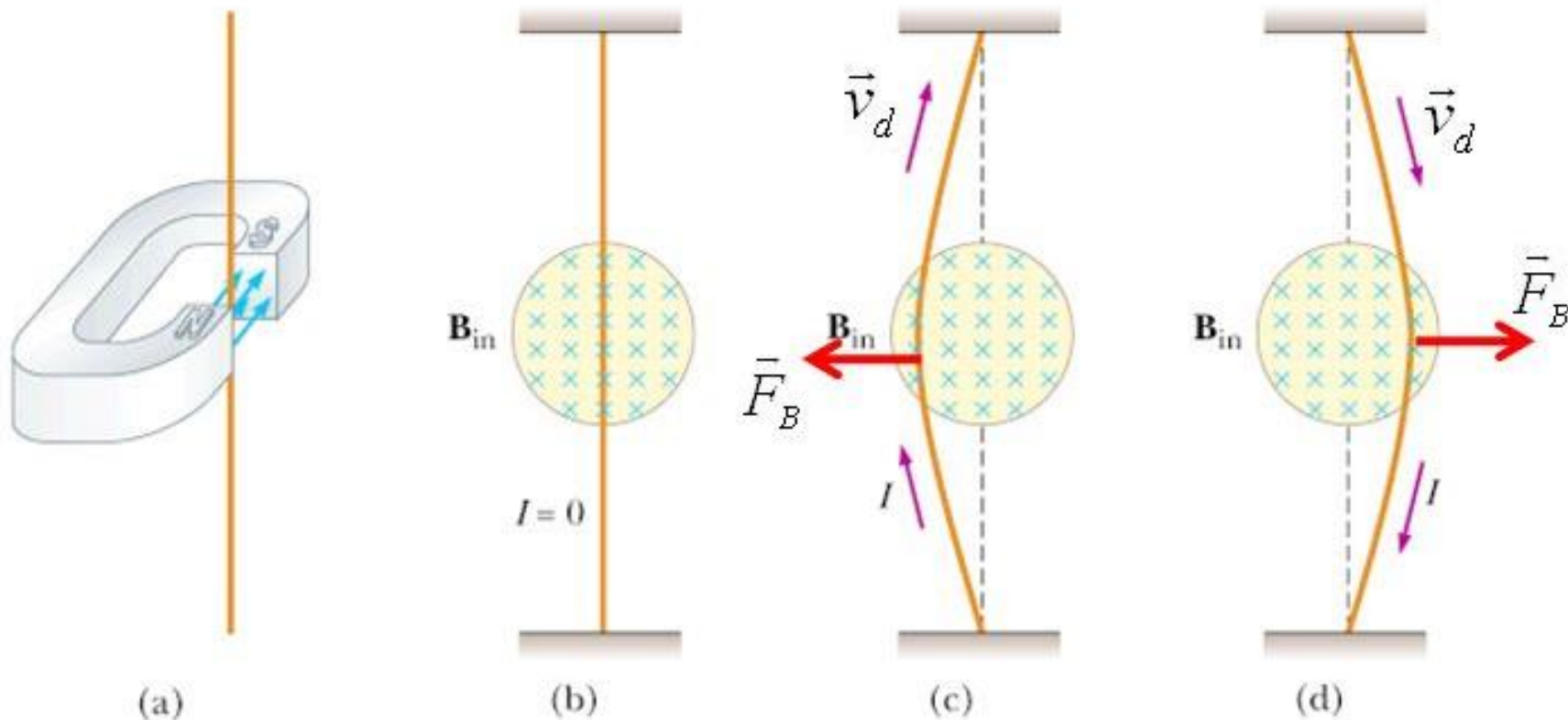
E se a velocidade tivesse componente paralela a B ?



Ciclotron e Síncrotron

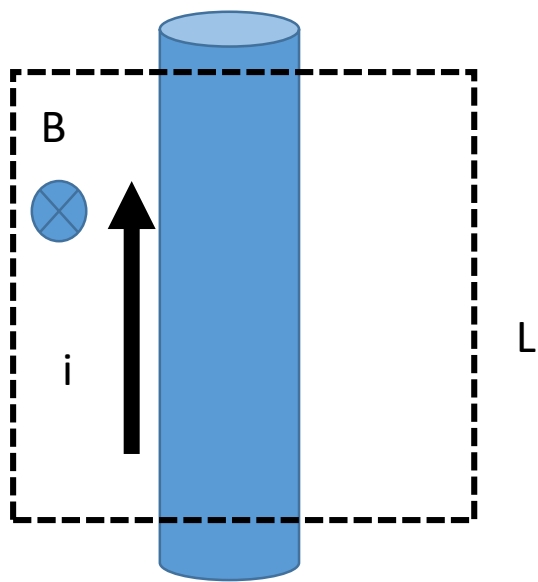


Força Magnética em um fio



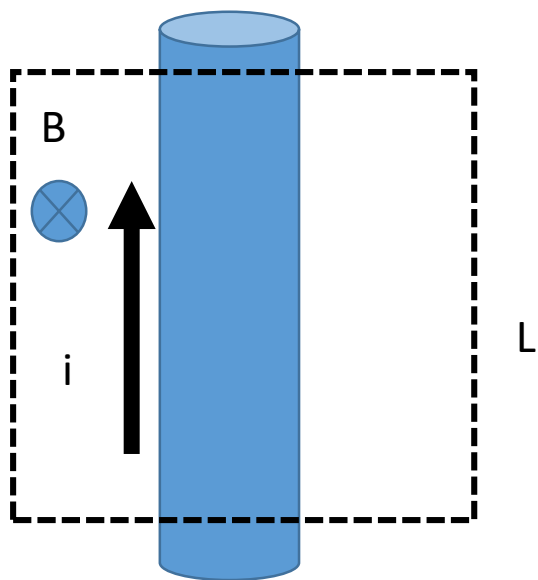
Força Magnética em um fio

$$q = i \cdot t$$



Força Magnética em um fio

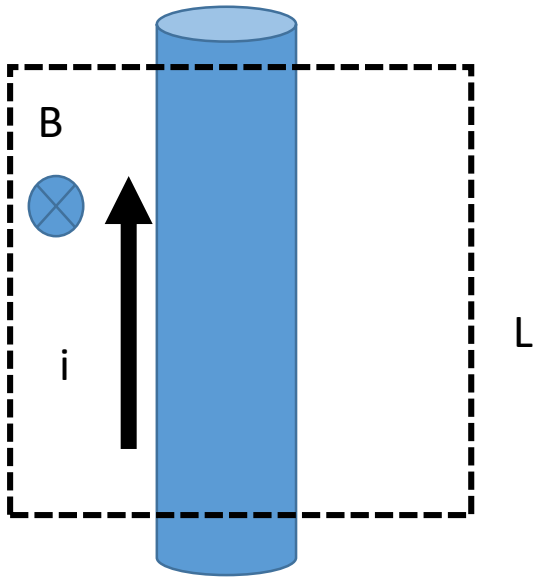
$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$



Força Magnética em um fio

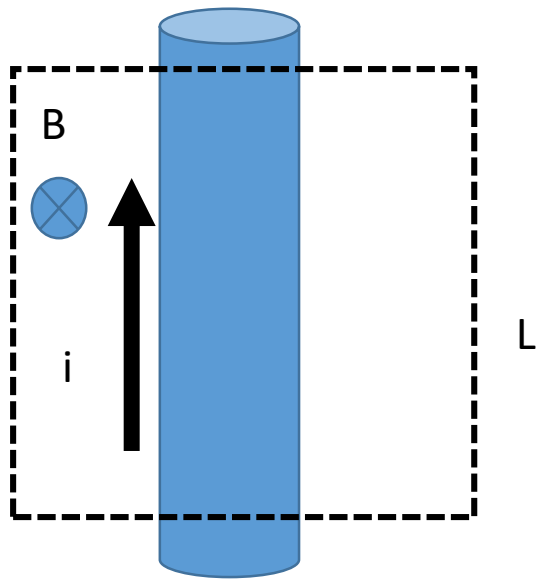
$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$

$$F_B = qv_d B \sin 90$$



Força Magnética em um fio

$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$

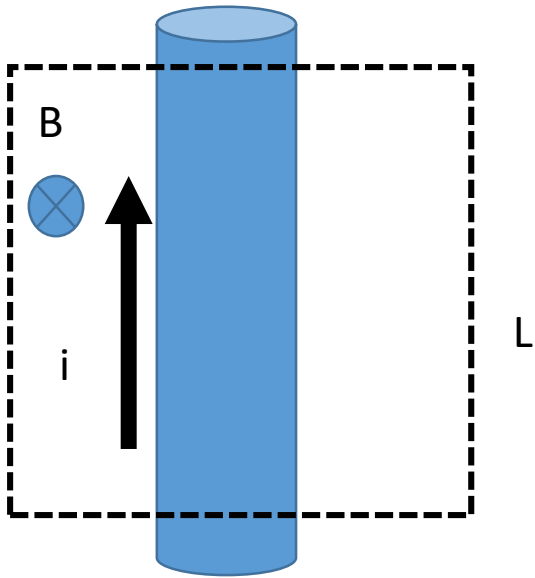


$$F_B = qv_d B \sin 90 = i \frac{L}{v_d} v_d B$$

Força Magnética em um fio

$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$

$$F_B = qv_d B \sin 90 = i \frac{L}{v_d} v_d B \rightarrow F_B = iLB$$



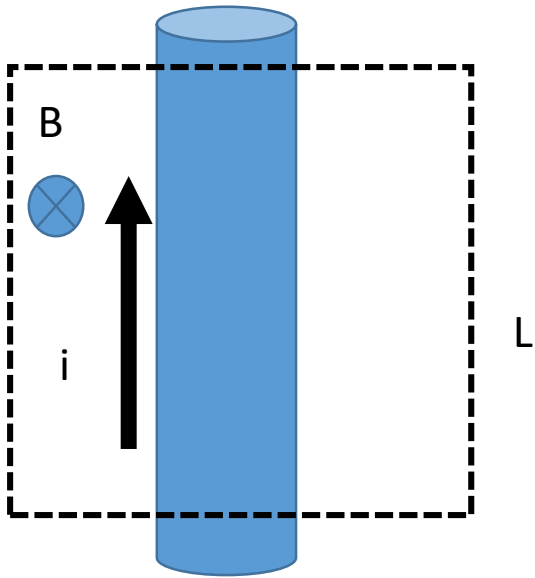
Força Magnética em um fio

$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$

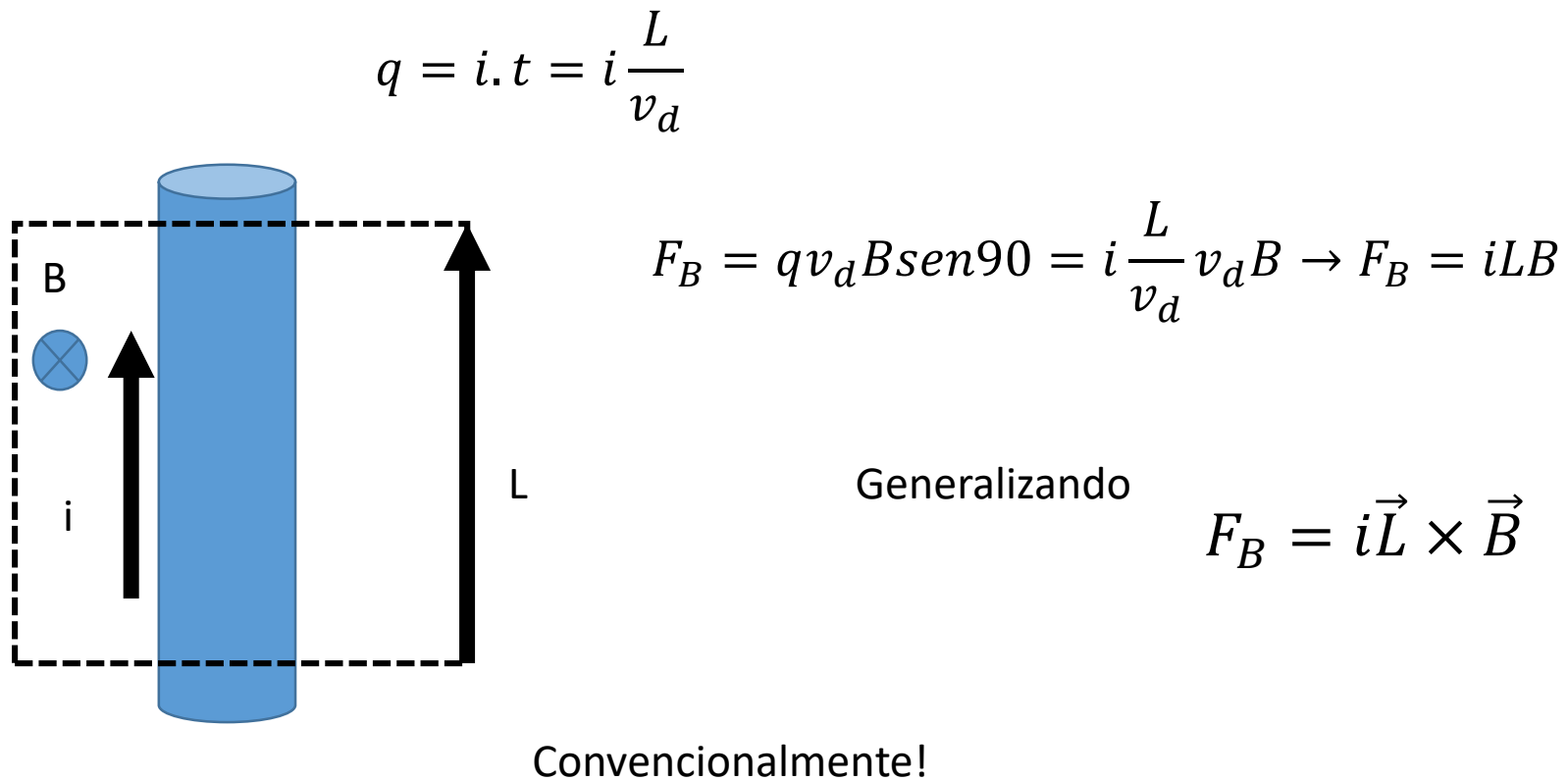
$$F_B = qv_d B \sin 90 = i \frac{L}{v_d} v_d B \rightarrow F_B = iLB$$

Generalizando

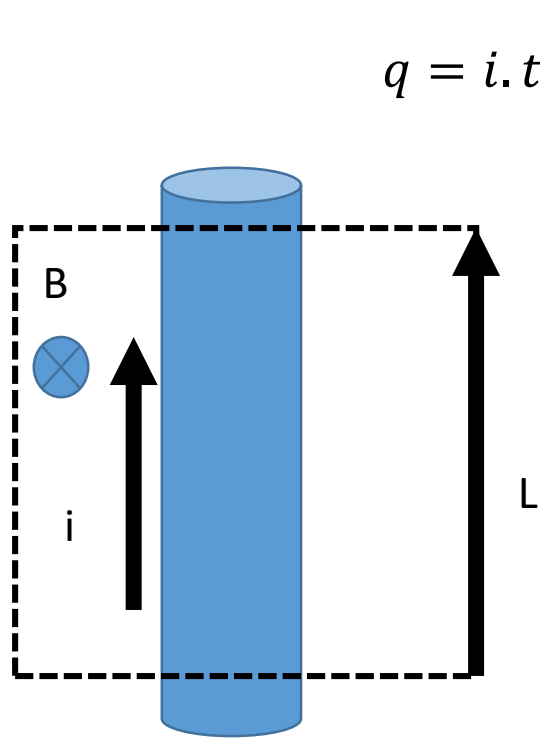
$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$



Força Magnética em um fio



Força Magnética em um fio



$$q = i \cdot t = i \frac{L}{v_d}$$

$$F_B = qv_d B \sin 90 = i \frac{L}{v_d} v_d B \rightarrow F_B = iLB$$

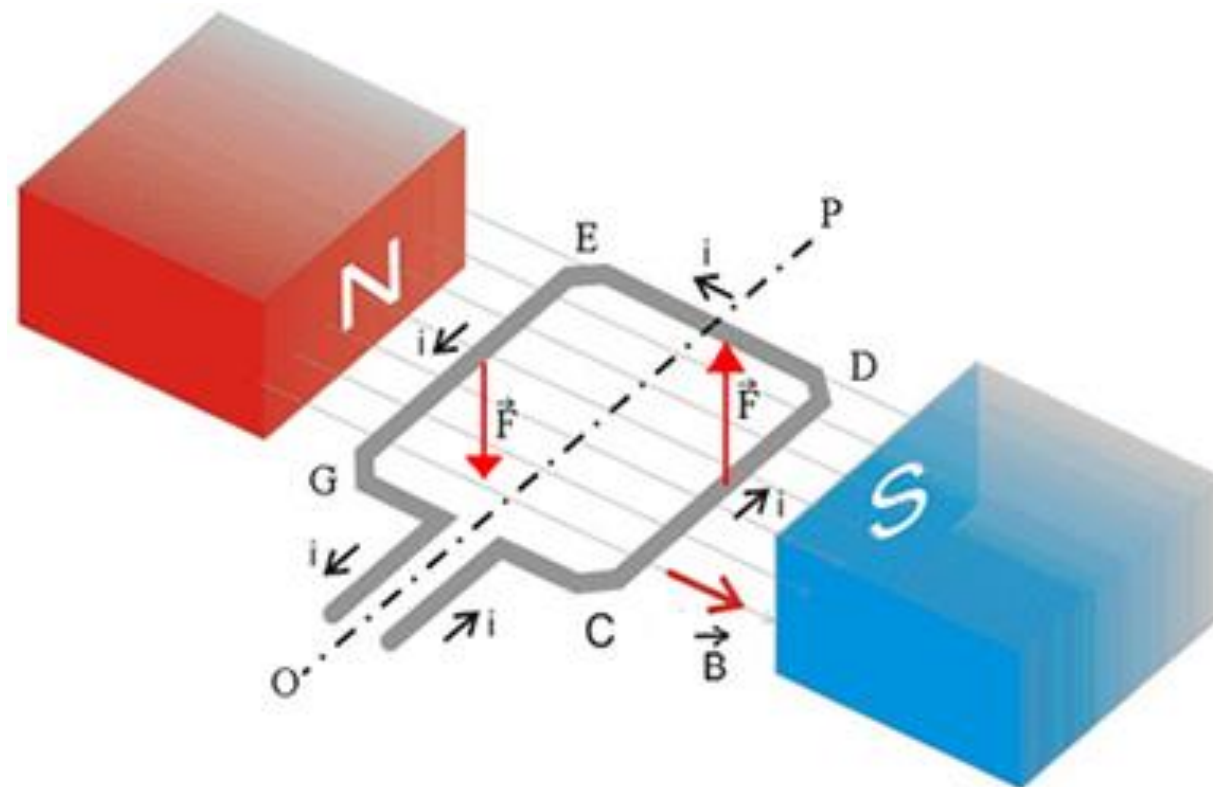
Generalizando

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$

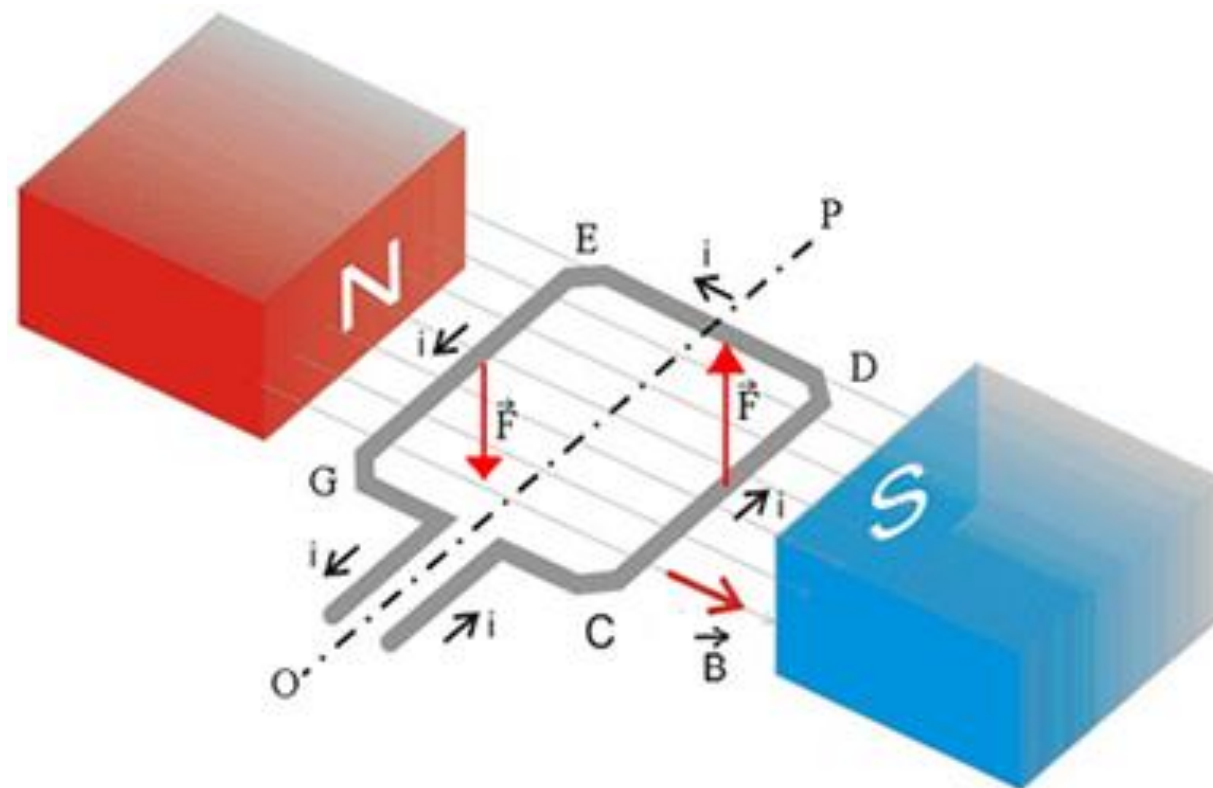
Convencionalmente!

Fios não retilíneos: $dF_B = id\vec{L} \times \vec{B}$

Torque em um espira



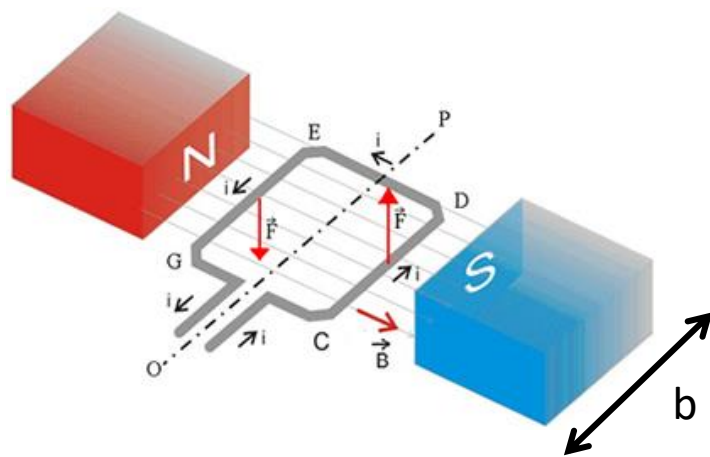
Torque em um espira



Regra da mão direita \rightarrow direção de n

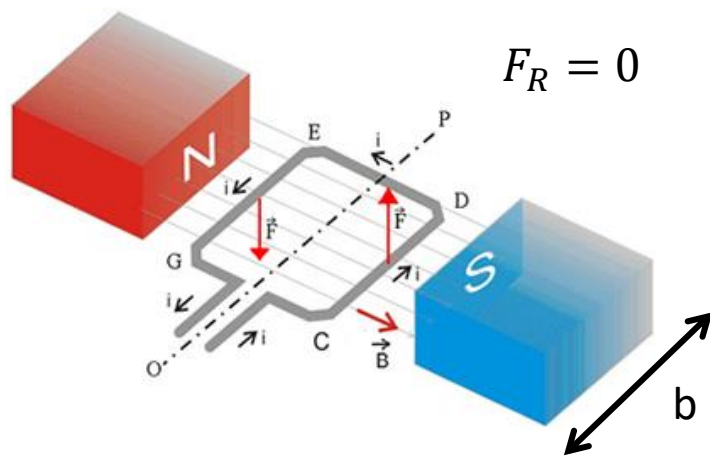
Torque em um espira

$$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$$



Torque em um espira

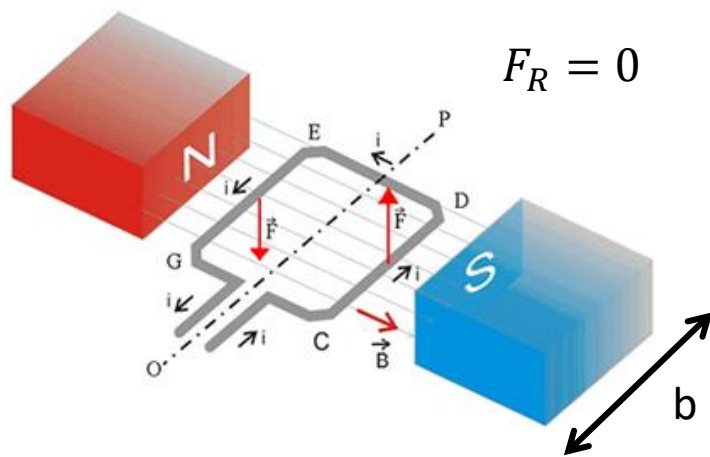
$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$



Torque em um espira

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$

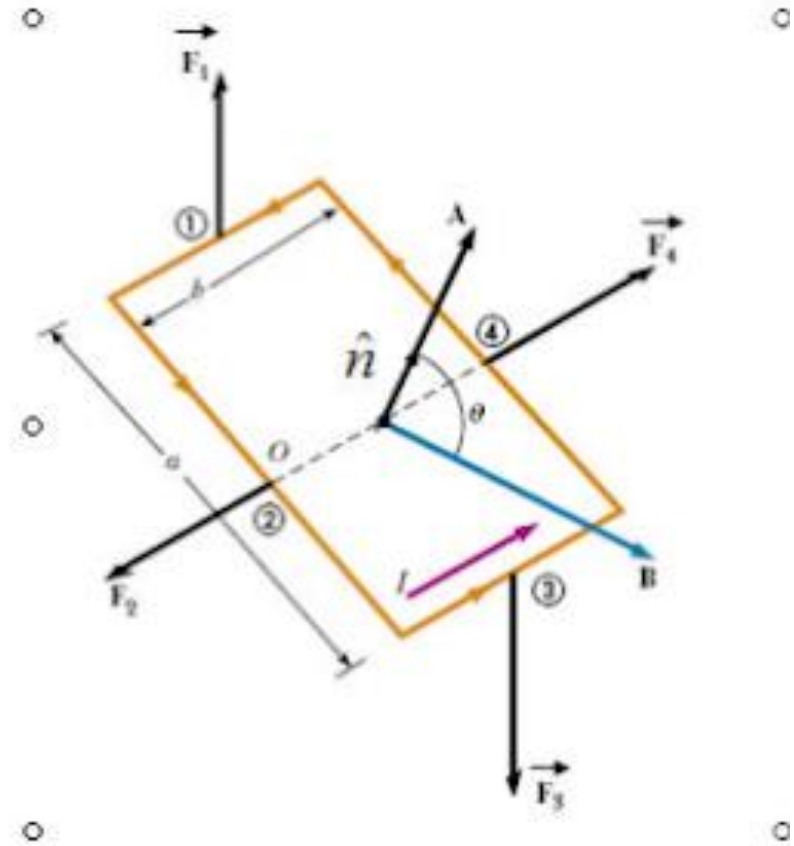
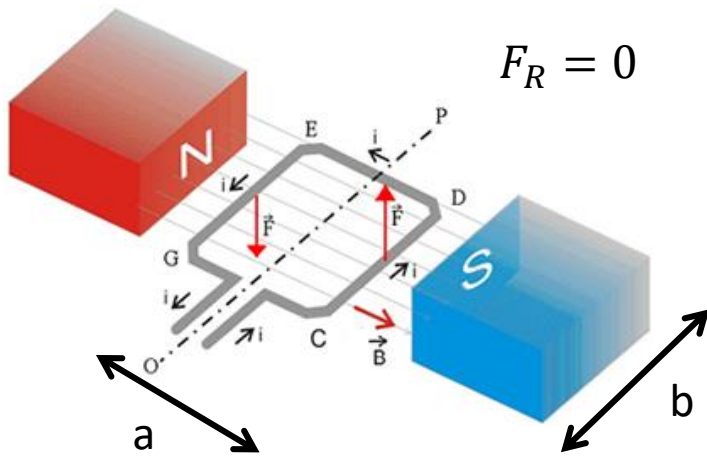
$$\tau \neq 0$$



Torque em um espira

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$

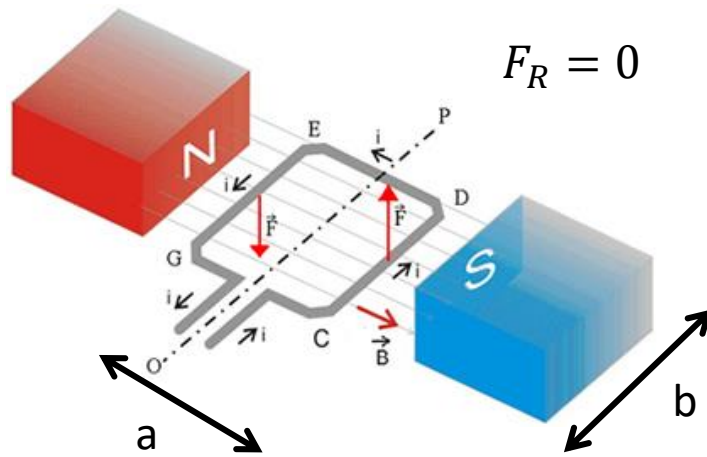
$$\tau \neq 0$$



Torque em um espira

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$

$$\tau \neq 0$$

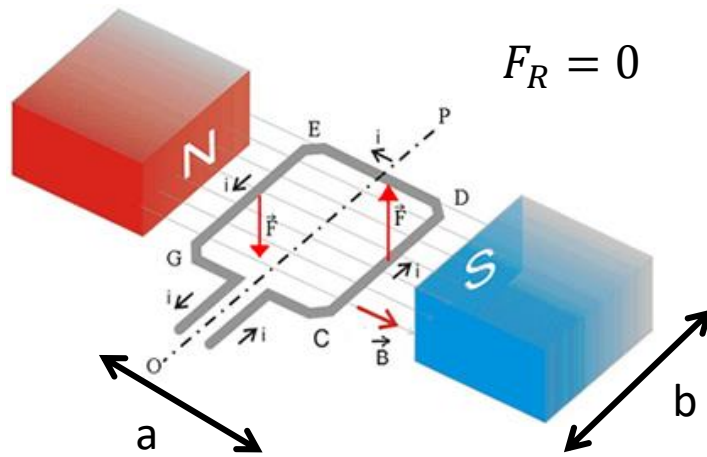


$$\tau = \sum \vec{r} \times \vec{F} = ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2} + ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2}$$

Torque em um espira

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$

$$\tau \neq 0$$



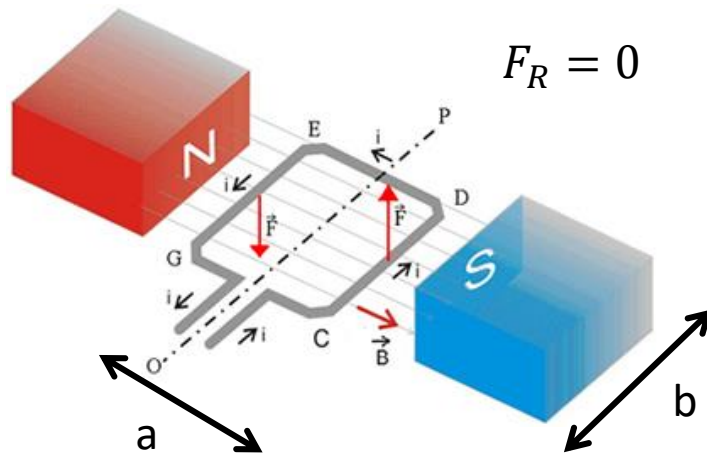
$$\tau = \sum \vec{r} \times \vec{F} = ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2} + ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2}$$

$$\tau = iabB \cdot \text{sen}\theta$$

Torque em um espira

$$F_B = i\vec{L} \times \vec{B} \rightarrow F_B = iLB = ibB$$

$$\tau \neq 0$$



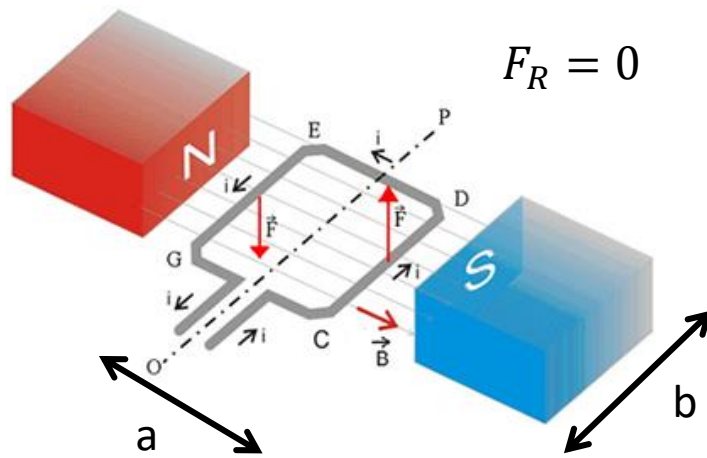
$$\tau = \sum \vec{r} \times \vec{F} = ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2} + ibB \cdot \text{sen}\theta \cdot \frac{a}{2}$$

$$\tau = iabB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\tau = iAB \cdot \text{sen}\theta$$

Torque em um espira circular

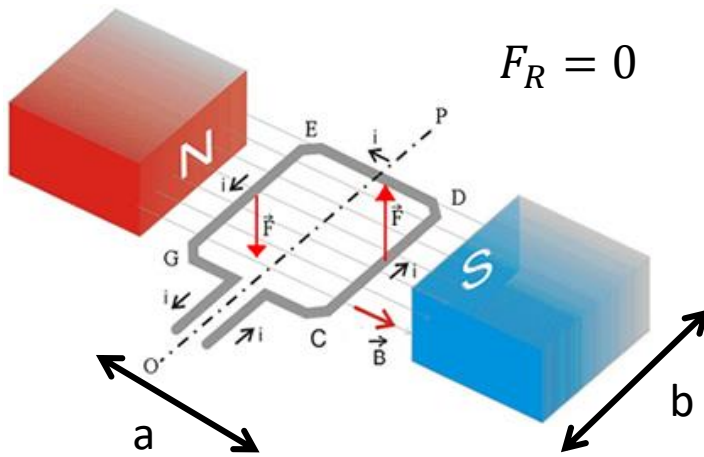
$$\tau = iAB.\text{sen}\theta$$



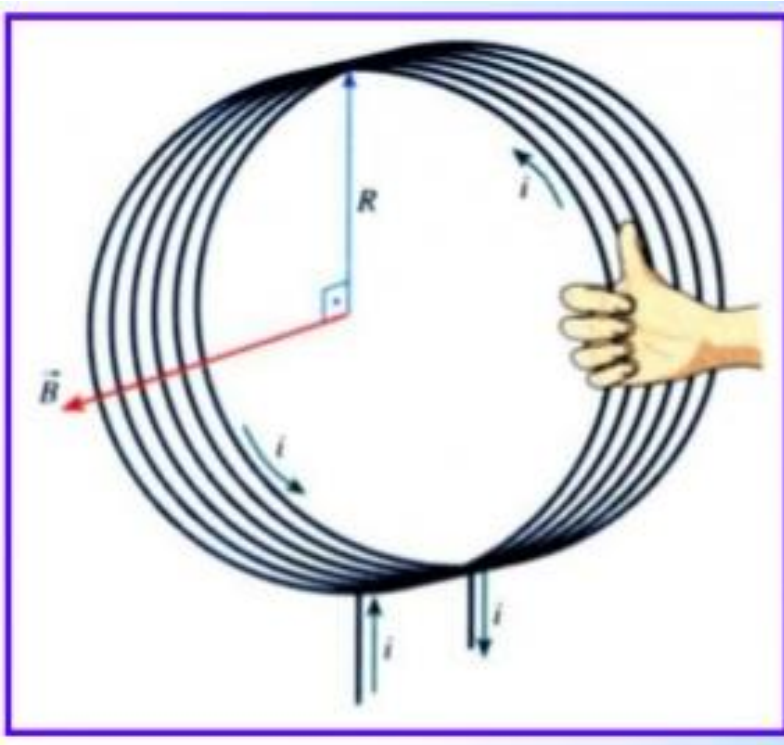
Torque em um espira circular

$$\tau = iAB.\text{sen}\theta$$

$$\tau = i\pi R^2 B.\text{sen}\theta$$



Torque em uma bobina com N espiras

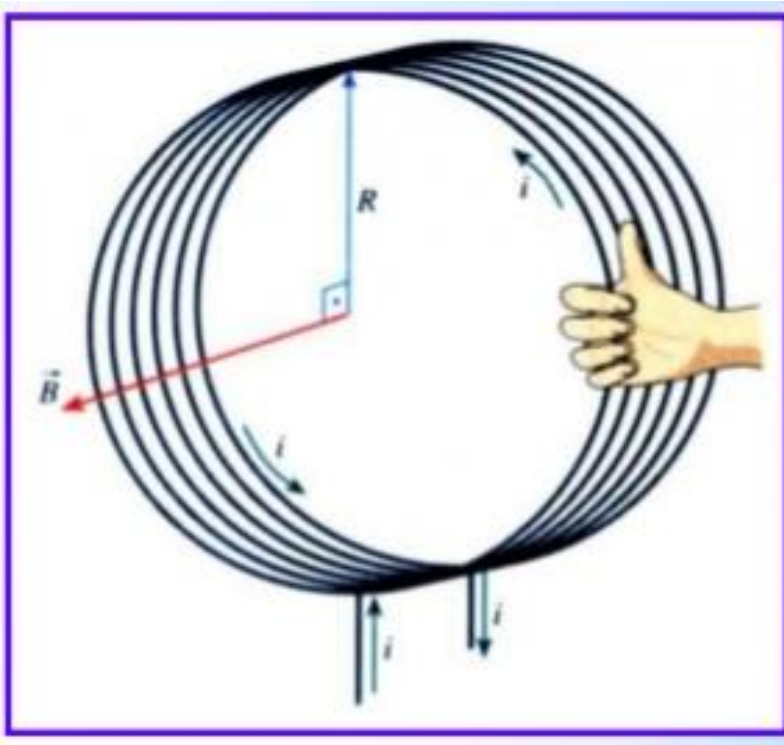


$$\tau = iAB.\text{sen}\theta$$

$$\tau = i\pi R^2 B.\text{sen}\theta$$

$$\tau = Ni\pi R^2 B.\text{sen}\theta$$

Torque em uma bobina com N espiras



$$\tau = iAB.\text{sen}\theta$$

$$\tau = i\pi R^2 B.\text{sen}\theta$$

$$\tau = N i A B.\text{sen}\theta$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB.\text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina

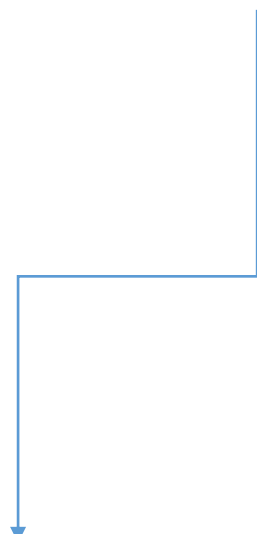

$$\tau = \mu B.\text{sen}\theta$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB.\text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina

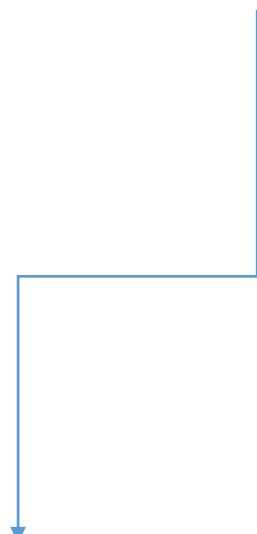

$$\tau = \mu B.\text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina


$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

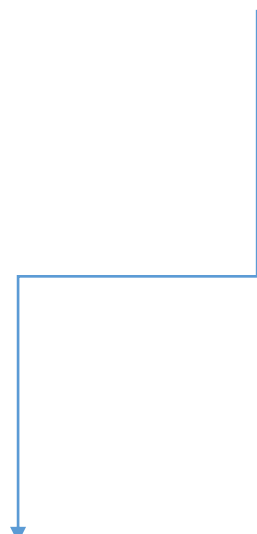
Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina


$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Energia

Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

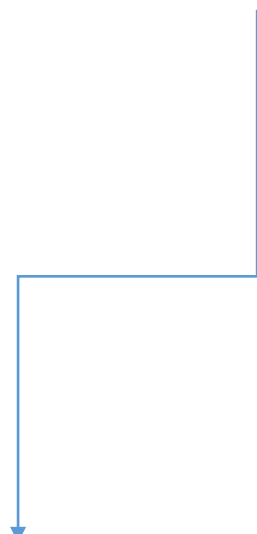
$$U(\theta) = -\vec{p} \times \vec{E}$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina


$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Energia

$$U(\theta) = -\vec{\mu} \times \vec{B}$$

Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

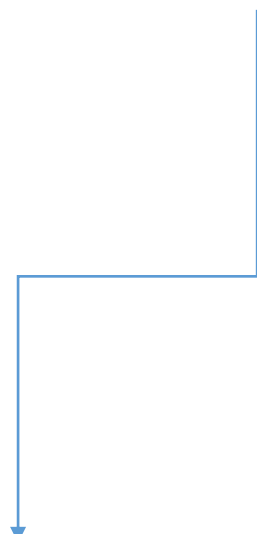
$$U(\theta) = -\vec{p} \times \vec{E}$$

Momento Dipolar Magnético

$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina


$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Energia

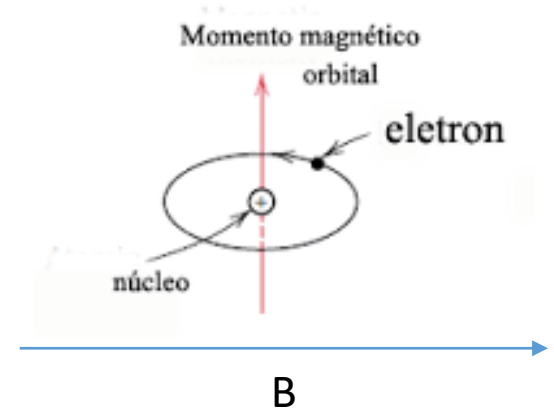
$$U(\theta) = -\vec{\mu} \times \vec{B}$$

$\theta = 0 \rightarrow$ menor valor possível

$$U(\theta) = -\vec{p} \times \vec{E}$$

$\theta = 180 \rightarrow$ maior valor possível

Momento Dipolar Magnético



$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina

Energia

$$U(\theta) = -\vec{\mu} \times \vec{B}$$

$\theta = 0 \rightarrow$ menor valor possível

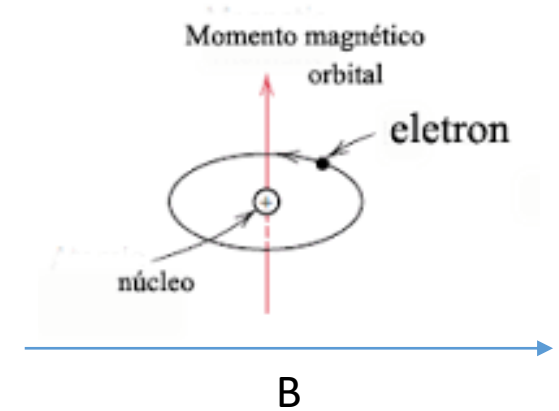
$$U(\theta) = -\vec{p} \times \vec{E}$$

$\theta = 180 \rightarrow$ maior valor possível

$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Momento Dipolar Magnético



$$\tau = NiAB \cdot \text{sen}\theta$$

$$\mu = NiA$$

Momento Dipolar Magnético da Bobina

Energia

$$U(\theta) = -\vec{\mu} \times \vec{B}$$

$\theta = 0 \rightarrow$ menor valor possível

$$U(\theta) = -\vec{p} \times \vec{E}$$

$\theta = 180 \rightarrow$ maior valor possível

$$\tau = \mu B \cdot \text{sen}\theta \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Torque sobre um dipolo elétrico $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

Trabalho $W = U_f - U_i$