Calcule a força magnética que atua sobre um protão que se move com $\vec{v} = 4.46 \times 10^6 \hat{\imath}$ m/s, numa região em que existe um campo magnético $\vec{B} = 1.5\hat{k}$ T.

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

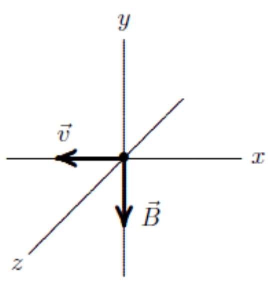
Regra da mão direita: sentido?

Módulo: $F = qvB \sin\theta$

Fios que transportam correntes elétricas:

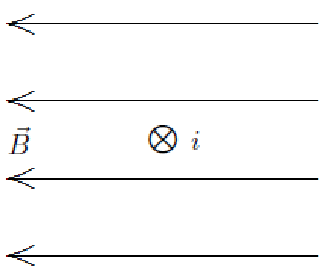
$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

Um eletrão tem uma velocidade de módulo $v = 10^6$ m/s, numa região onde existe um campo magnético $B = 1$ T. Calcule a força magnética a que o eletrão está sujeito.



Se a velocidade e o campo magnético se mantiverem constantes, descreva o movimento do eletrão.

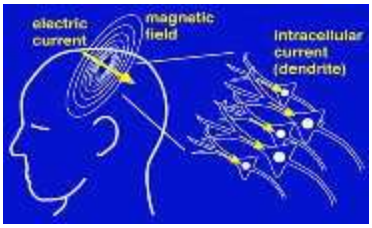
A figura mostra a secção de um conductor com uma corrente elétrica $I = 1$ A, numa região onde existe um campo magnético $B = 1$ T. Calcule a força magnética por unidade de comprimento a que o conductor está sujeito.

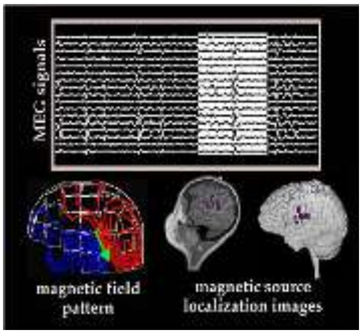


Fontes de Campo Magnético

Encefalografia Magnética (Magnetoencephalography – MEG) técnica de diagnóstico médico, não invasiva, que faz o mapeamento da actividade cerebral, medindo o campo magnético produzido pelo cérebro.

Ao medir os campos magnéticos criados pela corrente eléctrica dentro dos neurónios, a MEG identifica a actividade do cérebro associada às várias funções humanas, em tempo real

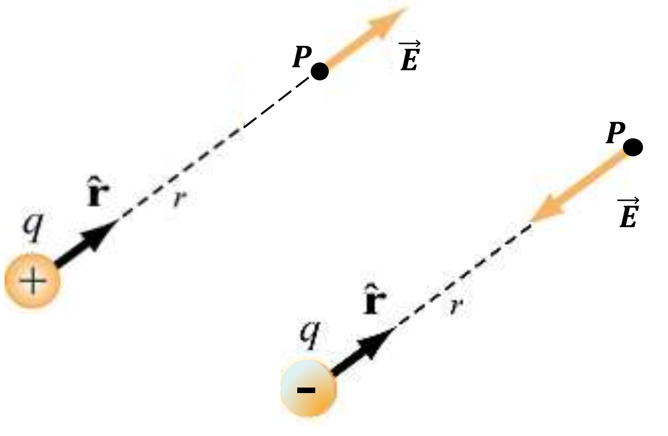




Cargas pontuais:

Uma carga elétrica cria num ponto P um campo elétrico dado por:

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

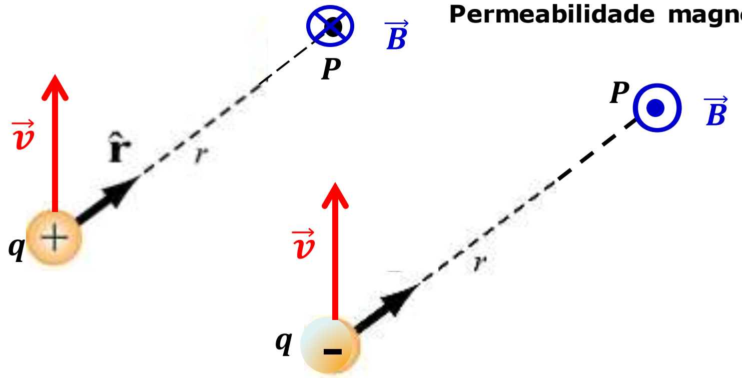


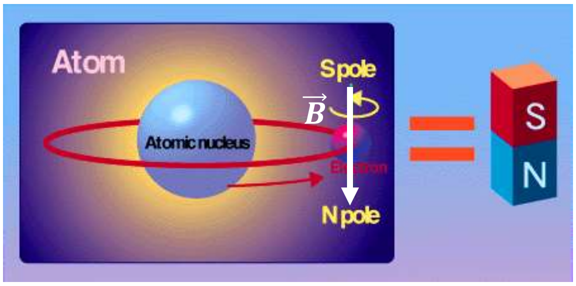
Uma carga elétrica em movimento cria num ponto P um campo magnético dado por:

$$\boxed{\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\hat{r}}{r^2}}$$

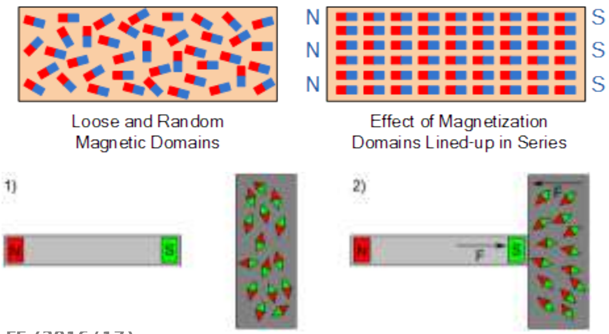
$$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}$$

Permeabilidade magnética do vazio



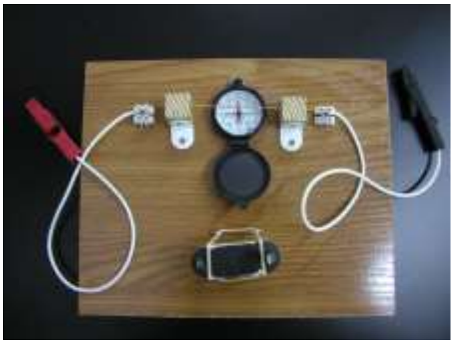


Magnetic Materials



6.3. Experiência de Oersted

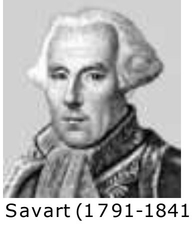
Hans Christian Oersted descobriu em 1820 que se colocarmos uma bússola perto de uma corrente eléctrica a agulha sofre uma deflexão. A experiência de Oersted mostrou que as correntes eléctricas produzem um campo magnético à sua volta.



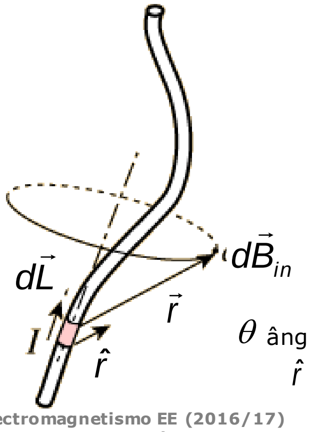
"Como calcular o campo magnético que uma dada distribuição de correntes elétricas produz no espaço?"

Biot (1774-1862)

Jean-Baptiste Biot e Felix Savart verificam que se um fio condutor transporta uma corrente eléctrica constante, o campo magnético $d\vec{B}$ criado num ponto P, associado a um elemento do condutor $d\vec{L}$, tem as seguintes características:



Savart (1791-1841)

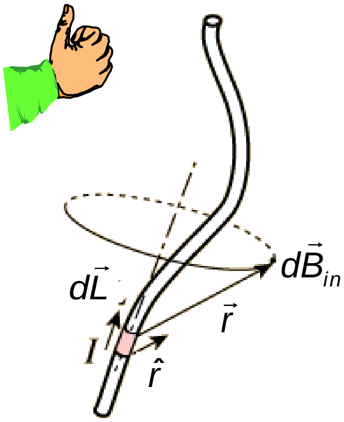


θ ângulo entre $\hat{r}$ e $d\vec{L}$

- $d\vec{B} \perp d\vec{L}$
- $d\vec{B} \perp \hat{r}$

- **A magnitude dB depende:**

- $dB \propto \dfrac{1}{r^2}$
- $dB \propto I$
- $dB \propto dL$
- $dB \propto \operatorname{sen}\theta$



Lei de Biot-Savart

$$\boxed{d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Id\vec{L}\times\hat{r}}{r^2}}$$

μ_o- Permeabilidade magnética do vazio $\approx 4\pi\times 10^{-7}$ TmA^{-1}

O campo magnético total no ponto *P,* originado por um condutor de dimensões finitas será:

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

Lei de Biot-Savart *versus* lei de Coulomb

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Id\vec{L}\times\hat{r}}{r^2} \qquad \vec{E}_P = k\frac{|q_1|}{r^2}\hat{r}_P$$

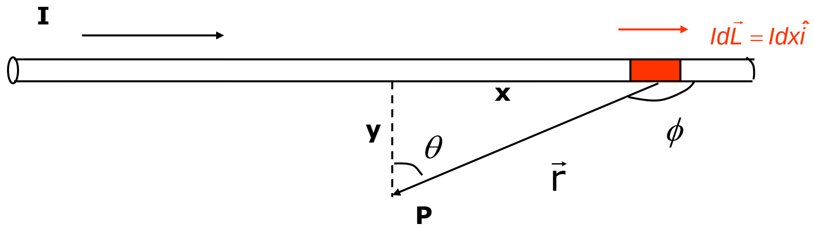
O elemento de corrente, $Id\vec{L}$, produz um campo magnético. Uma carga pontual, *q*, produz um campo eléctrico.

O campo magnético criado por um elemento de corrente é inversamente proporcional a r^2. O campo eléctrico criado por uma carga pontual é, também, inversamente proporcional a r^2 .

O campo eléctrico tem a direcção de *r.* O campo magnético é perpendicular a *r.*

No caso de cargas pontuais: $\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\hat{r}}{r^2}$

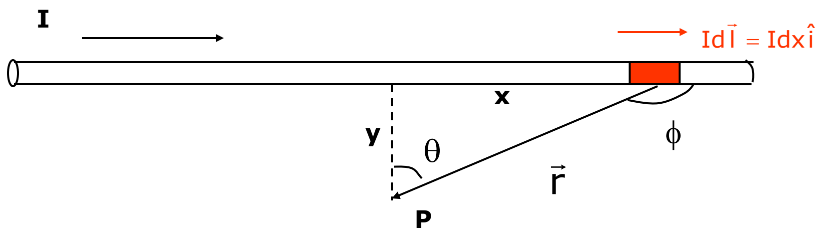
6.4 Campo magnético originado por um fio retilíneo comprido



Da lei de Biot-Savart $d\vec{B} = \dfrac{\mu_o}{4\pi}\dfrac{Id\vec{L}\times\hat{r}}{r^2}$

A intensidade do campo magnético no ponto **P** provocado pelo segmento dx percorrido pela corrente I.

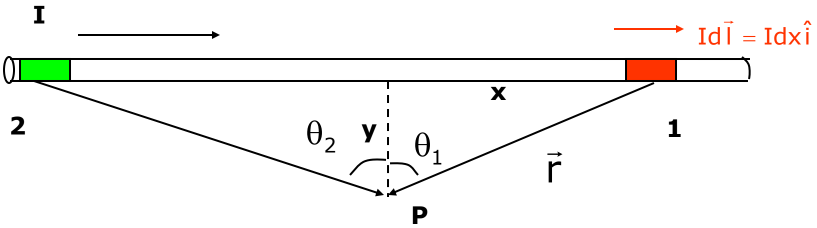
$$dB = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2}\sin\phi = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2}\cos\theta$$



Em termos geométricos

$$x = y\,\mathrm{tg}\theta \Rightarrow dx = y\sec^2\theta d\theta = y\frac{r^2}{y^2}d\theta = \frac{r^2}{y}d\theta$$

$$\Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2}\cos\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\frac{r^2}{y}d\theta\cos\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi y}\cos\theta d\theta$$

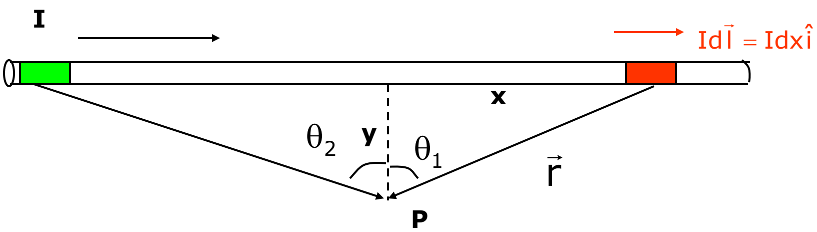


Contabilizando as contribuições de todos os elementos de condutor à direita da vertical de P ao condutor:

$$\vec{B} = \int_0^{\theta_1} \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \cos\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \sin\theta_1$$

Por raciocínio análogo para a parte esquerda do condutor retilíneo:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \sin\theta_2$$



O Campo magnético total no ponto P devido à dimensão total do condutor será (substituindo y por **r**, que corresponde à distância perpendicular de P ao fio condutor):

$$\boxed{B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}\left(sen\theta_1 + sen\theta_2\right)}$$

Se o **fio for muito longo** (infinito): $\theta_1 \wedge \theta_2 \cong 90^o$

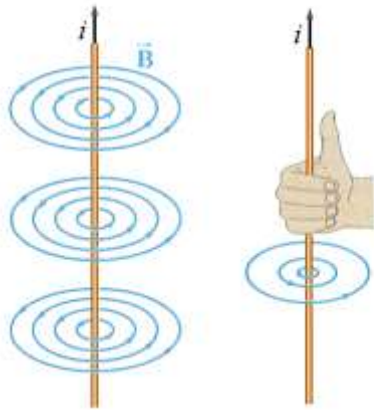
$$\boxed{B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}}$$

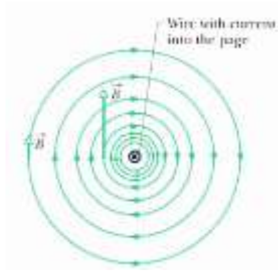
Qual o sentido e a direcção de $\vec{B}$?

Electromagnetismo EE (2016/17)
Cap 6: Campo magnético (parte 2)

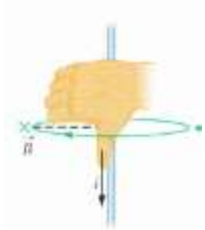
“Regra da mão direita”

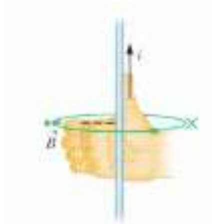
Segurando o fio condutor com a mão direita, com o polegar estendido apontando na direcção e sentido da corrente, os dedos curvam-se em torno da direcção e sentido das linhas do campo magnético devido à corrente.

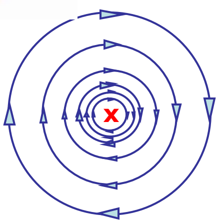


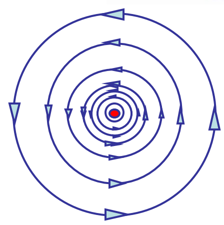


Sentido do campo magnético criado por um fio condutor rectilíneo



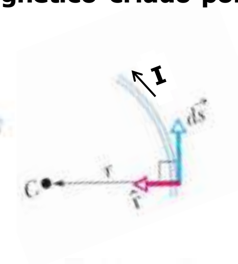






Linhas de campo magnético criado por um fio condutor rectilíneo

6.5 Campo magnético criado por um condutor curvilíneo

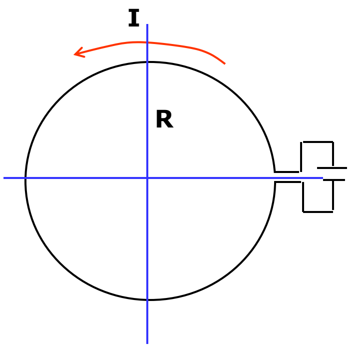


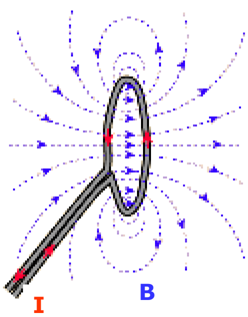
Campo magnético no <u>centro do arco</u>

$$\boxed{B = \frac{\mu_o I \phi}{4\pi R}}$$

φ - medida do ângulo em radianos

6.6 <u>Campo magnético no centro de uma espira circular</u>





A corrente eléctrica numa espira circular origina um campo magnético cujas linhas de campo se concentram mais no interior da espira.

Com esta geometria circular, a contribuição da corrente eléctrica em todos os elementos, para o campo magnético, soma-se no centro da espira. Se partirmos da lei de Biot-Savart, para calcular o campo magnético no <u>centro da espira</u>:

$$d\vec{B}_P = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{L}\times\hat{r}}{r^2} \Rightarrow \quad dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL sen\theta}{R^2}$$

Sendo θ o ângulo entre $Id\vec{L}$ e o versor $\hat{r}$

No caso da circunferência θ = 90º ⇒ sen θ = 1. O campo criado no centro da espira por um elemento dessa espira é:

$$dB = d\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL}{R^2}$$

Para calcular a contribuição de toda a espira:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{R^2}\int dL$$

O integral ao longo de todo o perímetro da circunferência corresponde ao seu perímetro

$$\int dL = 2\pi R$$

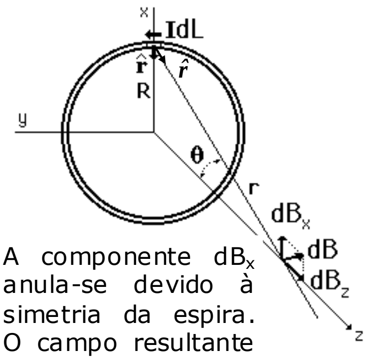
$$\boxed{B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I2\pi R}{R^2} = \frac{\mu_0 I}{2R}}$$

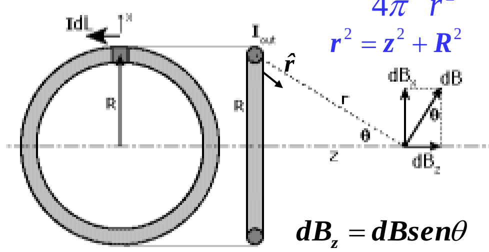
Campo magnético no centro da espira

6.7 <u>Campo magnético sobre o eixo que passa pelo centro de uma espira circular</u>

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL}{r^2}$$

$$r^2 = z^2 + R^2$$





A componente dB_x anula-se devido à simetria da espira. O campo resultante só tem componente B_z

$$dB_z = dB sen\theta$$

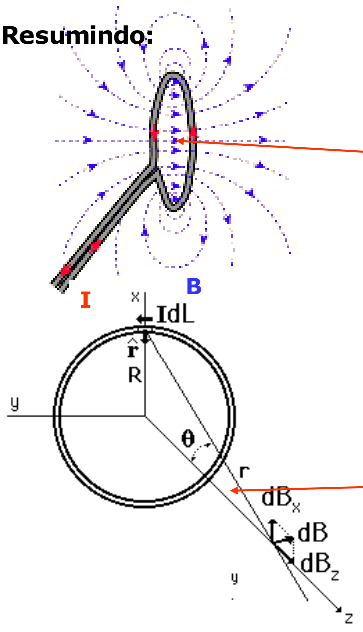
$$sen\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + z^2}}$$

$$dB_z = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL}{z^2 + R^2}\frac{R}{\sqrt{z^2 + R^2}} = \frac{\mu_0 IdL}{4\pi}\frac{R}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

$$\boxed{B_z = \frac{\mu_0 I 2\pi}{4\pi}\frac{R^2}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}}}$$

Campo magnético no eixo da espira

Resumindo:



Campo magnético no centro da espira

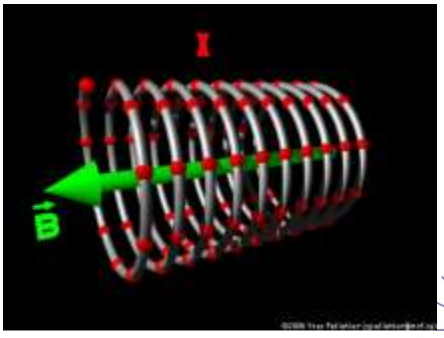
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,2\pi R}{R^2} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

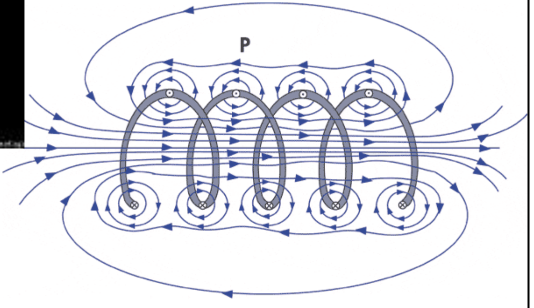
Campo magnético no eixo da espira

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2}\frac{R^2}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}$$

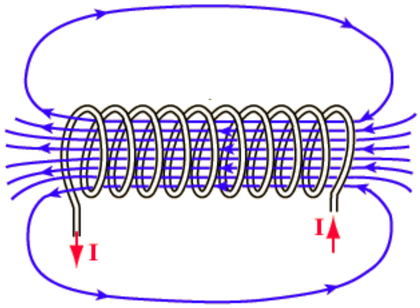
6.8. Campo magnético originado por um solenóide

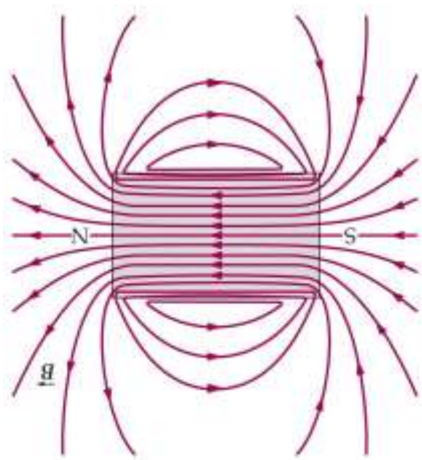
Um solenóide corresponde basicamente a uma série de espiras circulares colocadas lado a lado fortemente comprimidas (em forma de hélice). São dispositivos importantes no âmbito do electromagnetismo e usados para criar campos magnéticos fortes e uniformes (no interior do solenóide).





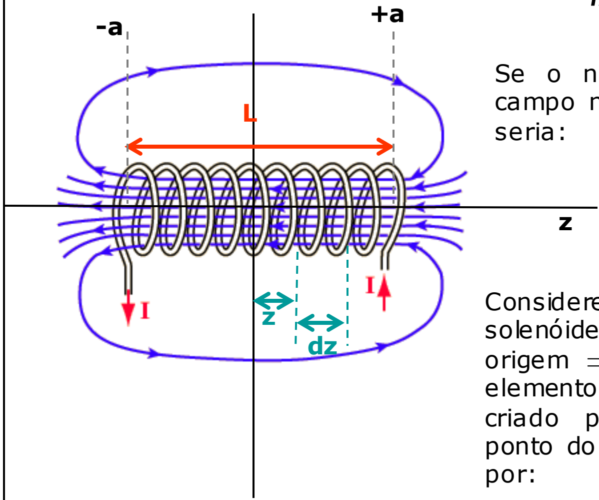
As linhas de campo magnético de um solenóide são idênticas às linhas de campo magnético de um magnete.





Consideremos um solenóide de comprimento L, com N espiras e percorrido por uma corrente I. O nº de espiras por unidade de comprimento é dado por:

$$n = \frac{N}{L}$$



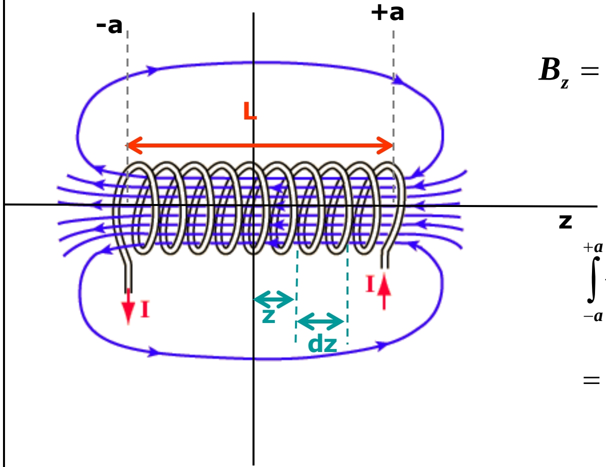
Se o nº de espiras fosse 1, o campo magnético ao longo do eixo seria:

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

Consideremos um elemento do solenóide ***dz***, a uma distância ***z*** da origem $\Rightarrow$ há ***ndz*** espiras nesse elemento. O campo magnético criado por esse elemento num ponto do eixo da espira será dado por:

$$dB_z = \frac{\mu_0 n I dz}{2} \frac{R^2}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

O Campo magnético na origem, considerando a totalidade do solenóide será dado por:



$$B_z = \frac{\mu_0 n I R^2}{2} \int_{-a}^{+a} \frac{dz}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

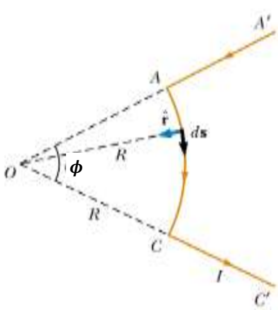
$$\int_{-a}^{+a} \frac{dz}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} = \left. \frac{z}{R^2 \sqrt{z^2 + R^2}} \right|_{-a}^{+a}$$

$$= \frac{2a}{R^2 \sqrt{a^2 + R^2}}$$

$$B_z = \mu_0 n I \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}}$$

Se a >> R $\Rightarrow$ $\boxed{B_z \approx \mu_0 n I}$

Checkpoint

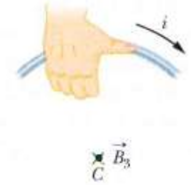


xemplo 1

eterminar a magnitude, a direcção e o entido do campo magnético no ponto O, riado pela corrente que circula no fio A'C'.

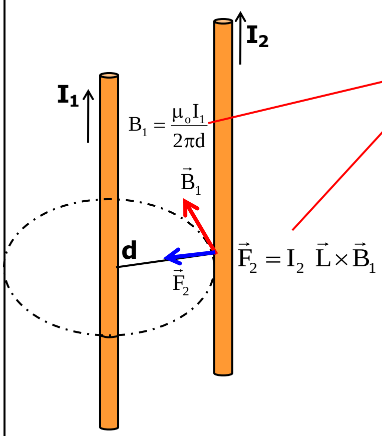
$|\vec{B}|$ **provocado por AA' e CC'** $\quad \vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi} \int \frac{d\vec{L} \times \hat{r}}{r^2} \quad \Rightarrow B = 0$

Sentido?



$|\vec{B}|$ **provocado por AC'** $\quad B = \frac{\mu_o I \phi}{4\pi R}$

6.9 Interacção magnética entre dois fios retilíneos paralelos



$$F_2 = I_2\ L\,B_1 sen 90^o \Rightarrow \boxed{F_2 = I_2 L \frac{\mu_o I_1}{2\pi d}}$$

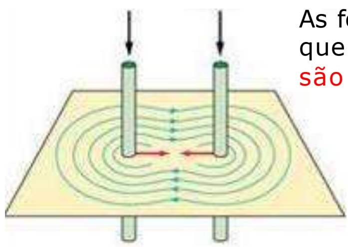
Força magnética no fio 2, devido à corrente que percorre o fio 1.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

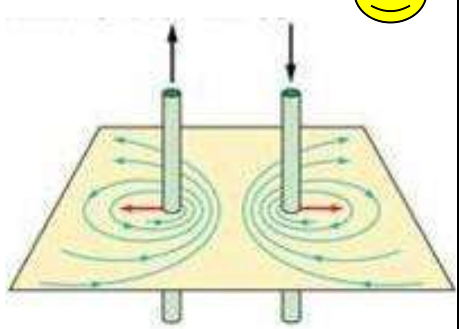
$$F_1 = \frac{\mu_o L\, I_1\, I_2}{2\pi d}$$

Força magnética no fio 1, devido à corrente que percorre o fio 2.

As forças magnéticas entre dois fios paralelos que transportem corrente no mesmo sentido são atractivas



Fios atraem-se

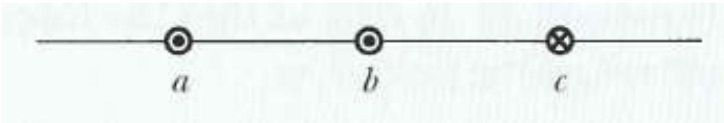


Fios repelem-se

As forças magnéticas entre dois fios paralelos que transportem corrente em sentidos opostos são repulsivas

Checkpoint

A figura representa 3 fios longos paralelos e equidistantes percorridos por correntes elétricas idênticas com sentidos para fora (a e b) e para dentro da folha (c). Ordene os fios por ordem decrescente de magnitude da força magnética resultante, devido às correntes dos outros dois fios.



Lei de Biot-Savart permite calcular o campo magnético criado por um fio condutor que transporta uma corrente eléctrica constante

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

Campo magnético criado por um condutor rectilíneo longo

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

Campo magnético criado por um condutor curvilíneo

$$B = \frac{\mu_o I \phi}{4\pi R}$$

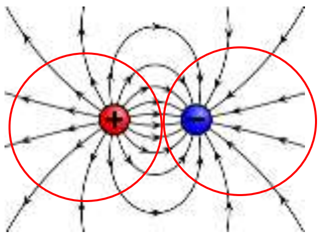
Força magnética entre dois fios paralelos

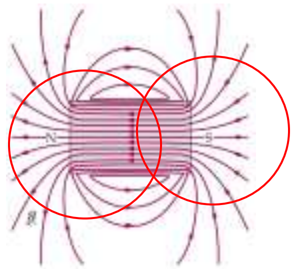
As forças magnéticas entre dois fios paralelos que transportem corrente no mesmo sentido são atractivas; se a corrente tiver sentidos opostos são repulsivas

$$F_m = \frac{\mu_o L I_2 I_1}{2\pi d}$$

6.10 Lei de Gauss do magnetismo

As linhas de campo magnético são linhas fechadas (as de campo eléctrico começam e acabam em cargas).



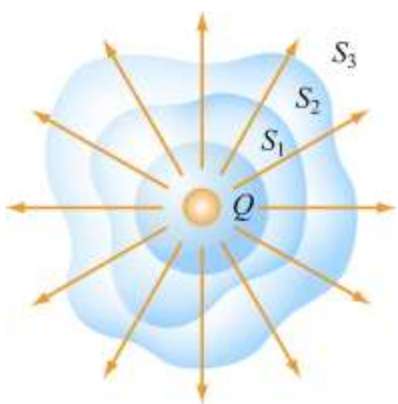


Consequência?
Em geral:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E}.d\vec{A} \neq 0 \qquad\qquad \Phi_B = \oint_S \vec{B}.d\vec{A} = 0$$

6.11 Lei de Ampère

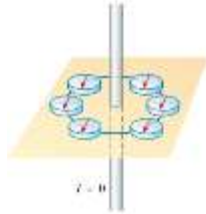
Lembrar: Lei de Gauss do campo elétrico:



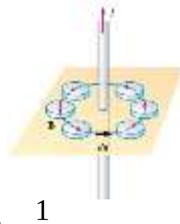
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0}$$

O fluxo total do campo elétrico através das superficies fechadas depende da carga no interior da superfície

Andre-Marie Ampère
(1775–1836)



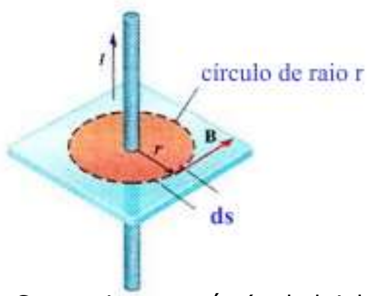
$B \propto I$



$B \propto \frac{1}{r}$

- As linhas de campo magnético são concêntricas ao fio e encontram-se num plano perpendicular ao fio
- A direcção do campo magnético é tangente em cada ponto à circunferência
- A magnitude do campo magnético é constante em qualquer ponto de uma circunferência que esteja centrada no fio

Vamos calcular o produto $\vec{B}.d\vec{s}$ Sobre uma curva circular centrada num fio condutor longo que transporta uma corrente I:



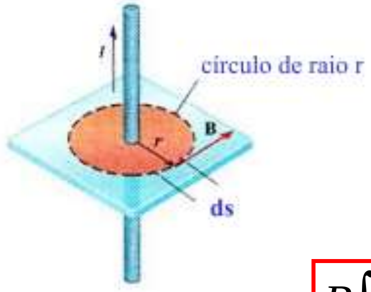
Em todos os pontos da curva, o campo magnético é tangente à curva, assim:

$$d\vec{s} \,||\, \vec{B} \;\Rightarrow\; \vec{B}\cdot d\vec{s} = B\cdot ds\cdot \cos 0$$

Como vimos atrás (pela lei de Biot-Savart) o campo magnético, em qualquer ponto da circunferência é:

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

Então: $\vec{B}\cdot d\vec{s} = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}\cdot ds$



Integrando ao longo da circunferência:

$$\oint \vec{B}\cdot \underbrace{d\vec{s}}_{2\pi r} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\cdot 2\pi r$$

$$\boxed{B\oint ds = \mu_0 I}$$ **Lei de Ampère**

I – corrente que atravessa uma superfície no interior de uma linha fechada

Caso mais simples é aquele em que uma corrente percorre um fio rectilíneo muito longo (ds *total* = 2πr)

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

O resultado pode ser aplicado ao caso geral de uma curva fechada arbitrária atravessada por uma corrente constante:

$$B\oint d\ell = \mu_0 I_c$$

Componente tangencial de B, somada sobre a linha fechada.

Corrente que passa pela área limitada pela linha fechada.

Tal como a lei de Gauss, a Lei de Ampère é sempre válida para qualquer curva fechada, C e é útil em algumas situações particulares: situações envolvendo correntes com simetria elevada.

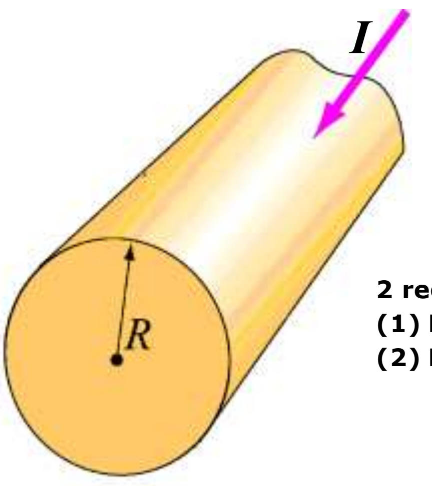
Electromagnetismo EE (2016/17)
Cap 6: Campo magnético (parte 2)

Aplicar a lei de Ampère

1. Identificar regiões em que se pretende calcular B. O sentido é dado pela regra da mão direita
2. Escolher a linha fechada (linha amperiana) em que B é nulo ou constante
3. Calcular $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$
4. Calcular a corrente elétrica que passa através da superfície delimitada pela linha fechada
5. Aplicar a lei de Ampère para calcular B

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

Exemplo 1: Fio Infinito



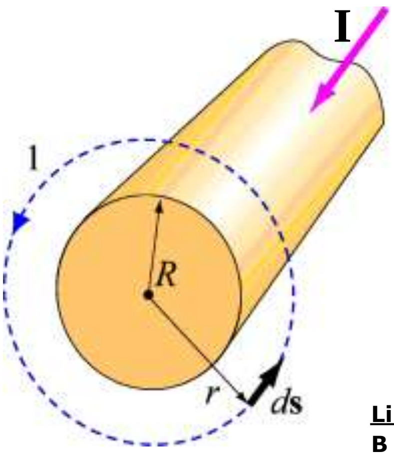
Um conductor cilíndrico com raio R e uma corrente I constante homogénea (*dJ* = constant).
Calcular B em qualquer ponto

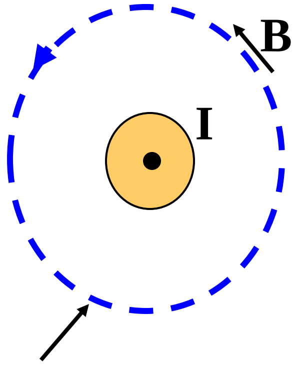
2 regiões:
(1) Exterior ao fio (r ≥ R)
(2) No interior do fio (r < R)

Exemplo 1: Fio Infinito

Região 1: exterior ao fio (r ≥ R)

Simetria cilíndrica → circulo amperiano B com sentido anti-horário

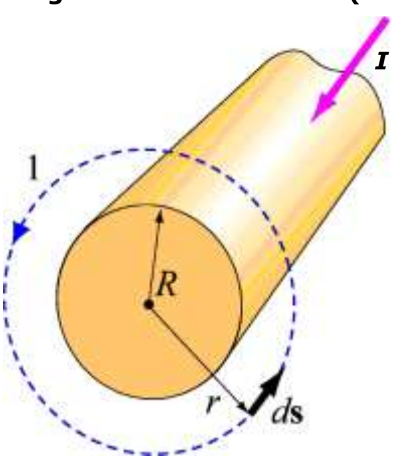




__Linha amperiana__:
B é Constante e Paralela ao plano da linha fechada.
I atravessa o plano delimitado pela linha amperiana

Exemplo 1: Fio Infinito

Região 1: exterior ao fio (r ≥ R)



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

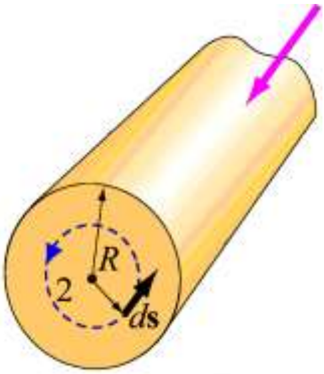
$$B(2\pi r) = \mu_0 I_c = \mu_0 I$$

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

Sentido anti-horário

Exemplo 1: Fio Infinito

Região 2: no interior do fio (r < R)



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

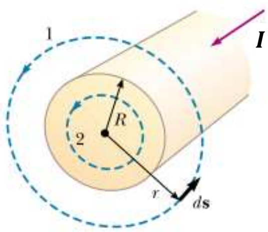
$$B(2\pi r) = \mu_0 I_{inc} \qquad B = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi r}$$

$$I_c = I\frac{\pi r^2}{\pi R^2} = I\frac{r^2}{R^2}$$

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

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

Sentido anti-horário

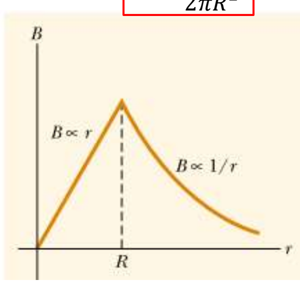


Região 1: exterior ao fio (r ≥ R)

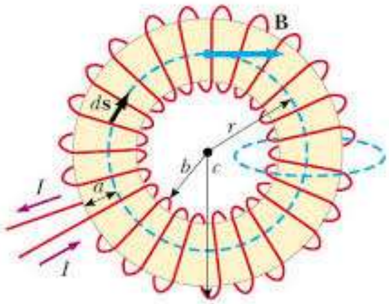
$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}}$$ Sentido anti-horário

Região 2: no interior do fio (r < R)

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}}$$ Sentido anti-horário



Aplicação da lei de Ampère:



No toróide ("donut") estão N voltas de fio percorrido pela corrente I.

O campo magnético na circunferência no interior do toróide

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 I_c$$

Ora a corrente total entre $\boldsymbol{b < r < c}$ é: $\boldsymbol{I_c = NI}$

$$B = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi r} = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Consequências:

a) Campo diminui com aumento de r, mas se *c-b* << *r*, **B** é ~constante

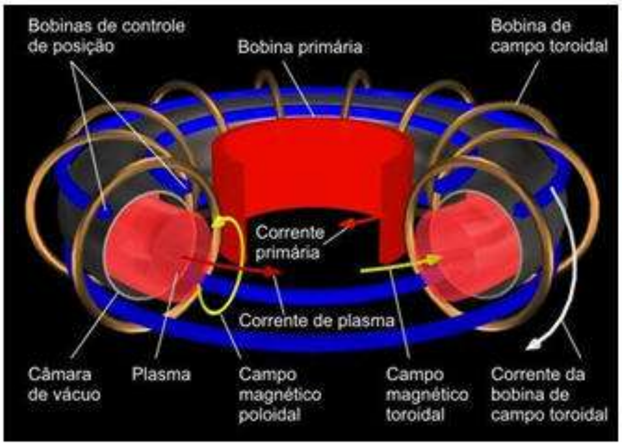
b) Quando: $\begin{cases} r < b \Rightarrow I = 0 \\ r > c \Rightarrow I_{fora} = I_{dentro} \Rightarrow I_{liquido} = 0 \end{cases} \Rightarrow B = 0$

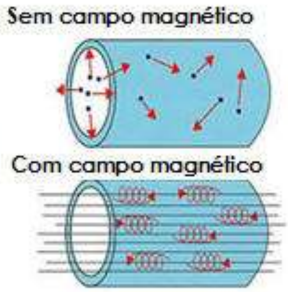
c) Confinamento das cargas

Tokamak – reactor experimental de fusão nuclear

Contém cerca de 10 km de enrolamento de cobre (arrefecido a água), com corrente pulsada, que pode atingir picos de 73 000 A, produzindo campos magnéticos de 5.2 T durante 3 s.

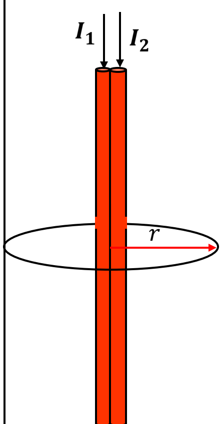
Os campos magnéticos produzidos confinam as partículas carregadas.





Checkpoint

Calcular o campo magnético em qualquer ponto r suficientemente afastado dos fios, sabendo que (r = 2 m) :



I_1**=10 A** I_2**=25 A**

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = B\oint ds = B(2\pi r)$$

$$B = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi r} \qquad I_c = 35\ \mathrm{A}\ \downarrow$$

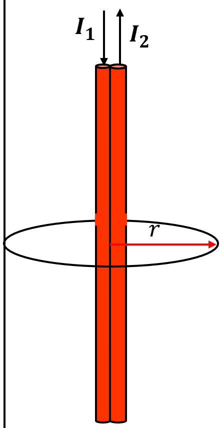
$$B = \frac{4\pi\times10^{-7}\times35}{2\pi\times2} = 35\times10^{-7}\ \mathrm{T}$$

Sentido horário

$$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}$$

Checkpoint

Calcular o campo magnético em qualquer ponto r suficientemente afastado dos fios, sabendo que (r = 2 m) :



I_1**=10 A** I_2**=25 A**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

$$B = \frac{\mu_0 I_c}{2\pi r} \qquad I_c = 15 \text{ A} \uparrow$$

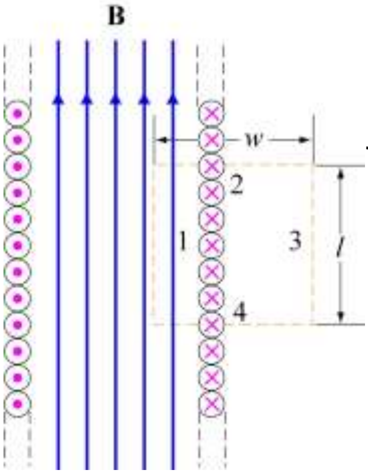
$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 2} = 15 \times 10^{-7} \text{ T}$$

Sentido anti-horário

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

Checkpoint

Calcular o campo magnético no interior do solenoide :



$$\begin{cases} \vec{B} \perp d\vec{s} & \textbf{Lados 2 e 4} \\ \vec{B} \approx \vec{0} & \textbf{Lado 3} \end{cases}$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_1 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_2 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_3 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_4 \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl + 0 + 0 + 0$$

$$I_c = \frac{N}{l} lI = nlI$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl = \mu_0 I_c$$

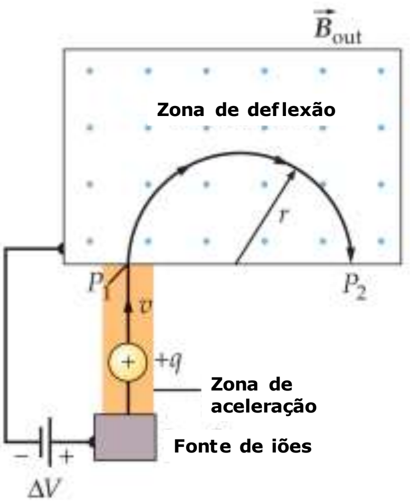
$$Bl = \mu_0 nlI$$

$$B = \mu_0 nI$$

6.12. Algumas aplicações do magnetismo (e electromagnetismo)

Espectrómetro de massa

Usados para medir massa de isótopos. Foi proposto em 1919 por Francis Aston.



Admitindo que partem do repouso, os iões entram na zona de deflexão (campo magnético) com uma energia dada por:

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

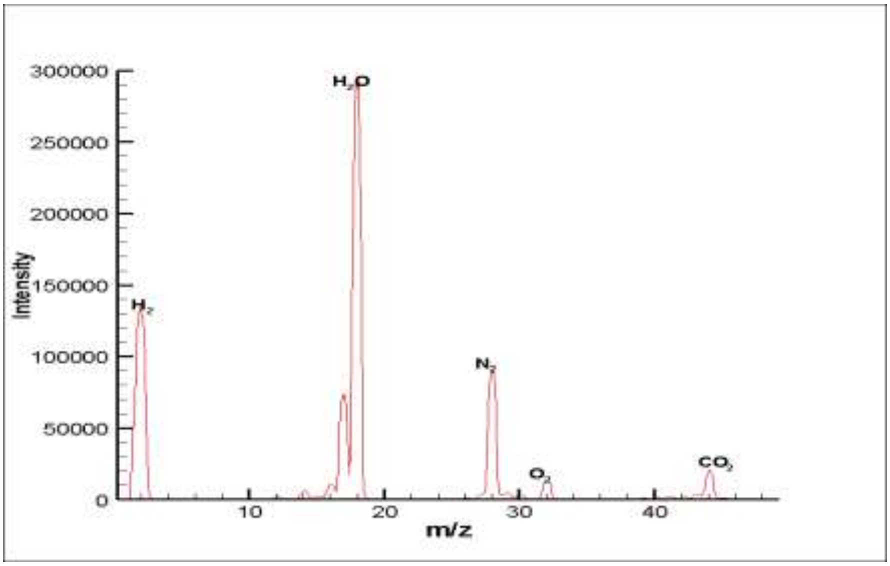
Na zona de deflexão, adquirem um movimento curvilíneo (semicircular) de raio:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

Donde resulta que:

$$\boxed{\frac{m}{q} = \frac{B^2 r^2}{2|\Delta V|}}$$

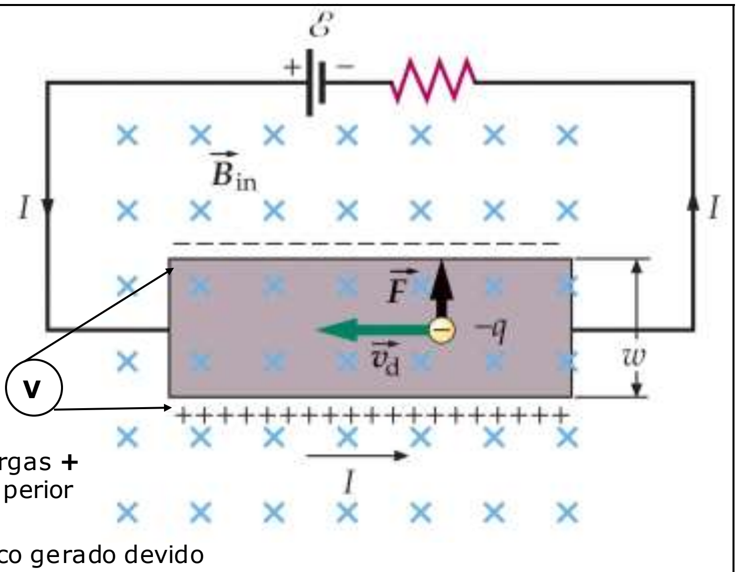
Espectro de massa resultante da análise dos gases residuais num sistema de vácuo



Relações M/Z para vários iões

M/Z	iões	M/Z	iões	M/Z	iões	M/Z	iões
1	H^+	15	CH_3^+, N^+, NH^+	27	$C_2H_3^+$, CHN^+	37	Cl^+
2	D^+, H_2^+	16	CH_4^+, O^+, NH_2^+	28	N_2^+, CO^+, $C_2H_4^+$	38	Ar^+, $C_3H_2^+$
3	He^+, H_3^+	17	OH_3^+, NH_3^+, CH_5^+	29	CHO^+, $C_2H_5^+$	39	$C_3H_3^+$
4	He^+, D_2^+	18	H_2O^+, NH_4^+	30	NO^+, $C_2H_6^+$ $C_2H_2^+$	40	Ar^+, $C_3H_4^+$
12	C^+	19	F^+	32	O_2^+	41	$C_3H_5^+$
13	CH^+, C^+	20	Ne^+, Ar^{++}	35	Cl^+	43	$C_3H_7^+$
14	N^+, CH_2^+	22	Ne^+, CO_2^{++}	36	Ar^+	44	CO_2^+, $C_3H_8^+$

Efeito de Hall



Tensão de Hall

$\vec{B}$ empurra as cargas **+** para a parte superior

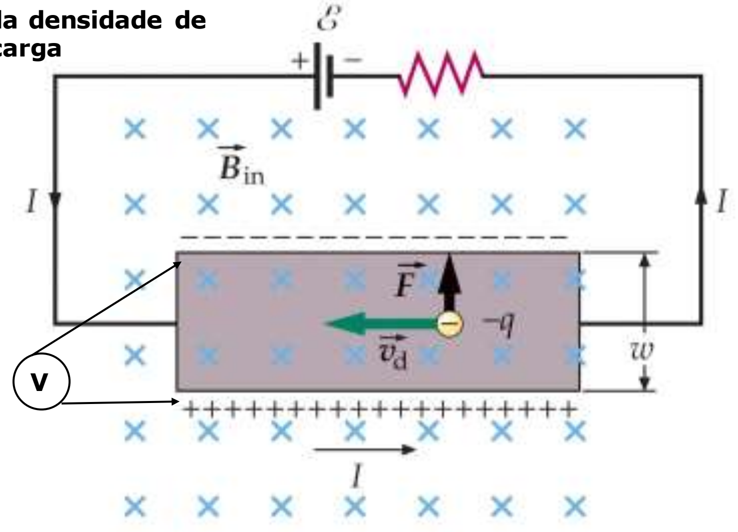
$\vec{E}$ Campo eléctrico gerado devido à separação de carga

No equilíbrio
$$F_E = F_B$$
$$qE = qv_B B$$

$$V_H = Ew = v_d B w$$

Determinação da densidade de portadores de carga

Tensão de Hall



$$I = nqv_d A \Leftrightarrow n = \frac{I}{qv_d A} = \frac{I}{wxev_d}$$

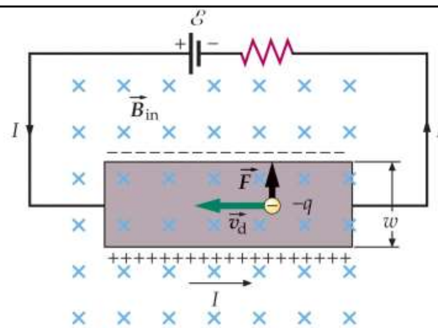
espessura

$$V_H = v_d B w$$

$$n = \frac{IB}{xeV_H}$$

Check Point

Uma tira condutora com 2 cm de largura (w), está colocada numa região onde existe um campo magnético de intensidade 8000 G. A tensão de Hall medida é 0.64 μV. Calcule a velocidade de arrastamento ds electrões.
1 G = 10^{-4} T

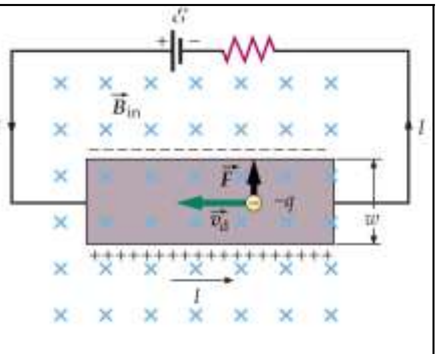


$$V_H = v_d B w$$

$$v_d = \frac{V_H}{Bw} = \frac{0.64\times10^{-6}}{0.8\times2\times10^{-2}} = 4\times10^{-5} m/s$$

Check Point

Uma tira de Ag com espessura de 1 mm e largura 1.5 cm é percorrida por uma corrente de 2.5 A. numa região onde existe um B = 1.25 T com direcção perpendicular à tira. A tensão de Hall medida é 0.334 μV.
a) Calcule a densidade de portadores de carga.
b) Comparar o resultado de a) com a densidade de átomos de Ag na placa.
ρ(Ag)=10.5 g/cm³; M(Ag) = 107.9 g/mol



a)

$$n = \frac{IB}{xeV_H} \Leftrightarrow n = \frac{2.5\times1.25}{10^{-3}\times1.6\times10^{-19}\times0.334\times10^{-6}} = 5.85\times10^{28}\,elect./m^3$$

b)

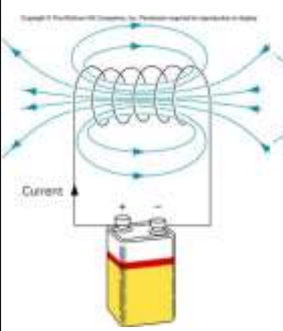
$$\rho = \frac{m}{V}; n_m = \frac{m}{M}; n = \frac{n_m N_A}{V} \qquad \Rightarrow n = \frac{mN_A}{MV} = \frac{\rho N_A}{M}$$

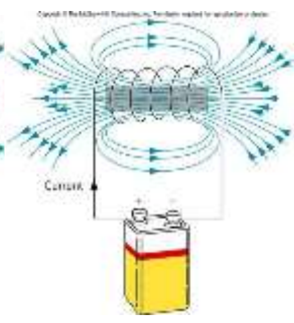
$$\Rightarrow n = \frac{10500\times6.023\times10^{23}}{107.9\times10^{-3}} = 5.86\times10^{28}\,át/m^3$$

~1electrão por átomo

Electromagnetes

Um electromagnete consiste num "núcleo" de Ferro (permeabilidade magnética elevada) colocado no interior de um enrolamento de fio (por exemplo um solenóide). O Campo Magnnético no núcleo é superior ao que seria sem núcleo de Ferro e é proporciona ao nº de espiras do enrolamento.





- Distribuições estática de carga eléctrica produzem Campos Eléctricos (Cap. I)
- Todos os campos magnéticos têm origem em movimento de cargas eléctricas.
- Um campo magnético somente se evidencia se houver movimento relativo entre a carga eléctrica e um observador.
- Electricidade e magnetismo são duas facetas do ***Campo Electromagnético***
  - Uma carga eléctrica em movimento produz campo magnético.
  - Campos magnéticos variáveis provocam efeitos no movimento de cargas eléctricas.