



# FÍSICA III

Professora Mauren Pomalis

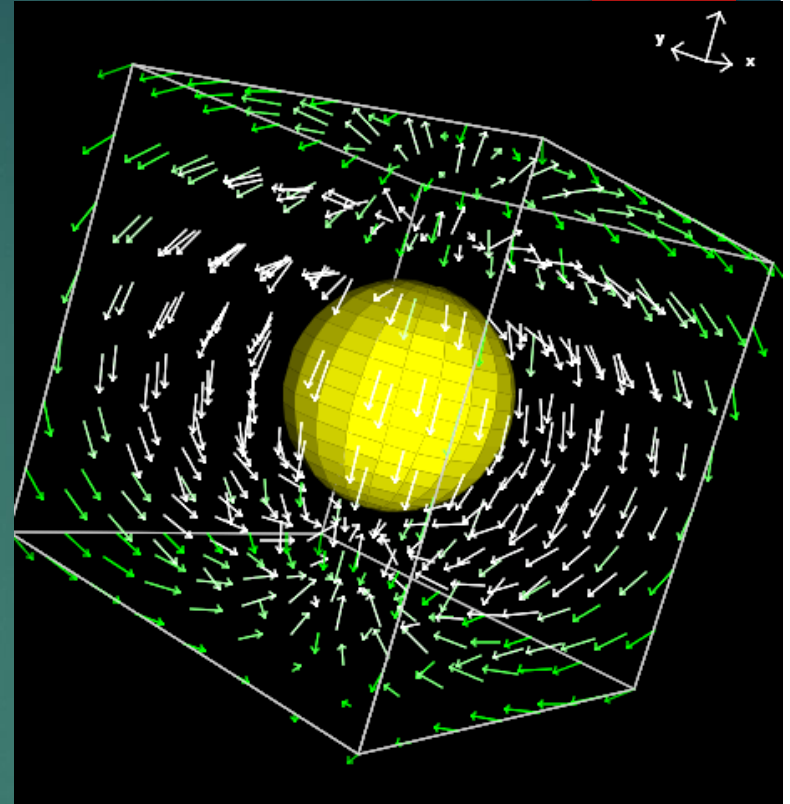
[mauren.pomalis@unir.br](mailto:mauren.pomalis@unir.br)

ENGENHARIA ELÉTRICA - 3º PERÍODO

UNIR/PORTO VELHO

2017/1

# CAMPO MAGNÉTICO



# Campo Magnético

- ▶ Até o momento foram estudados assuntos relacionados ao **Campo Elétrico** e a forma que ele produz **Força Elétrica** em corpos eletricamente carregados.
- ▶ Analogamente, estudaremos **Campo Magnético** e a **Força Magnética** produzida por ele.
- ▶ Vemos esta força acontecer ao prender um ímã numa geladeira, por exemplo.

# Breve Histórico sobre Magnetismo

- ▶ O nome *magnético* provém do grego.
  - ▶ igualmente ao *eléktron*, nome grego do âmbar (objeto da primeira observação da eletrostática).
- ▶ Conta-se que a origem é dada por causa de *Magnes*, um pastor grego que teria descoberto acidentalmente as propriedades magnéticas.



# Breve Histórico sobre Magnetismo

- ▶ Magnetita -> região de Magnésia
  - ▶ magnetita foi o nome dado ao elemento que atraía outros, ou “pedra ímã” (o ímã natural).
- ▶ Foi observado que a magnetita quando colocada próxima de alguns materiais, e friccionando-a neles, estes adquiriam a mesma propriedade de atrair a outros materiais (ferro e aço). Ou seja, este elemento se torna um ímã. Era criado o ímã artificial.
  - ▶ Então, o homem podia criar o elemento e então dar a ele forma de sua preferência.

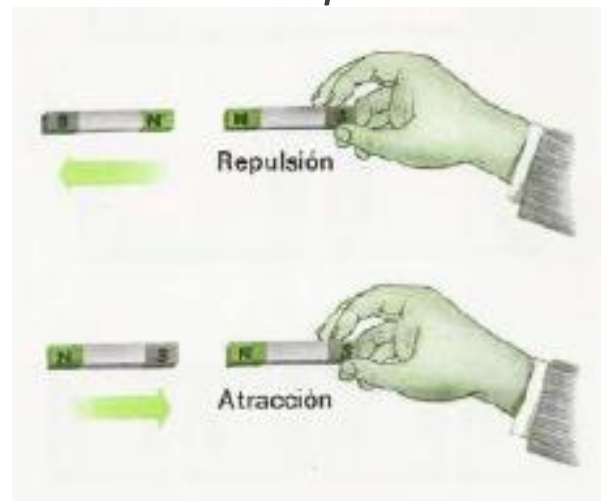
# Breve Histórico sobre Magnetismo

- ▶ As utilidades nesta época não eram muitas, mas em dado momento (possivelmente algum chinês) foi observado que pendurado e em equilíbrio um ímã sempre se orientava para a mesma direção.
- ▶ Criou-se a bússola.



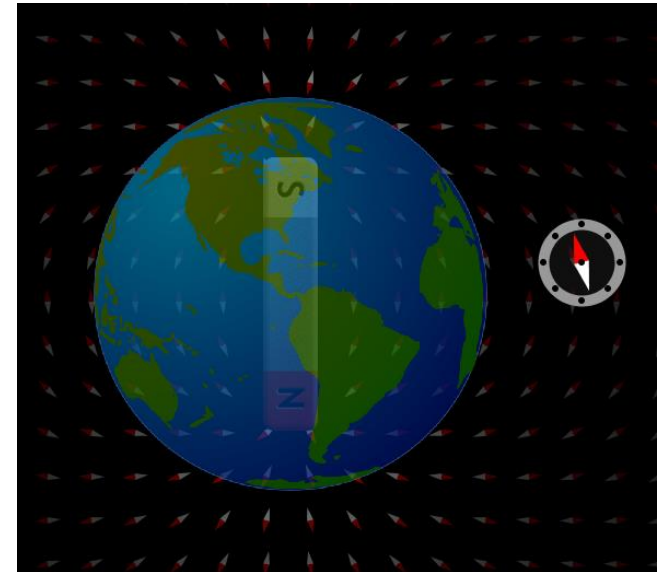
# Magnetismo

- ▶ Com o ímã em formato de barra foram verificadas as propriedades de atração e repulsão. Foram dados os nomes NORTE e SUL.
- ▶ E surge a primeira “lei” do magnetismo:
- ▶ *“Os polos de mesmo nome se repelem e de diferente, se atraem.”*



# Magnetismo

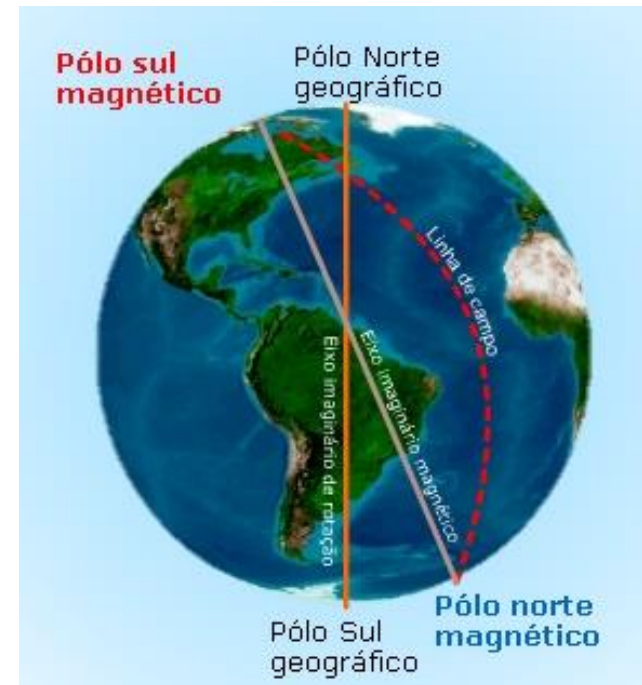
- ▶ E quanto à bússola? Sempre direcionada para o mesmo norte... Por quê? Sendo que está sem a interação de outro ímã?
- ▶ *Porque a terra é um ímã gigante, ao qual a bússola sofre influência constante.*





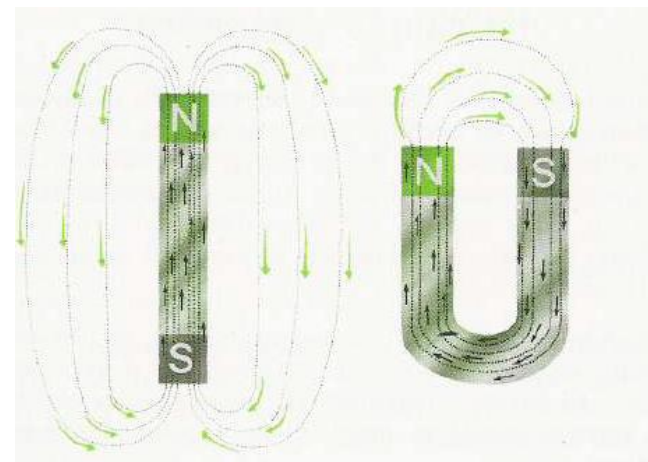
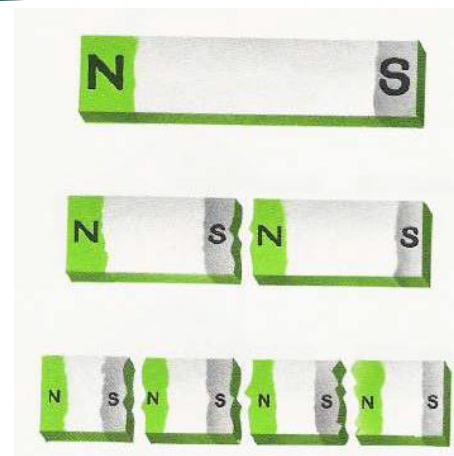
# Magnetismo

- ▶ Como o polo norte de um ímã é atraído para o polo geográfico norte da Terra, o polo magnético sul da Terra está localizado perto do polo geográfico norte e o polo magnético norte da Terra está localizado perto do polo geográfico sul.



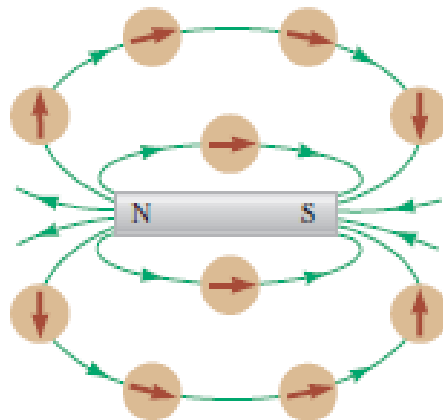
# Outras Propriedades:

- ▶ Sempre haverá Norte e Sul num pedaço de ímã, mesmo que ele seja partido:
- ▶ As linhas de força do campo magnético saem do polo Norte para o Sul, independente do formato:



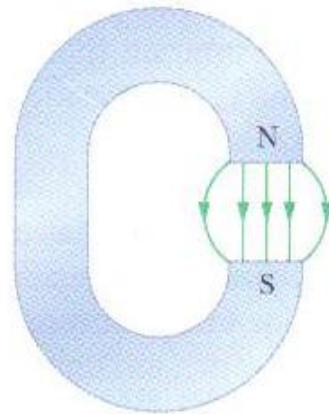
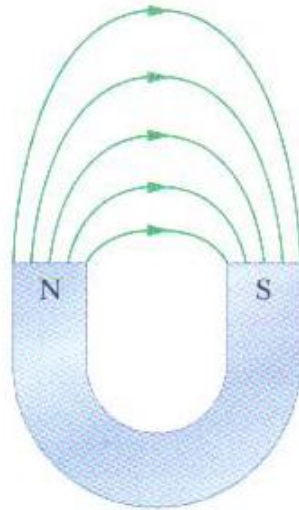
# Campo magnético

- ▶ Na eletrostática, as linhas “nasciam” numa carga, e “morriam” na outra.
- ▶ No campo magnético as linhas são fechadas, “nascem” no polo norte e “morrem” no polo sul, passando por dentro do ímã.



# Campo Magnético

Outros exemplos:

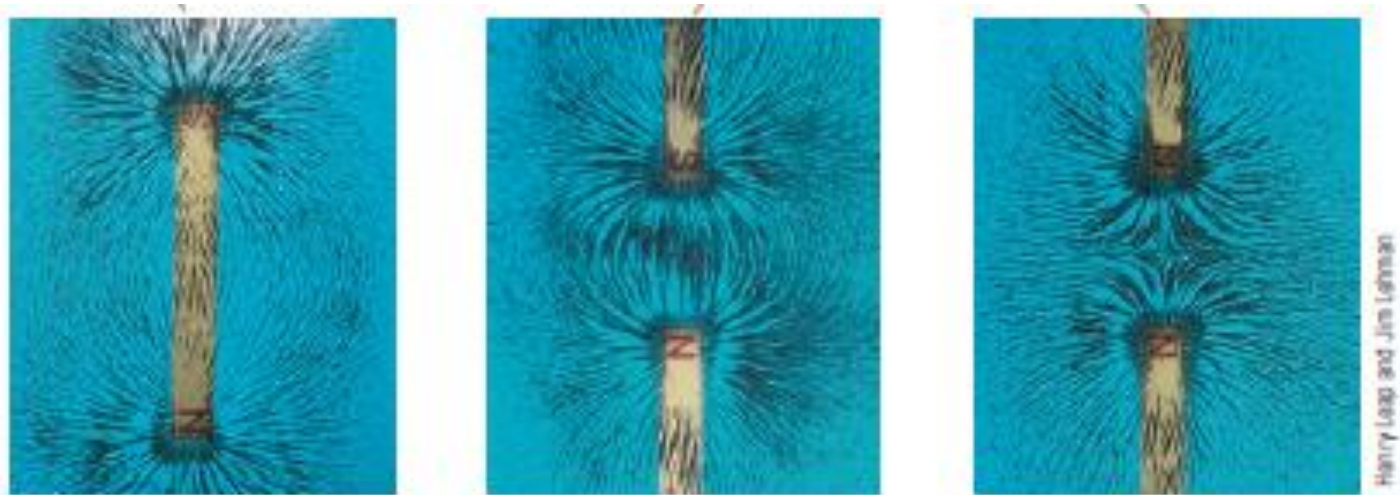


# Monopolo magnético

- ▶ Seria natural pensar que da mesma forma que campo elétrico é produzido por carga elétrica, campo magnético é produzido por carga magnética.
  - ▶ Porém, somente na teoria elas existem! Até o momento não foram observadas cargas magnéticas.
- ▶ Embora a força entre dois polos magnéticos seja semelhante à força entre duas cargas elétricas, as cargas elétricas podem ser isoladas (elétron e o próton), enquanto que um único polo magnético nunca foi isolado.
  - ▶ Polos magnéticos são sempre encontrados em pares, ou seja todos são **dipolos magnéticos**.

# Campo Magnético

- ▶ Campo e linhas de força de atração e repulsão



# Campo Magnético

- ▶ Observando a inexistência de monopolos magnéticos, verificou-se como um campo magnético era gerado.
- ▶ Ele provém de cargas elétricas em movimento.
  - ▶ Num ímã permanente as cargas em movimento são os elétrons nos átomos de ferro que constituem o ímã.
  - ▶ Num eletroímã, uma corrente elétrica num fio, por exemplo.
- ▶ Independente de como foi gerado, o que importa é que existe um campo magnético, que exerce força.

# Campo Magnético

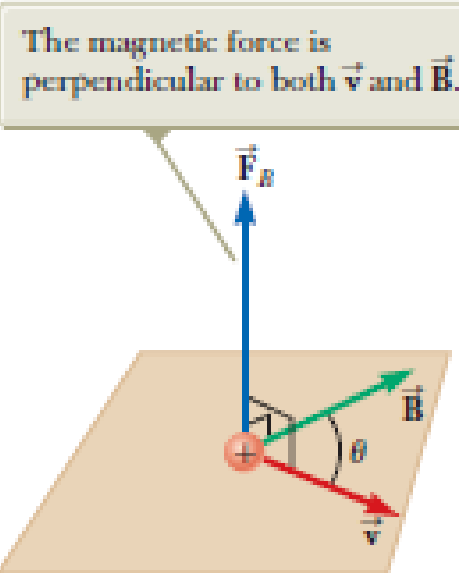
- ▶ O símbolo do campo magnético é o  $\vec{B}$
- ▶ Existem algumas observações do campo magnético em uma partícula de carga  $q$  movendo-se à velocidade  $v$ :
  - ▶ A magnitude  $F_B$  da força magnética exercida sobre a partícula é proporcional à carga  $q$  e à velocidade  $v$  da partícula.
  - ▶ Quando uma partícula carregada se move ( $v$ ) paralelamente ao vetor de campo magnético ( $B$ ), a força magnética que atua sobre a partícula é zero.
  - ▶ Para todas as outras direções de  $v$  o módulo de  $F_B$  é proporcional a  $v \sin\phi$ .
- ▶ Força Magnética  $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$



# Campo Magnético

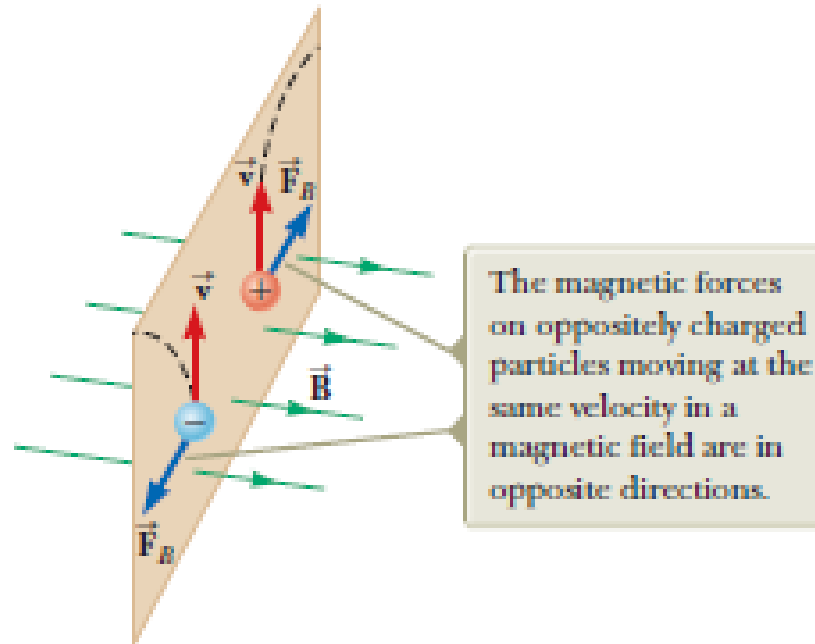
$$F_B = |q|vB \text{ sen } \phi$$

- ▶ A força magnética  $F_B$  sempre atua perpendicularmente ao vetor velocidade  $v$  e ao campo  $B$ .
- ▶ “Regra do tapa”



# Campo Magnético

## ► Força Magnética



- Forças magnéticas em cargas opostas movendo-se na mesma velocidade em um campo magnético tem direções opostas!

# Campo Magnético

- ▶ A unidade do Campo Magnético no S.I. é: TESLA (T)

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{newton}}{(\text{coulomb/segundo})(\text{metro})} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

- ▶ Sendo que em outras épocas, já foi denominado Gauss (G)

$$1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gauss}$$

# Campo Magnético

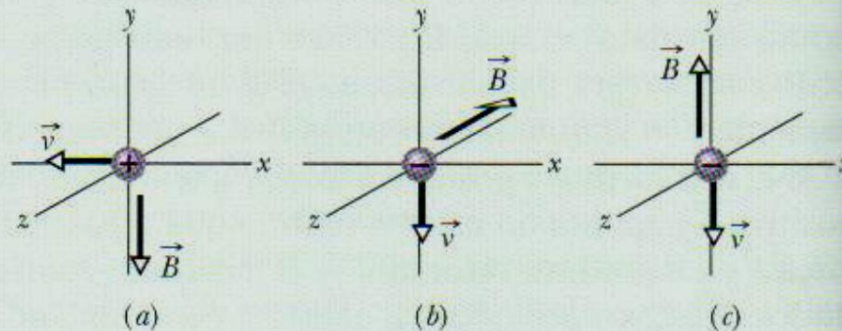
## Alguns Campos Magnéticos

Na superfície de uma estrela de nêutrons	$10^8 \text{ T}$
Perto de um grande eletroímã	$1,5 \text{ T}$
Perto de um ímã pequeno	$10^{-2} \text{ T}$
Na superfície da Terra	$10^{-4} \text{ T}$
No espaço sideral	$10^{-10} \text{ T}$
Em uma sala magneticamente blindada	$10^{-14} \text{ T}$

# Campo Magnético



**TESTE 1** A figura mostra três situações nas quais uma partícula carregada de velocidade  $\vec{v}$  é submetida a um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ . Qual é a direção da força magnética  $\vec{F}_B$  a que a partícula é submetida em cada situação?



# Campo Magnético e Campo Elétrico

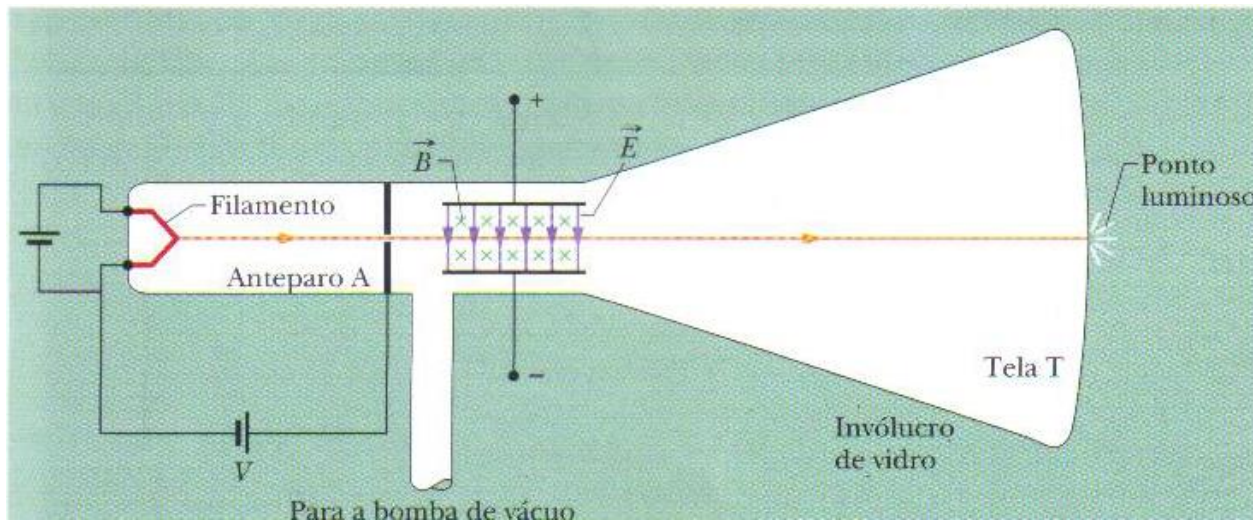
- ▶ Num caso geral, em que temos um campo elétrico,  $E$ , e um campo magnético,  $B$ , a força sobre uma carga em movimento é dada por:

- ▶  $F = F_E + F_B$

- ▶ Força de Lorentz

# Campo Magnético e Campo Elétrico

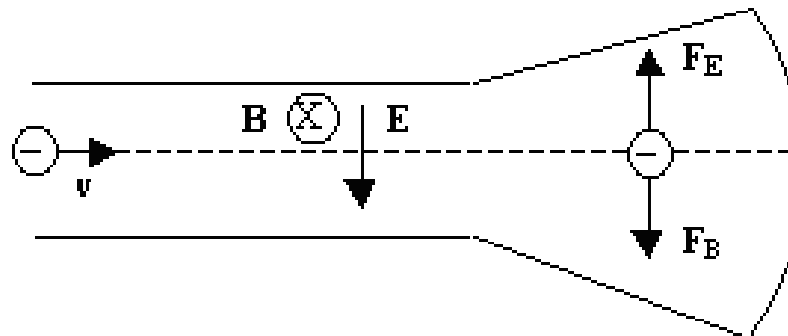
- ▶ Thomson usou a expressão para descobrir o elétron.
- ▶ Inserindo um campo elétrico perpendicular a um campo magnético, para desviar partículas num tubo de raios catódicos.
  - ▶ Campo cruzados



**FIG. 28-7** Uma versão moderna do equipamento usado por J. J. Thomson para medir a razão entre a massa e a carga do elétron. Um campo elétrico  $\vec{E}$  é estabelecido ligando uma bateria aos terminais das placas defletoras. O campo magnético  $\vec{B}$  é criado fazendo passar uma corrente por um conjunto de bobinas (que não aparece na figura). O sentido do campo magnético é para dentro do papel, como mostram as cruzes (que representam as extremidades traseiras de setas).

# Campo Magnético e Campo Elétrico

## ► Campo cruzados



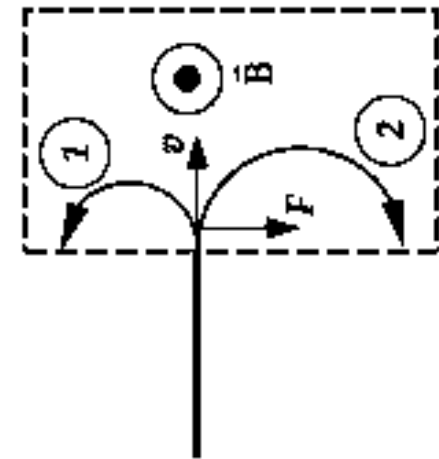
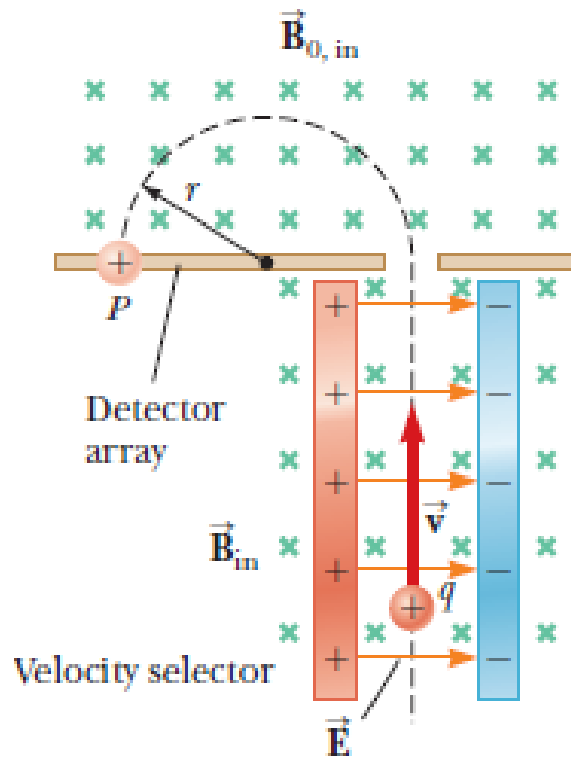
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$|q|E = |q|vB \sin(90^\circ) = |q|vB$$

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



# Campos Cruzados



O experimento mostrou que o campo elétrico e o campo magnético irão sempre desviar em sentidos opostos.

Foi verificado que a trajetória 1 é do elétron, com menor raio, e 2 é do próton, com maior raio!

# Campos cruzados

A deflexão da partícula no momento em que deixa a região entre as placas é dada por

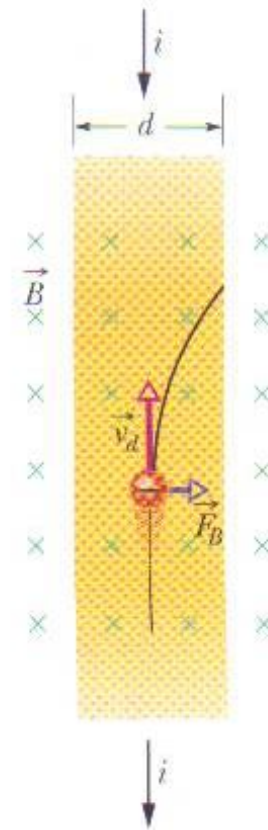
$$y = \frac{|q|EL^2}{2mv^2}, \quad (28-6)$$

$$\frac{m}{|q|} = \frac{B^2L^2}{2yE}, \quad (28-8)$$

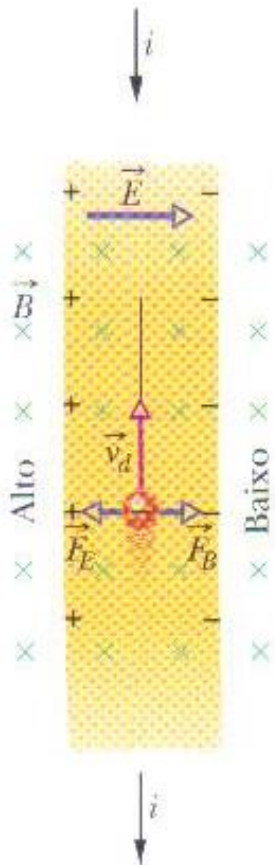
onde todas as grandezas do lado direito são conhecidas. Assim, os campos cruzados permitem medir a razão  $m/|q|$  das partículas que estão sendo investigadas.\*

# Efeito Hall

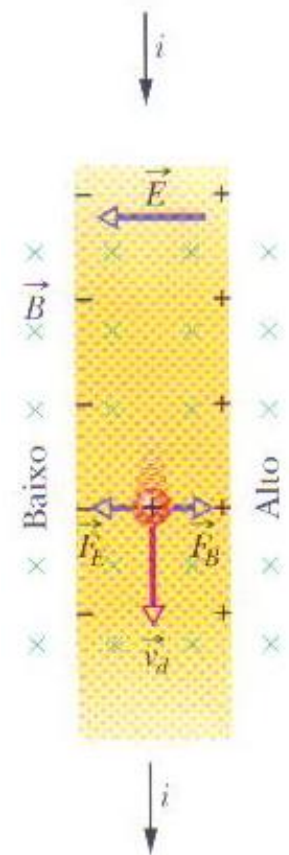
- ▶ O efeito Hall nos permite verificar se os portadores de carga num condutor transportam carga positiva ou negativa.
- ▶ Como?
- ▶ Desviando-os através de um campo magnético.
- ▶ Para o campo  $B$  saindo:



# Efeito Hall



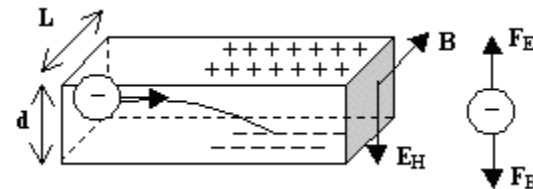
- ▶ Na figura vemos uma tira de cobre, imersa num campo magnético.
- ▶ A interação do campo magnético faz as partículas serem lançadas com uma determinada trajetória em curvatura, e assim, são acumuladas de um lado ou do outro.
- ▶ É gerado um campo elétrico  $E$ .



# Efeito Hall

- ▶ Dessa forma ocorre equilíbrio, e a partícula não é enviada nem para um lado, nem para o outro mais.
- ▶ A trajetória agora será para cima ou para baixo no condutor.
- ▶ O campo elétrico  $E$ , está associado à *diferença de potencial Hall*,  $V$ .

- ▶  $E=V/d$



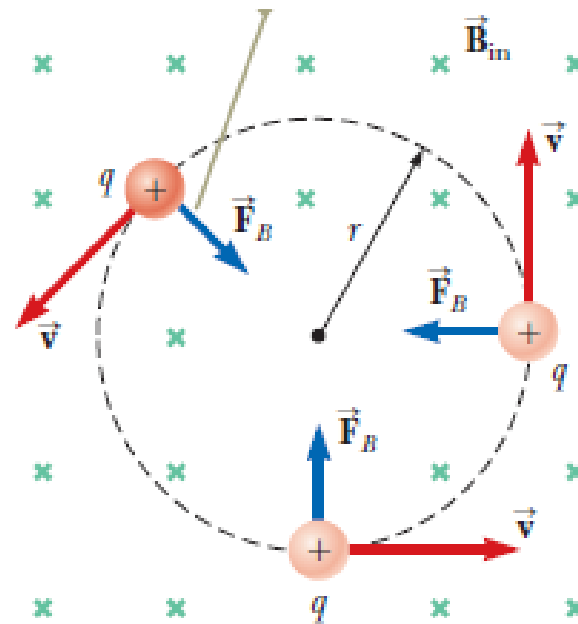
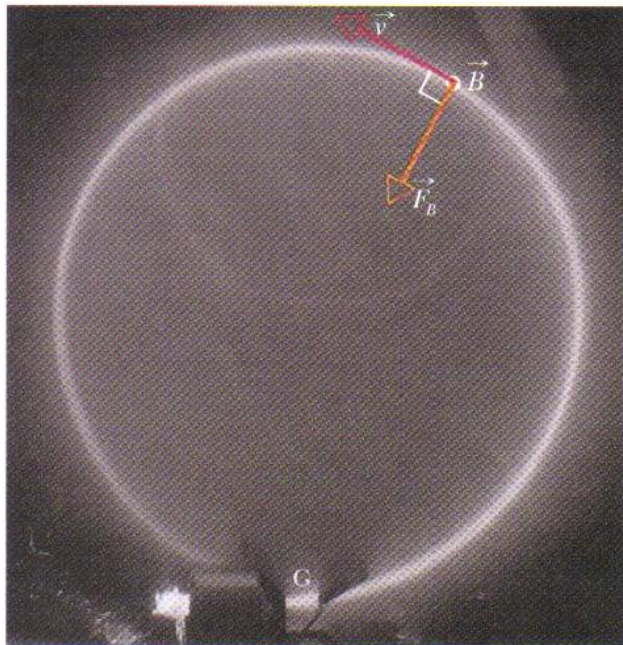
# Efeito Hall

- ▶ Utilizando a fórmula de velocidade de deriva, combinando com a de Hall, podemos chegar à fórmula de determinação de densidade de portadores:

$$n = \frac{Bi}{Vle}$$

- ▶ Exercício

# Movimento Circular de carga



# Movimento Circular da carga

- ▶ A força resultante no movimento circular de uma partícula com velocidade  $v$  constante é sempre apontando para dentro do círculo.

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

$$|q|vB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{|q|B} \quad (\text{raio})$$



# Frequência angular

- Obtenção da frequência angular,  $\omega$ :

O período  $T$  (tempo necessário para completar uma revolução) é igual à distância dividida pela velocidade:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \frac{mv}{|q|B} = \frac{2\pi m}{|q|B} \quad (\text{período}).$$

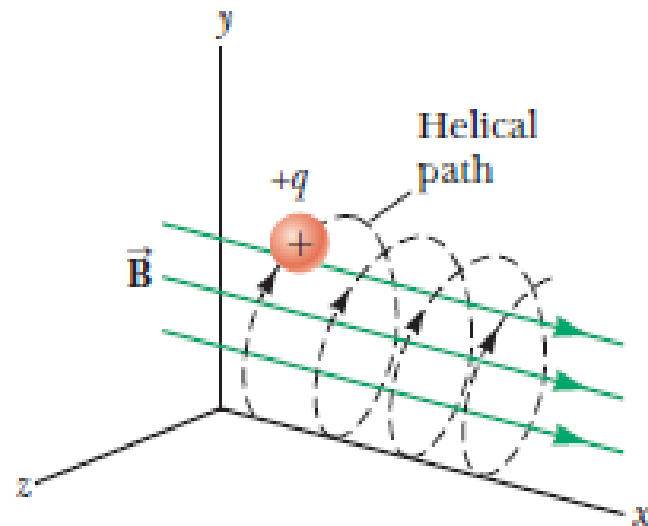
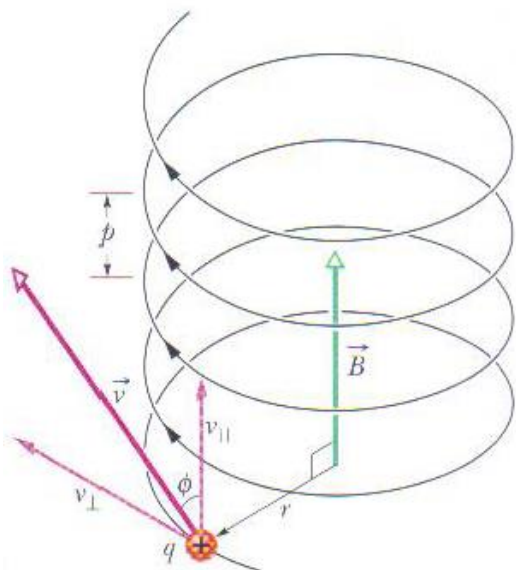
A frequência  $f$  (número de revoluções por segundo) é dada por

$$f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m} \quad (\text{frequência}).$$

A frequência angular do movimento é, portanto,

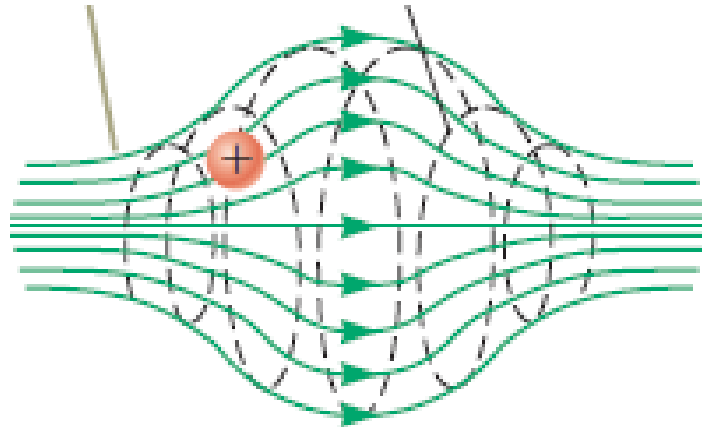
$$\omega = 2\pi f = \frac{|q|B}{m} \quad (\text{frequência angular}).$$

# Trajatórias Helicoidais



# Trajetoória Helicoidal

- ▶ Campo magnético Não uniforme



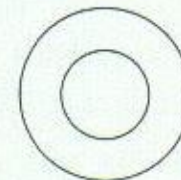
- ▶ A partícula pode ficar aprisionada, espiralando para frente e para trás nas extremidades, visto que a força é para dentro da circunferência.

# Movimento



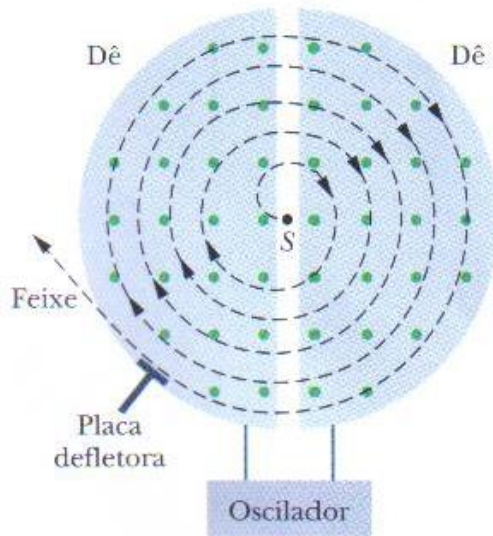
**TESTE 3** A figura mostra as trajetórias circulares de duas partículas que se movem com a mesma velocidade na presença de um campo magnético uniforme  $\vec{B}$  dirigido para dentro do papel. Uma partícula é um próton e a outra é um elétron (que possui uma massa muito menor). (a) Qual das partículas descreve a circunferência menor? (b) Essa partícula se move no sentido horário ou no sentido anti-horário?

$\otimes$   
 $\vec{B}$



# Aceleradores de partículas

## ► Cíclotron



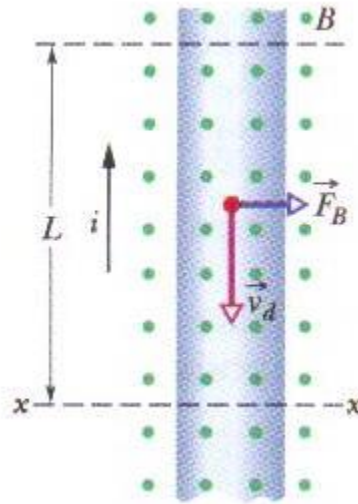
# Cíclotron

- ▶ Através de uma fonte de partículas S, são injetados, por ex., prótons, que se movem na direção de  $\hat{D}$ . O oscilador é capaz de estabelecer  $d\phi$  alternada, e, no momento em que ele troca de sinal, alternadamente, faz com que o próton acelere e espirale para fora na borda de um dos  $\hat{D}$ s do sistema.
- ▶ \*vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=ujN-ojD8qDc>

# Sincrotron

- ▶ Para prótons com energia acima de 50 MeV, o ciclotron convencional já não funciona.
- ▶ Também há a questão de que um próton de 500 GeV num campo de 1,5T necessita de um raio de trajetória de 1,1 km. O custo ficaria “proibitivo”, o tamanho, “descomunal”.
- ▶ O sincrotron resolve ambos problemas.
- ▶ \*vídeo  
[https://www.youtube.com/watch?v=Ntm\\_qNfUJnc](https://www.youtube.com/watch?v=Ntm_qNfUJnc)

# Força magnética em um fio percorrido por uma corrente

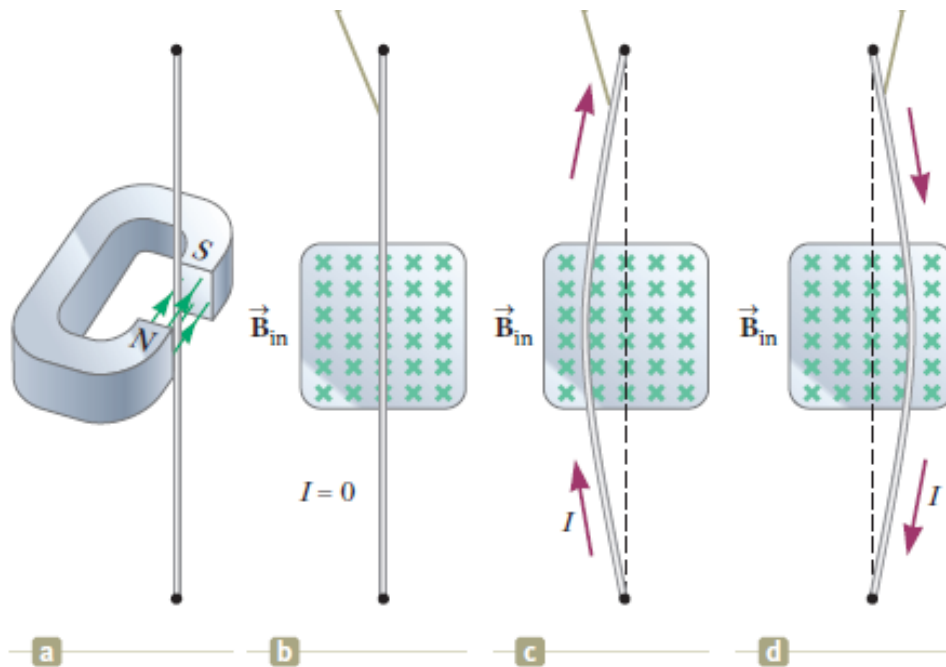


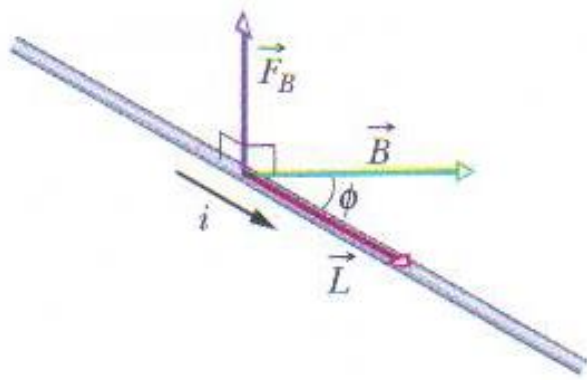
$$F_B = iLB$$

$$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B} \quad (\text{força sobre uma corrente})$$



# Força

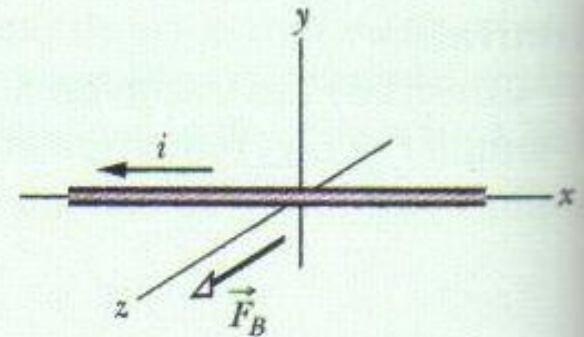




**FIG. 28-19** Um fio percorrido por uma corrente  $i$  faz um ângulo  $\phi$  com um campo magnético  $\vec{B}$ . O fio tem um comprimento  $L$  e um vetor comprimento  $\vec{L}$  (na direção da corrente). Uma força magnética  $\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}$  age sobre o fio.



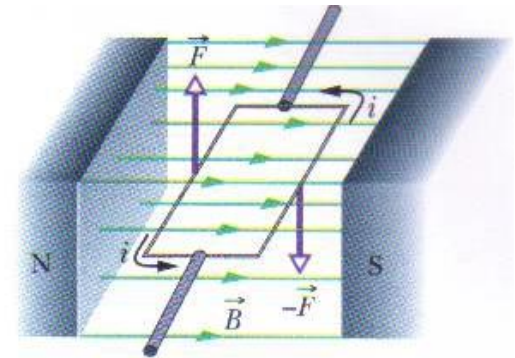
**TESTE 4** A figura mostra um fio, percorrido por uma corrente  $i$  e submetido a um campo magnético  $\vec{B}$ , e também a força magnética  $\vec{F}_B$  que age sobre o fio. Qual deve ser a orientação do campo para que a força seja máxima?



# Torque em uma espira percorrida por uma corrente num campo uniforme

The torque  $\vec{\tau}$  on a current loop placed in a magnetic field  $\vec{B}$  is

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

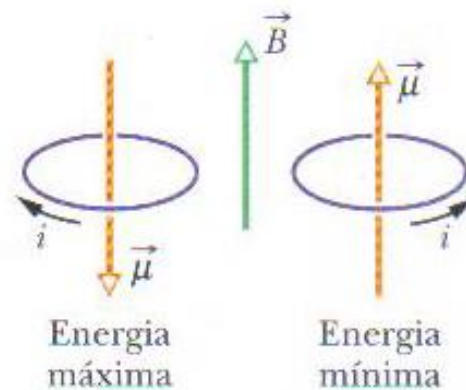


onde  $\vec{\mu}$  é o **momento magnético dipolar** da bobina, de módulo  $\mu = NiA$ , cuja direção é dada pela regra da mão direita.

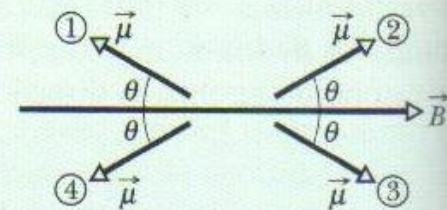
# Energia potencial num Dipolo magnético

The potential energy of the system of a magnetic dipole in a magnetic field is

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



**TESTE 5** A figura mostra quatro orientações de um momento dipolar magnético  $\vec{\mu}$  em relação a um campo magnético  $\vec{B}$ , definidas através de um ângulo  $\theta$ . Coloque as orientações em ordem de acordo (a) com o módulo do torque exercido sobre o dipolo; (b) com a energia potencial do dipolo, começando pelo maior valor.



# Referências Bibliográficas

- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 4ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1996.
- ▶ TIPLER, Paul. Física Volume 2. 5ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- ▶ SEARS E ZEMANSKY, Física 3. São Paulo. Addison Wesley, 2003, v3.
- ▶ HALLIDAY, Resnick. Física 3. 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009.
- ▶ CROWELL, Benjamin. Electricity and Magnetism. California, USA. Ed. Light and Matter, 2002.
- ▶ SERWAY, R.A.& JEWETT, J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 8ª edição. Ed Brooks/Cole Cengage, 2010.
- ▶ ULABY, Fawwaz T. Eletromagnetismo para engenheiros. Porto Alegre/RS. Editora Bookman, 2007. (original da Universidade de Michigan).