Aula 15

Professor:

Mauricio Kischinhevsky

Eletricidade e magnetismo (Parte 5)

Conteúdo:

Fontes do campo magnético e a indução magnética

Campo Magnético

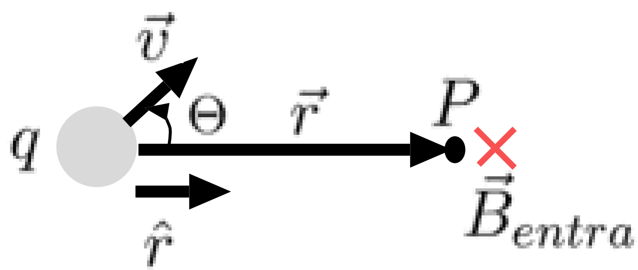
Introdução

Primeiras fontes de magnetismo conhecidas: ímãs permanentes. Constatação de deflexão de um ímã (Oersted), Biot e Savart relatando sua análise quantitativa da contribuição de cada elemento de corrente e a análise de Ampère sobre reciprocidade da interação corrente-magnetismo aproximadamente contemporâneas.

Campo magnético de cargas pontuais móveis

Quando uma carga pontual se move no espaço ela produz um campo magnético dado por (a constante de proporcionalidade é chamada permeabilidade do espaço livre):

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{q.\vec{v}\times\hat{r}}{r^2},\ sendo\ \mu_o = 4.\pi\times 10^{-7}T.m/A = 4.\pi\times 10^{-7}\frac{N}{A^2}.$$



Exemplo:

Uma partícula pontual com carga 4,5nC está se movendo com velocidade $3x10^3$ (m/s) ao longo da linha y=3m. Calcule o campo magnético na origem quando a carga se encontra no ponto (-4m,3m).

Resposta:

Determina-se a direção do unitário, a distância e determina-se o campo como:

$$\vec{B} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{q.\vec{v}\times\hat{r}}{(3m)^2+(4m)^2} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{q.\vec{v}\times\frac{\vec{r}}{r}}{(3m)^2+(4m)^2} =$$

$$\frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{q.(v.\hat{i})\times\frac{4m\hat{i}-3m\hat{j}}{5m}}{(5m)^2} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{q.(v.\hat{i})\times(0,8\hat{i}-0,6\hat{j})}{(5m)^2} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{-q.v.0,6\hat{k}}{(5m)^2} =$$

$$(10^{-7}T.m/A)\frac{(4,5\times10^{-9}C).(0,6).(3\times10^{3}m/s)}{(5m)^2}\hat{k} = -3,24\times10^{-14}T\hat{k}.$$

Observe que o campo magnético da Terra na superfície é de 10^{-4} T.

Campo magnético de correntes: Lei de Biot-Savart

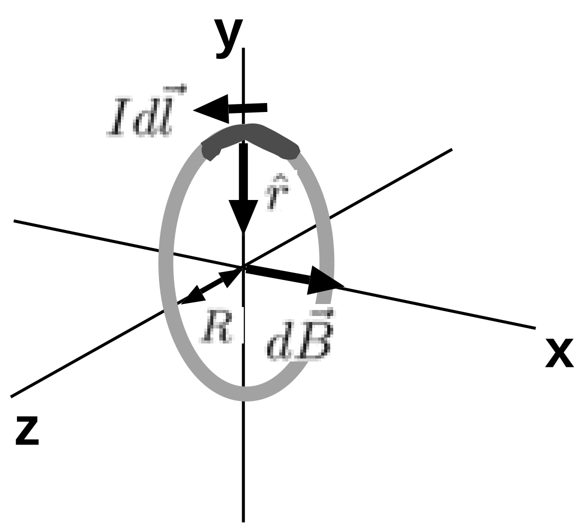
Analogamente ao caso de uma carga pontual, a contribuição para o campo magnético vinda de um elemento de carga tem a forma (obtida a partir de experimentos por Biot, Savart e, independentemente, Ampère):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{I.\vec{dl} \times \hat{r}}{r^2}.$$

Observe que a intensidade do campo se comporta como inversamente proporcional ao quadrado da distância, assim como o campo elétrico em relação à carga elétrica. No entanto, no lugar de a sua direção ser ao longo da linha que une a fonte e o ponto de observação, é perpendicular à direção e à velocidade da carga (ou elemento de corrente).

Exemplo (campo magnético devido a uma espira com corrente):

Cada elemento de corrente gera uma contribuição para o campo magnético em cada ponto do espaço. No centro da espira, a simetria permite calcular, para cada elemento de corrente,



Portanto,

$$dB = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{I.dl.sen\Theta}{R^2}, \quad \Theta = 90^o.$$

$$B = \int dB = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{I}{R^2}\oint dl = \frac{\mu_o}{4.\pi}\frac{I}{R^2}(2.\pi.R) = \frac{\mu_o I}{2R}.$$

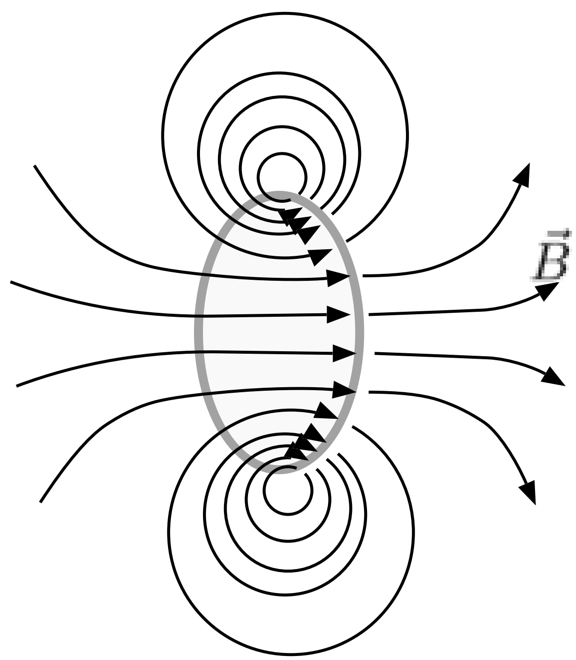
Exemplo (campo magnético devido a uma espira com corrente):

Ao longo do eixo da espira, feito coincidir com o eixo x, a simetria permite calcular, para cada elemento de corrente, apenas a componente ao longo do eixo, porque as outras contribuições vão se cancelar.

Tem-se, então, para a componente x que, por simetria, é a única não-nula,

$$B = B_x = \frac{\mu_o}{4.\pi} \frac{I.R}{(x^2 + R^2)^{3/2}}.2\pi R = \frac{\mu_o}{2} \frac{I.R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}}.$$

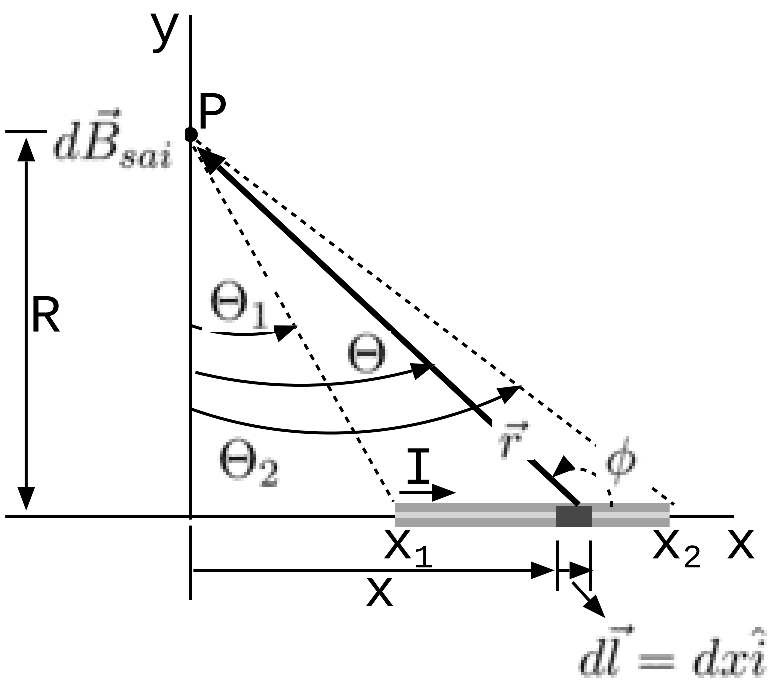
Fora do eixo o campo também se obtém, sem muito benefício da simetria:

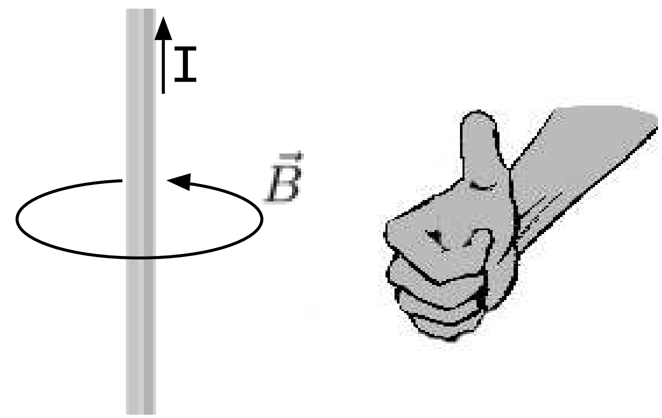


Campo devido a um fio reto "infinitamente" longo

Pode-se calcular o campo no eixo y devido ao fio colocado coincidente com o eixo x e com corrente no sentido positivo de x na forma (x = R.tg θ):

$$B = \int dB = \int_{\Theta_1=-90^o}^{\Theta_2=90^o} \left[\frac{\mu_o}{4.\pi} \frac{I.dx}{r^2} .cos\Theta \right] = \int_{\Theta_1=-90^o}^{\Theta_2=90^o} \left[\frac{\mu_o}{4.\pi} \frac{I}{r^2} . \frac{r^2 d\Theta}{R} .cos\Theta \right] = \frac{\mu_o.I}{2.\pi.R}.$$





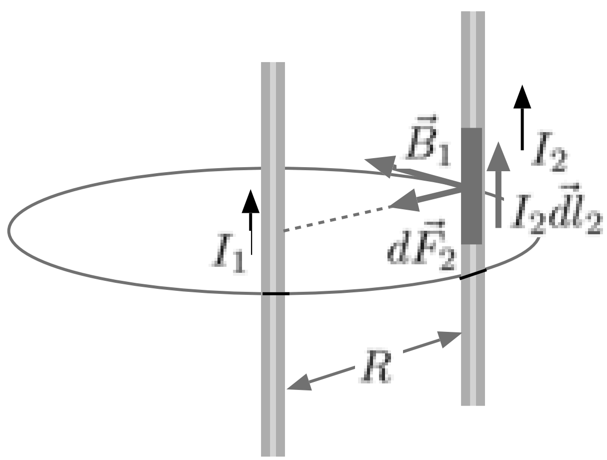
Força magnética entre fios paralelos

Ampère observou e estudou a interação magnética entre dois fios conduzindo corrente. Pode-se calcular a força devida ao campo magnético produzido pelo fio 1 sobre um trecho do fio 2 na forma

$$dF_2 = \left| I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{B}_1 \right| = I_2 dl_2 . \frac{\mu_o . I_1}{2.\pi R},$$

perfazendo a força por unidade de comprimento

$$\frac{dF_2}{dl_2} = \frac{\mu_o}{2.\pi} . \frac{I_1 . I_2}{R} .$$



Há reciprocidade e a força é atrativa para correntes de mesmo sentido.

Fluxo magnético

Faraday e Henry observaram que ocorria a indução de correntes elétricas a partir do movimento de campos magnéticos, também denominadas FEM (de força eletromotriz). Ou seja, quando o campo magnético era modificado. Um exemplo cotidiano é que, quando desconectamos um fio elétrico da tomada por vezes vemos uma pequena centelha. Esta se deve à mudança promovida no campo magnético existente em volta do fio condutor, subitamente reduzida a fonte do campo (corrente elétrica) a zero. A alteração forçada do campo magnético induz uma corrente que tenta restaurar o transporte de carga no local onde a interrupção se deu. Como usual, o fluxo do campo magnético é da forma

$$\phi_m = \int_S \vec{B}.\hat{n}dA = \int_S B_n dA.$$

A unidade de fluxo magnético é o weber, Wb, sendo 1Wb = 1 $T.m^2$.

Exemplo (Fluxo magnético):

Determine o fluxo magnético através de um solenóide que tem comprimento de 40cm, raio de 2,5cm, compõe-se de 600 voltas e transporta uma corrente de 7,5 A.

Resposta:

Um solenóide produz um campo correspondente a uma combinação de espiras (neste caso, 600) sendo, no seu interior o fluxo proporcional ao número de voltas (espiras), à área e ao campo magnético. Assim, escreve-se

$$\phi_m = N.B.A = N.\mu_o.n.I.A = N.\mu_o.\frac{N}{l}.I.A =$$

$$= \frac{\mu_o.N^2.I.A}{l} = \frac{\mu_o.N^2.I.\pi.r^2}{l} =$$

$$= \frac{4.\pi \times 10^{-7}\frac{T.m}{A}.(600voltas)^2.(7,5A)\pi.(0,025m)^2}{0,40m} =$$

$$= 1,66 \times 10^{-2}T.m^2 = 1,66 \times 10^{-2}Wb.$$