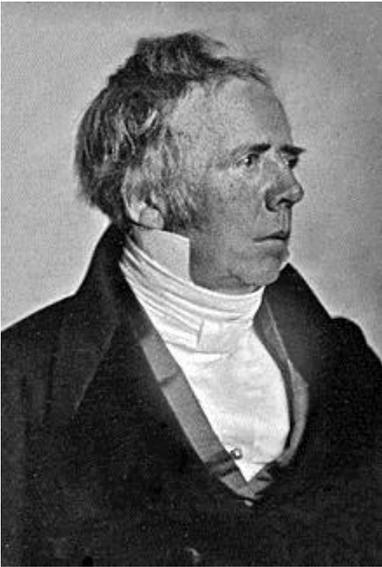


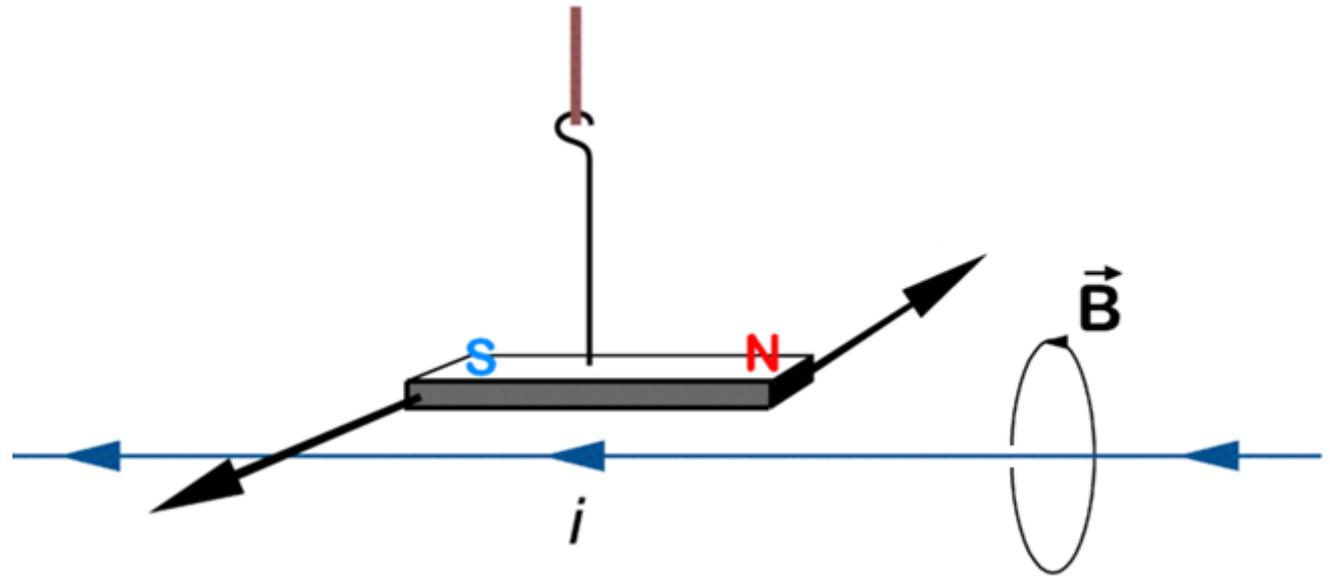
## **Magnetismo**

### Parte 2

# Experimento de Oersted



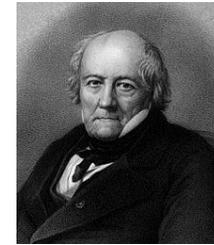
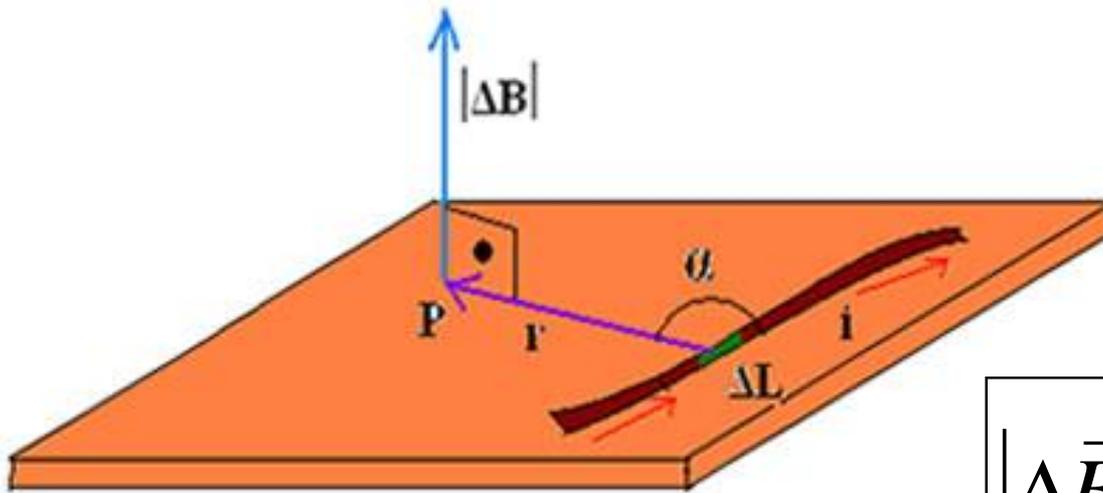
Hans Christian Ørsted  
1777 - 1851  
**21/04/1820**



- o plano com as limalhas de ferro está perpendicular ao fio;
- as limalhas de ferro formam linhas circulares em torno do fio.

# Lei de Biot - Savart

(1820)



Jean Baptiste Biot  
1774 - 1862



Félix Savart  
1791 - 1841

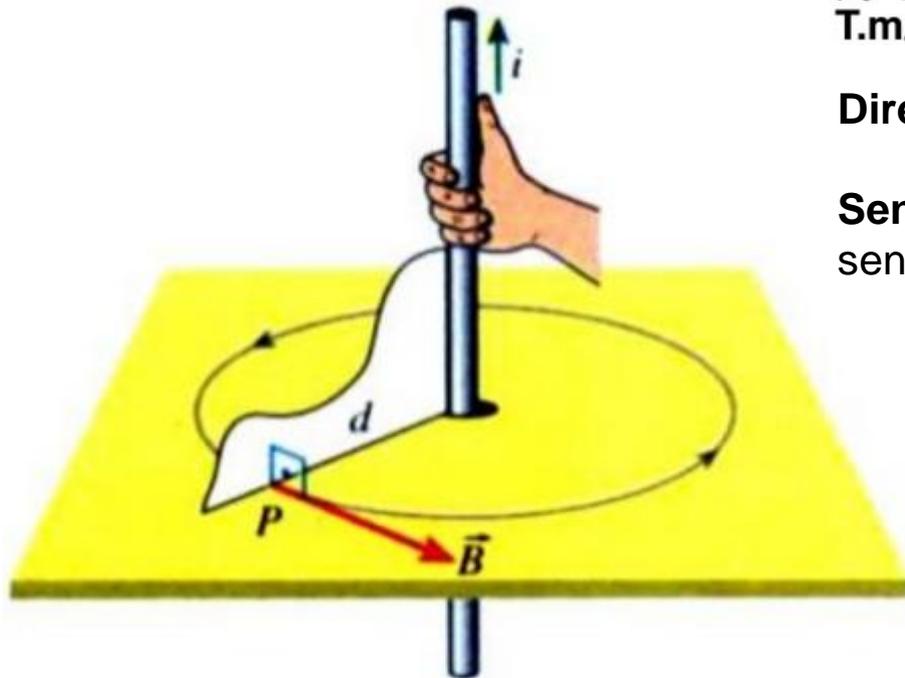
$$|\Delta \vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\Delta l \cdot \text{sen} \alpha}{r^2}$$

## Dependências de $\Delta B$ :

- Diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica ( $I$ ) ;
- Diretamente proporcional à permeabilidade magnética do meio ( $\mu_0$ ) ;
- Diretamente proporcional ao elemento do condutor ( $\Delta L$ ) ;
- Diretamente proporcional ao seno do ângulo ( $\text{sen} \alpha$ ) entre  $\Delta L$  e  $r$  ;
- Inversamente proporcional ao quadrado da distância ( $r^2$ ) entre o condutor  $\Delta L$  e o ponto  $P$  ;
- O vetor campo magnético é perpendicular ao plano definido por  $\Delta L$  e  $P$ .

- Campo magnético em torno de um fio condutor retilíneo, quando percorrido por corrente elétrica (fio muito longo ou ponto muito próximo ao fio):

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d}$$



**B:** módulo do vetor campo magnético (T-Tesla)

**i:** corrente elétrica ( A)

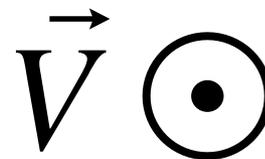
**d:** distância perpendicular entre o fio condutor e o ponto P onde se encontra o vetor campo magnético (m)

$\mu_0$ : permeabilidade magnética no vácuo =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  T.m/A

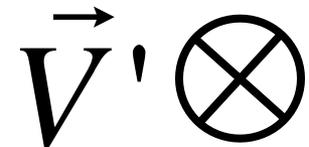
**Direção:** tangente à linha de campo magnético

**Sentido:** regra da mão direita, com o polegar no sentido da corrente

Representação vetorial:

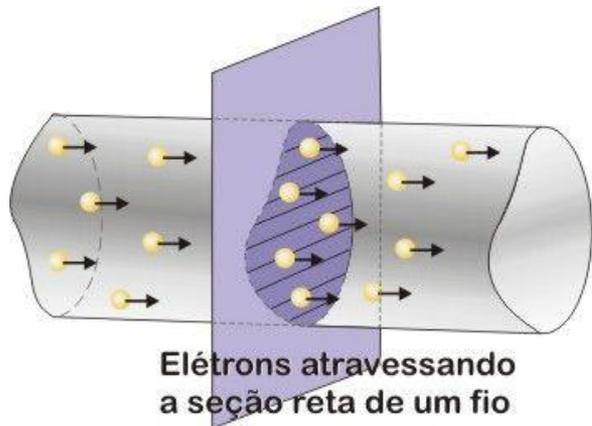
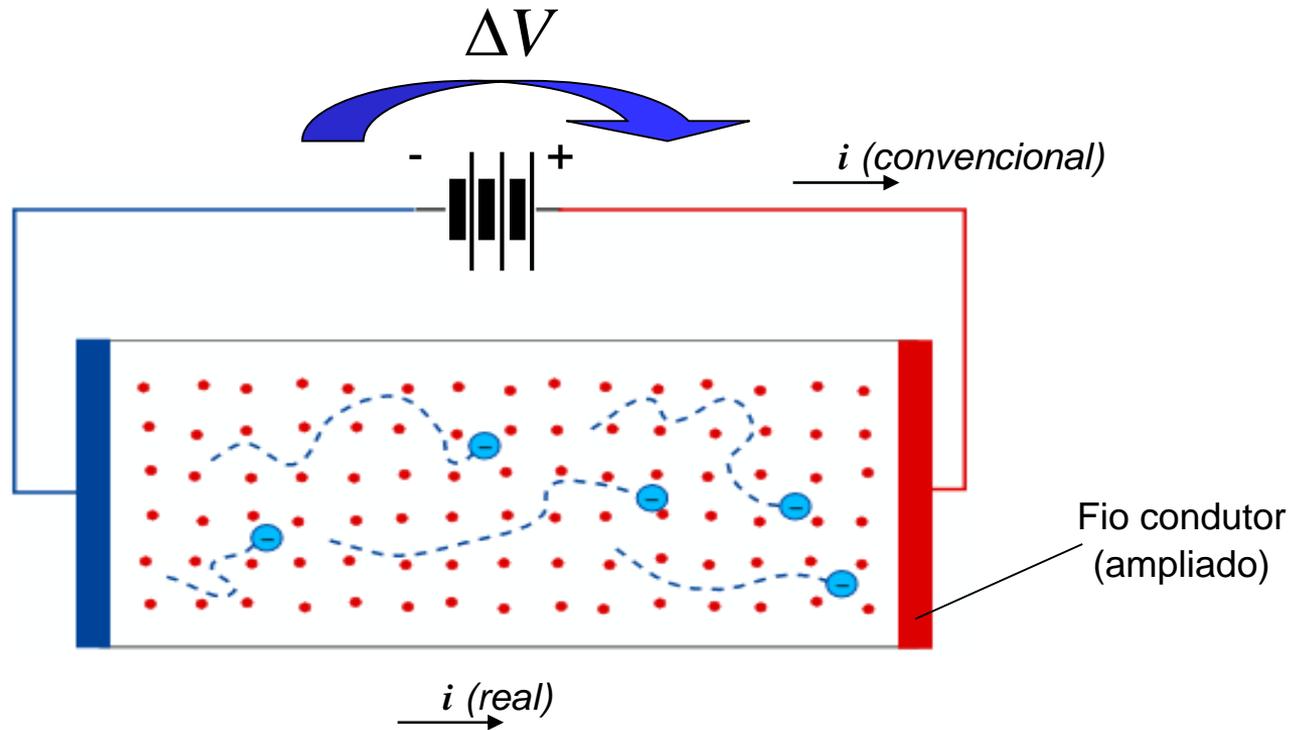


Vetor **saindo**  
do plano

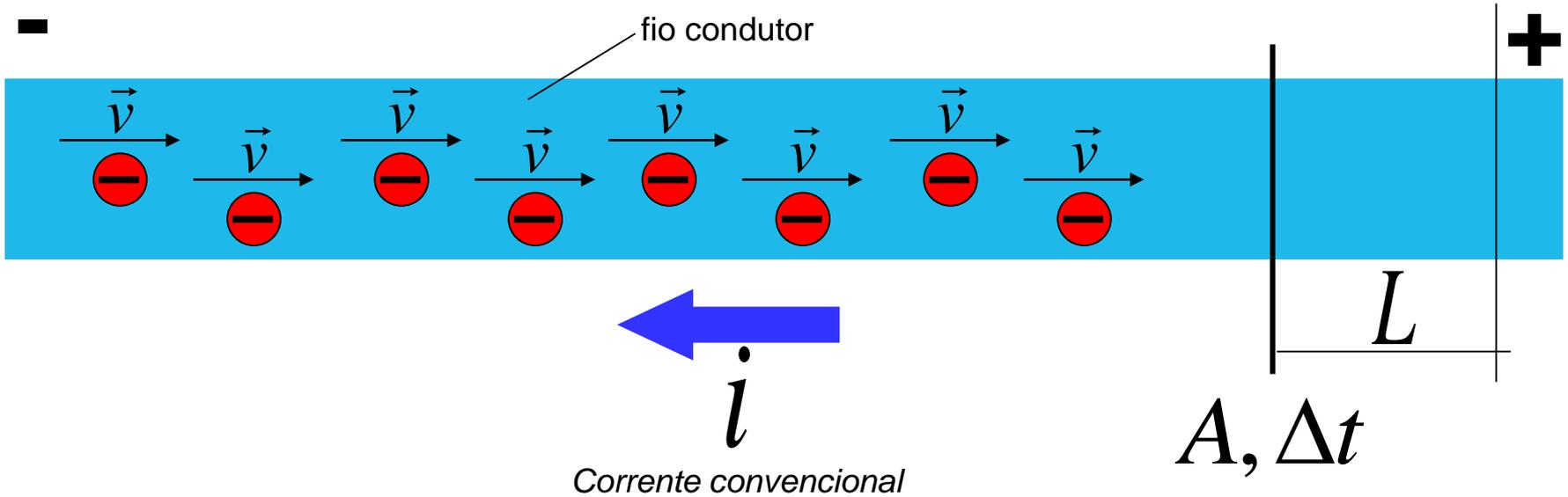


Vetor **entrando**  
no plano

- **Corrente elétrica:** é o fluxo de cargas elétricas que passam por uma seção transversal do condutor, por unidade de tempo.



$$i = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow \left[ \frac{C}{s} \right] \rightarrow [ampère \rightarrow A]$$



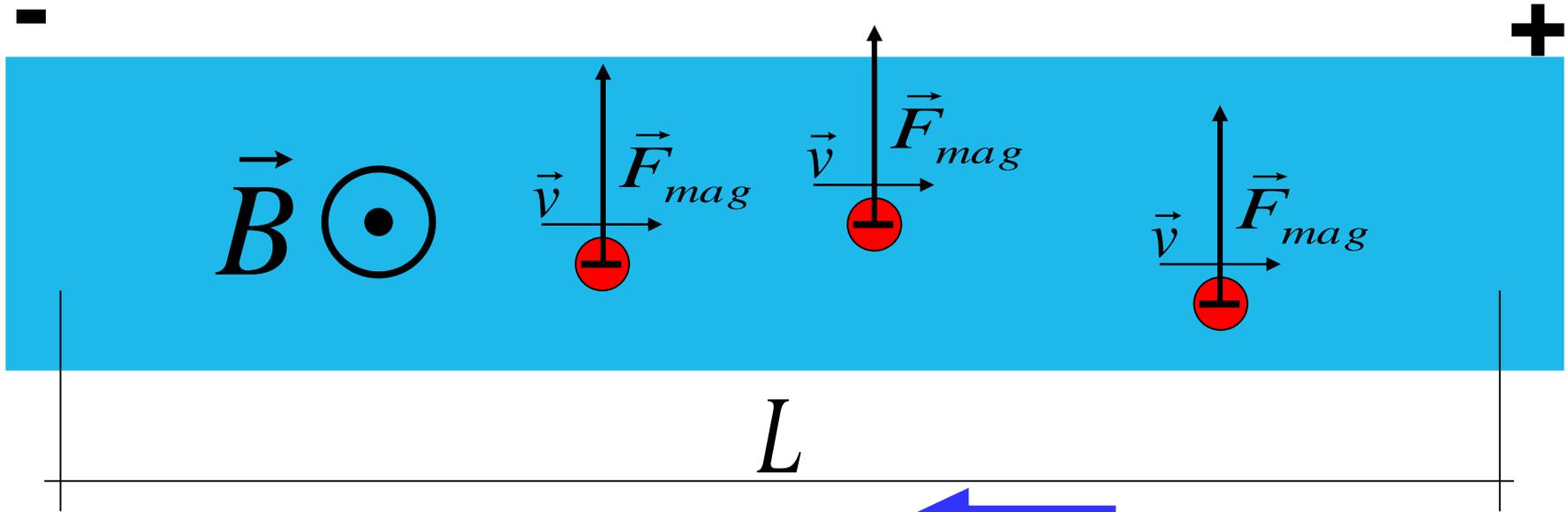
$Q = n \cdot q \rightarrow Q = n \cdot e$  , onde  $Q$  significa o número de cargas elétricas elementares  $n \cdot e$  que passam pela área  $A$  em um certo intervalo de tempo  $\Delta t$ .

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

Número de elétrons livres em  $1 \text{ cm}^3$  de cobre (Cu):  $\approx 8,5 \times 10^{22}$

Corrente elétrica de  $1A$   $\rightarrow$  fio AWG 17  $\rightarrow$   $1,04 \text{ mm}^2$ . Qual é o comprimento do fio?

- Força Magnética em um fio condutor percorrido por corrente elétrica:

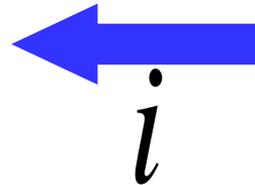


$$\vec{F}_{mag} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

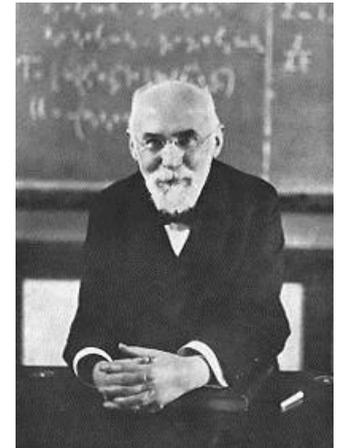
$$F_{mag} = n \cdot q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ$$

$$F_{mag} = n \cdot q \cdot \frac{L}{\Delta t} \cdot B \rightarrow F_{mag} = \frac{n \cdot q}{\Delta t} \cdot L \cdot B$$

Usando corrente elétrica  $i \rightarrow$  
$$\vec{F}_{mag} = i \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

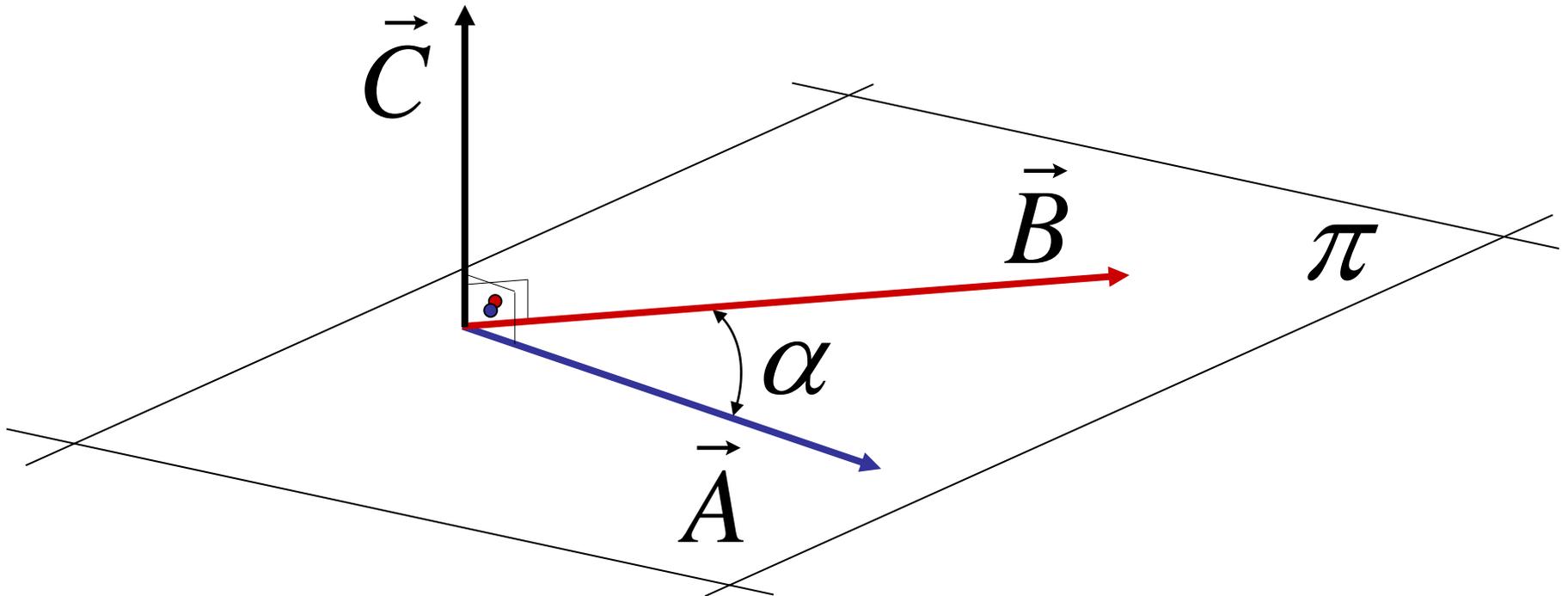


Corrente convencional



Hendrik Lorentz  
1853 - 1928  
Nobel de **1.902**

Uma outra operação vetorial → o **Produto Vetorial**



Representação

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

Módulo →

$$|\vec{C}| = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \text{sen} \alpha$$

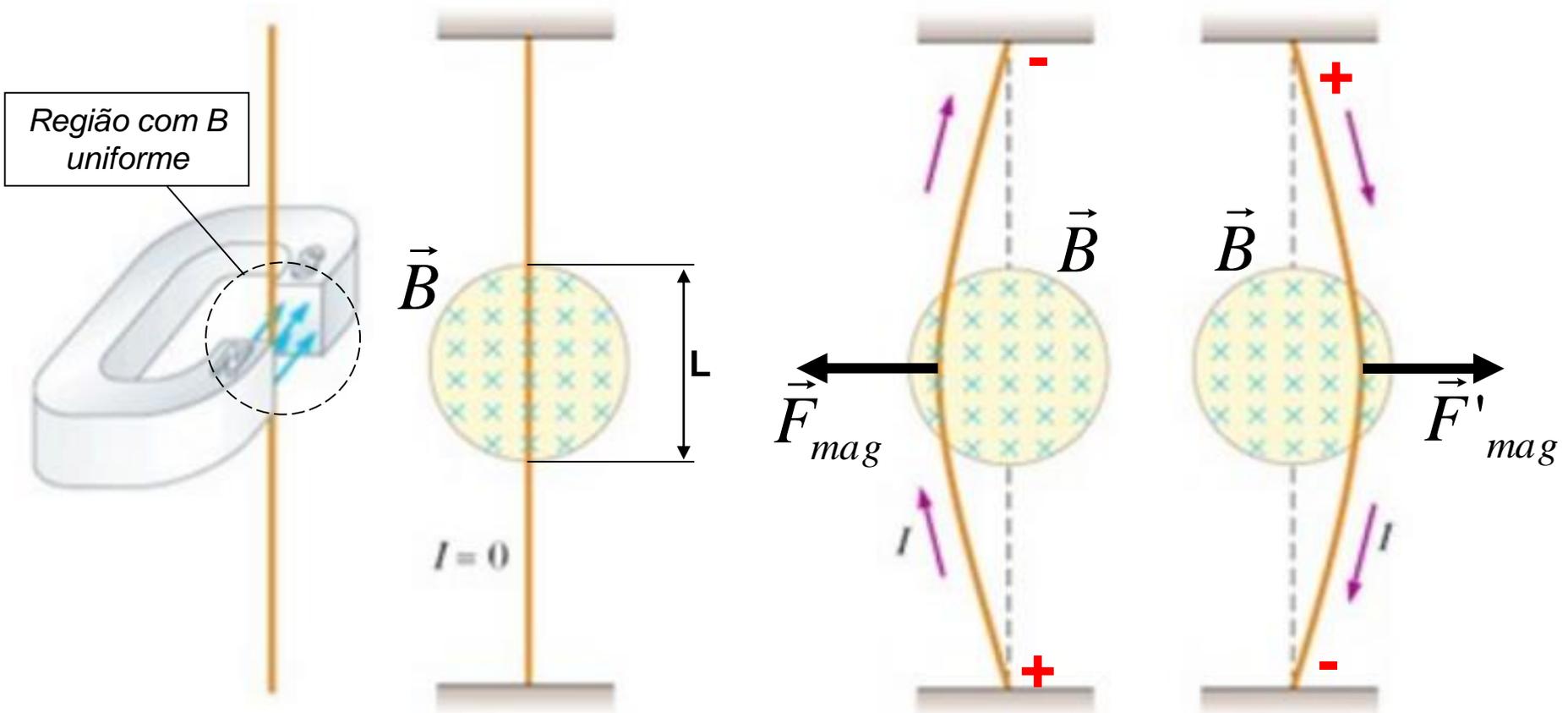
Direção →

Perpendicular ao plano  $\pi$

Sentido →

Regra da mão direita

- **Força Magnética** em um fio condutor percorrido por corrente elétrica:



Fio sem circulação de corrente elétrica

$$F_{mag} = 0$$

Deflexão do fio com  $I \neq 0$

$I \neq 0$  com sentido oposto

$$\vec{F}_{mag} = i \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

**Direção:** perpendicular ao plano definido por  $L$  e  $B$

**Sentido:** regra da mão direita



André-Marie Ampère  
1775 - 1836

• **Força Magnética** entre dois fios condutores paralelos com correntes elétricas:

- caso 1: correntes no **mesmo** sentido

$$\vec{F}_{magn} = i \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

- Módulo:

$$F_{magn1} = i_1 \cdot L \cdot B_2 \cdot \text{sen}\alpha \quad F_{magn2} = i_2 \cdot L \cdot B_1 \cdot \text{sen}\alpha$$

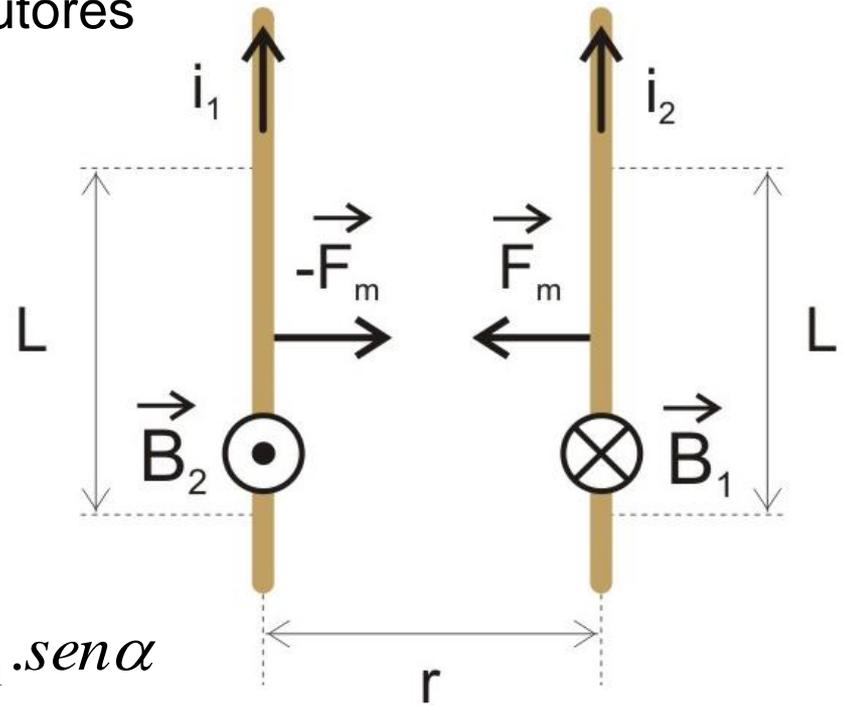
$$\alpha = 90^\circ \rightarrow \text{sen}\alpha = 1$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$F_{magn1} = \frac{i_1 \cdot L \cdot \mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad F_{magn2} = \frac{i_2 \cdot L \cdot \mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

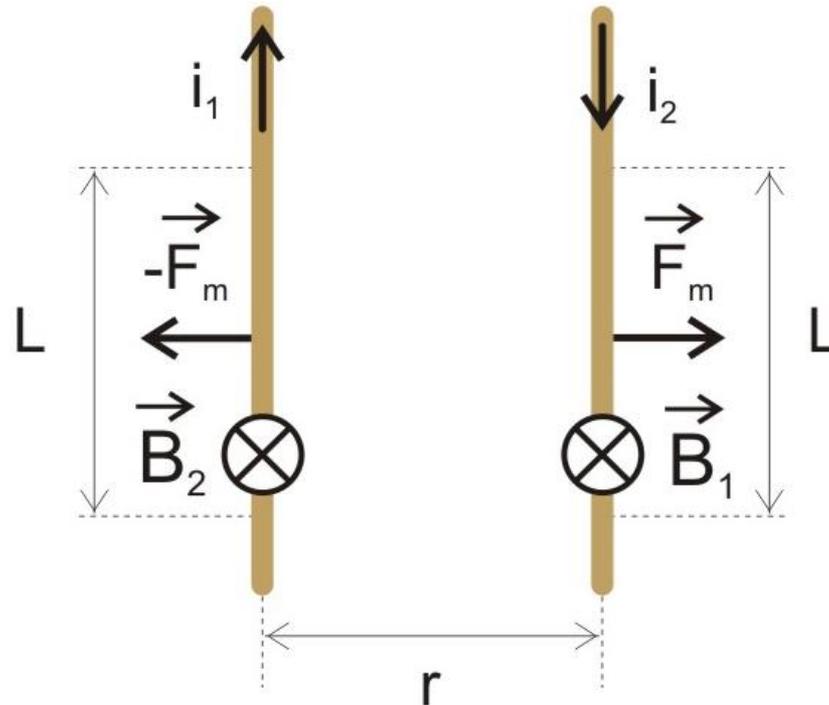
**ATRAÇÃO** entre os fios

$$F_{magn1} = F_{magn2}$$



- caso 2: correntes em sentidos opostos

$$\vec{F}_{magn} = i \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$



$$F_{magn1} = \frac{i_1 \cdot L \cdot \mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$F_{magn2} = \frac{i_1 \cdot L \cdot \mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$F_{magn1} = F_{magn2}$$

REPULSÃO entre os fios

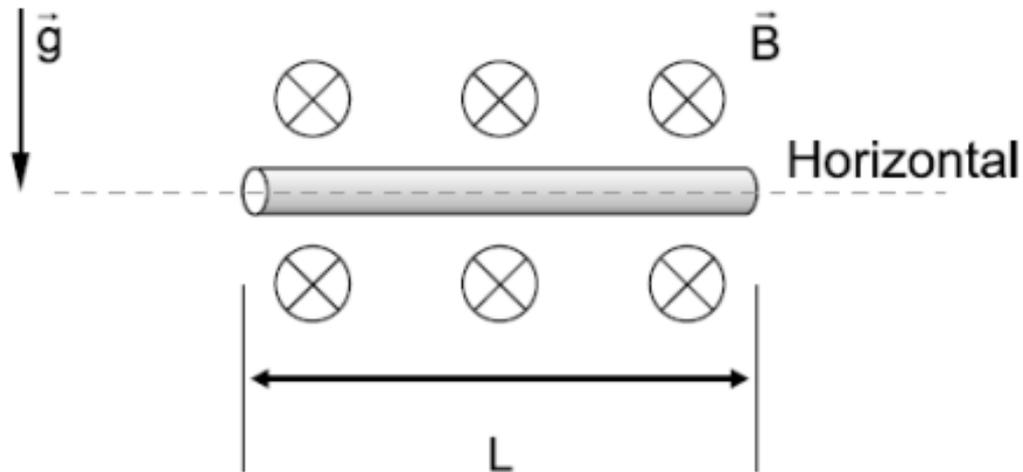
## **Não se esqueça de assistir aos seguintes vídeos:**

<https://www.youtube.com/watch?v=QmP0HUNp3k8> - Campo magnético da corrente elétrica

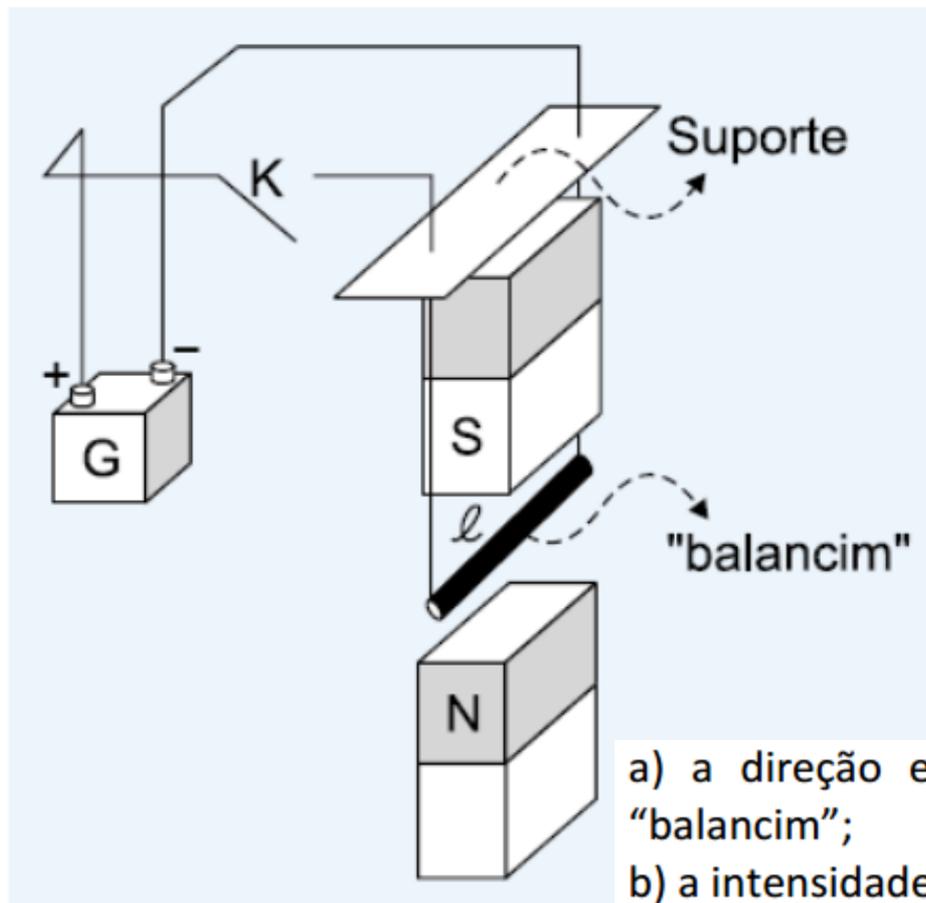
<https://www.youtube.com/watch?v=k9NBJXy4AVc> - Força magnética sobre cargas

## Exercícios

1) Um segmento condutor reto e horizontal, tendo comprimento  $L = 20 \text{ cm}$  e massa  $m = 48 \text{ g}$ , percorrido por corrente  $0,5 \text{ A}$ , apresenta-se em equilíbrio sob as ações exclusivas da gravidade  $g$  e de um campo magnético  $B$  horizontal, representado na figura abaixo. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e determine a intensidade do campo magnético e o sentido da corrente elétrica.



2) O “balancim” condutor retilíneo e horizontal da figura tem comprimento 0,2 m, está em repouso e conectado ao gerador G de tensão constante. Ao fecharmos a chave K, ela é percorrida por uma corrente elétrica de intensidade 5 A. Sendo a intensidade do campo magnético, entre os ímãs verticais, igual a  $4,0 \cdot 10^4$  T, determine:

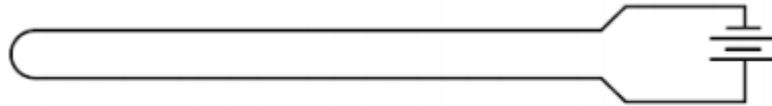


- a) a direção e o sentido da força magnética sobre o “balancim”;
- b) a intensidade dessa força.

3) Um condutor retilíneo de comprimento  $L = 0,20 \text{ m}$ , percorrido por uma corrente elétrica  $i = 20 \text{ A}$ , está imerso num campo magnético uniforme, de indução  $B = 2,0 \cdot 10^4 \text{ T}$ . Determine o módulo da força magnética que atua no condutor:

- a) quando o condutor é disposto paralelamente às linhas de indução do campo;
- b) quando o condutor é disposto perpendicularmente às linhas de indução do campo.

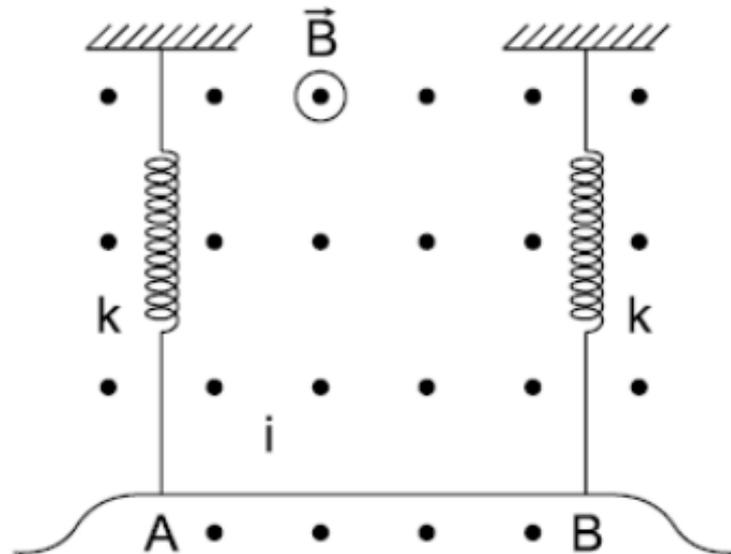
4) Um circuito é formado por dois fios muito longos, retilíneos e paralelos, ligados a um gerador de corrente contínua como mostra a figura a seguir. O circuito é percorrido por uma corrente  $i$ .



Pode-se afirmar que a força de origem magnética que um trecho retilíneo exerce sobre o outro é:

- a) nula.
- b) atrativa e proporcional a  $i$ .
- c) atrativa e proporcional a  $i^2$ .
- d) repulsiva e proporcional a  $i$ .
- e) repulsiva e proporcional a  $i^2$ .

5) Uma barra condutora AB, de comprimento igual a 50 cm e massa  $m$ , está suspensa pela extremidade de duas molas iguais, sendo a constante elástica de cada uma delas 100 N/m.



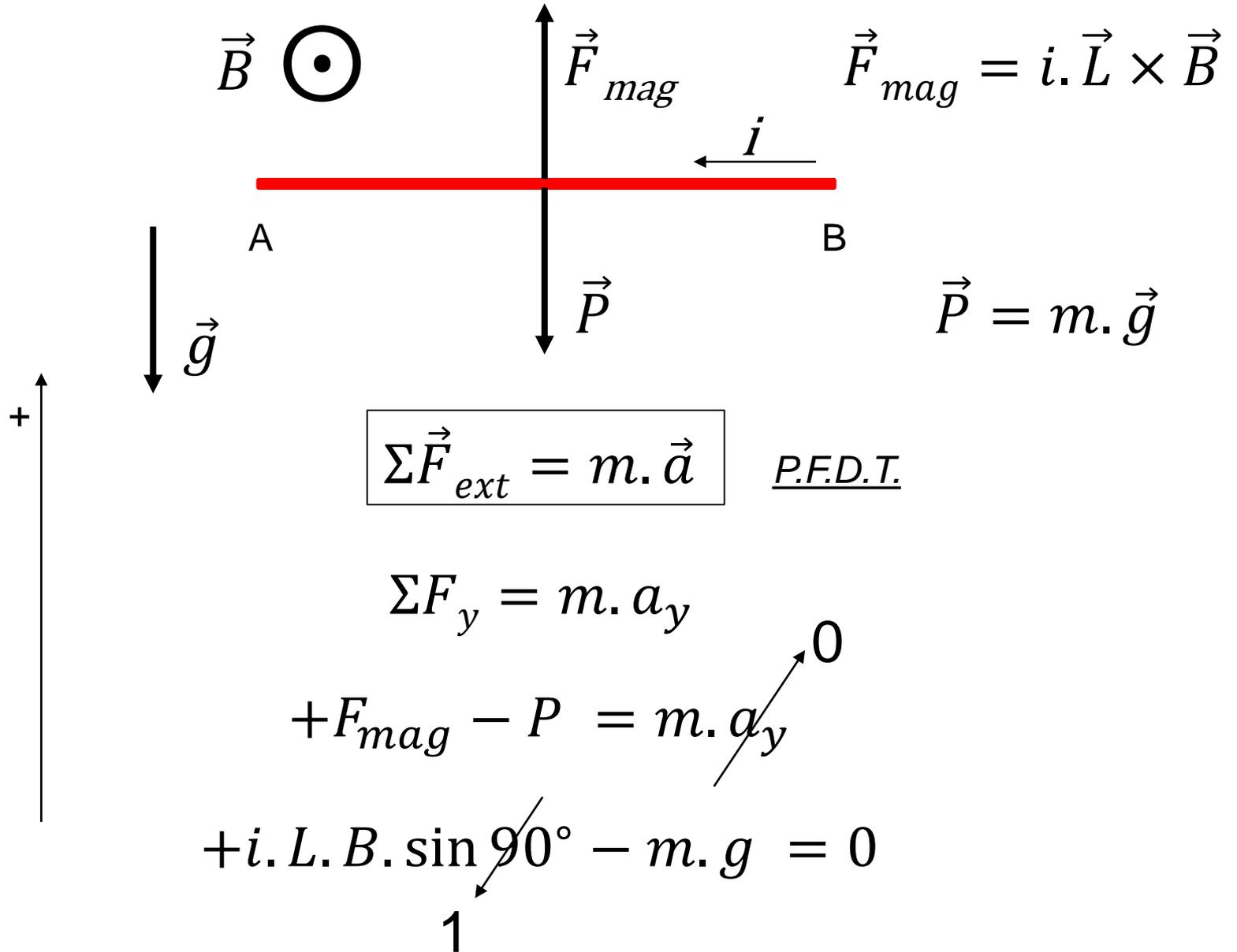
O sistema está imerso num campo magnético  $B = 0,6 \text{ T}$ .

Dado:  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Quando uma corrente de intensidade  $i = 10 \text{ A}$  percorre a barra no sentido de B para A, as molas não são deformadas. Determine:

- a) a massa da barra;
- b) a deformação das molas quando o sentido da corrente elétrica é invertido.

5.a) Resolução:

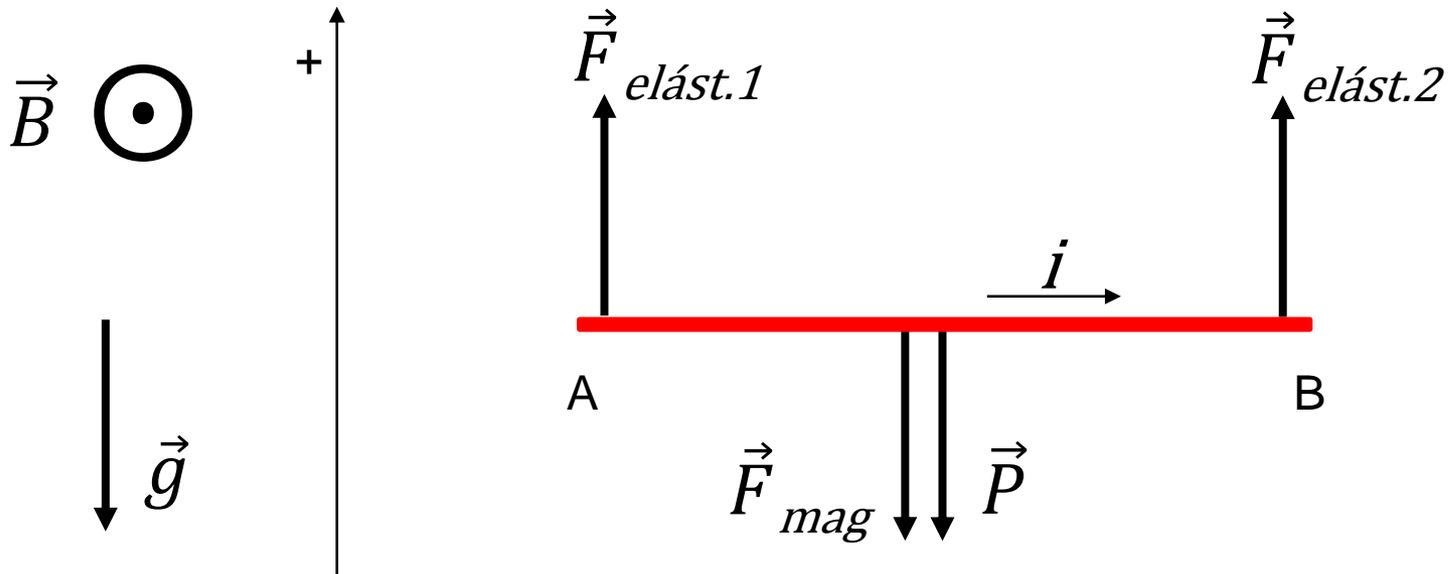


$$m = \frac{i \cdot L \cdot B}{g}$$

$$m = \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{10}$$

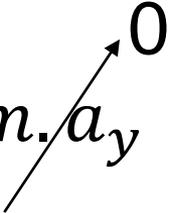
$$m = 0,30 \text{ kg}$$

5.b)



$$\boxed{\Sigma \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}} \quad \underline{P.F.D.T.}$$

$$\Sigma F_y = m \cdot a_y$$

$$+F_{elás.1} + F_{elás.2} - i.L.B - m.g = m \cdot a_y$$


Pela simetria do sistema e como as duas molas são iguais:

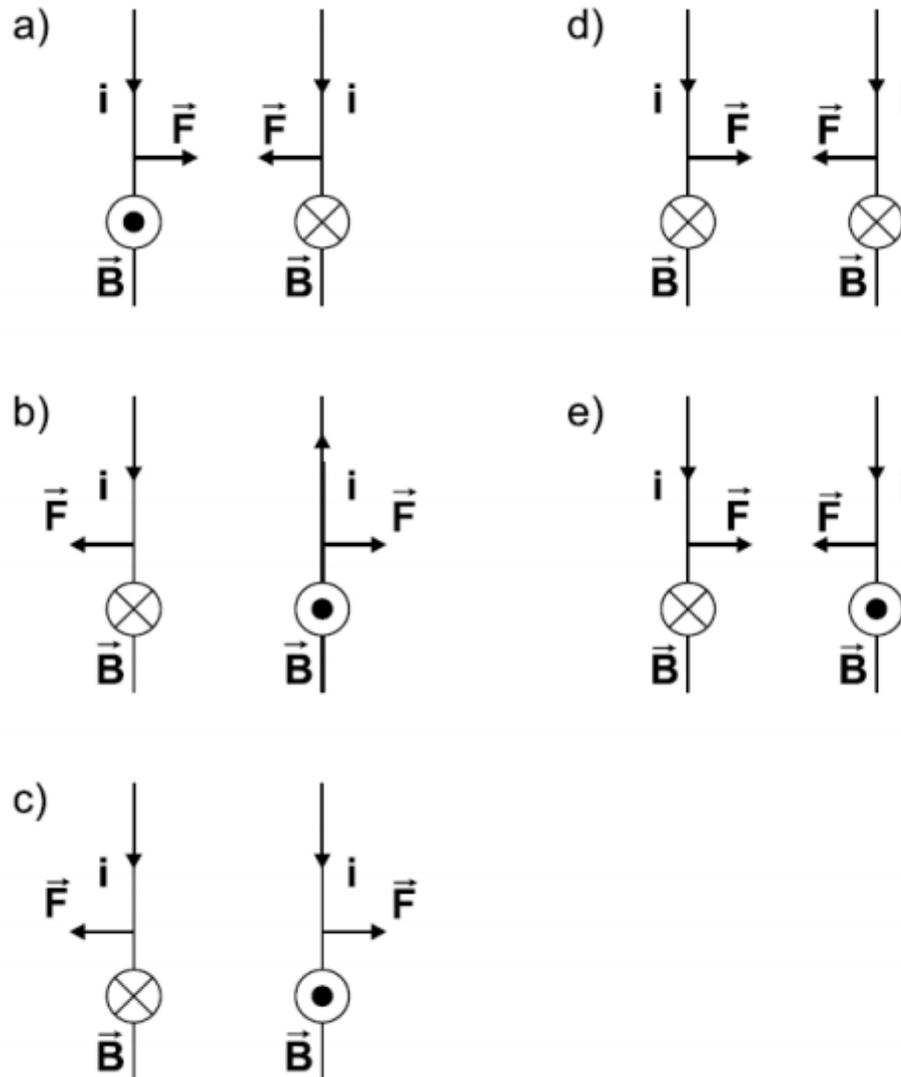
$$F_{elás.1} = F_{elás.2} = k \cdot \Delta y$$

$$+k \cdot \Delta y + k \cdot \Delta y - i.L.B - m.g = 0$$

$$\Delta y = \frac{i.L.B + m.g}{2.k}$$

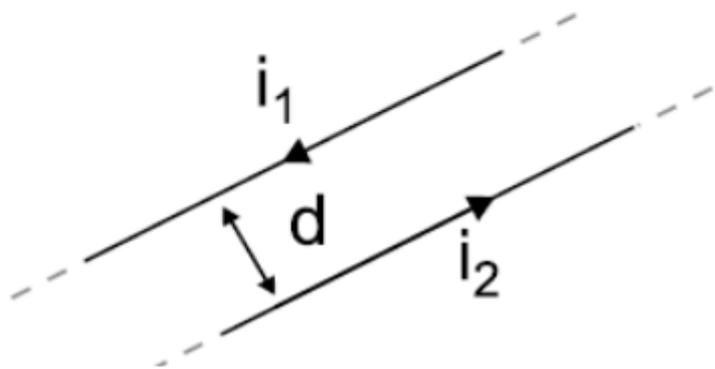
$$\Delta y = \frac{10.0,5.0,6 + 0,3.10}{2.100} \rightarrow \boxed{\Delta y = 0,03 \text{ m}}$$

6) Qual das alternativas abaixo representa corretamente as correntes  $i$ , os campos magnéticos  $B$  e as forças  $F$  entre dois condutores retos e paralelos, próximos entre si?



7) Dois condutores retos, extensos e paralelos, estão separados por uma distância  $d = 2,0 \text{ cm}$  e são percorridos por correntes elétricas de intensidades  $i_1 = 1,0 \text{ A}$  e  $i_2 = 2,0 \text{ A}$ , com os sentidos indicados na figura a seguir.

Permeabilidade magnética do vácuo  $= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ .



Se os condutores estão situados no vácuo, a força magnética entre eles, por unidade de comprimento, no Sistema Internacional, tem intensidade de:

a)  $2 \cdot 10^{-5}$ , sendo de repulsão.

b)  $2 \cdot 10^{-5}$ , sendo de atração.

c)  $2\pi \cdot 10^{-5}$ , sendo de atração.

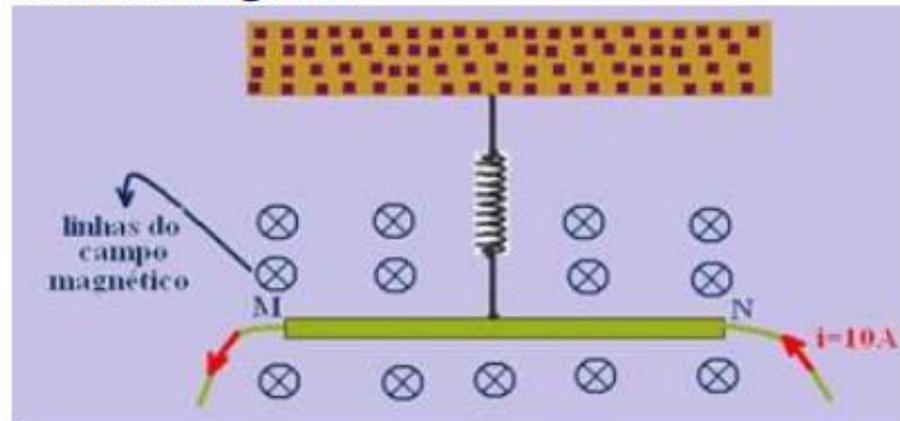
d)  $2\pi \cdot 10^{-5}$ , sendo de repulsão.

e)  $4\pi \cdot 10^{-5}$ , sendo de atração.

8) Em um motor elétrico, fios que conduzem uma corrente de  $5 \text{ A}$  são perpendiculares a um campo de indução magnética de intensidade  $1 \text{ T}$ . Qual a força exercida sobre cada centímetro de fio?

9) Dois fios metálicos retos, paralelos, muito longos, estão à distância mútua  $a = 1,5 \text{ m}$ , no vácuo. Calcule a força que age no comprimento  $L = 2,0 \text{ m}$  de um dos fios, quando em cada um deles circula uma corrente elétrica  $i = 0,51 \text{ A}$ .

10) Um fio MN, de 40cm de comprimento e massa igual a 30g, está suspenso horizontalmente por uma mola ideal de constante elástica  $10 \text{ N/m}$ . O conjunto encontra-se em uma região de campo magnético uniforme  $B = 0,1 \text{ Wb/m}^2$ , como mostra a figura.



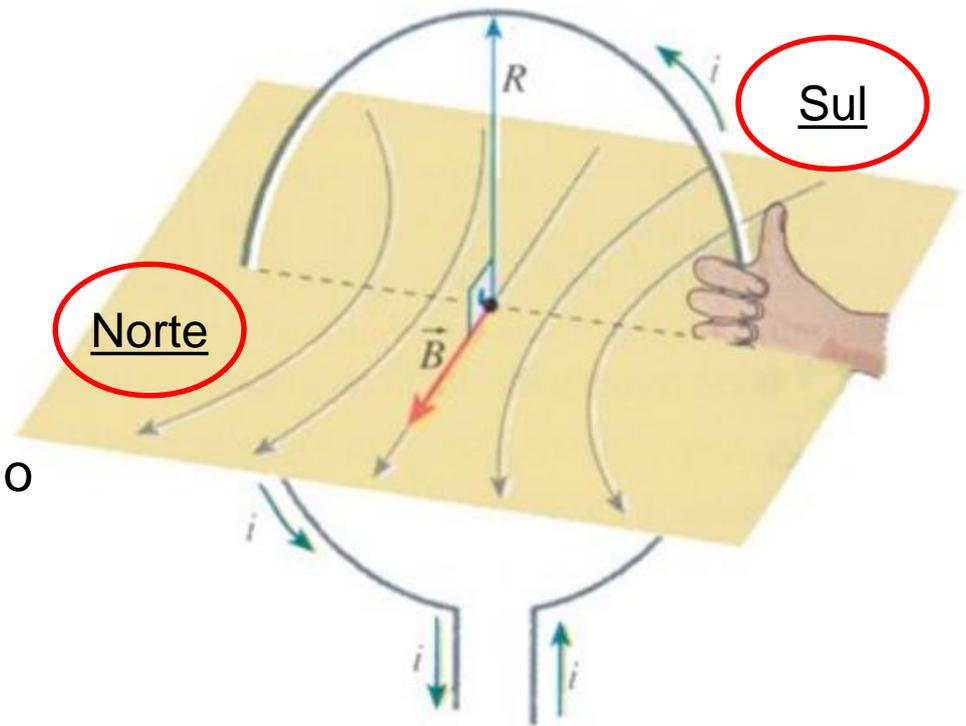
Quando a corrente no fio for  $10 \text{ A}$ , dirigida de N para M, atuará sobre o fio uma força magnética verticalmente para baixo. Determine a elongação total, devido à força magnética e à força gravitacional, sofrida pela mola, em cm.

- Campo magnético no centro de uma espira circular de raio R:

- Módulo: 
$$B_{centro} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R}$$

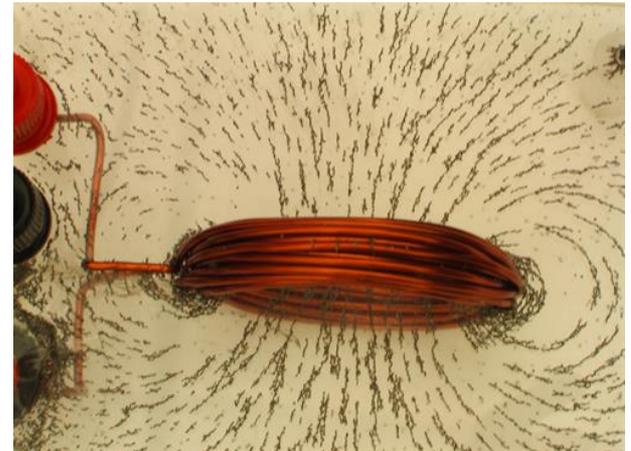
- Direção: perpendicular ao plano definido pela espira

- Sentido: regra da mão direita

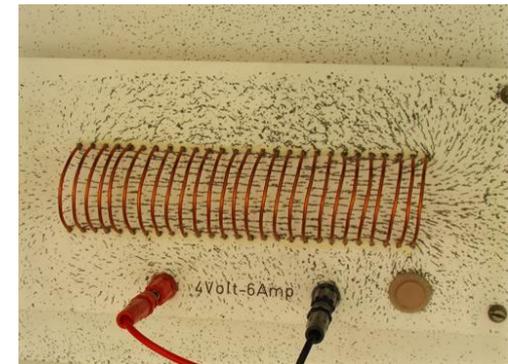
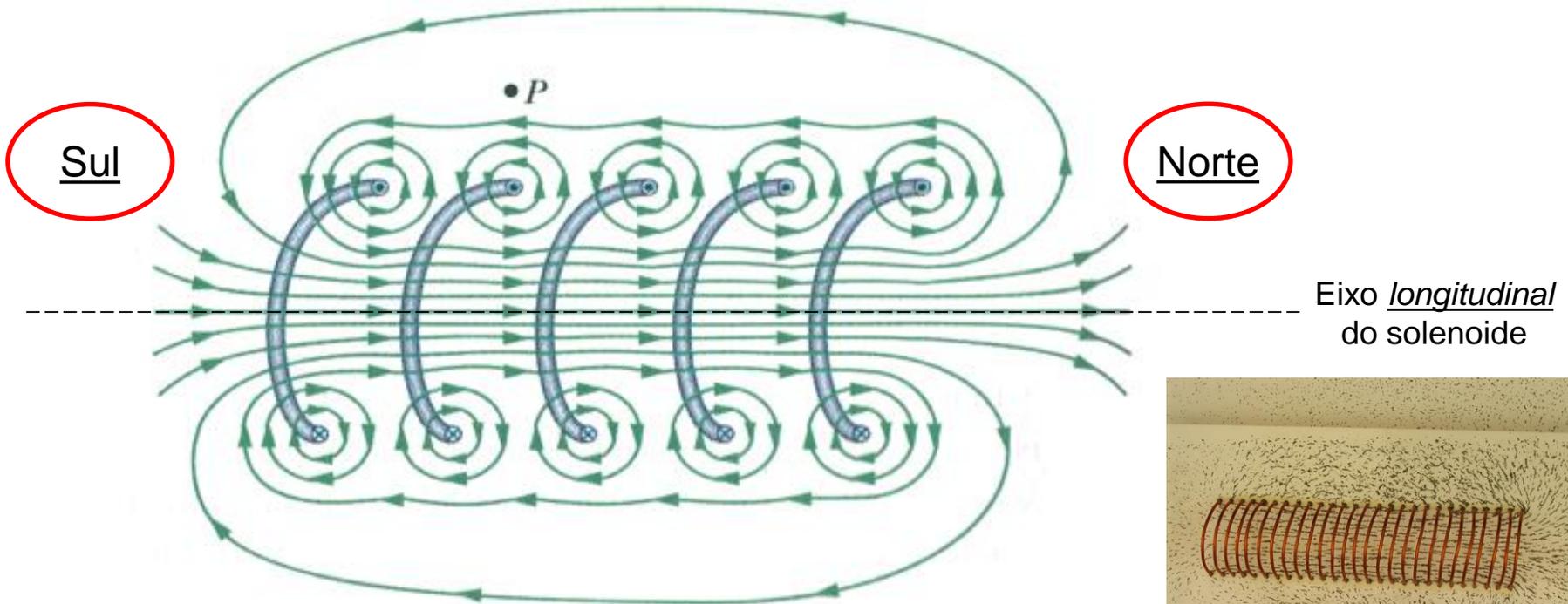


- para n espiras (uma sobre a outra):

$$B_{centro} = n \cdot \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R}$$



- Campo magnético no interior de uma bobina (ou solenóide) de raio  $R$ , com  $n$  espiras (uma ao lado da outra) e comprimento  $L$ :



- Módulo:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{n}{L}$$

- Direção: Paralelo ao eixo principal do solenóide
- Sentido: regra da mão direita (orientação da corrente)

# Exercícios

11. (Fund. Carlos Chagas-SP) Uma espira circular é percorrida por uma corrente elétrica contínua, de intensidade constante. Quais são as características do vetor campo magnético no centro da espira? Ele:

- a) é constante e perpendicular ao plano da espira
- b) é constante e paralelo ao plano da espira
- c) é nulo no centro da espira
- d) é variável e perpendicular ao plano da espira
- e) é variável e paralelo ao plano da espira

12. (FCM Santa Casa - SP) O campo magnético, produzido no centro de uma espira circular de raio  $R$  por uma corrente elétrica de intensidade  $I$ , é diretamente proporcional a:

- a)  $I.R$
- b)  $I/R$
- c)  $R/I$
- d)  $1/(R.I)$

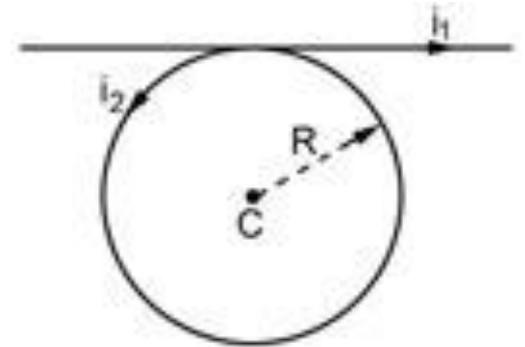
13. (OSEC-SP) Uma espira circular de 4 cm de diâmetro é percorrida por uma corrente de 8,0 ampères (veja figura). Seja  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ . O vetor campo magnético no centro da espira é perpendicular ao plano da figura e orientado para:

- a) fora e de intensidade  $8,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- b) dentro e de intensidade  $8,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- c) fora e de intensidade  $4,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- d) dentro e de intensidade  $4,0 \times 10^{-5} \text{ T}$



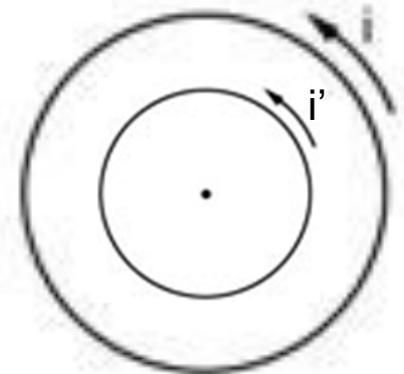
14. (FUVEST-SP) Uma espira condutora circular, de raio  $R$ , é percorrida por uma corrente de intensidade  $i$ , no sentido horário. Uma outra espira circular de raio  $R/2$  é concêntrica com a precedente e situada no mesmo plano que ela. Qual deve ser o sentido e quão o valor da intensidade de uma corrente que, percorrendo essa segunda espira, anula o campo magnético resultante no centro  $O$ ? Justifique.

15. (F. Objetivo - SP) Na figura estão representados um fio muito longo percorrido por uma corrente  $i_1$  e uma espira circular de raio  $R$  percorrida pela corrente  $i_2$ , ambos num mesmo plano e um tangenciando o outro, conforme a figura. Qual é o valor da razão  $i_1 / i_2$  para que o campo magnético resultante no centro  $C$  da espira seja nulo?



- a)  $1/2$
- b)  $1/\pi$
- c)  $2$
- d)  $\pi/2$

16. (Osec-SP- adaptada) Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios  $3\text{ m}$  e  $4\text{ m}$ , são percorridas por correntes de  $3\text{ A}$  e  $4\text{ A}$ , como mostra a figura. Qual a intensidade, direção e sentido do vetor indução magnética no centro das espiras?



17. (FAAP-SP) Duas espiras circulares concêntricas, de 1 m de raio cada uma, estão localizadas em planos perpendiculares. Calcule a intensidade do campo magnético no centro das espiras, sabendo que cada espira conduz 0,5 A. (Dado  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A.}$ )
18. (PUC-SP) Nos pontos internos de um longo solenoide percorrido por corrente elétrica contínua, as linhas do campo magnético são:
- radiais com origem no eixo do solenoide.
  - circunferências concêntricas.
  - retas paralelas ao eixo do solenoide.
  - hélices cilíndricas.
  - não há linhas de força, pois o campo magnético é nulo no interior do solenoide.
19. (OSEC-SP) Um solenoide compreende 5000 espiras por metro. A intensidade do vetor indução magnética originada na região central pela passagem de uma corrente elétrica de 0,2 A é de:
- $4 \times 10^{-4} \text{ T.}$
  - $8 \times 10^{-4} \text{ T.}$
  - $4 \times 10^{-3} \text{ T.}$
  - $2 \times 10^{-4} \text{ T.}$
20. (Unicamp) Um solenoide ideal, de comprimento 50 cm e raio 1,5 cm, contém 2.000 espiras e é percorrido por uma corrente elétrica de 3,0 A. O campo de indução magnética  $\mathbf{B}$  é paralelo ao eixo do solenoide e sua intensidade é dada por  $\mathbf{B} = \mu_0 \cdot n \cdot i$ , onde  $n$  é o número de espiras por unidade de comprimento e  $i$  é a corrente elétrica. Sendo  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ :
- Qual é o valor de B ao longo do eixo do solenoide?
  - Qual é a aceleração de um elétron lançado no interior do solenoide, paralelamente ao eixo?

## 20. Resolução:

Dados:  $L = 50\text{cm}$ ;  $\phi = 1,5\text{cm}$ ;  $E = 2000 \text{ esp.}$ ;  $i = 3\text{A}$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$

a)  $B = \mu_0 \cdot n \cdot i$

$$B = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2000}{0,5} \cdot 3$$

$$B = 4,8 \cdot \pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

b) O campo magnético, próximo ao eixo longitudinal do solenoide, é uniforme, isto é, as linhas de campo magnético são paralelas e equidistantes entre si e sua intensidade é constante. Como a partícula é lançada paralelamente ao eixo do solenoide, o ângulo  $\theta$  entre o vetor velocidade e o vetor campo magnético pode valer ou  $0^\circ$  ou  $180^\circ$ , sendo a intensidade da força magnética atuante sobre ela igual a zero, como comprova a seguinte expressão:

$$F_{mag} = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

Sendo **nula** a **força resultante** sobre a partícula na direção do movimento, conclui-se, pelo Princípio Fundamental da Dinâmica de Newton, que a aceleração da partícula é nula.

21. (Unicamp) Em 2011 comemoram-se os 100 anos da descoberta da supercondutividade. Fios supercondutores, que têm resistência elétrica nula, são empregados na construção de bobinas para obtenção de campos magnéticos intensos. Esses campos dependem das características da bobina e da corrente que circula por ela.
- a) O módulo do campo magnético no interior de uma bobina pode ser calculado pela expressão  $\mathbf{B} = \mu_0 \cdot n \cdot \mathbf{i}$ , na qual  $\mathbf{i}$  é a corrente que circula na bobina,  $n$  é o número de espiras por unidade de comprimento e  $\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$ . Calcule  $\mathbf{B}$  no interior de uma bobina de 25.000 espiras, com comprimento  $L = 0,65 \text{ m}$ , pela qual circula uma corrente  $\mathbf{i} = 80 \text{ A}$ .
- b) Os supercondutores também apresentam potencial de aplicação em levitação magnética. Considere um ímã de massa  $m = 200 \text{ g}$  em repouso sobre um material que se torna supercondutor para temperaturas menores que uma dada temperatura crítica  $T_c$ . Quando o material é resfriado até uma temperatura  $T < T_c$ , surge sobre o ímã uma força magnética  $\mathbf{F}_m$ . Suponha que  $\mathbf{F}_m$  tem a mesma direção e sentido oposto ao da força peso  $\mathbf{P}$  do ímã, e que, inicialmente, o ímã sobe com aceleração constante de módulo  $a_R = 0,5 \text{ m/s}^2$ , por uma distância  $d = 2,0 \text{ mm}$ , como ilustrado na figura abaixo. Calcule o trabalho realizado por  $\mathbf{F}_m$  ao longo do deslocamento do ímã.



## 21. Resolução:

Dados:  $L = 0,65m$ ;  $e = 25.000 \text{ esp.}$ ;  $i = 80A$ ;  $\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{T \cdot m}{A}$

a)  $B = \mu_0 \cdot n \cdot i$

$$B = 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2,5 \cdot 10^4}{0,65} \cdot 80$$

$$[B] = \left[ \frac{T \cdot m}{A} \cdot \frac{1}{m} \cdot A \right] = [T]$$

$$B = 4T$$

b) O Trabalho realizado pela Força Magnética:

$$W_F = |F| \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Dados:  $m = 0,2kg$ ;  $a_R = 0,5 \frac{m}{s^2}$ ;  $d = 2mm$ ;  $g = 10 \frac{m}{s^2}$

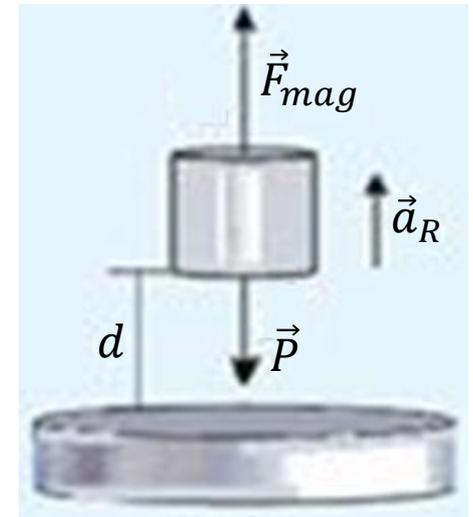
$$W_{F_R} = |F_R| \cdot d \cdot \cos \alpha = W_{F_m} + W_P$$

$$m \cdot a_R \cdot d \cdot \overset{+1}{\cancel{\cos 0^\circ}} = W_{F_m} + P \cdot d \cdot \overset{-1}{\cancel{\cos 180^\circ}}$$

$$W_{F_m} = m \cdot a_R \cdot d + m \cdot g \cdot d \rightarrow W_{F_m} = m \cdot d \cdot (a_R + g)$$

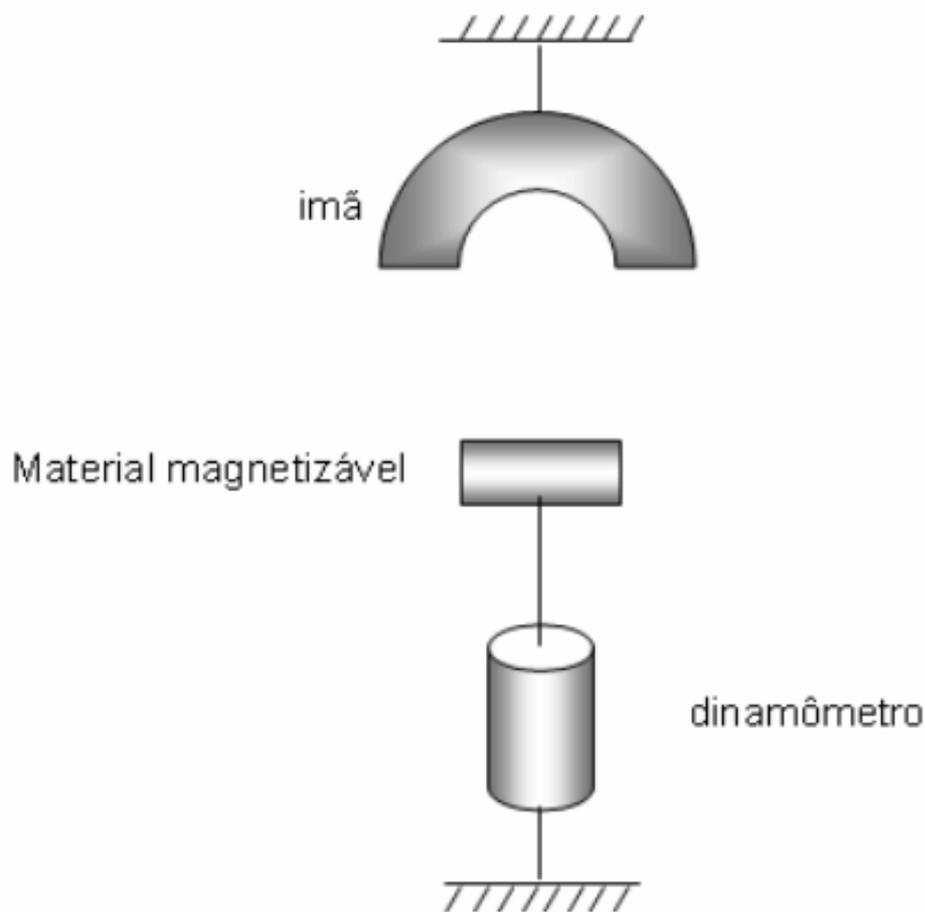
$$W_{F_m} = 2 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,5 + 10)$$

$$W_{F_m} = +4,2 \cdot 10^{-3} \text{ joule} \quad \underline{\text{Trabalho motor}}$$



22. (Uniupe-2002) Um ímã em forma de U encontra-se preso no teto de uma sala. Um pedaço de material magnetizável de massa  $0,2 \text{ kg}$ , preso por um fio ideal a um dinamômetro fixo, é atraído pelo ímã, como mostra a figura abaixo. A leitura no dinamômetro é  $1 \text{ N}$  e a aceleração da gravidade local é  $10 \text{ m/s}^2$ . Diante disso, podemos afirmar que a força de atração entre o ímã e o material magnetizável será:

- a)  $0 \text{ N}$    b)  $2 \text{ N}$    c)  $1 \text{ N}$    d)  $3 \text{ N}$



# **Referências**

- <http://www.if.ufrgs.br/fis/sumulas/keller/rot20.pdf>
- <http://pt.slideshare.net/fisicaatual/campo-magnetico-produzido-por-corrente-site>
- [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011\\_10\\_01\\_archive.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011_10_01_archive.html)
- <http://slideplayer.com.br/slide/8711006/>
- [http://www.futuromilitar.com.br/portal/attachments/article/106/TD029FIS12\\_AFA\\_EFOMM\\_eletromagnetismo\\_2\\_fisica.pdf](http://www.futuromilitar.com.br/portal/attachments/article/106/TD029FIS12_AFA_EFOMM_eletromagnetismo_2_fisica.pdf)
- [http://www.fisicapaidegua.com/teoria/exercicios\\_mag/exer\\_cond\\_reto.htm](http://www.fisicapaidegua.com/teoria/exercicios_mag/exer_cond_reto.htm)
- <http://slideplayer.com.br/slide/5637691/> (animações bobina)
- <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-lei-biotsavart.htm>
- <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=20377>
- [http://www.fismatica.com/Fisica/Site/Eletromagnetismo/Eletromagnetismo/Magnetismo\\_Campo\\_Magnetico\\_Espira\\_Circular\\_e\\_Solenoides.html](http://www.fismatica.com/Fisica/Site/Eletromagnetismo/Eletromagnetismo/Magnetismo_Campo_Magnetico_Espira_Circular_e_Solenoides.html)
- <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/209-t/129-tabela-de-fios-de-cobre-awg-x-mm-alm0009>
- [http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99\\_Explor\\_Eletrizacao/paginas%20htmls/Eletrons%20livres.htm](http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/Eletrons%20livres.htm)
- <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=ima-mais-poderoso-mundo-pronto-fusao-nuclear&id=010115210617#.YMuOPr5KjIU> - solenoide central