



Campo magnético

Força que actua sobre uma carga em movimento submetida à acção de um campo magnético. Lei de Lorentz.

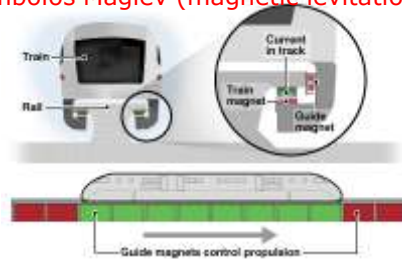
Força magnética sobre um condutor percorrido por uma corrente; Lei de Laplace.

Campo magnético criado por uma corrente. Campo magnético criado por uma espira percorrida por uma corrente

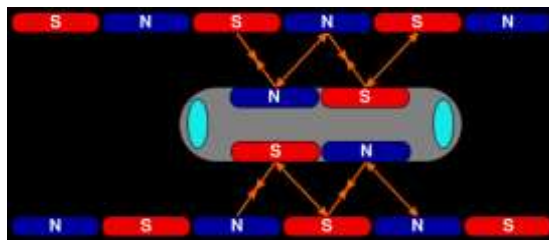
O recorde de velocidade dos comboios Maglev encontra-se em 581 km/h, atingido no Japão em 2003. Mais rápidos (em 6 km/h) do que o recorde do TGV

Em Abril de 2007, os caminhos de ferro Japoneses anunciaram a entrada em funcionamento, em 2025, de um comboio Maglev entre Tokyo e Nagoya.

Comboios Maglev (magnetic levitation)



Maglev, ou levitação magnética é um sistema em que, no caso dos comboios, estes se encontram suspensos dos carris.



A suspensão electrodinâmica é devida ao campo magnético do comboio e dos carris. O comboio levita devido à força repulsiva entre os campos magnético. O campo magnético no comboio é produzido por electroímãs ou por um conjunto de magnetes permanentes; A força repulsiva nos carris é criada por campos magnéticos induzidos no material condutor dos carris.

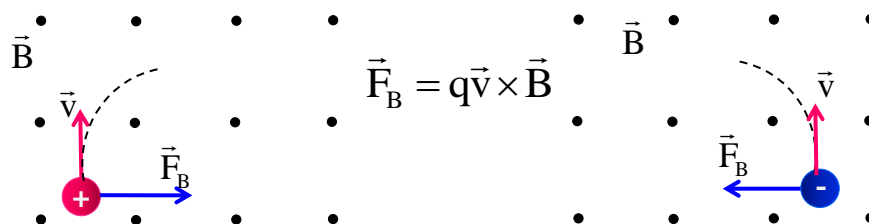


força eléctrica e força magnética

- A força magnética só actua sobre cargas em movimento.
- A força eléctrica actua sempre na direcção do campo eléctrico
- A força magnética é perpendicular ao campo magnético.
- A força eléctrica realiza trabalho quando desloca uma carga;
- O trabalho realizado pela força magnética sobre uma carga é sempre nulo (porque a força magnética não pode alterar a energia cinética da carga)



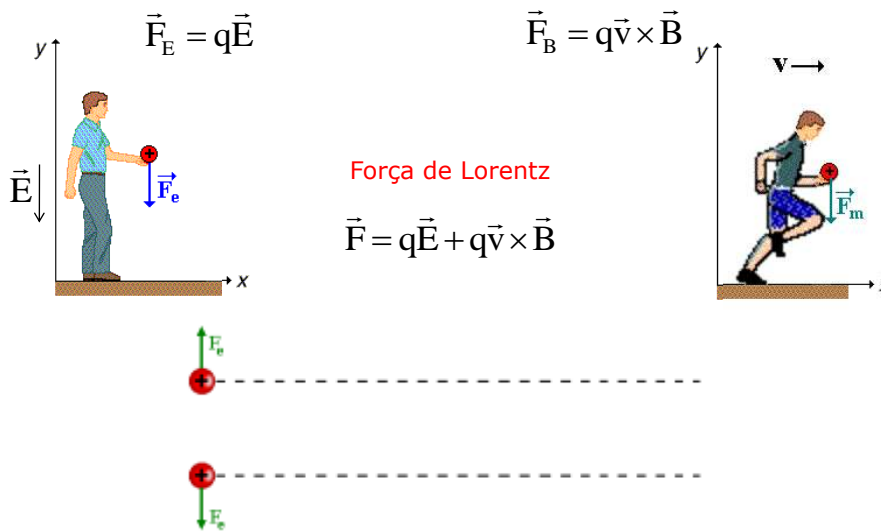
Movimento de cargas eléctricas em campos magnéticos



- A direcção da força magnética é alterada, mas a sua magnitude permanece constante
- O campo magnético pode alterar a direcção do movimento da carga, mas não pode alterar o módulo da sua velocidade.



Força de Lorentz



Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 4 (2_3)

5

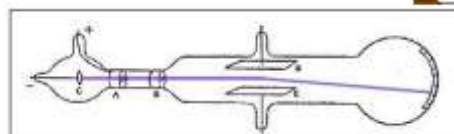


A descoberta do electrão em 1897



(1856-1940)

J.J. Thomson
Prémio Nobel da Física em 1906



"This experiment shows that however we twist and deflect the cathode rays by magnetic forces, the negative electrification follows the same path as the rays, and that this negative electrification is indissolubly connected with the cathode rays" J.J. Thomson

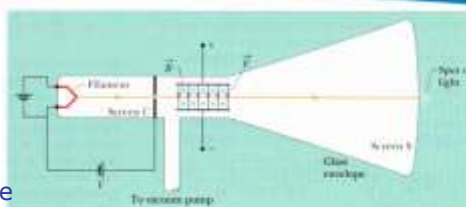
Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 4 (2_3)

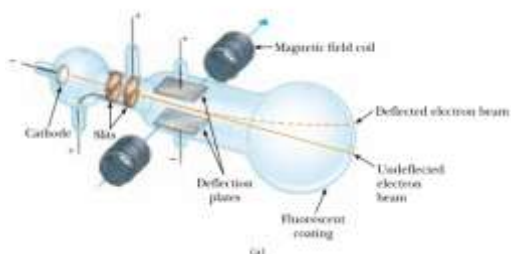
6



- Emissão de um feixe de partículas carregadas pelo cátodo;
- As partículas são aceleradas, devido à d.d.p. entre o cátodo e as fenda C;
- As partículas passam através de umas placas onde ficam sujeitos a um campo eléctrico e um campo magnético, que actuam em direcções perpendiculares



- Se $E=0$ e $B=0$, o feixe de partículas não será desviado.

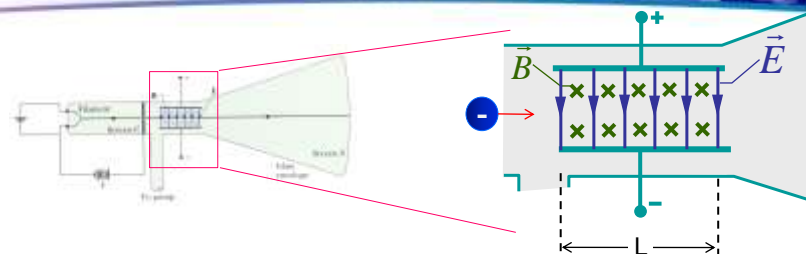


- Se os campos magnético e eléctrico forem aplicados em simultâneo, é possível ajustá-los de forma que o desvio da partícula seja nulo.

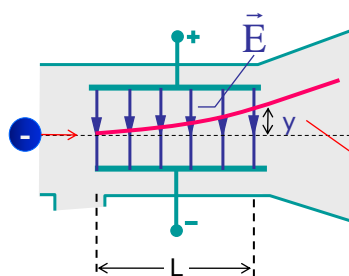
Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 4 (2_3)

7



Se apenas for aplicado o campo eléctrico aos electrões, teremos:



$$\begin{cases} y = \frac{1}{2} a_y t^2 \\ L = vt \end{cases}$$

onde

$$a_y = \frac{F_e}{m_e} = \frac{qE}{m_e}$$

Desvio do electrão devido ao campo eléctrico

$$y = \frac{qEL^2}{2m_e v^2}$$

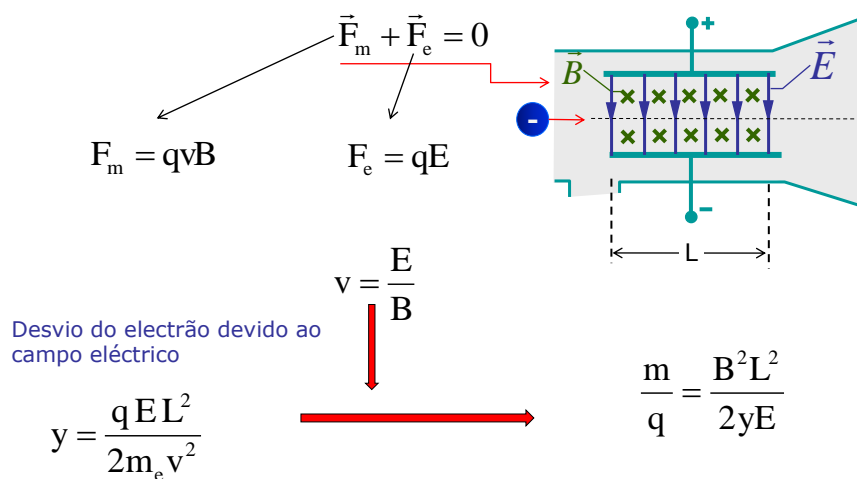
Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 4 (2_3)

8



Se os campos magnético e eléctrico forem aplicados em simultâneo, é possível ajustá-los de forma que o desvio da partícula seja nulo.



Movimento circular de cargas eléctricas

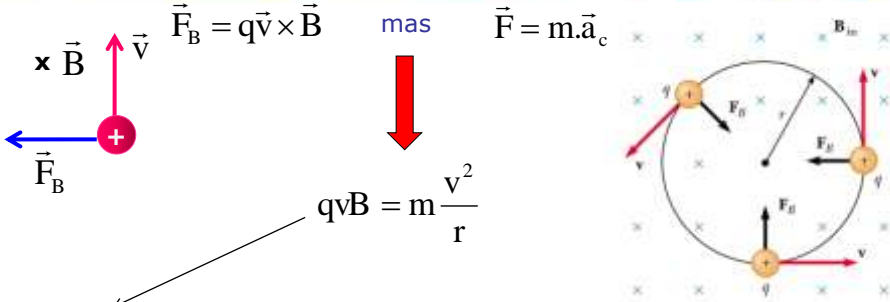
Se uma partícula se move com movimento circular a **velocidade constante**, então a magnitude da força resultante que actua na partícula é constante, a sua direcção é perpendicular à velocidade da partícula e o sentido "aponta" para o centro da trajectória.



Circulação de electrões numa câmara contendo um gás a baixa pressão.



O campo magnético uniforme tem o sentido para "fora do plano"



$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ mas $\vec{F} = m\vec{a}_c$

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

$r = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{qB}$ Período

Frequência Velocidade angular

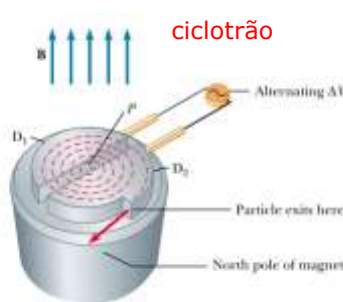
$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{qB}{2\pi m}$ $\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$

Frequência de ciclotrão

Cacilda Moura-DFUM Capítulo 4 (2_3) 11

Aceleradores de partículas

ciclotrão



O ciclotrão é utilizado para aumentar a energia cinética de partículas carregadas. Para tal é necessário a existência de um campo magnético e de um campo eléctrico.

As partículas com energia cinética elevada podem ser utilizadas para bombardeamento núcleos de outros átomos e provocar reacções nucleares, de forma a obter informação sobre Física de partículas;

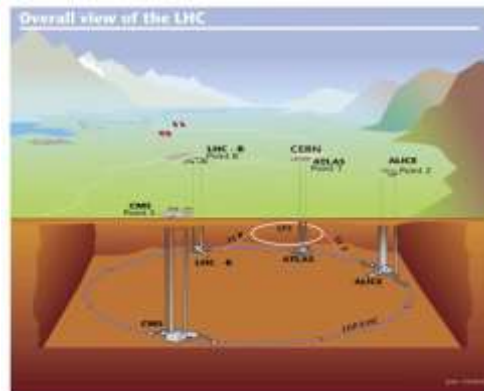
Em muitos hospitais são utilizados ciclotrões para produzir substâncias radioactivas de interesse para o diagnóstico médico.



Large Hadron Collider (LHC)

O maior e mais poderoso acelerador de partículas do mundo, que se encontra localizado no CERN, junto da fronteira entre a Suíça e a França.

Consiste num anel com um perímetro de 27 km, e localizado a uma profundidade de 100 m.



Dentro do acelerador dois feixes de partículas são acelerados, até uma velocidade próxima da velocidade da luz (energia de 7 TeV). Os feixes circulam em tubos separados com condições de ultra-alto vácuo. A aceleração dos feixes é feita por um campo magnético forte, produzido por supercondutores electromagnéticos.

<http://lhathome.cern.ch/>

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/>

Cacilda Moura-DFUM

Capítulo 4 (2_3)

13



Exemplo 1 - Numa experiência destinado a medir a magnitude de um campo magnético uniforme, os electrões são acelerados a partir do repouso através de uma diferença de potencial de 350 V. Os electrões deslocam-se ao longo de uma trajectória circular com um raio de 7.5 cm. Determinar:

- A magnitude do campo magnético
- A velocidade angular dos electrões
- O período do movimento



Cacilda Moura-DFUM

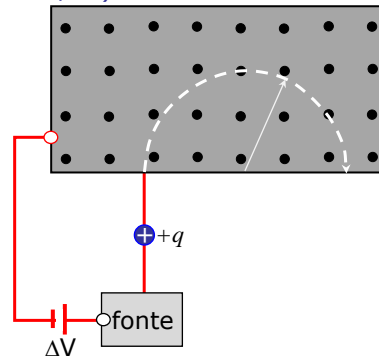
Capítulo 4 (2_3)

14



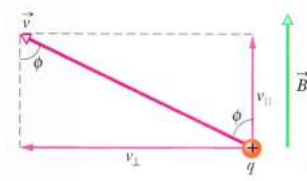
Exemplo 2 - Um ião ^{58}Ni (massa: $9.62 \times 10^{-26} \text{kg}$) é acelerado através de uma diferença de potencial de 3kV e flectido por um campo magnético de 0.12T.

- calcule o raio de curvatura da órbita do ião.
- determine as diferenças nos raios de curvatura dos iões ^{58}Ni e ^{60}Ni (Assuma que a razão das massas é de 58/60).



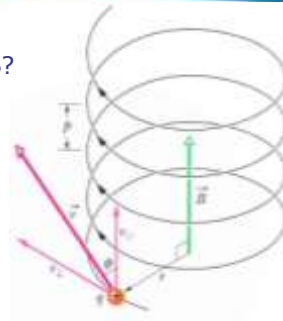
Qual a trajetória da partícula...

se a velocidade não é perpendicular ao campo B?

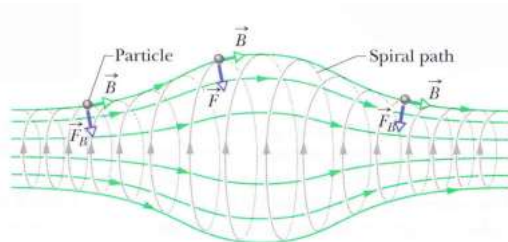


$$v_{\perp} = v \sin \phi$$

$$v_{\parallel} = v \cos \phi$$



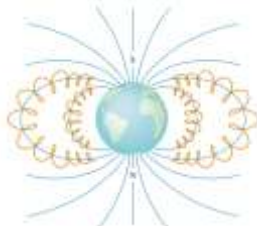
se B é não uniforme?



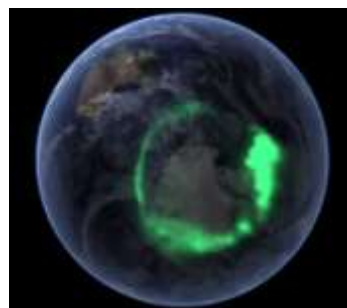
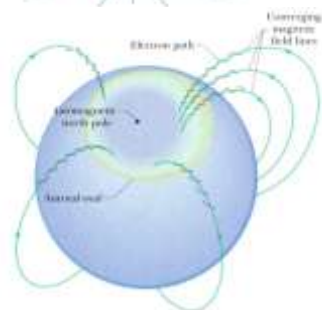
Uma partícula que evolui num campo magnético não uniforme pode ficar "aprisionada".



Cinturas de radiação de Van Allen



É uma região onde ocorrem vários fenômenos atmosféricos devido a concentrações de partículas no campo magnético terrestre, e foram descobertas em 1958 por James Van Allen: **Auroras boreais e austrais.**



Aurora Australis captured by NASA's IMAGE satellite and overlaid onto NASA's satellite-based Blue Marble image



Aurora Borealis - Northern Lights - in shades of red and green from Maine.



Purple-green-yellowish northern lights in a star-filled sky with moonlight in Alaska

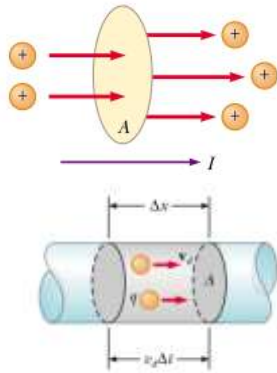
<http://geology.com/nasa/aurora-borealis.shtml>



Força magnética sobre um condutor percorrido por uma corrente

O que é a corrente eléctrica?

A corrente eléctrica, é definida como sendo a taxa de carga (nº total de cargas/unidade de tempo) que atravessa uma determinada área de um condutor



$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \equiv \frac{dQ}{dt}$$

Unidade SI: ampere
1A=1C/s

$\Delta Q = \text{nº de transportadores de carga} \times \text{carga}$

$$\Delta Q = (n A \Delta x) q$$

$$\Delta Q = (n A v_d \Delta t) q$$

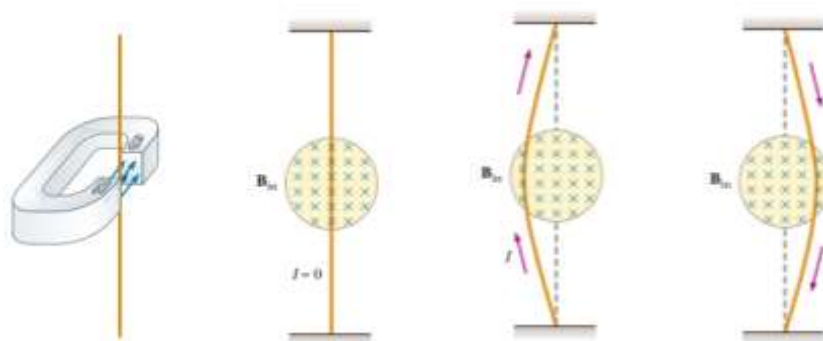
$$I = nq v_d A$$

Se $q > 0 \Rightarrow I$ tem o mesmo sentido da velocidade

Se $q < 0 \Rightarrow I$ tem sentido contrário à velocidade



Fio condutor, rectilíneo, colocado entre os pólos de um íman:



Quando $I = 0$, o fio permanece na vertical

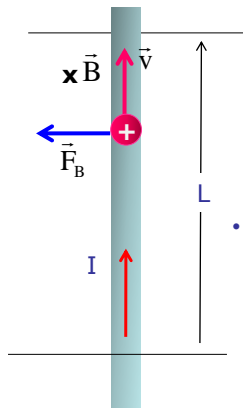
Quando I é "para cima", o fio desvia-se para a esquerda

Quando I é "para baixo", o fio desvia-se para a direita



A força magnética que actua no fio, percorrido por uma corrente I , é resultante da soma das forças individuais que actuam nas cargas em movimento.

- A corrente, I , pode ser tratada como um conjunto de cargas em movimento.



Num intervalo de tempo t , a quantidade de carga que passa no fio é:

$$q = I t \Rightarrow q = I \frac{L}{v}$$

- A força magnética que actua em cada carga é: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

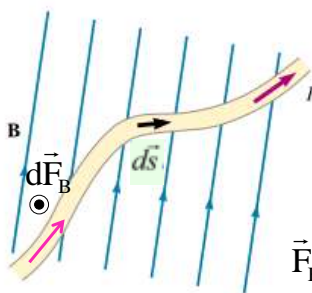
A força magnética que actua num fio rectilíneo percorrido por uma corrente I , num campo magnético uniforme é:

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B} \quad \longrightarrow \quad F_B = I L B \sin\phi$$



Fio condutor não rectilíneo

Segmento condutor de forma arbitrária, num campo magnético uniforme, percorrido por uma corrente I .



A força magnética, que é exercida no fio, pode ser calculada a partir da força magnética exercida em cada elemento ds do fio.

$$d\vec{F}_B = I d\vec{s} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_B = \int_a^b I d\vec{s} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

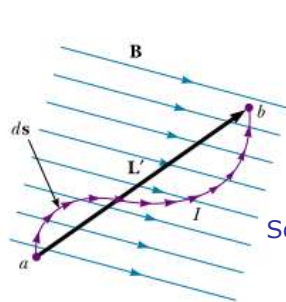
\vec{F}_B é máxima quando $\vec{B} \perp d\vec{s}$

$\vec{F}_B = 0$, quando $\vec{B} \parallel d\vec{s}$

a e b , correspondem a pontos terminais do condutor



Caso I- Qual a força magnética a que fica sujeito um **condutor curvo**, quando se encontra numa região de **campo magnético uniforme**?



$$\vec{F}_B = \int_a^b I d\vec{s} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

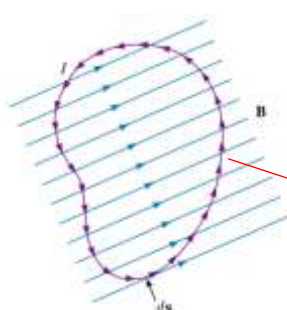
Soma de todos os vectores ds de **a** até **b** é igual a **L**

$$\vec{F}_B = I \vec{L} \times \vec{B}$$

Lei de Laplace



Caso II - Qual a força magnética a que fica sujeito um **condutor curvo fechado** (ou **espira**), quando se encontra numa região de **campo magnético uniforme**?



$$\vec{F}_B = I \oint d\vec{s} \times \vec{B}$$

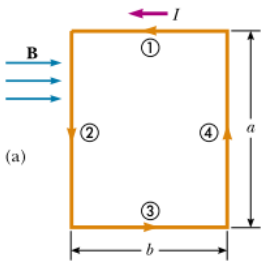
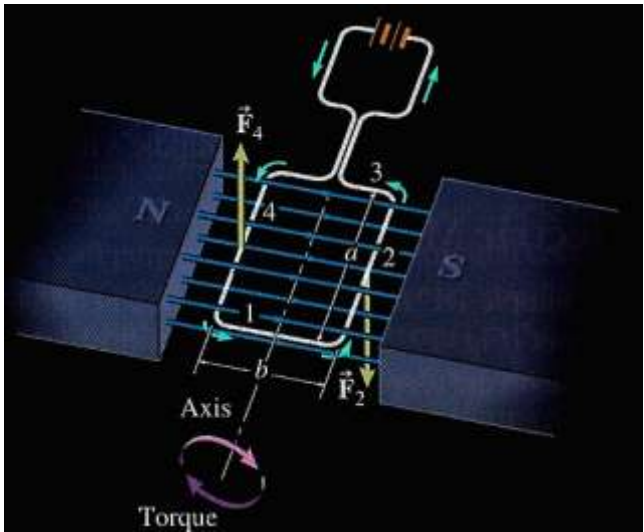
polígono fechado \Rightarrow a soma vectorial deve ser nula

$$\vec{F}_B = 0$$

A força magnética total sobre qualquer espira de corrente, fechada, num campo magnético uniforme é igual a zero.



Espira de Corrente num Campo Magnético Uniforme

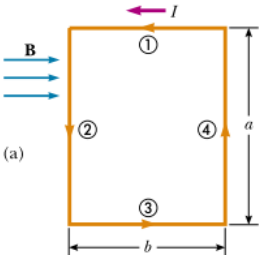


http://www.walter-fendt.de/ph14br/electricmotor_br.htm



A força magnética que actua num fio rectilíneo percorrido por uma corrente I , num campo magnético uniforme é:

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

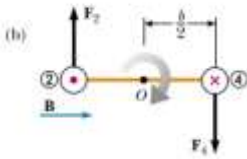


Campo eléctrico é uniforme no plano da espira

A força magnética que actua nos lados 1 e 3 são nulas, porque

$$\vec{B} // d\vec{s}$$

As forças que actuam no lado 2 e 4, são iguais, mas de sentidos opostos



$$F_1 = F_2 = I a B$$

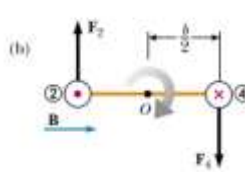
Estas duas forças provocam um momento (torque) em relação a O, originando a rotação no sentido horário, da espira.

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/generator/dc.html>



A magnitude do momento da força, é:

$F_1 = F_2 = I a B$



$\tau = F_1 \frac{b}{2} + F_2 \frac{b}{2}$ (braço da força)

área da espira

$\tau = IaB \frac{b}{2} + IaB \frac{b}{2} \Rightarrow \tau = I a b B \Rightarrow \tau = IAB$

- Só válida quando \vec{B} é paralelo ao plano da espira
- Sentido da rotação depende do sentido da corrente
- Se a I for invertida \Rightarrow as forças são invertidas e a rotação dá-se no sentido oposto.

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

Expressão Geral do Momento da Força



Momento magnético

Espira percorrida por uma corrente I colocada num campo magnético uniforme. A espira pode rodar em torno de um eixo vertical.



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

$\vec{\tau}$ – momento da força

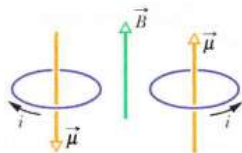
\vec{A} – vector perpendicular ao plano da espira e de módulo A

\vec{B} – campo magnético uniforme

$\vec{\mu}$ – momento dipolar magnético

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

Sentido do momento magnético (regra da mão direita)



$$\vec{\tau} = N \vec{\mu} \times \vec{B} \quad N - \text{n}^\circ \text{ de enrolamentos da espira}$$



Exemplo 3: Um espira rectangular de 5.40 cm x 8.50 cm, é feita com 25 voltas de um fio condutor que transporta uma corrente de 15 mA. Um campo magnético de 0.350 T, é aplicado numa direcção paralela ao plano da espira. Calcule:

- a) A magnitude do momento magnético
- b) Qual a magnitude do momento da força que actua na espira.



Exemplo 4: Muitos satélites usam espiras (chamados geradores de momentos), para ajustar as suas orientações. Estes dispositivos interactivam com o campo magnético da Terra para criarem os momentos nos satélites nas diferentes direcções.

A principal vantagem deste tipo de sistema de controle de atitude, é que utiliza energia solar e assim não consome qualquer combustível propulsor.

Se um dispositivo típico tem um momento magnético de 250 Am^2 , qual o momento da força máximo, aplicado a um satélite numa região em que o campo magnético terrestre é de $3 \times 10^{-5} \text{ T}$?



- A força magnética que actua numa partícula carregada que se desloca com uma velocidade v , num campo magnético é: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$
- A força magnética tem uma direcção perpendicular à velocidade e ao campo magnético
- A força magnética que actua num fio rectilíneo percorrido por uma corrente I , num campo magnético uniforme é: $\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$

A força magnética a que fica sujeito um condutor curvo fechado (ou **espira**), quando se encontra numa região de campo magnético uniforme, é nula.

O momento da força magnética numa espira percorrida por uma corrente I , num campo magnético uniforme, é: $\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B}$

O momento dipolar magnético numa espira de N voltas, percorrida por uma corrente I , é: $\vec{\mu} = NI\vec{A}$