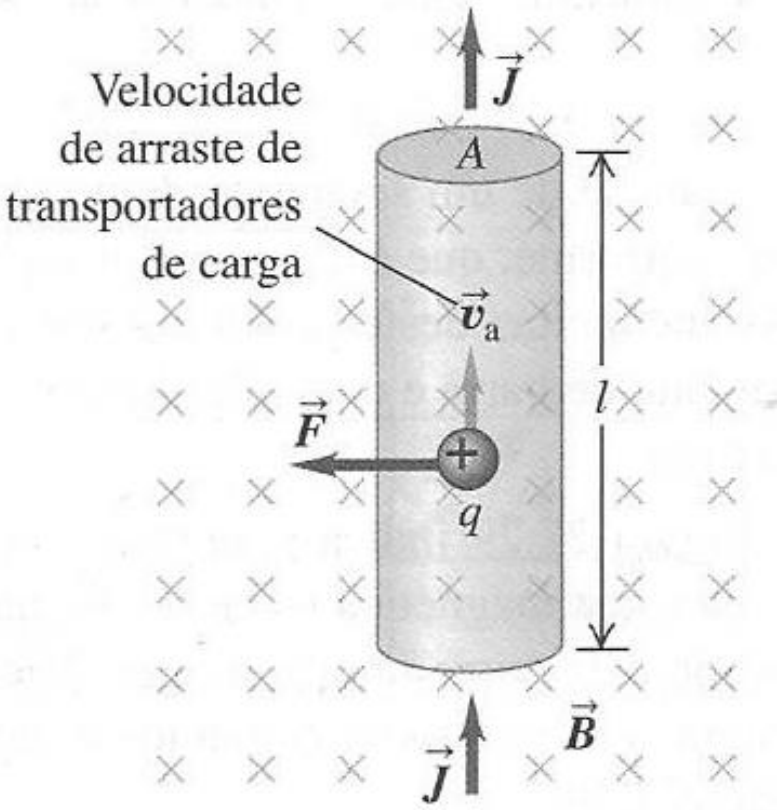
Força sobre um condutor transportando uma corrente



$$F = qvB$$

Em um comprimento l do fio, o número de cargas presente é nAl, onde n é a densidade de cargas. A força exercidade neste comprimento será:

$$F = (nAl)qv_aB = nqv_aA(Bl)$$

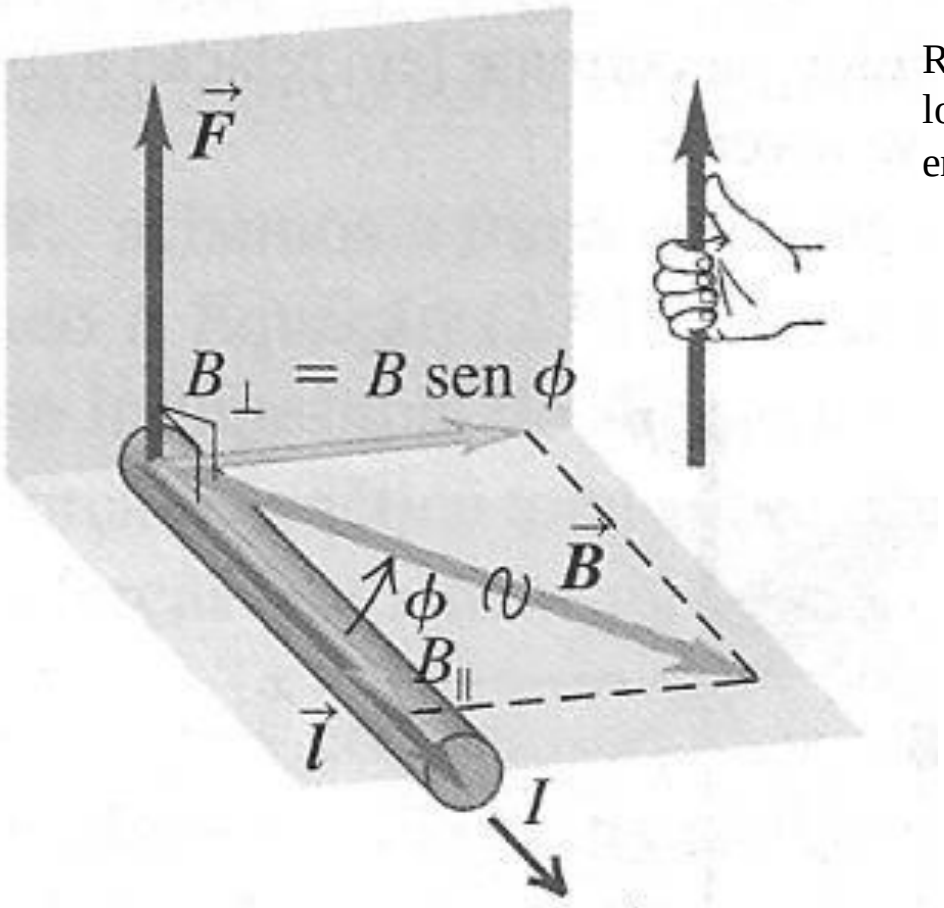
Vimos nas aulas anteriores

$$\frac{I}{A} = J = nqv_a$$

Portanto: $F = BIl$

Quando o campo **B** não é perpendicular ao fio e forma um ângulo ϕ com ele, temos:

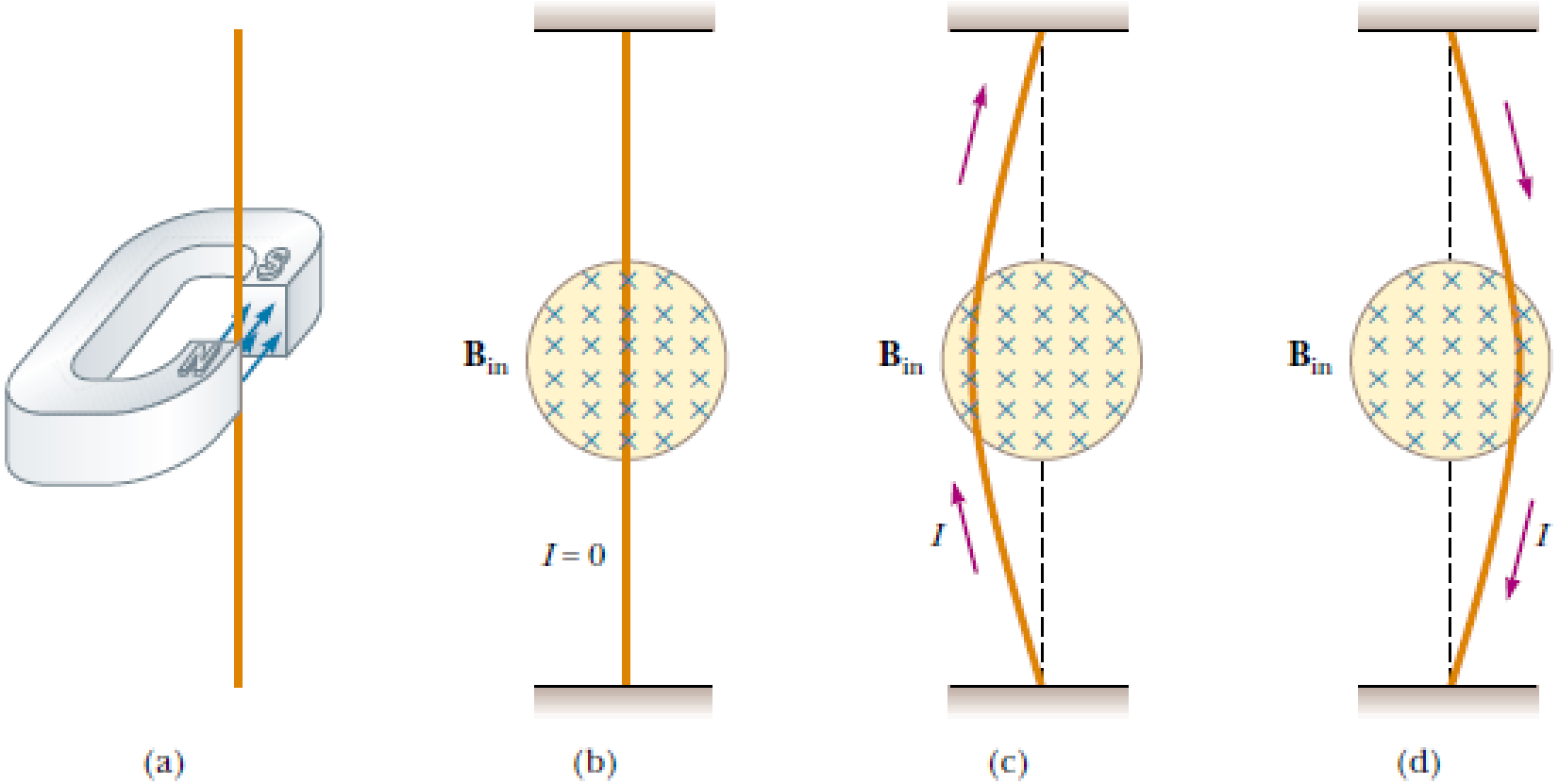
$$F = IlB_{\perp} = IlB\sin\phi$$



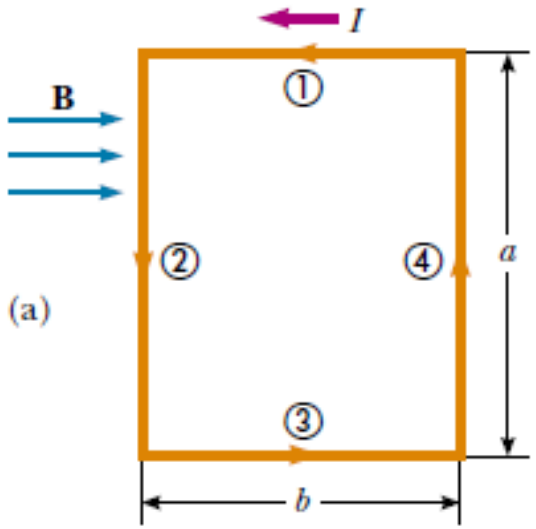
Representando o segmento do fio pelo vetor **l** ao longo do fio e com sentido idêntico a da corrente, então a força **F** que atua sobre o segmento é:

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

Efeito do campo magnético sobre fios condutores



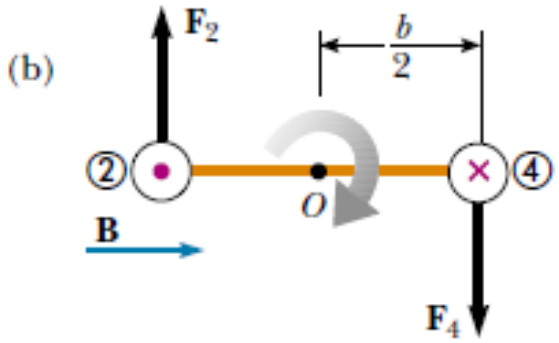
Torque sobre uma espira em um campo magnético uniforme

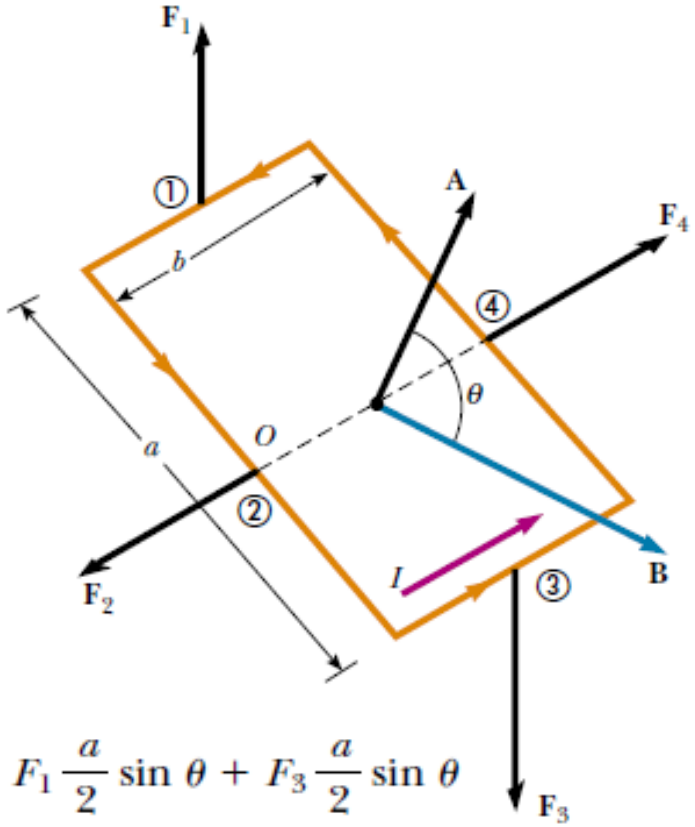


$$F_2 = F_4 = IaB$$

$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB)\frac{b}{2} + (IaB)\frac{b}{2} = IabB$$

$$\tau_{\max} = IAB$$

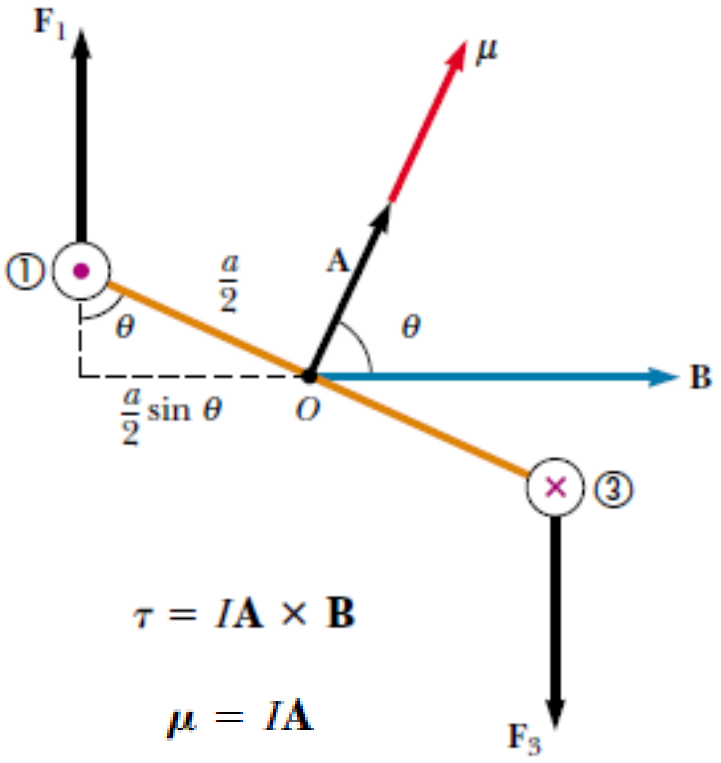




$$\tau = F_1 \frac{a}{2} \sin\theta + F_3 \frac{a}{2} \sin\theta$$

$$= IbB\left(\frac{a}{2}\sin\theta\right) + IbB\left(\frac{a}{2}\sin\theta\right) = IabB\sin\theta$$

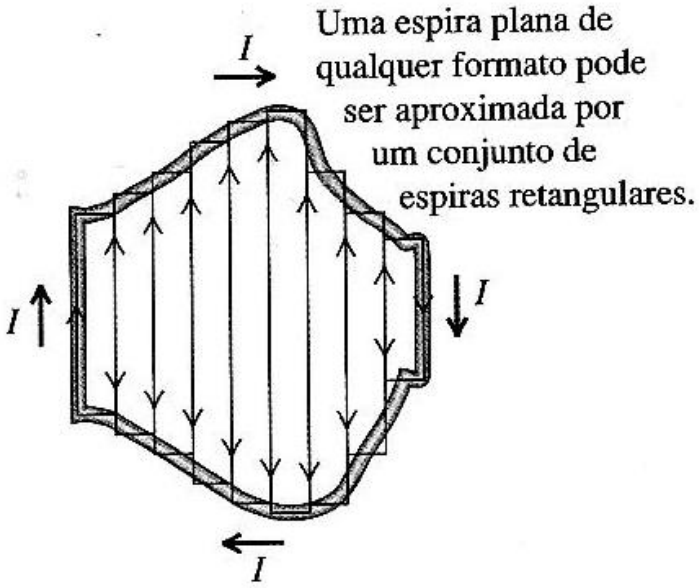
$$= IAB\sin\theta$$



$$\boldsymbol{\tau} = I\mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

$$\boldsymbol{\mu} = I\mathbf{A}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$$



A força resultante agindo sobre espira de qualque formato é nula

TORQUE MAGNÉTICO SOBRE UMA BOBINA CIRCULAR

Uma bobina circular com raio de 0,0500 m possui 30 espiras e está situada sobre um plano horizontal. Ela conduz uma corrente de 5,0 A no sentido anti-horário, quando observada de cima para baixo. A bobina está em um campo magnético uniforme orientado da esquerda para a direita, com módulo igual a 1,20 T. Calcule o módulo do momento magnético e o módulo do torque sobre a bobina.

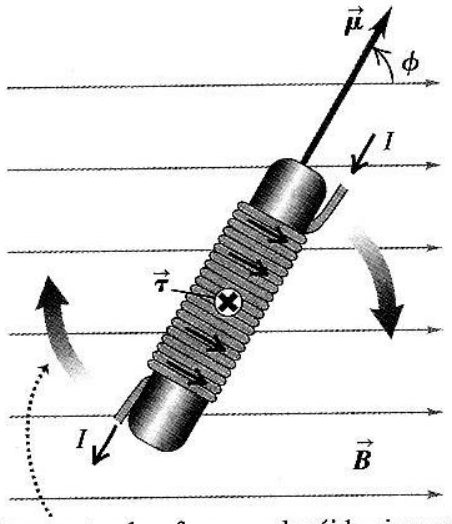
$$A = \pi r^2 = \pi(0{,}0500\ \text{m})^2 = 7{,}85 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

$$\mu = IA = (5{,}0\ \text{A})(7{,}85 \times 10^{-3}\ \text{m}^2) = 3{,}93 \times 10^{-2}\ \text{A} \cdot \text{m}^2$$

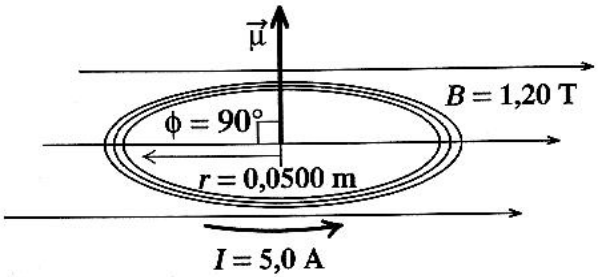
e o momento magnético total de todas as 30 espirais da bobina é

$$\mu_{\text{total}} = (30)(3{,}93 \times 10^{-2}\ \text{A} \cdot \text{m}^2) = 1{,}18\ \text{A} \cdot \text{m}^2$$

O ângulo ϕ entre a direção de $\vec{B}$ e a direção de $\vec{\mu}$ (que está ao longo da normal ao plano da bobina) é igual a 90°. Pela Equação



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



$$\tau = \mu_{\text{total}} B \operatorname{sen}\phi = (1{,}18\ \text{A} \cdot \text{m}^2)(1{,}20\ \text{T})(\operatorname{sen}90°)$$
$$= 1{,}41\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Alternativamente, pela Equação (27.23), o torque sobre cada espira da bobina é

$$\tau = IBA \operatorname{sen}\phi = (5{,}0\ \text{A})(1{,}20\ \text{T})(7{,}85 \times 10^{-3}\ \text{m}^2)(\operatorname{sen}90°)$$
$$= 0{,}0471\ \text{N} \cdot \text{m}$$

e o torque total sobre a bobina é

$$\tau = (30)(0{,}0471\ \text{N} \cdot \text{m}) = 1{,}41\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Energia potencial para o campo magnético

Quando um dipolo magnético muda de orientação em um campo magnétco, o campo realiza um trabalho sobre ele. Para um deslocamento infinitesimal dθ, o trabalho dW é τdθ.

O torque sobre um dipolo elétrico em um campo elétrico é dado por: $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

A energia potencial correspondente é: $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

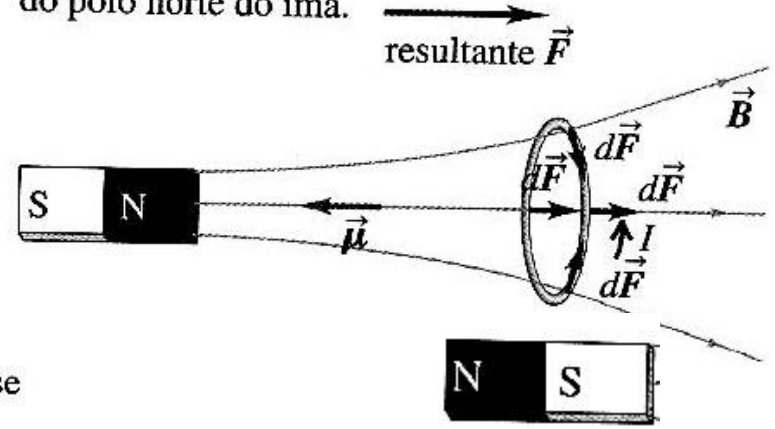
O torque sobre um dipolo magnético em um campo magnético é dado por: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

Logo, concluímos imediatamente que a energia potencial correspondente vem de:

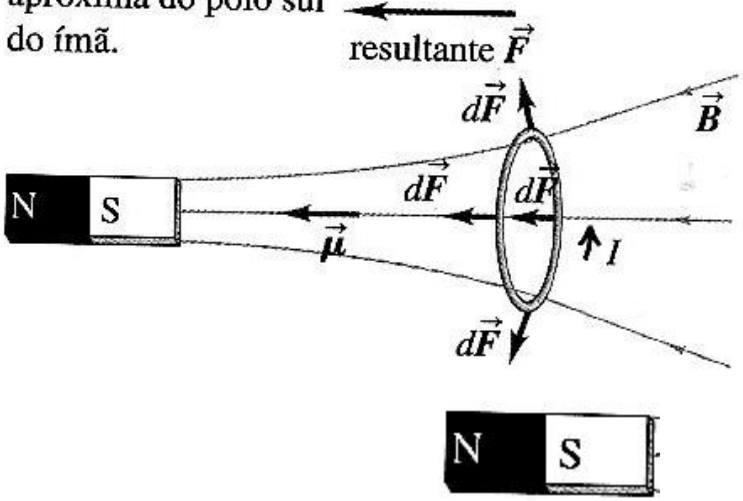
$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos\theta$$

Dipolo magnético em um campo magnético não uniforme

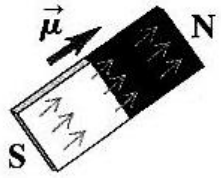
(a) A força resultante sobre esta bobina sempre se afasta do pólo norte do ímã.



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

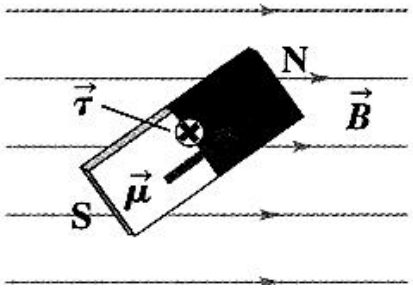


(b) Em uma barra de ferro imantada, os momentos magnéticos se alinham.



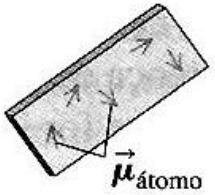
Alinhamento da agulha da bússola na presença de um campo magnético

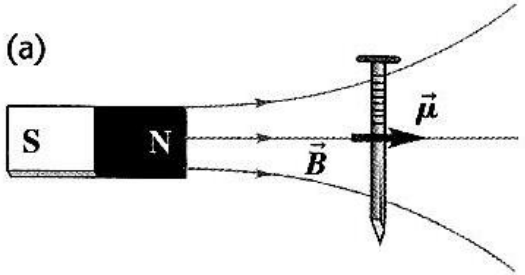
(c) Um campo magnético cria um torque sobre a barra de ferro imantada que tende a alinhar o seu momento dipolo ao campo $\vec{B}$.

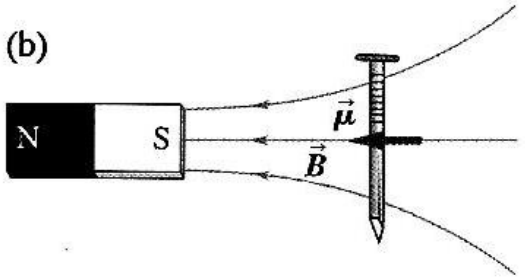


Atração de um prego por um ímã permanente

(a) Ferro não-imantado: os momentos magnéticos se orientam ao acaso.

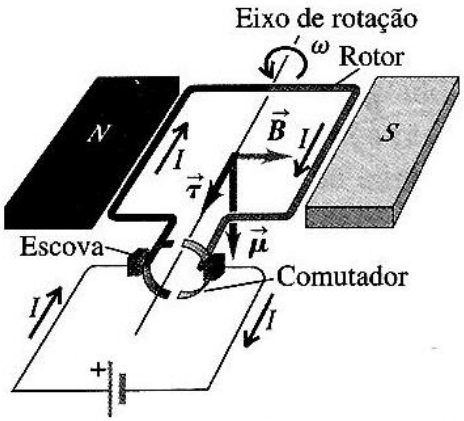






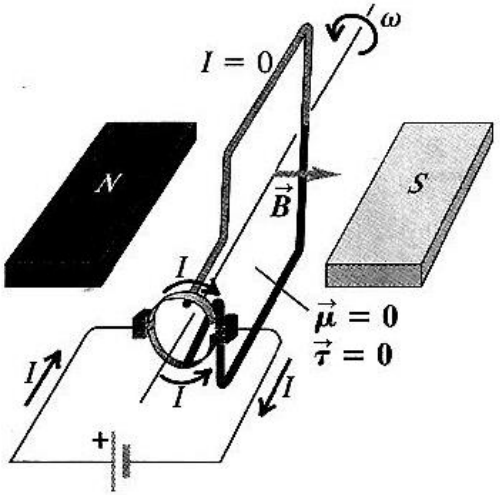
O motor de corrente contínua

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



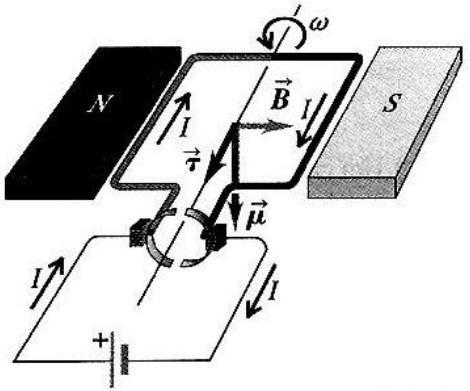
- A corrente entra pelo lado esquerdo do rotor e sai pelo lado direito.
- O torque magnético faz o rotor girar no sentido anti-horário.

(b) O rotor girou 90°.



- Cada escova está em contato com ambos os segmentos do comutador, de modo que a corrente não passa pelo rotor.
- Nenhum torque magnético atua sobre o rotor.

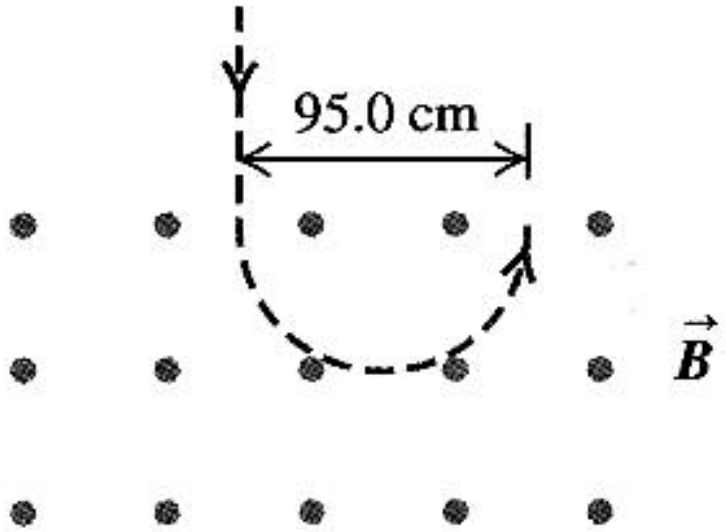
(c) O rotor girou 180°.



- As escovas estão novamente alinhadas aos segmentos do comutador. Dessa vez, a corrente entra pelo lado direito e sai pelo lado esquerdo.
- Logo, o torque magnético volta a atuar sobre o rotor no sentido anti-horário.

$$P = V_{ab} I$$

27.22 Em uma experiência com raios cósmicos, um feixe vertical de partículas que possuem carga com módulo $3e$ e massa 12 vezes maior que a massa do próton penetra um campo magnético horizontal uniforme de 0,250 T e está encurvado em um semicírculo com diâmetro igual a 95,0 cm, como indica a Figura 27.47. (a) Calcule a velocidade escalar das partículas e o sinal da sua carga. (b) É razoável ignorar a força da gravidade sobre essas partículas? (c) Como a velocidade escalar das partículas quando elas entram no campo se compara à sua velocidade ao saírem do campo?



27.22

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

Para a força $\vec{F}$ apontar para a direita a carga tem que ser negativa, já que $\vec{v} \times \vec{B}$ aponta para a esquerda

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

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

$$v = \frac{qB}{mR}$$

(a) $$v = \frac{3eBR}{12 m_p} = \frac{3 \times 1{,}602 \times 10^{-19} \times 0{,}250 \times 0{,}475}{12 \times 1{,}673 \times 10^{-27}}$$

$$v = 2{,}84 \times 10^6 \text{ m/s}$$

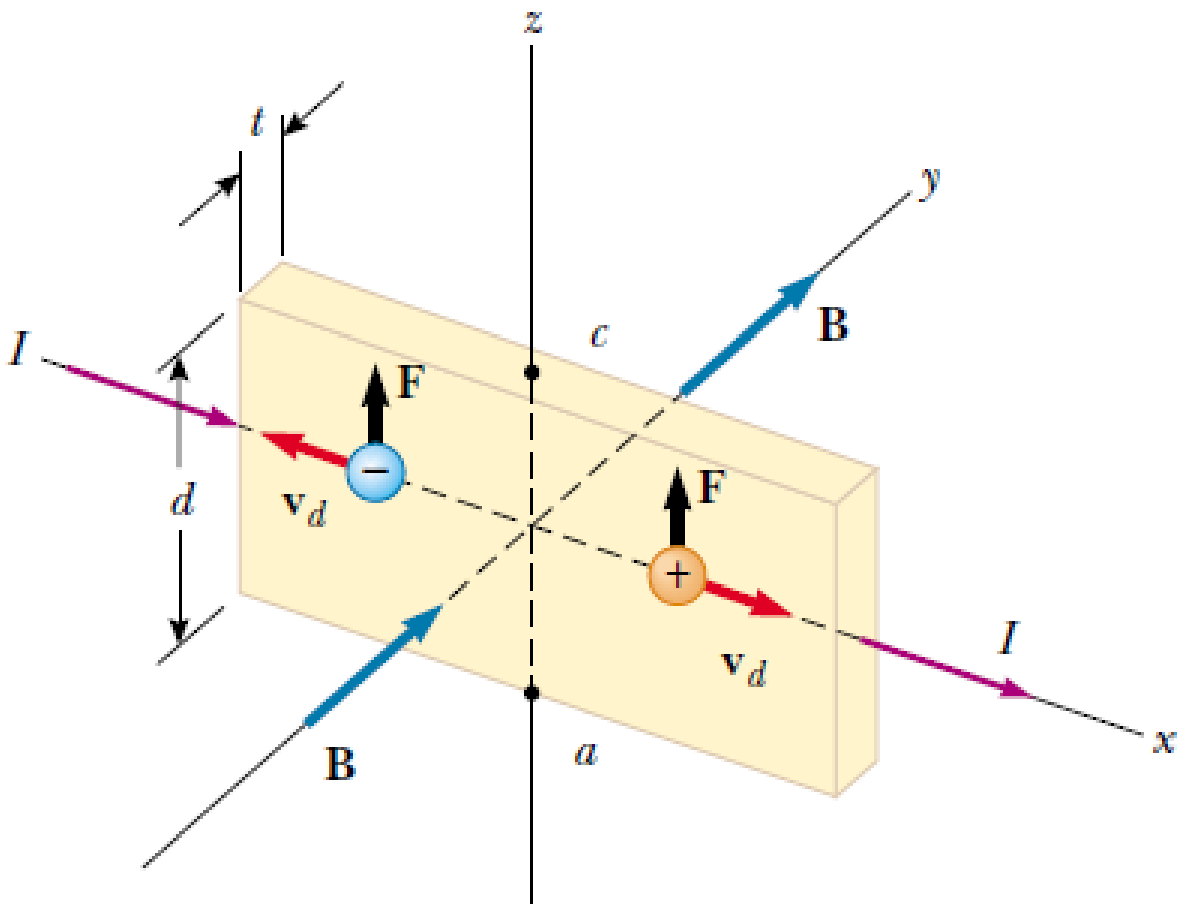
b) $F_G = mg = 12 \times 1{,}673 \times 10^{-27} \times 9{,}8 = 1{,}97 \times 10^{-25}\ N$

$F = qvB = 3 \times 1{,}602 \times 10^{-19} \times 2{,}84 \times 10^{6} \times 0{,}250 = 3{,}41 \times 10^{-13}$

portanto $F_G << F$

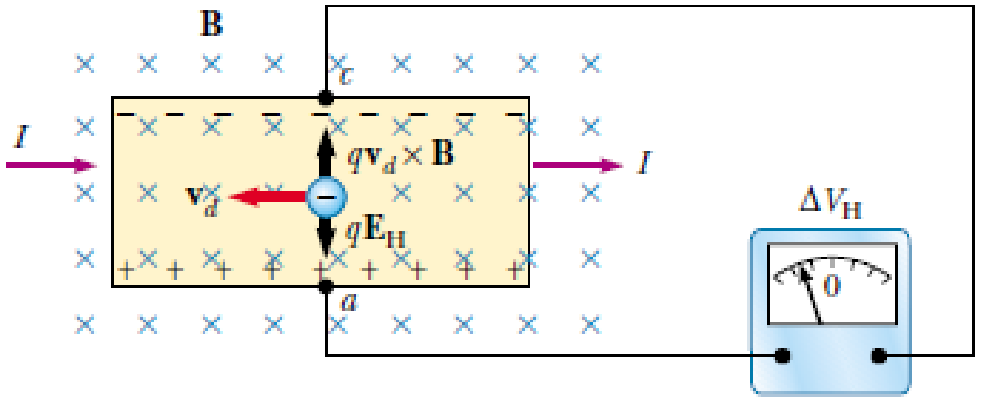
Sim, é razoável

c) São iguais pois a força magnética é sempre perpendicular à velocidade e não realiza trabalho



$$qv_dB = qE_H$$

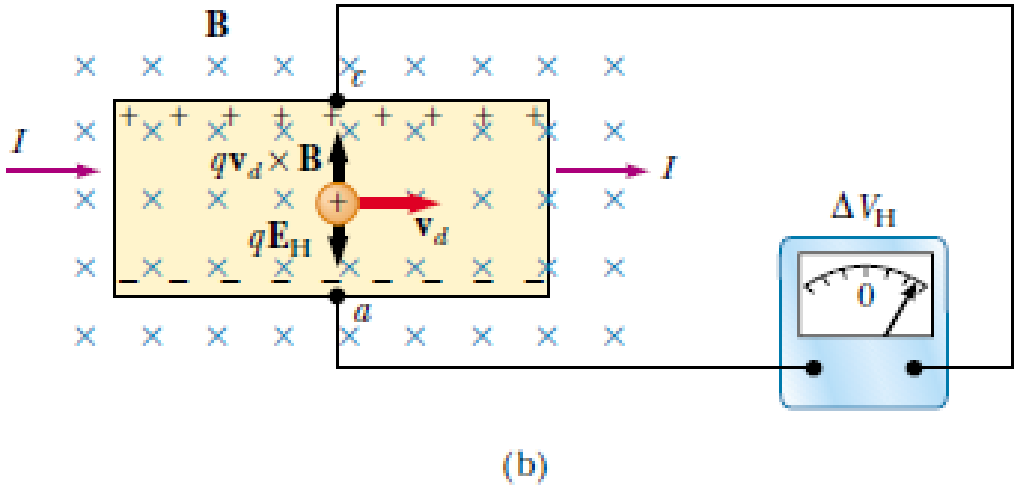
$$E_H = v_dB$$



$$\Delta V_H = E_H d = v_d B d \qquad (1)$$

Aulas anteriores: $$\frac{I}{A} = J = nqv_d$$

$$v_d = \frac{I}{nqA} \qquad (2)$$



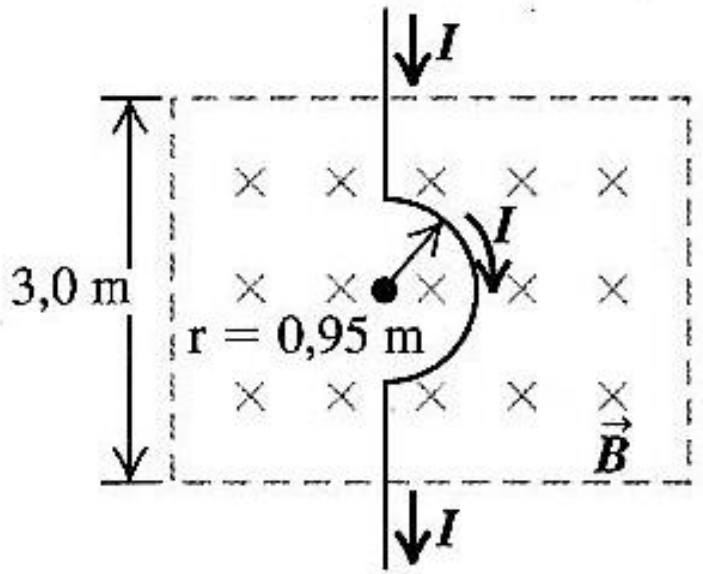
Subst. (2) em (1) $$\Delta V_H = \frac{IBd}{nqA}$$

A Área é: $$A = dt$$

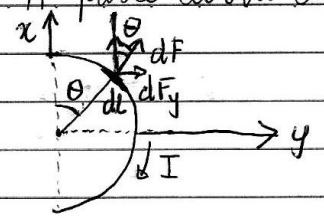
$$\Delta V_H = \frac{IB}{nqt}$$

Portanto, medindo o sinal e o valor da tensão Hall, posso determinar o sinal dos portadores e sua densidade.

27.62 Um fio longo e retilíneo que contém uma região semicircular com raio de 0,95 m é colocado em um campo magnético uniforme de módulo igual a 2,20 T, como indica a Figura 27.60. Qual é a força magnética resultante que atua sobre o fio, quando ele transporta uma corrente de 3,40 A?



A parte curva do fio:



$dl = R d\theta$

A contribuição do segmento dl para a força será $d\vec{F}$

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

$dF = I dl B \sin 90^\circ$

$dF = I R d\theta B$

decompondo dF nas componentes x e y

$dF_x = dF \cos\theta = IRB \cos\theta \, d\theta$

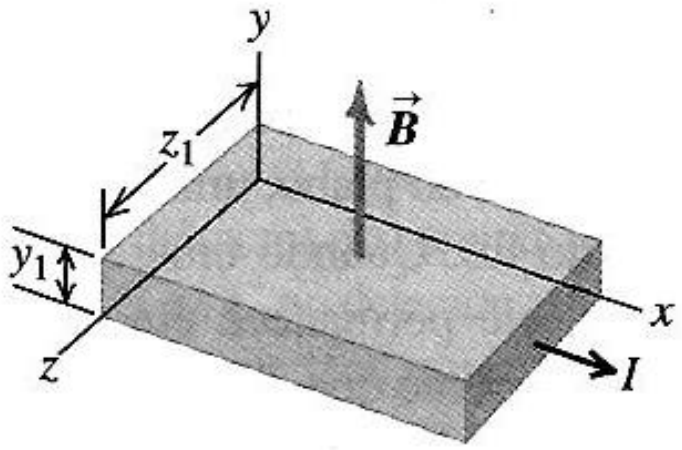
$dF_y = dF \sin\theta = IRB \sin\theta \, d\theta$

$$F_y = \int_0^\pi dF_y = IRB \int_0^\pi \sin\theta \, d\theta = -IRB \cos\theta \Big|_0^\pi$$

$$F_y = 2IRB$$

$$F_x = \int_0^\pi dF_x = 0$$

***27.51** A Figura 27.57 indica uma placa de prata com dimensões $y_1 = 0{,}23$ mm e $z_1 = 11{,}8$ mm e que conduz uma corrente igual a 120 A no sentido $+x$. A placa está em um campo magnético uniforme na direção y, cujo módulo é igual a 0,95 T. Aplique o modelo simplificado do efeito Hall, apresentado na Seção 27.9. Sabendo que existem $5{,}85 \times 10^{28}$ elétrons livres por metro cúbico, determine: (a) o módulo da velocidade de arraste dos elétrons na direção do eixo Ox; (b) o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no eixo Oz produzido pelo efeito Hall; (c) a fem Hall.

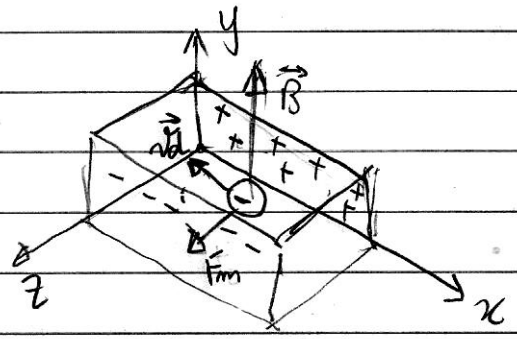


Ex: 22.51

$$q E_z = q v_d B \Rightarrow E_z = v_d B$$

$$\frac{I}{A} = n q v_d \Rightarrow v_d = \frac{I}{A n q}$$

(a) $$v_d = \frac{120}{0{,}23\times10^{-3} \times 11{,}8\times10^{-3} \times 5{,}85\times10^{28} \times 1{,}6\times10^{-19}} = 4{,}7\times10^{-3} \text{ m/s}$$



(b) $$\vec{E}_z = -v_d B \hat{k} = -4{,}46\times10^{-3} \frac{V}{m} \hat{k}$$

(c) $$V_H = E_z z_1 = 4{,}46\times10^{-3} \times 11{,}8\times10^{-3} = 5{,}3\times10^{-5} V$$

•• 47 Uma bobina retangular, com 50 espiras, tem os lados com 6,0 cm e 8,0 cm e conduz uma corrente de 1,75 A. A bobina está orientada como mostra a Fig. 28-34 e pode girar em torno do eixo dos z. (a) Se o lado da bobina no plano xy fizer um ângulo $\theta = 30°$ com o eixo dos y, como mostra a figura, que ângulo o vetor unitário normal $\hat{n}$ faz com o eixo dos x? (b) Dar a expressão de $\hat{n}$ em termos dos vetores unitários $\hat{i}$ e $\hat{j}$. (c) Qual o momento magnético da bobina? (d) Calcular o torque sobre a bobina no campo magnético uniforme $\vec{B} = (1{,}5\ \text{T})\,\hat{j}$. ($e$) Calcular a energia potencial da bobina neste campo.

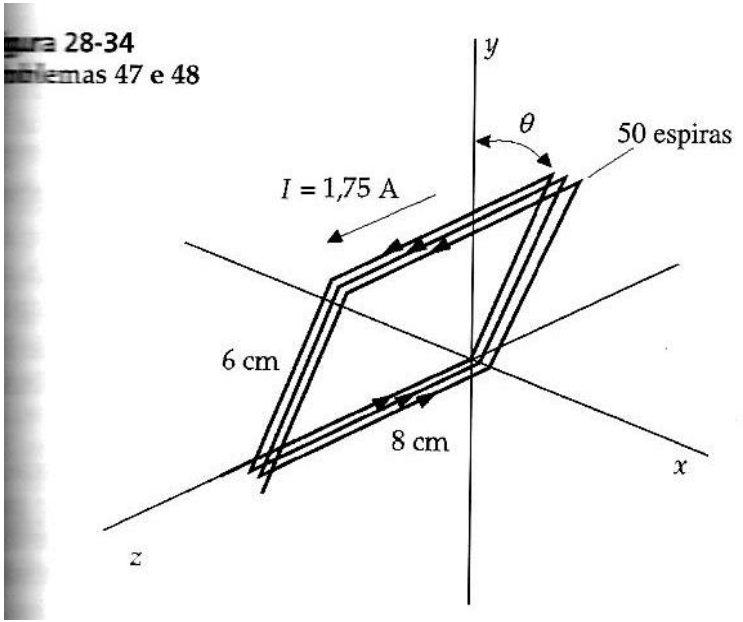
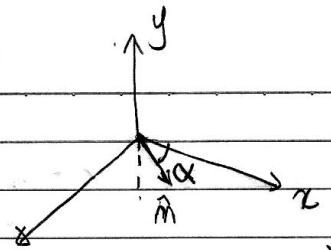


Figura 28-34
Problemas 47 e 48

47)



(a) Forma um ângulo $\theta = 37°$ com o eixo x

(b) $\hat{m} = \cos\theta\,\vec{i} - \sin\theta\,\vec{j}$

$\hat{m} = 0{,}800 - 0{,}602\,\vec{j}$

$\vec{\mu} = NI\vec{A} = NIA\,\hat{m} = NIA(\cos\theta\,\vec{i} - \sin\theta\,\vec{j})$

$\vec{\mu} = 50 \times 1{,}75 \times 6\times10^{-2} \times 8\times10^{-2}(\cos 37°\,\vec{i} - \sin 37\,\vec{j})$

$\vec{\mu} = 0{,}42(\cos 37°\,\vec{i} - \sin 37°\,\vec{j})$

(c) $\vec{\mu} = (0{,}335\,\vec{i} - 0{,}253\,\vec{j})\ Am^2$

$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} = (0{,}335\,\vec{i} + 0{,}253\,\vec{j}) \times 1{,}5\,\vec{j}$

(d) $\vec{\tau} = 0{,}5\ Nm\ \hat{k}$

(e) $U = -\vec{\mu}.\vec{B} = -(0{,}335\,\vec{i} + 0{,}253\,\vec{j}).\ 1{,}5\,\vec{j}$

$U = -0{,}380\ J$