

RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

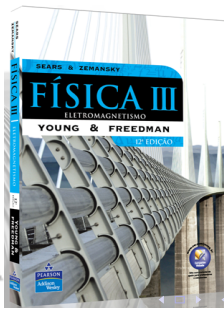
Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo

Autores: Sears e Zemansky

Edição: 12ª

Editora: Pearson - Addison and Wesley

23 de maio de 2011



Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.
- ▶ Qual é a diferença entre as linhas de campo magnético e as linhas de campo elétrico.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.
- ▶ Qual é a diferença entre as linhas de campo magnético e as linhas de campo elétrico.
- ▶ Como analisar o movimento de uma partícula carregada em um campo magnético.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.
- ▶ Qual é a diferença entre as linhas de campo magnético e as linhas de campo elétrico.
- ▶ Como analisar o movimento de uma partícula carregada em um campo magnético.
- ▶ Algumas aplicações práticas de campo magnético em química e física.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.
- ▶ Qual é a diferença entre as linhas de campo magnético e as linhas de campo elétrico.
- ▶ Como analisar o movimento de uma partícula carregada em um campo magnético.
- ▶ Algumas aplicações práticas de campo magnético em química e física.
- ▶ Como analisar as forças magnéticas que atuam sobre condutores que transportam correntes.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ As propriedades dos ímãs e como eles interagem entre si.
- ▶ A natureza da força que um campo magnético exerce sobre uma partícula carregada em movimento.
- ▶ Qual é a diferença entre as linhas de campo magnético e as linhas de campo elétrico.
- ▶ Como analisar o movimento de uma partícula carregada em um campo magnético.
- ▶ Algumas aplicações práticas de campo magnético em química e física.
- ▶ Como analisar as forças magnéticas que atuam sobre condutores que transportam correntes.
- ▶ Como os circuitos de corrente se comportam quando colocados em um campo magnético.

Ímãs permanentes:

- ▶ As interações de ímãs permanentes e de agulhas de bússolas eram explicadas com base em **pólos magnéticos**.

Ímãs permanentes:

- ▶ As interações de ímãs permanentes e de agulhas de bússolas eram explicadas com base em **pólos magnéticos**.
- ▶ Para ímãs permanentes em forma de barra definimos um **pólo norte(N)** e um **pólo sul(S)** em cada uma de suas extremidades.



Ímãs permanentes:

- ▶ As interações de ímãs permanentes e de agulhas de bússolas eram explicadas com base em **pólos magnéticos**.
- ▶ Para ímãs permanentes em forma de barra definimos um **pólo norte(N)** e um **pólo sul(S)** em cada uma de suas extremidades.
- ▶ Os pólos opostos se atraem.

Pólos opostos se atraem



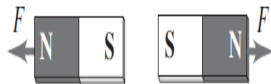
Ímãs permanentes:

- ▶ As interações de ímãs permanentes e de agulhas de bússolas eram explicadas com base em **pólos magnéticos**.
- ▶ Para ímãs permanentes em forma de barra definimos um **pólo norte(N)** e um **pólo sul(S)** em cada uma de suas extremidades.
- ▶ Os pólos opostos se atraem.
- ▶ Os pólos iguais se repelem.

Pólos opostos se atraem



Pólos iguais se repelem



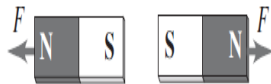
Ímãs permanentes:

- ▶ As interações de ímãs permanentes e de agulhas de bússolas eram explicadas com base em **pólos magnéticos**.
- ▶ Para ímãs permanentes em forma de barra definimos um **pólo norte(N)** e um **pólo sul(S)** em cada uma de suas extremidades.
- ▶ Os pólos opostos se atraem.
- ▶ Os pólos iguais se repelem.

Pólos opostos se atraem

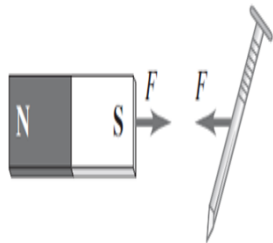
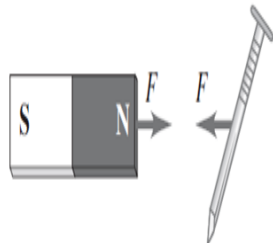
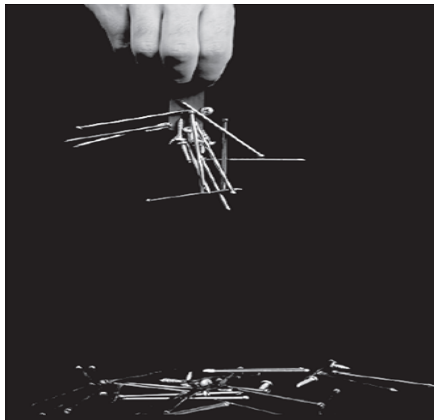


Pólos iguais se repelem



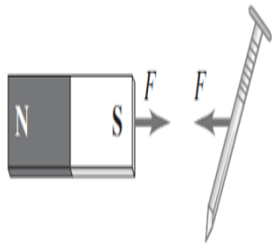
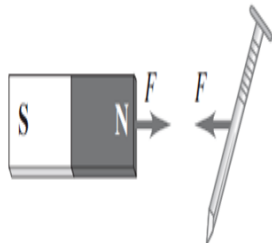
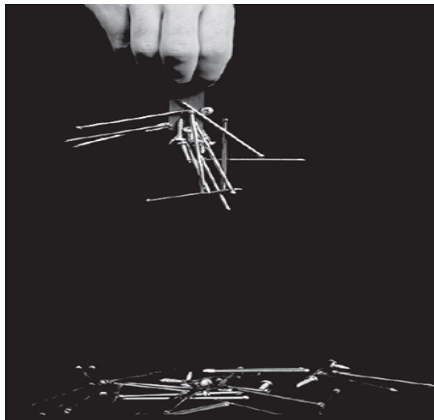
Ímã e metais contendo ferro

- ▶ Um objeto que contém **ferro** porém não imantado, é atraído por qualquer um dos pólos de um ímã permanente.



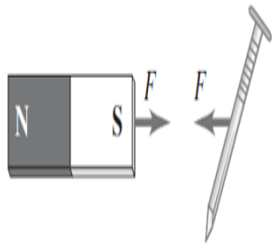
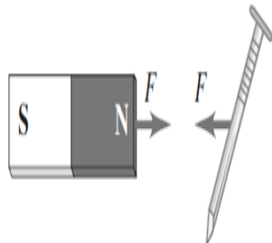
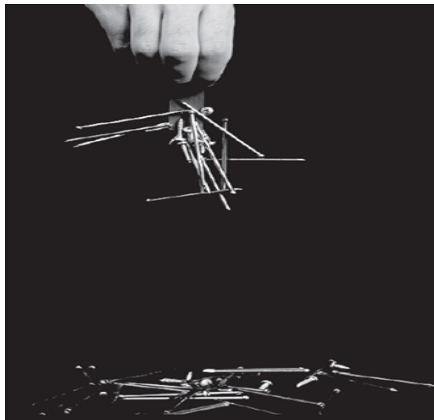
Ímã e metais contendo ferro

- ▶ Um objeto que contém **ferro** porém não imantado, é atraído por qualquer um dos pólos de um ímã permanente.



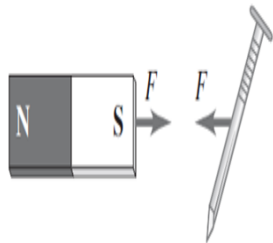
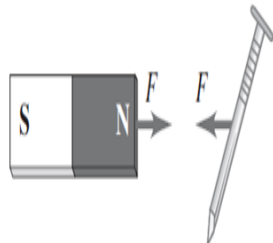
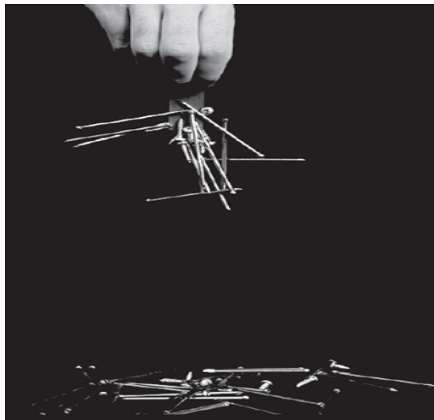
Ímã e metais contendo ferro

- ▶ Um objeto que contém **ferro** porém não imantado, é atraído por qualquer um dos pólos de um ímã permanente.



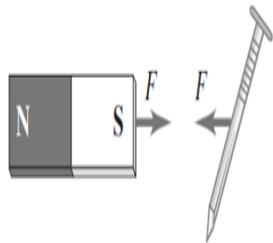
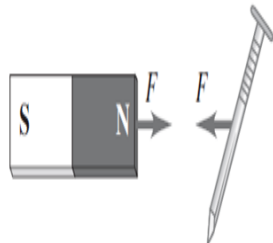
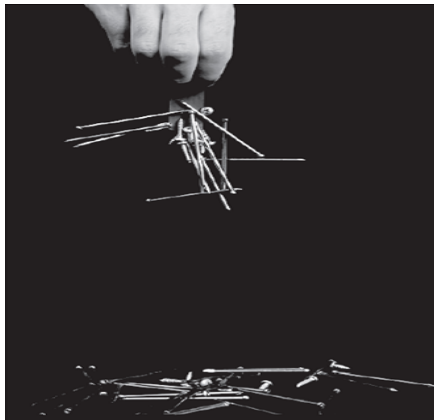
Ímã e metais contendo ferro

- ▶ Um objeto que contém **ferro** porém não imantado, é atraído por qualquer um dos pólos de um ímã permanente.



Ímã e metais contendo ferro

- ▶ Um objeto que contém **ferro** porém não imantado, é atraído por qualquer um dos pólos de um ímã permanente.



Interação com campos magnéticos e o Campo Magnético da Terra

- ▶ Podemos descrever as interações magnéticas com base nas idéias de campo magnético.

Interação com campos magnéticos e o Campo Magnético da Terra

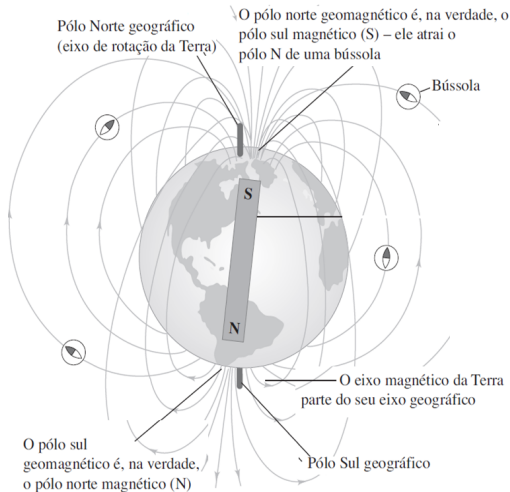
- ▶ Podemos descrever as interações magnéticas com base nas idéias de campo magnético.
- ▶ Um ímã cria um campo magnético no espaço em torno dele e um segundo corpo sofre a ação desse campo.

Interação com campos magnéticos e o Campo Magnético da Terra

- ▶ Podemos descrever as interações magnéticas com base nas idéias de campo magnético.
- ▶ Um ímã cria um campo magnético no espaço em torno dele e um segundo corpo sofre a ação desse campo.
- ▶ A direção do campo em cada ponto é definida pela força que o campo exerceria sobre um pólo norte magnético situado no respectivo ponto.

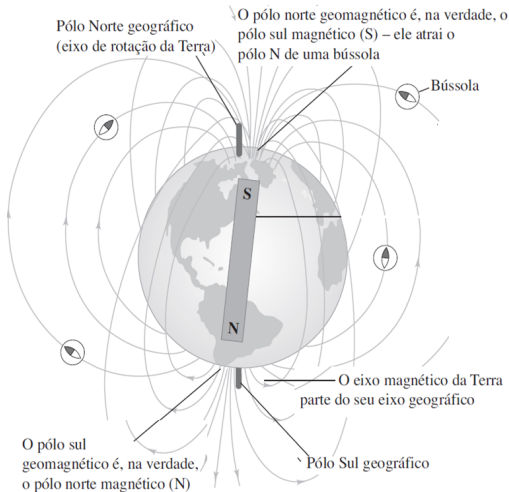
Interação com campos magnéticos e o Campo Magnético da Terra

- ▶ Podemos descrever as interações magnéticas com base nas idéias de campo magnético.
- ▶ Um ímã cria um campo magnético no espaço em torno dele e um segundo corpo sofre a ação desse campo.
- ▶ A direção do campo em cada ponto é definida pela força que o campo exerceria sobre um pólo norte magnético situado no respectivo ponto.
- ▶ A Terra é um ímã. Seu Pólo Norte geográfico está próximo do pólo sul magnético. Polo norte de uma agulha de bússola aponta sempre para o norte.



Interação com campos magnéticos e o Campo Magnético da Terra

- ▶ Podemos descrever as interações magnéticas com base nas idéias de campo magnético.
- ▶ Um ímã cria um campo magnético no espaço em torno dele e um segundo corpo sofre a ação desse campo.
- ▶ A direção do campo em cada ponto é definida pela força que o campo exerceria sobre um pólo norte magnético situado no respectivo ponto.
- ▶ A Terra é um ímã. Seu Pólo Norte geográfico está próximo do pólo sul magnético. Polo norte de uma agulha de bússola aponta sempre para o norte.



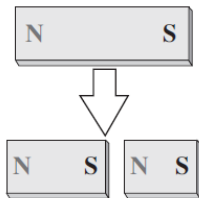
Pólos magnético versus carga elétrica

O conceito de pólo magnético pode parecer semelhante ao conceito de carga elétrica, no entanto:

- ▶ Embora exista cargas negativas e positivas isoladas.

Ao contrário das cargas elétricas, os pólos magnéticos sempre se formam em pares e não podem ser isolados.

Quebrar um ímã em duas partes...



... produz dois ímãs,
não dois pólos isolados.

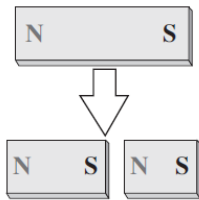
Pólos magnético versus carga elétrica

O conceito de pólo magnético pode parecer semelhante ao conceito de carga elétrica, no entanto:

- ▶ Embora exista cargas negativas e positivas isoladas.
- ▶ **Não existem evidências experimentais de pólos magnéticos isolados.**

Ao contrário das cargas elétricas, os pólos magnéticos sempre se formam em pares e não podem ser isolados.

Quebrar um ímã em duas partes...



... produz dois ímãs,
não dois pólos isolados.

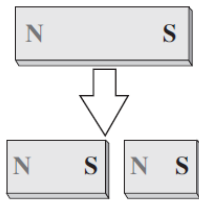
Pólos magnético versus carga elétrica

O conceito de pólo magnético pode parecer semelhante ao conceito de carga elétrica, no entanto:

- ▶ Embora exista cargas negativas e positivas isoladas.
- ▶ **Não existem evidências experimentais de pólos magnéticos isolados.**
- ▶ **Os pólos magnéticos sempre existem formando pares.**

Ao contrário das cargas elétricas, os pólos magnéticos sempre se formam em pares e não podem ser isolados.

Quebrar um ímã em duas partes...



... produz dois ímãs,
não dois pólos isolados.

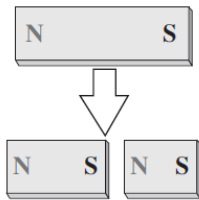
Pólos magnético versus carga elétrica

O conceito de pólo magnético pode parecer semelhante ao conceito de carga elétrica, no entanto:

- ▶ Embora exista cargas negativas e positivas isoladas.
- ▶ **Não existem evidências experimentais de pólos magnéticos isolados.**
- ▶ **Os pólos magnéticos sempre existem formando pares.**
- ▶ Pólos magnéticos isolados(Monopolo magnético), teria conseqüências importantes para a física teórica.

Ao contrário das cargas elétricas, os pólos magnéticos sempre se formam em pares e não podem ser isolados.

Quebrar um ímã em duas partes...



... produz dois ímãs,
não dois pólos isolados.

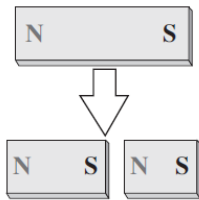
Pólos magnético versus carga elétrica

O conceito de pólo magnético pode parecer semelhante ao conceito de carga elétrica, no entanto:

- ▶ Embora exista cargas negativas e positivas isoladas.
- ▶ **Não existem evidências experimentais de pólos magnéticos isolados.**
- ▶ **Os pólos magnéticos sempre existem formando pares.**
- ▶ Pólos magnéticos isolados(Monopolo magnético), teria conseqüências importantes para a física teórica.

Ao contrário das cargas elétricas, os pólos magnéticos sempre se formam em pares e não podem ser isolados.

Quebrar um ímã em duas partes...



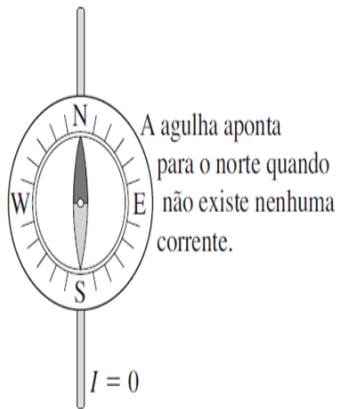
... produz dois ímãs,
não dois pólos isolados.

Capítulo 27 - Campo Magnético e Forças Magnéticas

└ Magnetismo

Magnetismo e Movimento de cargas

Em 1819 H. C. Oersted obteve evidencia experimental entre magnetismo e o movimento de cargas:

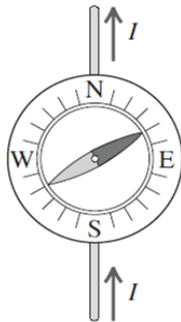


Magnetismo e Movimento de cargas

Em 1819 H. C. Oersted obteve evidencia experimental entre magnetismo e o movimento de cargas:

- ▶ A agulha de uma bússola era desviada por um fio conduzindo uma corrente elétrica.

A agulha oscila quando existe uma corrente.

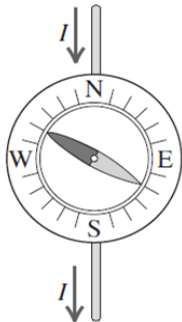


Magnetismo e Movimento de cargas

Em 1819 H. C. Oersted obteve evidencia experimental entre **magnetismo** e o **movimento de cargas**:

- ▶ *A agulha de uma bússola era desviada por um fio conduzindo uma corrente elétrica.*
- ▶ O movimento de um ímã nas vizinhanças de uma espira condutora pode produzir corrente elétrica na espira.

O sentido da oscilação depende do sentido da corrente.



Magnetismo e Movimento de cargas

Em 1819 H. C. Oersted obteve evidencia experimental entre **magnetismo** e o **movimento de cargas**:

- ▶ *A agulha de uma bússola era desviada por um fio conduzindo uma corrente elétrica.*
- ▶ *O movimento de um ímã nas vizinhanças de uma espira condutora pode produzir corrente elétrica na espira.*
- ▶ *No interior de um corpo imantado(ímã permanente), existe um movimento *coordenado* de alguns elétrons dos átomos.*

Magnetismo e Movimento de cargas

Em 1819 H. C. Oersted obteve evidencia experimental entre magnetismo e o movimento de cargas:

- ▶ *A agulha de uma bússola era desviada por um fio conduzindo uma corrente elétrica.*
- ▶ *O movimento de um ímã nas vizinhanças de uma espira condutora pode produzir corrente elétrica na espira.*
- ▶ No interior de um corpo imantado(ímã permanente), existe um movimento *coordenado* de alguns elétrons dos átomos.
- ▶ No interior de um corpo não imantado o movimentos dos elétrons **não são coordenados**.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
 2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.
- ▶ Tal como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
 2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.
- ▶ Tal como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial.
 - ▶ Em cada ponto do espaço, possui um módulo, direção e sentido.

Descrevemos as **interações elétricas** em duas etapas:

1. Uma distribuição de cargas elétricas em repouso cria um campo elétrico \vec{E} no espaço em torno da distribuição.
2. O campo elétrico exerce uma força $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre qualquer carga q que esteja presente no campo.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
 2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.
- ▶ Tal como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial.
 - ▶ Em cada ponto do espaço, possui um módulo, direção e sentido.
 - ▶ Vamos usar o símbolo \vec{B} para designar um campo magnético.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
 2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.
- ▶ Tal como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial.
 - ▶ Em cada ponto do espaço, possui um módulo, direção e sentido.
 - ▶ Vamos usar o símbolo \vec{B} para designar um campo magnético.
 - ▶ Em cada ponto, a direção é o da agulha de uma bússola, e o sentido aponta para o norte da agulha.

Descreveremos as **interações magnéticas** em duas etapas:

1. Uma carga móvel ou uma corrente elétrica cria um **campo magnético** em suas vizinhas (além do campo elétrico).
2. O campo magnético exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo.
 - ▶ Tal como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial.
 - ▶ Em cada ponto do espaço, possui um módulo, direção e sentido.
 - ▶ Vamos usar o símbolo \vec{B} para designar um campo magnético.
 - ▶ Em cada ponto, a direção é o da agulha de uma bússola, e o sentido aponta para o norte da agulha.

Considere um certo campo magnético no espaço, qual é a força que ele exerce sobre uma corrente ou sobre uma carga que se move?

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).
4. **Não possui a mesma direção do campo magnético \vec{B} .**

Está sempre em uma direção perpendicular à direção de \vec{B} e à direção de \vec{v} .

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).
4. **Não possui a mesma direção do campo magnético \vec{B} .**

Está sempre em uma direção perpendicular à direção de \vec{B} e à direção de \vec{v} .

Essas características, podem ser resumidas matematicamente por:

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

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).
4. **Não possui a mesma direção do campo magnético \vec{B} .**

Está sempre em uma direção perpendicular à direção de \vec{B} e à direção de \vec{v} .

Essas características, podem ser resumidas matematicamente por:

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

- ▶ O sentido é dado pela regra da mão direita.

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).
4. **Não possui a mesma direção do campo magnético \vec{B} .**

Está sempre em uma direção perpendicular à direção de \vec{B} e à direção de \vec{v} .

Essas características, podem ser resumidas matematicamente por:

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

- ▶ O sentido é dado pela regra da mão direita.
- ▶ O módulo dessa força é dada por: $F = |q|vB \sin \phi = |q|vB_{\perp} = |q|v_{\perp}B$.

Forças magnéticas sobre cargas em movimento

As 4 principais características da **força magnética** sobre uma carga em movimento em um **campo magnético** são:

1. É proporcional ao módulo da carga, q , da partícula ($F \sim q$).
2. É proporcional ao módulo do campo magnético, \vec{B} ($F \sim B$).
3. É proporcional a velocidade, \vec{v} , da partícula ($F \sim v$).
4. **Não possui a mesma direção do campo magnético \vec{B} .**

Está sempre em uma direção perpendicular à direção de \vec{B} e à direção de \vec{v} .

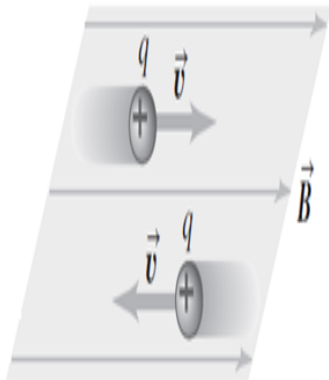
Essas características, podem ser resumidas matematicamente por:

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

- ▶ O sentido é dado pela regra da mão direita.
- ▶ O módulo dessa força é dada por: $F = |q|vB \sin \phi = |q|vB_{\perp} = |q|v_{\perp}B$.
- ▶ No S.I. a unidade de B é a mesma que a unidade de $\frac{F}{qv}$ assim,
 $1 \text{ tesla} = 1 T = 1 \frac{Ns}{Cm} = 1 \frac{N}{Am}$.

- ▶ A força magnética será nula quando \vec{v} e \vec{B} forem paralelos.

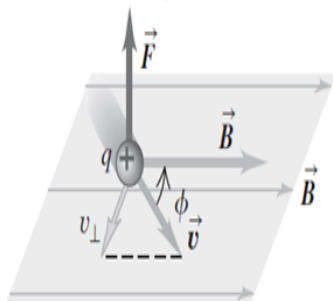
$$F = qvB \sin(\phi) = qvB \sin(0) = 0$$



- ▶ A força magnética não será nula quando, \vec{v} e \vec{B} formarem um ângulo $\phi \neq 0$

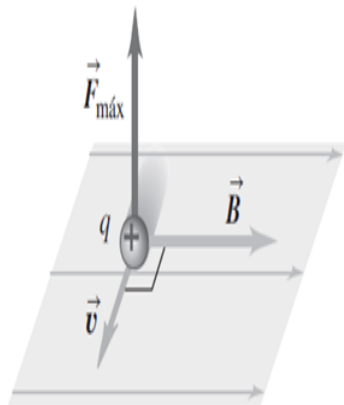
$$F = qvB \sin(\phi)$$

\vec{F} é perpendicular ao plano
que contém \vec{v} e \vec{B} .



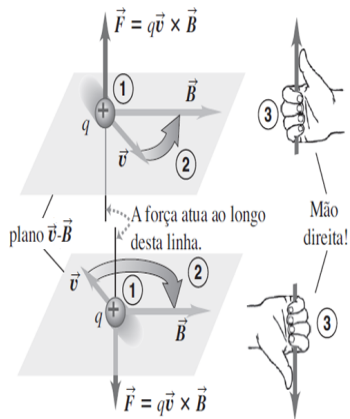
- ▶ A força magnética será máxima quando, \vec{v} e \vec{B} formarem um perpendicular $\phi = \pi/2$

$$F = qvB \sin(\pi/2) = qvB$$



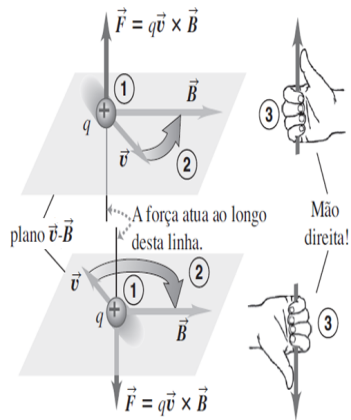
Regra da Mão Direita

- ▶ Coloque \vec{v} e \vec{B} com as origens no mesmo ponto.



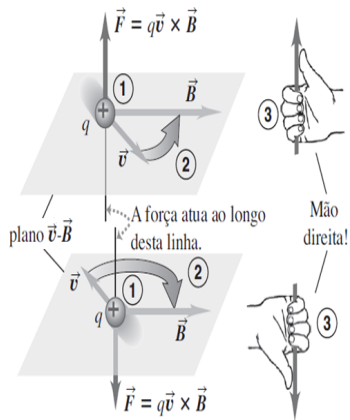
Regra da Mão Direita

- ▶ Coloque \vec{v} e \vec{B} com as origens no mesmo ponto.
- ▶ Imagine a rotação de \vec{v} para \vec{B} no plano $\vec{v} - \vec{B}$ (**Menor ângulo**).



Regra da Mão Direita

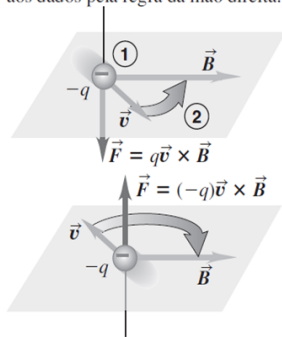
- ▶ Coloque \vec{v} e \vec{B} com as origens no mesmo ponto.
- ▶ Imagine a rotação de \vec{v} para \vec{B} no plano $\vec{v} - \vec{B}$ (**Menor ângulo**).
- ▶ A força atua ao longo da linha perpendicular ao plano. Gire sua mão de \vec{v} para \vec{B} e o seu polegar apontará o sentido da força.



Regra da Mão Direita

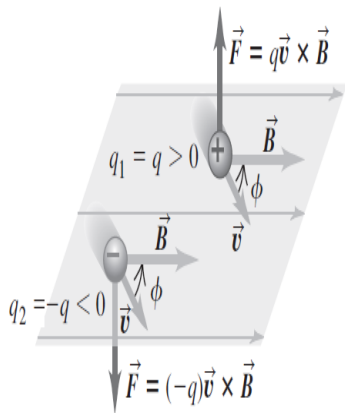
- ▶ Coloque \vec{v} e \vec{B} com as origens no mesmo ponto.
- ▶ Imagine a rotação de \vec{v} para \vec{B} no plano $\vec{v} - \vec{B}$ (**Menor ângulo**).
- ▶ A força atua ao longo da linha perpendicular ao plano. Gire sua mão de \vec{v} para \vec{B} e o seu polegar apontará o sentido da força.

Se a carga for negativa, a direção e o sentido da força serão *opostos* aos dados pela regra da mão direita.



Regra da Mão Direita

- ▶ Coloque \vec{v} e \vec{B} com as origens no mesmo ponto.
- ▶ Imagine a rotação de \vec{v} para \vec{B} no plano $\vec{v} - \vec{B}$ (**Menor ângulo**).
- ▶ A força atua ao longo da linha perpendicular ao plano. Gire sua mão de \vec{v} para \vec{B} e o seu polegar apontará o sentido da força.
- ▶ **Cargas positivas e negativas** que se movem na **mesma direção e sentido** através de um campo magnético sofrem **forças magnéticas nos sentidos contrários**.



Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Para medir um campo magnético, \vec{B} , podemos medir o módulo, direção e sentido da força que atua em uma carga de teste q_0 usando a equação, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$:

Medição de campos magnéticos com cargas de teste

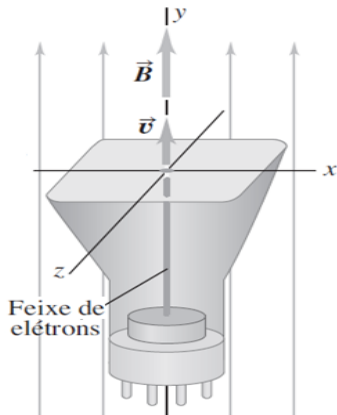
Para medir um campo magnético, \vec{B} , podemos medir o módulo, direção e sentido da força que atua em uma carga de teste q_0 usando a equação, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$:

- ▶ Quando um campo magnético está presente em geral um feixe de elétrons se desvia.

Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Para medir um campo magnético, \vec{B} , podemos medir o módulo, direção e sentido da força que atua em uma carga de teste q_0 usando a equação, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$:

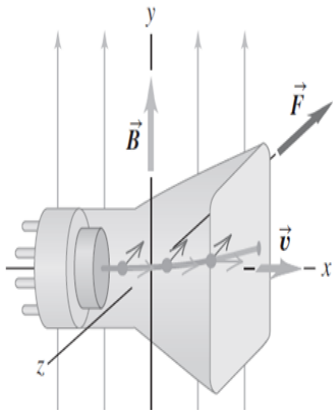
- ▶ Quando um campo magnético está presente em geral um feixe de elétrons se desvia.
- ▶ Quando \vec{v} é paralelo ou anti-paralelo ao campo \vec{B} , então, $\phi = 0, \pi$ e $F = 0$.



Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Para medir um campo magnético, \vec{B} , podemos medir o módulo, direção e sentido da força que atua em uma carga de teste q_0 usando a equação, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$:

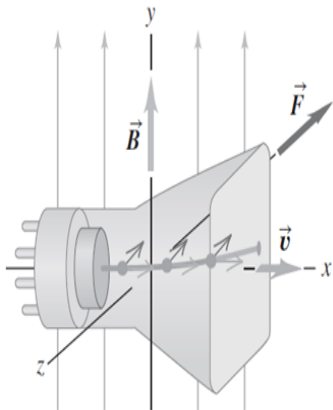
- ▶ Quando um campo magnético está presente em geral um feixe de elétrons se desvia.
- ▶ Quando \vec{v} é paralelo ou anti-paralelo ao campo \vec{B} , então, $\phi = 0, \pi$ e $F = 0$.
- ▶ **Então, se um feixe de elétrons não é desviado o campo magnético aponta nesta direção.**
- ▶ Se girarmos o feixe de $\phi = \pi/2$ então a força magnética tem seu valor máximo, e o feixe é desviado ao longo de uma direção perpendicular ao plano de \vec{B} e de \vec{v} .



Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Para medir um campo magnético, \vec{B} , podemos medir o módulo, direção e sentido da força que atua em uma carga de teste q_0 usando a equação, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$:

- ▶ Quando um campo magnético está presente em geral um feixe de elétrons se desvia.
- ▶ Quando \vec{v} é paralelo ou anti-paralelo ao campo \vec{B} , então, $\phi = 0, \pi$ e $F = 0$.
- ▶ Então, se um feixe de elétrons não é desviado o campo magnético aponta nesta direção.
- ▶ Se girarmos o feixe de $\phi = \pi/2$ então a força magnética tem seu valor máximo, e o feixe é desviado ao longo de uma direção perpendicular ao plano de \vec{B} e de \vec{v} .
- ▶ Então, o módulo e o sentido do desvio determinam o módulo e o sentido do vetor \vec{B} .



Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Quando uma partícula carregada se move em uma região do espaço onde existe *simultaneamente* um **campo elétrico**, \vec{E} , e um **campo magnético**, \vec{B} , a força resultante é a soma vetorial das duas forças dada por:

Medição de campos magnéticos com cargas de teste

Quando uma partícula carregada se move em uma região do espaço onde existe *simultaneamente* um **campo elétrico**, \vec{E} , e um **campo magnético**, \vec{B} , a força resultante é a soma vetorial das duas forças dada por:

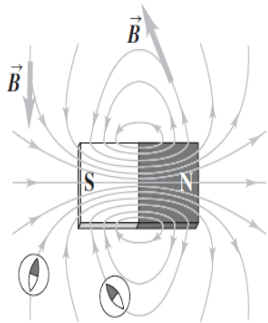
$$\vec{F}_R = \vec{F}_E + \vec{F}_M$$

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

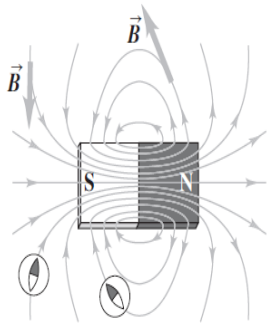
$$\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B}$$

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

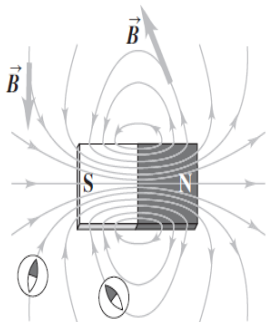
- Podemos expressar qualquer campo magnético pelas **linhas de campo magnético**.



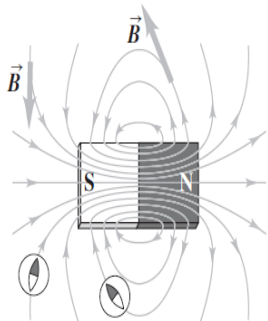
- ▶ Podemos expressar qualquer campo magnético pelas **linhas de campo magnético**.
- ▶ Em cada ponto, a linha do campo magnético é tangente ao vetor do campo magnético \vec{B} .



- ▶ Podemos expressar qualquer campo magnético pelas **linhas de campo magnético**.
- ▶ Em cada ponto, a linha do campo magnético é tangente ao vetor do campo magnético \vec{B} .
- ▶ **Quanto mais compactadas forem as linhas do campo, mais intenso será o campo neste ponto.**
- ▶ **Em cada ponto, as linhas de campo apontam no mesmo sentido que uma bússola apontaria, logo, apontam para fora dos pólos N e para dentro dos pólos S.**

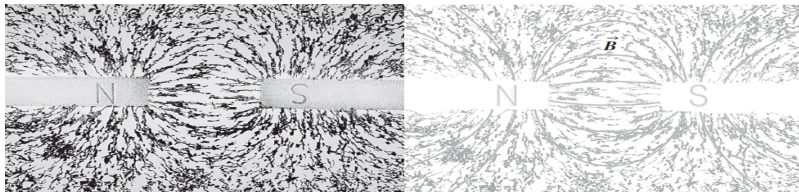
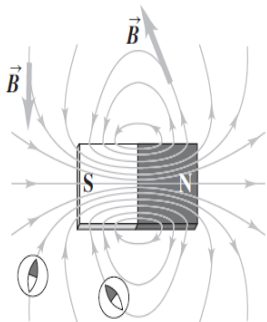


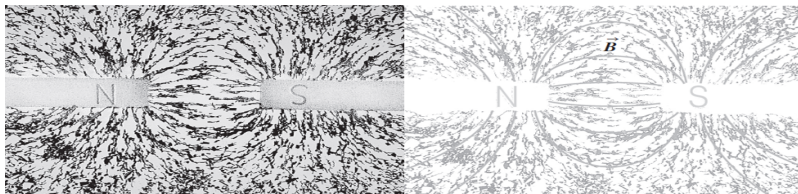
- ▶ Podemos expressar qualquer campo magnético pelas **linhas de campo magnético**.
- ▶ Em cada ponto, a linha do campo magnético é tangente ao vetor do campo magnético \vec{B} .
- ▶ Quanto mais compactadas forem as linhas do campo, mais intenso será o campo neste ponto.
- ▶ Em cada ponto, as linhas de campo apontam no mesmo sentido que uma bússola apontaria, logo, apontam para fora dos pólos N e para dentro dos pólos S.
- ▶ Como \vec{B} só pode ter uma direção e um sentido em cada ponto, concluímos que duas linhas de campo não podem se cruzar.



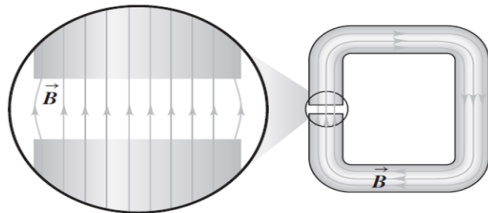
└ Linhas do campo magnético e fluxo magnético

- ▶ Podemos expressar qualquer campo magnético pelas **linhas de campo magnético**.
- ▶ Em cada ponto, a linha do campo magnético é tangente ao vetor do campo magnético \vec{B} .
- ▶ **Quanto mais compactadas forem as linhas do campo, mais intenso será o campo neste ponto.**
- ▶ **Em cada ponto, as linhas de campo apontam no mesmo sentido que uma bússola apontaria, logo, apontam para fora dos pólos N e para dentro dos pólos S.**
- ▶ Como \vec{B} só pode ter uma direção e um sentido em cada ponto, **concluimos que duas linhas de campo não podem se cruzar.**

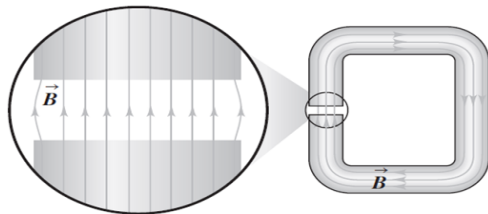




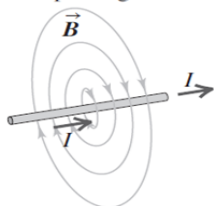
Entre pólos magnéticos planos e paralelos, o campo magnético é praticamente uniforme.



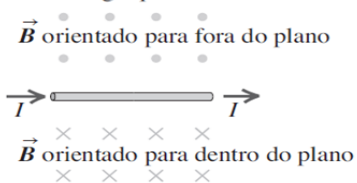
Entre pólos magnéticos planos e paralelos, o campo magnético é praticamente uniforme.



Campo magnético de um fio retilíneo longo que conduz uma corrente

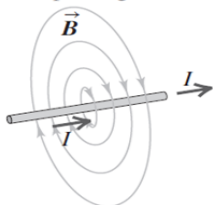


Vista em perspectiva



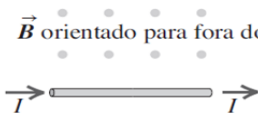
Fio no plano do papel

Campo magnético de um fio retilíneo longo que conduz uma corrente

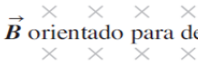


Vista em perspectiva

\vec{B} orientado para fora do plano

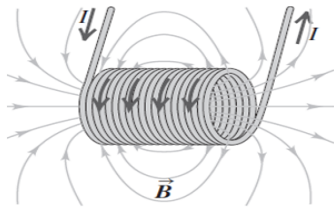
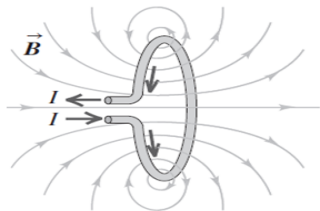


\vec{B} orientado para dentro do plano



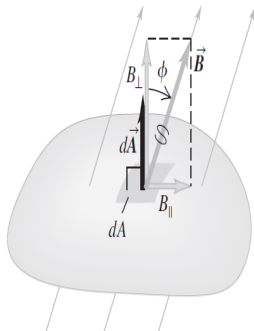
Fio no plano do papel

Campos magnéticos de uma espira circular e uma bobina cilíndrica (solenóide) que conduzem uma corrente



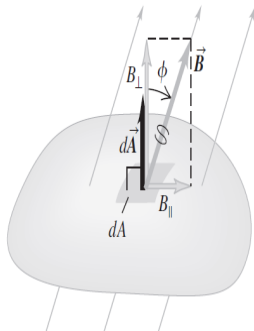
Fluxo magnético e lei de Gauss para o magnetismo

- ▶ O **fluxo magnético**, Φ_B através de uma superfície é definido de forma análoga à descrição do fluxo elétrico e está relacionada à lei de Gauss.



Fluxo magnético e lei de Gauss para o magnetismo

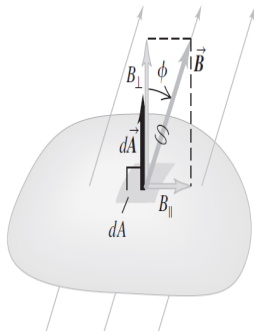
- ▶ O **fluxo magnético**, Φ_B através de uma superfície é definido de forma análoga à descrição do fluxo elétrico e está relacionada à lei de Gauss.
- ▶ Podemos dividir qualquer superfície em elementos de área dA .



Fluxo magnético e lei de Gauss para o magnetismo

- ▶ O **fluxo magnético**, Φ_B através de uma superfície é definido de forma análoga à descrição do fluxo elétrico e está relacionada à lei de Gauss.
- ▶ Podemos dividir qualquer superfície em elementos de área dA .
- ▶ Para cada elemento determinamos $B_{\perp} = B \cos \phi$, onde ϕ é o ângulo entre a direção de \vec{B} e a normal à superfície no ponto.
- ▶ Definiremos o elemento de fluxo magnético $d\Phi_B$ por:

$$d\Phi_B = B_{\perp} dA = B \cos \phi dA = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$



- ▶ O **fluxo magnético**, Φ_B através de uma superfície é definido de forma análoga à descrição do fluxo elétrico e está relacionada à lei de Gauss.
- ▶ Podemos dividir qualquer superfície em elementos de área dA .
- ▶ Para cada elemento determinamos $B_{\perp} = B \cos \phi$, onde ϕ é o ângulo entre a direção de \vec{B} e a normal à superfície no ponto.
- ▶ Definiremos o elemento de fluxo magnético $d\Phi_B$ por:

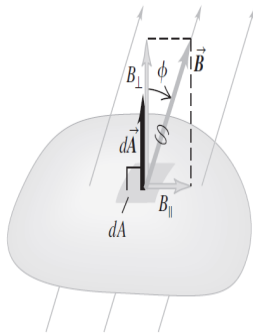
$$d\Phi_B = B_{\perp} dA = B \cos \phi dA = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

O fluxo total através de um superfície será:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

O fluxo total através de um superfície fechada, pode ser obtido em analogia a Lei de Gauss da eletrostática e assim teremos:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = Q_{liq}^M$$



O fluxo total através de um superfície será:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

O fluxo total através de um superfície fechada, pode ser obtido em analogia a Lei de Gauss da eletrostática e assim teremos:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Lei de Gauss do Magnetismo.

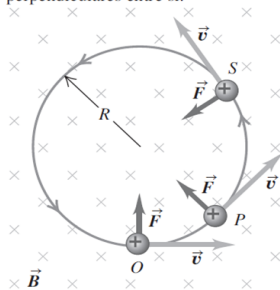
Movimento de partículas carregadas em um campo magnético.

- ▶ A força magnética é a força resultante que aponta para o centro da trajetória, portanto, está é igual à força centrípeta e assim,

$$F = qvB = m \frac{v^2}{R}$$

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

Uma carga que forma ângulos retos em relação a um campo uniforme \vec{B} se move a uma velocidade escalar constante, porque \vec{F} e \vec{v} são sempre perpendiculares entre si.



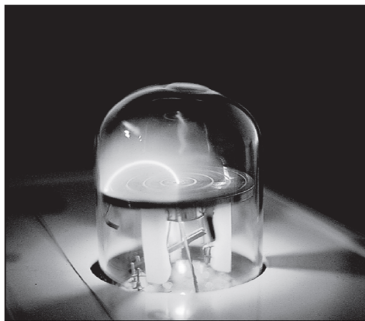
Movimento de partículas carregas em um campo magnético.

- ▶ A força magnética é a força resultante que aponta para o centro da trajetória, portanto, está é igual à força centrípeta e assim,

$$F = qvB = m \frac{v^2}{R}$$

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

Um feixe de elétrons (indicado por um arco luminoso) se curva em um campo magnético



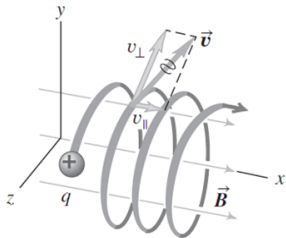
Movimento de partículas carregadas em um campo magnético.

- ▶ A força magnética é a força resultante que aponta para o centro da trajetória, portanto, está é igual à força centrípeta e assim,

$$F = qvB = m \frac{v^2}{R}$$

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

Quando a velocidade de uma partícula carregada possui um componente paralelo (v_{\parallel}) e um componente perpendicular (v_{\perp}) à direção de um campo magnético uniforme, a partícula descreve uma trajetória helicoidal.

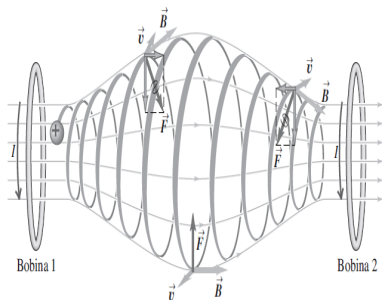


Movimento de partículas carregadas em um campo magnético.

- ▶ A força magnética é a força resultante que aponta para o centro da trajetória, portanto, está é igual à força centrípeta e assim,

$$F = qvB = m \frac{v^2}{R}$$

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



Seletor de Velocidades

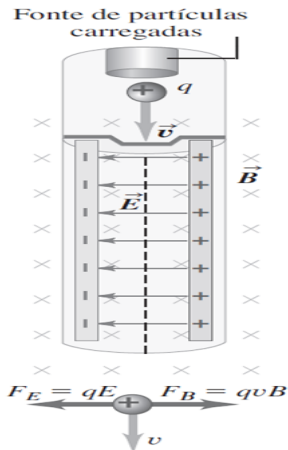
- Quando uma partícula carregada entra em uma região contendo dois campos um elétrico e um magnético cruzados, está sofre uma força dada por,

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

- Se a configuração de campos é como a mostrada na figura, e se a velocidade é aquela que ocorre uma situação de equilíbrio, então:

$$F = 0 = q(E - vB)$$

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



Experiência de Thomson para determinar a razão e/m .

- ▶ A energia cinética inicial dos elétrons está relacionada com a energia potencial fornecida pela diferença de potencial V da bateria por,

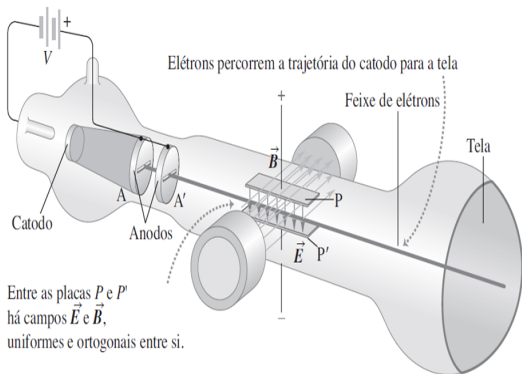
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

- ▶ Para os elétrons que passam reto, sem nenhuma desvio, $v = \frac{E}{B}$

$$v = \frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$$



Espectrômetro de massa.

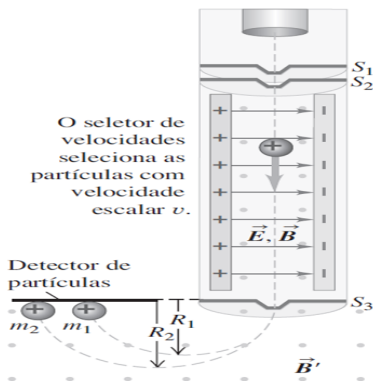
- ▶ Quando uma partícula passa por uma região de campos elétrico e magnético cruzados, vimos que a velocidade das partículas que passa sem sofrer desvio é dada por,

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

- ▶ Quando essas partículas entrarem em um outra região com campo magnético \vec{B}' , elas efetuaram uma trajetória de raio dada por,

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

$$R = \frac{mE}{qB'B}$$



- ▶ Vemos que partículas com diferentes massas farão órbitas diferentes, e partículas com cargas positivas se desviarão em sentidos opostos de partículas negativas.

Força magnética sobre um condutor transportando uma corrente

- ▶ Considere um fio condutor conduzindo uma corrente elétrica I , se o fio tem área A , este possui uma densidade de corrente \vec{J} onde $\vec{J} = nq\vec{v}_a$. Nesta equação $n = \frac{N^\circ \text{ de cargas}}{\text{Volume}}$ e \vec{v}_a é a velocidade de arraste de uma partícula com carga q .
- ▶ Se este fio é colocado em uma região que possui um campo magnético \vec{B} então a **força em uma carga** dentro do fio condutor será:

$$\vec{F}_1 = q\vec{v}_a \times \vec{B}$$

- ▶ A força total em um fio de comprimento l e área A será o numero de partículas dentro deste volume, (nAl) , vezes a força em cada partícula, assim:

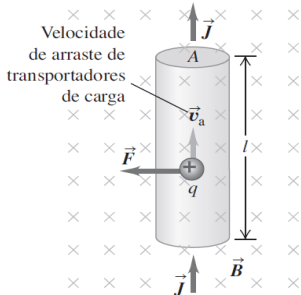
$$\vec{F} = (nAl)(q\vec{v}_a \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = (nq\vec{v}_aAl) \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

- ▶ Se o fio não é retilíneo podemos dividi-lo em segmentos infinitesimais $d\vec{l}$, e o elemento de força infinitesimal será:

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



Força magnética sobre um condutor transportando uma corrente

- ▶ Considere um fio condutor conduzindo uma corrente elétrica I , se o fio tem área A , este possui uma densidade de corrente \vec{J} onde $\vec{J} = nq\vec{v}_a$. Nesta equação $n = \frac{N^\circ \text{ de cargas}}{\text{Volume}}$ e \vec{v}_a é a velocidade de arraste de uma partícula com carga q .
- ▶ Se este fio é colocado em uma região que possui um campo magnético \vec{B} então a **força em uma carga** dentro do fio condutor será:

$$\vec{F}_1 = q\vec{v}_a \times \vec{B}$$

- ▶ A força total em um fio de comprimento l e área A será o numero de partículas dentro deste volume, (nAl) , vezes a força em cada partícula, assim:

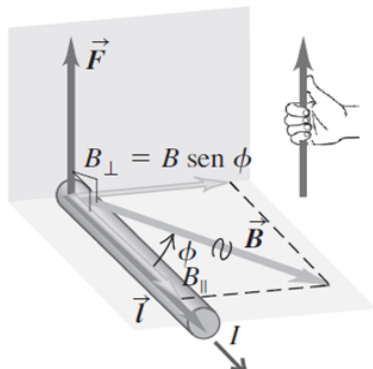
$$\vec{F} = (nAl)(q\vec{v}_a \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = (nq\vec{v}_a Al) \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

- ▶ Se o fio não é retilíneo podemos dividi-lo em segmentos infinitesimais $d\vec{l}$, e o elemento de força infinitesimal será:

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



Força magnética sobre um condutor transportando uma corrente

- ▶ Considere um fio condutor conduzindo uma corrente elétrica I , se o fio tem área A , este possui uma densidade de corrente \vec{J} onde $\vec{J} = nq\vec{v}_a$. Nesta equação $n = \frac{N^{\circ} \text{ de cargas}}{\text{Volume}}$ e \vec{v}_a é a velocidade de arraste de uma partícula com carga q .
- ▶ Se este fio é colocado em uma região que possui um campo magnético \vec{B} então a **força em uma carga** dentro do fio condutor será:

$$\vec{F}_1 = q\vec{v}_a \times \vec{B}$$

- ▶ A força total em um fio de comprimento l e área A será o número de partículas dentro deste volume, (nAl) , vezes a força em cada partícula, assim:

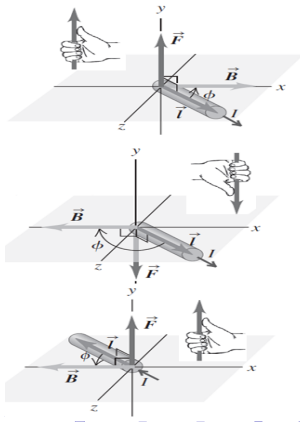
$$\vec{F} = (nAl)(q\vec{v}_a \times \vec{B})$$

$$\vec{F} = (nq\vec{v}_a Al) \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

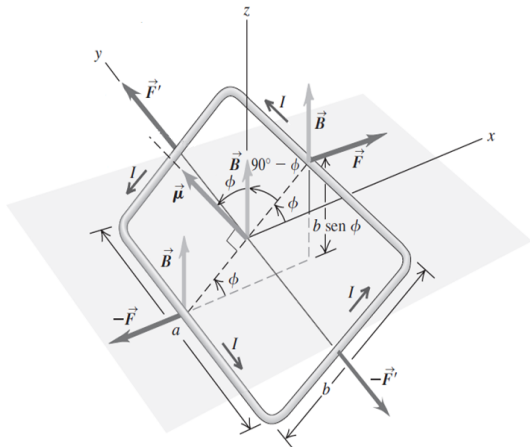
- ▶ Se o fio não é retilíneo podemos dividi-lo em segmentos infinitesimais $d\vec{l}$, e o elemento de força infinitesimal será:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$



Força sobre uma espira de corrente.

- ▶ $Em(L = a) \Rightarrow F = IaB$, mesma direção, sentidos opostos.
- ▶ $Em(L = b) \Rightarrow F = IbB \sin(90^\circ - \phi)$, mesma direção, sentidos opostos.
- ▶ A força resultante sobre uma espira de corrente é nula.

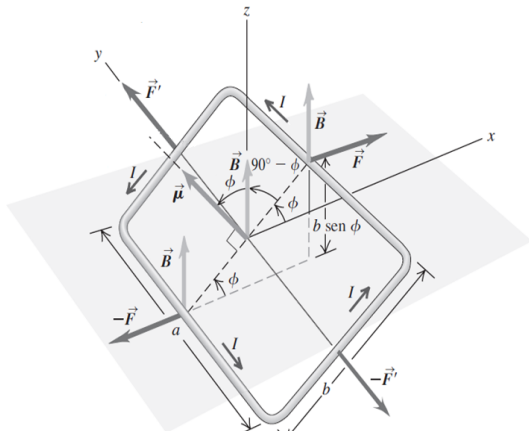


Capítulo 27 - Campo Magnético e Forças Magnéticas

└ Força e Torque sobre uma espira de corrente

Torque sobre uma espira de corrente.

- ▶ $Em(L = a) \Rightarrow \tau = 2F(b/2) \sin \phi$, mesma direção(y) e sentidos(+). ($F = IaB$)
- ▶ $Em(L = b) \Rightarrow \tau = 0$.
- ▶ O torque resultante sobre uma espira de corrente, geralmente *não* é nulo.



Torque sobre uma espira de corrente.

▶ $Em(L = a) \Rightarrow \tau = 2F(b/2) \sin \phi$, mesma direção(y) e sentidos(+). ($F = Iab$)

▶ $Em(L = b) \Rightarrow \tau = 0$.

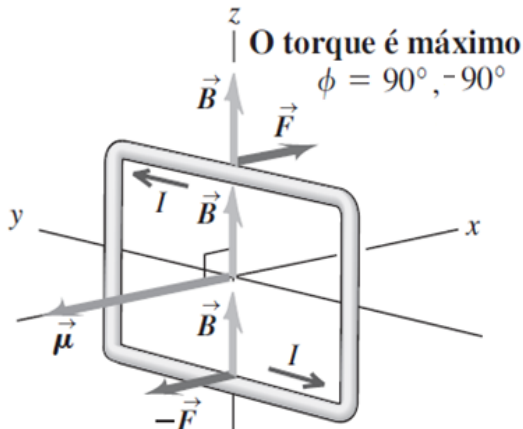
▶ O torque resultante sobre uma espira de corrente, geralmente *não* é nulo.

$$\tau = 2F(b/2) \sin \phi$$

$$\tau = IabB \sin \phi$$

$$\tau = (IA)B \sin \phi$$

$$\tau = \mu B \sin \phi$$



Capítulo 27 - Campo Magnético e Forças Magnéticas

└ Força e Torque sobre uma espira de corrente

Torque sobre uma espira de corrente.

▶ $Em(L = a) \Rightarrow \tau = 2F(b/2) \sin \phi$, mesma direção(y) e sentidos(+). ($F = Iab$)

▶ $Em(L = b) \Rightarrow \tau = 0$.

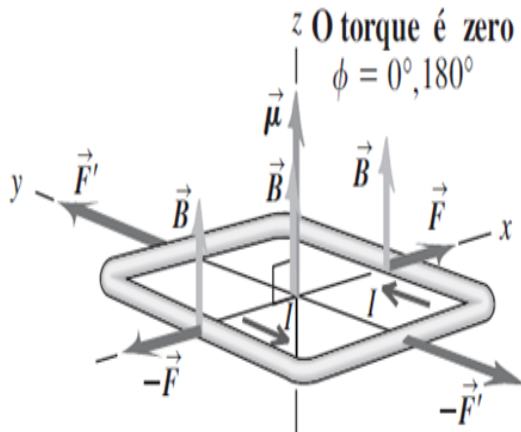
▶ O torque resultante sobre uma espira de corrente, geralmente *não* é nulo.

$$\tau = 2F(b/2) \sin \phi$$

$$\tau = IabB \sin \phi$$

$$\tau = (IA)B \sin \phi$$

$$\tau = \mu B \sin \phi$$



Torque sobre uma espira de corrente.

▶ $Em(L = a) \Rightarrow \tau = 2F(b/2) \sin \phi$, mesma direção(y) e sentidos(+). ($F = IaB$)

▶ $Em(L = b) \Rightarrow \tau = 0$.

▶ O torque resultante sobre uma espira de corrente, geralmente *não* é nulo.

$$\tau = 2F(b/2) \sin \phi$$

$$\tau = IabB \sin \phi$$

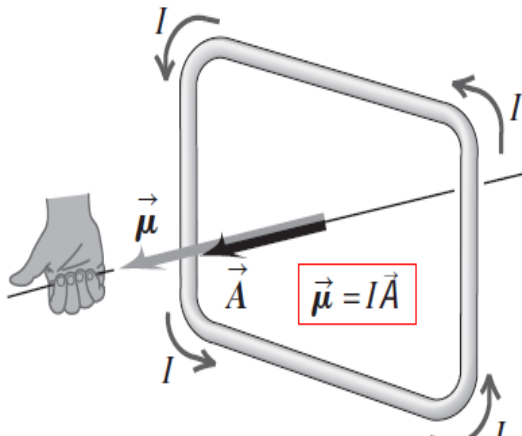
$$\tau = (IA)B \sin \phi$$

$$\tau = \mu B \sin \phi$$

Onde, $A = ab$ é a área da espira e $\vec{\mu} = I\vec{A}$ é definido como o **momento de dipolo magnético**, ou, **momento magnético**. De forma geral,

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \text{ (Torque)}$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \text{ (Energia Potencial)}$$



Torque sobre uma espira de corrente.

$$\tau = 2F(b/2) \sin \phi$$

$$\tau = IabB \sin \phi$$

$$\tau = (IA)B \sin \phi$$

$$\tau = \mu B \sin \phi$$

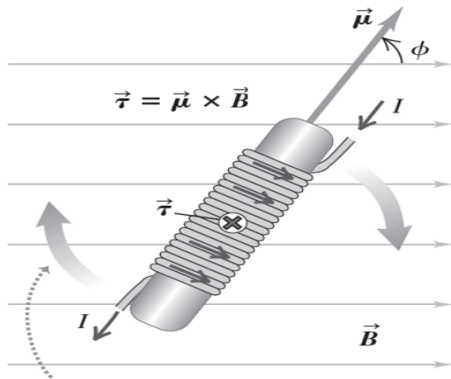
Onde, $A = ab$ é a área da espira e $\vec{\mu} = I\vec{A}$ é definido como o **momento de dipolo magnético**, ou, **momento magnético**. De forma geral,

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \text{ (Torque)}$$

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \text{ (Energia Potencial)}$$

Se temos N espiras, o torque resultante é a soma dos torque. Assim,

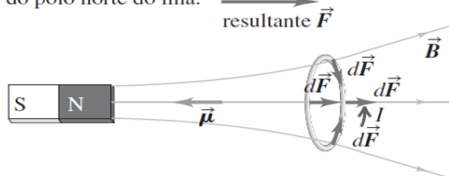
$$\vec{\mu} = NI\vec{A}$$



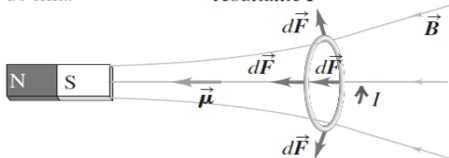
O torque tende a fazer o solenóide girar em sentido horário no plano da página, alinhando o momento magnético $\vec{\mu}$ com o campo \vec{B} .

Dipolo Magnético em um campo magnético não uniforme.

(a) A força resultante sobre esta bobina sempre se afasta do pólo norte do ímã.



(b) A força resultante sobre a mesma bobina sempre se aproxima do pólo sul do ímã.



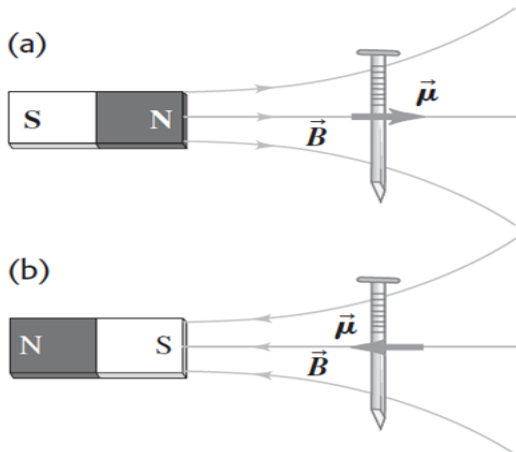
$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

Dipolo Magnético em um campo magnético não uniforme.

Processo de duas etapas:

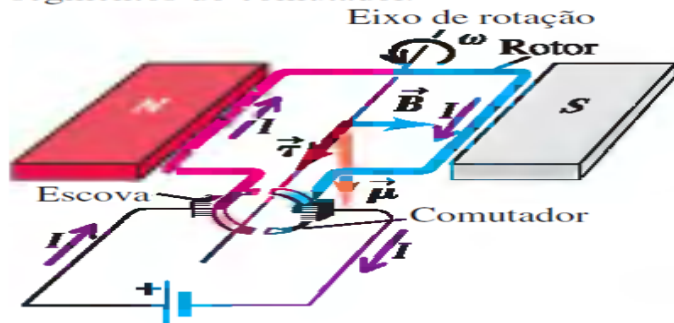
1-Indução de $\vec{\mu}$

2-Atração do corpo pelo campo \vec{B} não uniforme.

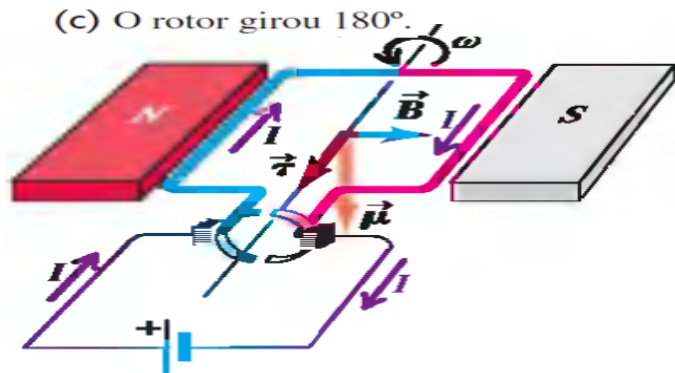


O motor de corrente contínua.

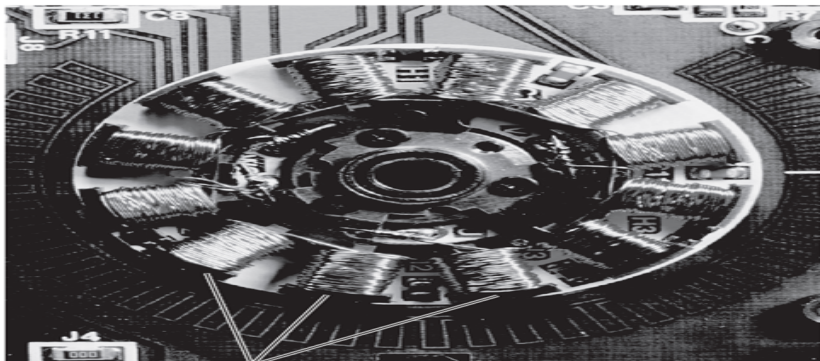
(a) As escovas são alinhadas sobre os segmentos do comutador.



O motor de corrente contínua.



O motor de corrente contínua.



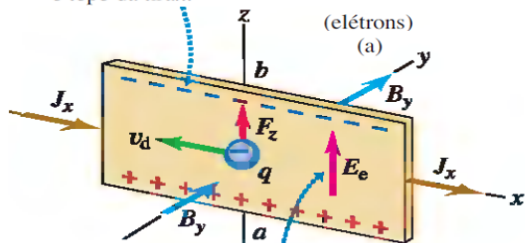
Bobinas

$$P = V_{ab}I$$
$$V_{ab} = \epsilon + Ir$$

O efeito Hall.

Se os portadores forem cargas negativas.

Os portadores de carga são empurrados para o topo da tira...



... de modo que o ponto a esteja a um potencial mais elevado do que o ponto b .

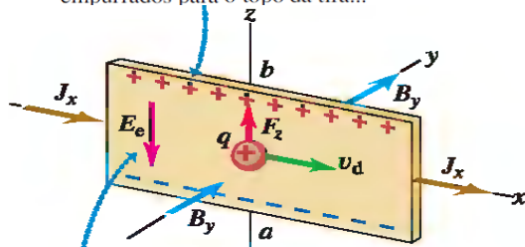
O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

Se os portadores de carga forem positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

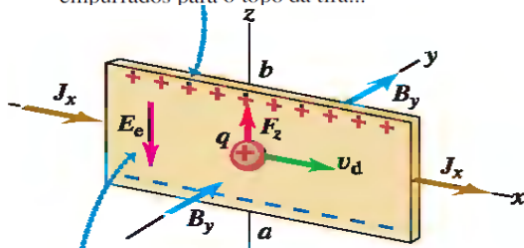
No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

$$E_z = -v_a B_y$$

Se os portadores de carga forem positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

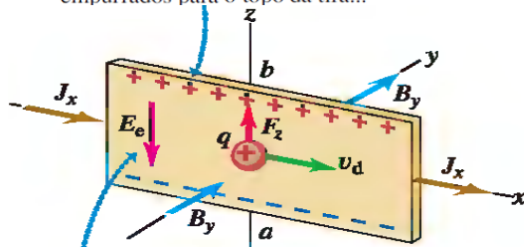
$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

$$E_z = -v_a B_y$$

$$J_x = nqv_a$$

Se os portadores de carga forem positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

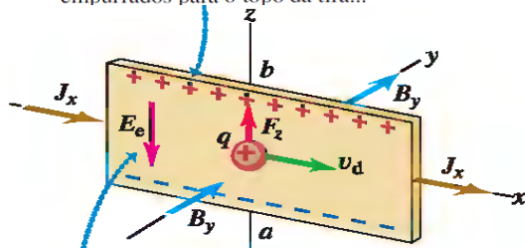
$$E_z = -v_a B_y$$

$$J_x = nqv_a$$

$$nq = -\frac{J_x B_y}{E_z}$$

Se os portadores forem cargas positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

$$E_z = -v_a B_y$$

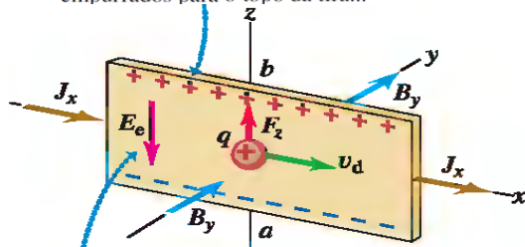
$$J_x = nqv_a$$

$$nq = -\frac{J_x B_y}{E_z}$$

$$J_x = \frac{I}{A}$$

Se os portadores forem cargas positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

$$E_z = -v_a B_y$$

$$J_x = nqv_a$$

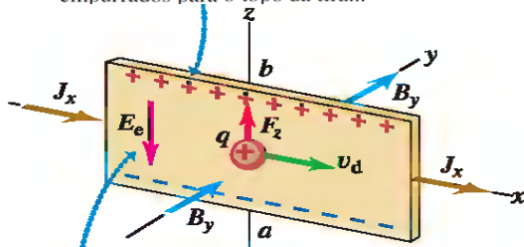
$$nq = -\frac{J_x B_y}{E_z}$$

$$J_x = \frac{I}{A}$$

$$E_z = \frac{V_{Hall}}{d}$$

Se os portadores forem cargas positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).

O efeito Hall.

No equilíbrio, $F_{Rz} = 0$

$$qE_z + qv_a B_y = F_{Rz} = 0$$

$$E_z = -v_a B_y$$

$$J_x = nqv_a$$

$$nq = -\frac{J_x B_y}{E_z}$$

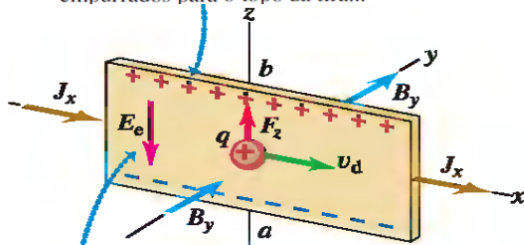
$$J_x = \frac{I}{A}$$

$$E_z = \frac{V_{Hall}}{d}$$

$$nq = -\frac{IB_y d}{V_{Hall} A}$$

Se os portadores de carga forem cargas positivas.

Os portadores de carga positivos são novamente empurrados para o topo da tira...



... de modo que a polaridade da diferença de potencial seja oposta à indicada na situação (a).