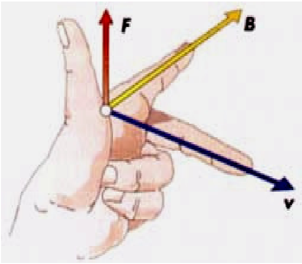
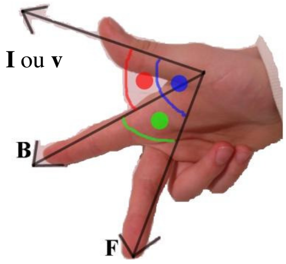
Regras das mãos - I

Esquerda



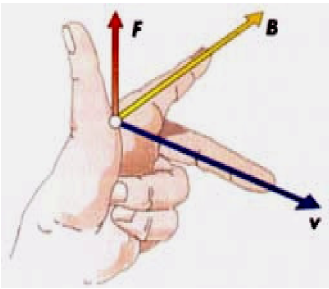
Direita



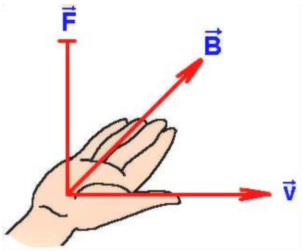
I é equivalente a v
I tem a direção de movimentação de portadores positivos, contrária a de elétrons

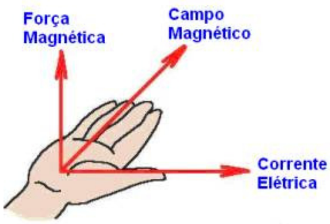
Regras das mãos - II

Esquerda



Direita



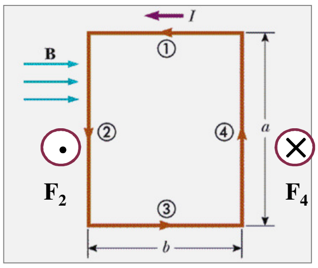


Aula 9

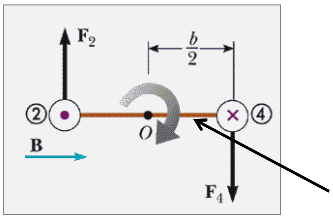
- 1) Torque sobre uma espira de corrente em um campo magnético uniforme.
- 2) A Lei de Biot - Savart
- 3) Força Magnética entre dois condutores paralelos
- 4) Lei de Ampère
- 5) Campo Magnético de um solenóide
- 6) Magnetismo na Matéria

Torque sobre uma espira de corrente em um campo magnético uniforme

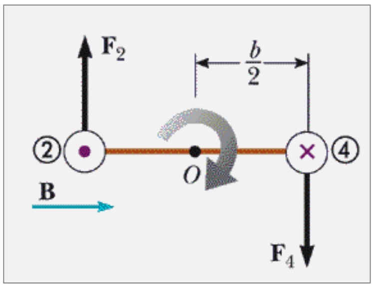
Importante no projeto de motores e geradores.



- Campo magnético uniforme no *plano da espira*
  - Força magnética nos lados 1 e 3 nulas → I || B
  - Força magnética nos lados 2 e 4 são contrárias



- Rotaciona o conjunto para ter as forças no plano da página
  - $F_1 = F_2 = IaB$



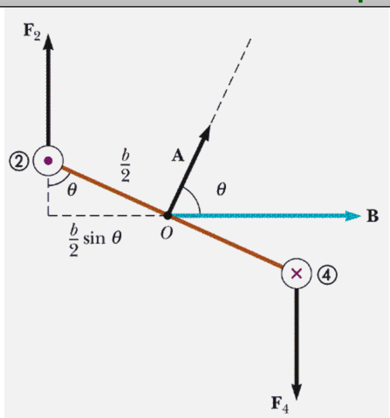
- Se a espira pode girar em torno de um eixo perpendicular à página, passando por um ponto O

- Haverá um torque em relação ao eixo que gira a espira no sentido anti-horário

$$\tau_{max} = F_2\frac{b}{2} + F_4\frac{b}{2} = IaB\frac{b}{2} + IaB\frac{b}{2} = IabB \Rightarrow \begin{cases} \tau_{max} = IAB \\ A = ab \end{cases}$$

Área da espira

Suponha que B faz um ângulo θ com uma linha perpendicular ao plano da espira



- As forças nos lados 1 e 3, F_1 e F_3 se cancelam e não produzem torque pois estão na mesma linha de ação.

- As forças F_2 e F_4 atuando sobre os lados 2 e 4 produzem torque em relação ao eixo da espira. Neste caso o braço de força é b/2.senθ

$$\tau = F_2\frac{b}{2}sen\theta + F_4\frac{b}{2}sen\theta =$$

$$\tau = IaB\frac{b}{2}sen\theta + IaB\frac{b}{2}sen\theta$$

$$\boxed{\tau = IABsen\theta}$$

$$\boxed{\tau = IABsen\theta}$$

$\tau_{max} = IAB \longrightarrow$ Para $\theta = \pi/2$: campo magnético é perpendicular ao plano da espira

$\tau = 0 \longrightarrow$ Para $\theta = 0$: campo magnético é paralelo ao plano da espira

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$$

Onde $\vec{A}$ é um vetor que tem módulo igual a área da espira e é um vetor perpendicular ao plano da espira.
O sentido de $\vec{A}$ é dado pela regra da mão direita.

Momento de Dipolo Magnético - μ

$$\vec{\mu} \equiv I\vec{A} \quad \Longrightarrow \quad [\mu] = A.m^2$$

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

Esta expressão para o torque é válida para qualquer orientação de B em relação à espira. Também é válida para espiras de qualquer formato.

Uma bobina consiste de N espiras, conduzindo a mesma corrente e de mesma área, logo o momento magnético será μ = NIA.

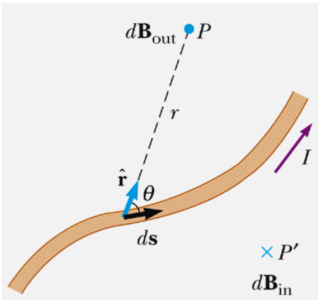
Um motor comum consiste de uma bobina de fio, montada de forma que ela pode girar em um campo magnético produzido por um ímã permanente.
O torque é usado para girar uma haste que aciona um dispositivo mecânico → vidros elétricos do carro, ventilador, cortador de grama, etc.

Como é produzido um campo magnético?

E $\longrightarrow$ cargas estáticas

B $\longrightarrow$ cargas em movimento

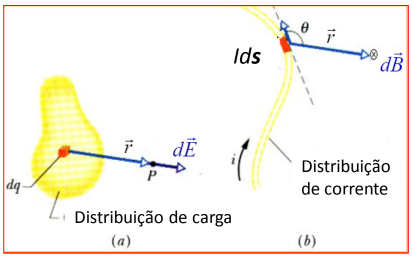
Lei de Biot-Savart



O campo magnético d*B* no ponto P criado por um elemento do fio de comprimento infinitesimal d*s* tem as seguintes propriedades:

- $d\vec{B} \perp d\vec{s}$ e $\hat{r}$
- $d\vec{B} \propto \frac{1}{r^2}$, sendo r a distância ao ponto P
- $|d\vec{B}| \propto I$ e ao comprimento ds
- $|d\vec{B}| \propto \operatorname{sen}\theta$, sendo θ $\angle$ entre $d\vec{s}$ e $\hat{r}$

A Lei de Biot - Savart



De maneira análoga à que o campo elétrico $d\vec{E}$ produzido por cargas é:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^3}\vec{r},$$

o campo magnético $d\vec{B}$ produzido por cargas em movimento (correntes) é:

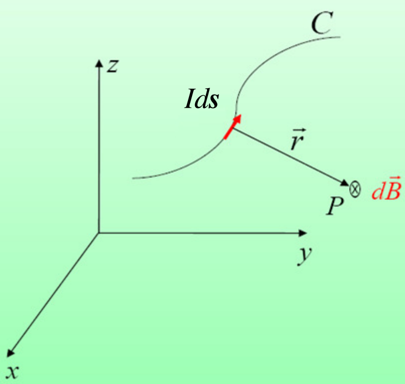
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{s}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{s}\times\hat{r}}{r^2},$$

Onde *ds* é um elemento de comprimento sobre a linha de corrente, r é um vetor que vai de *Ids* até o ponto P e

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}} \approx 1{,}26\times 10^{-6}\,\frac{\mathrm{T\cdot m}}{\mathrm{A}}$ é a *permeabilidade do vácuo*.

A Lei de Biot - Savart

Campo $\vec{B}$ num ponto P qualquer



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

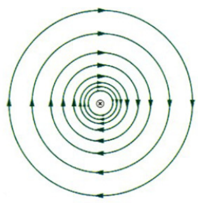
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_C \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

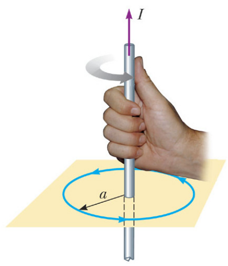
(Lei de Biot-Savart)

Linhas de Campo

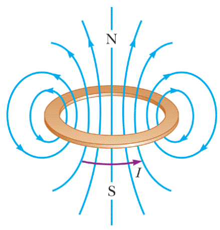
São fechadas

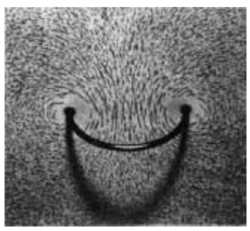
Linhas de campo em torno de um fio



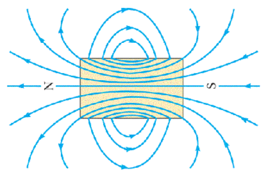


Linhas de campo em uma espira circular

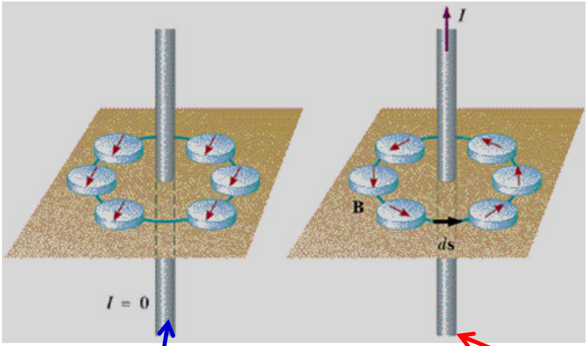




Linhas de campo em uma barra



Experimento de Oersted (1820)

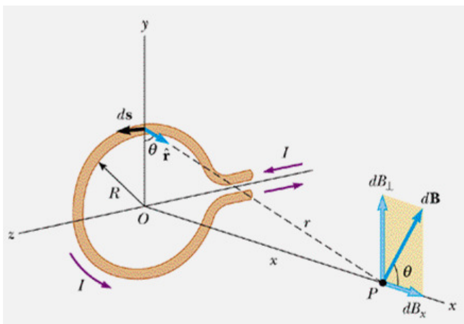


Agulhas imantadas ao redor de um fio em que a corrente I = 0; a direção das bússolas é determinada pelo campo magnético da Terra.

Se I ≠ 0, de alto valor e constante, a direção das agulhas desviam pra uma direção tangente ao círculo.

Exemplo 22.6: Campo Magnético no Eixo de uma Espira de Corrente Circular

Considere uma espira circular de fio de raio R localizada no plano *yz* e conduzindo uma corrente I, como na Figura ao lado. Calcule o campo magnético em um ponto axial P a uma distância *x* do centro da espira.



Qualquer elemento ds é perpendicular a r̂.

Todos elementos da espira estão à mesma distância (r) de P

Campo Magnético de um Condutor Retilíneo

Neste caso, a lei de Biot-Savart $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$ se reduz a:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I|d\vec{s} \times \hat{r}|}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\ dz\ sen\theta}{r^2}$$

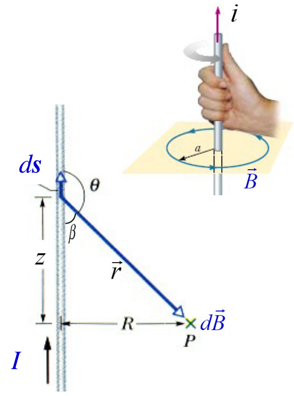
Relacionar θ com z e eliminar r; as relações que se pode tirar da Figura:

$$cos\beta = \frac{z}{r} \qquad \beta = \pi - \theta \rightarrow d\beta = -d\theta$$

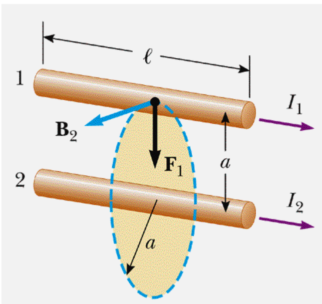
$$sen\beta = \frac{R}{r} \qquad \beta = \pi - \theta \rightarrow d\beta = -d\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} sen\theta d\theta \rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}\int_0^{\pi} sen\theta d\theta$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}}$$



Força Magnética entre dois condutores paralelos



A força no fio 1 devido ao campo gerado pelo fio 2:

$$\vec{F}_1 = I_1\vec{\ell} \times \vec{B_2}$$

$$F_1 = I_1 \ell B_2 = I_1 \ell \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\right) \Rightarrow \frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

A direção de F_1 é para baixo, na direção do fio 2.
A força F_2 é igual em módulo a F_1, mas na direção oposta, ou seja, na direção do fio 1.

Assim, a força magnética por unidade de comprimento exercida ao longo de cada fio longo com corrente sobre o outro fio é:

$$\Rightarrow \boxed{\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}}$$

Força Magnética entre dois condutores paralelos

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

Se $I_1 = I_2$, $\underline{F > 0}$, a força entre os fios é atrativa

Se $I_1 = - I_2$, $\underline{F < 0}$, a força entre os fios é repulsiva

Lei de Ampère

Pode-se fazer um paralelo entre Lei de Ampère para o magnetismo e a Lei de Gauss da eletrostática

Lei de Gauss → Cálculo de campo elétrico → cargas

Lei de Ampère → Cálculo de campo magnético → correntes

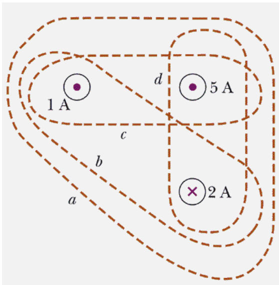
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I \Rightarrow$$

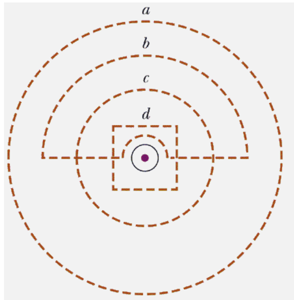
A integral de linha de **B**.ds ao redor de qualquer trajetória fechada é igual a $\mu_0 I$

A Lei de Ampère é válida apenas para correntes constantes

Enigmas 22.9 e 22.10

Ordene em ordem crescente os valores de $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ ***para as trajetórias fechadas abaixo.***





Uso prático da lei de Ampère

- **A superfície deve ser sempre escolhida para aproveitar a simetria da distribuição de corrente, de maneira que possamos remover B da integral e resolve-la.**

- O objetivo nesse tipo de cálculo é determinar uma superfície que satisfaça a uma ou mais das seguintes condições:

  1) O valor do campo magnético pode ser considerado constante ao longo da trajetória;

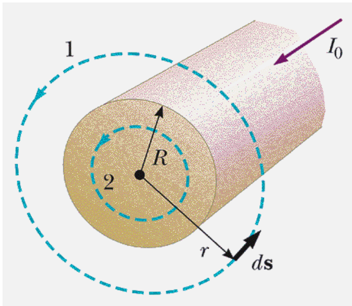
  2) O produto escalar **B•ds,** pode ser expresso como *B.ds,* porque **B** e d**s** são paralelos;

  3) O produto escalar **B•ds** = 0**,** porque B e d**s** são perpendiculares;

  4) Pode-se afirmar que o campo é zero em qualquer parte da superfície.

Exemplo 22.7: Campo magnético criado por um fio longo conduzindo corrente

Um fio longo e reto de Raio R conduz uma corrente constante I_0 que está uniformemente distribuída na secção transversal do fio. Calcule o campo magnético a uma distância r do centro do fio nas regiões $r \geq R$ e $r < R$.



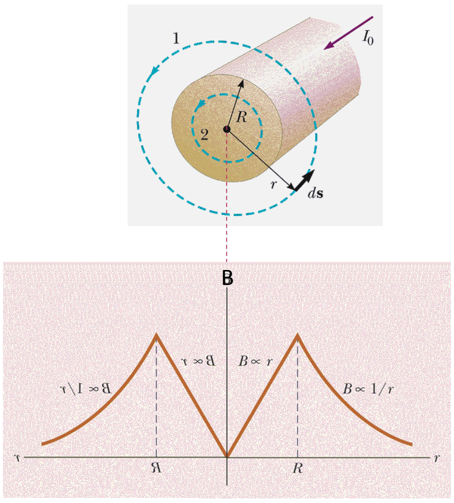
Solução: Campo magnético criado por um fio longo conduzindo corrente

$r \geq R$:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$r < R$:

$$B = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2}\right) r$$



Exemplo 22.3: Em um experimento projetado para medir a densidade de fluxo magnético, ou indução magnética de um campo magnético uniforme, elétrons são acelerados a partir do repouso (usando-se um campo elétrico) através de uma diferença de potencia de 350 V. Após deixar a região de campo, os elétrons entram em um campo magnético e percorrem uma trajetória curva por causa da força magnética exercida sobre eles. O raio da trajetóra medido é de 7,50 cm Supondo que o campo magnético seja perpendicular ao feixe:

(a) Qual é a magnitude do campo?

(b) Qual é a freqüência angular dos elétrons?