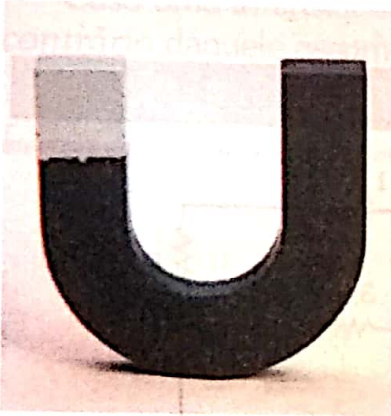


Eletromagnetismo

1

Introdução



Desde a antigüidade é conhecida a propriedade de um certo mineral atrair pequenos pedaços de ferro.

Esse mineral foi chamado de *magnetita* e constitui o *ímã natural*.

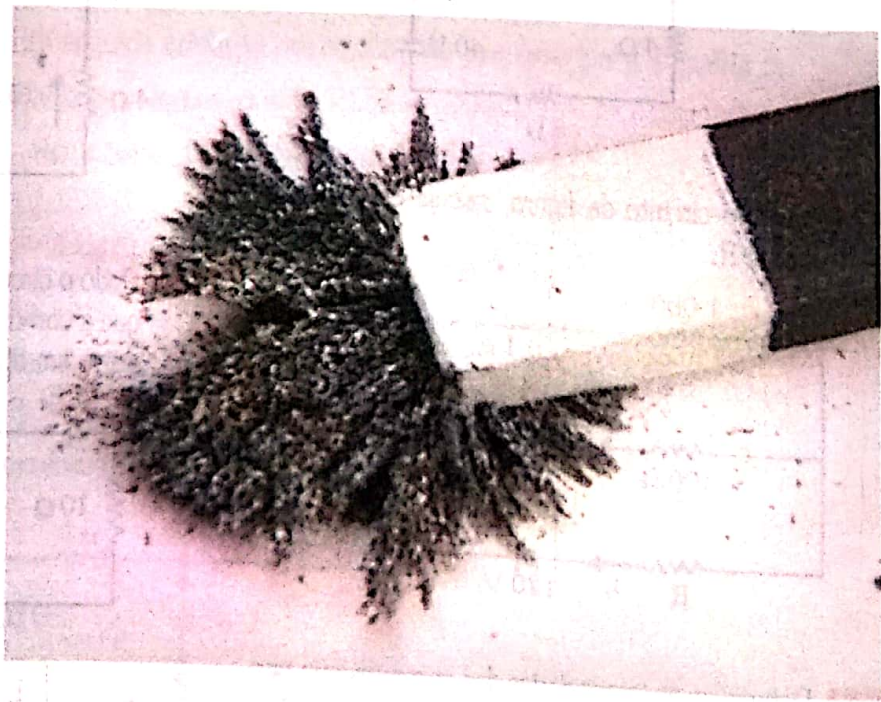
Diz uma lenda grega que um pastor, Magnes, descobriu a magnetita casualmente ao notar que ela exercia sobre a ponta de sua bengala e os pregos do seu calçado uma atração tão forte que o impedia de caminhar.

Atualmente são mais utilizados os ímãs artificiais, obtidos a partir da imantação de certas substâncias.

2

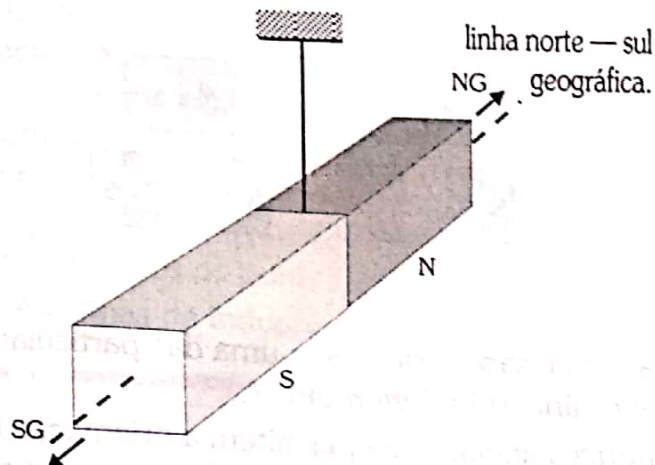
Fenômenos magnéticos

1ª) Colocando um ímã em contato com limalhas de ferro, nota-se que elas aderem ao ímã somente nas extremidades dele.



Essas extremidades são denominadas *pólos*.

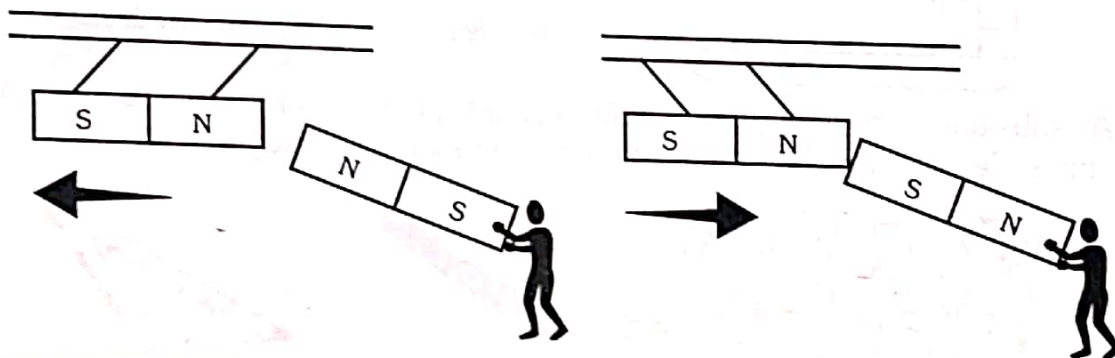
2º) Suspendendo-se um ímã pelo centro de gravidade, ele orienta-se aproximadamente na direção norte-sul geográfica do local.



NG = norte geográfico da Terra
SG = sul geográfico da Terra

A parte do ímã que se volta para o pólo norte geográfico é denominada *pólo norte* (N); a parte que se volta para o sul geográfico é chamada *pólo sul* (S).

3º) Colocando-se dois ímãs um próximo do outro, surgem forças de atração ou de repulsão conforme as posições desses ímãs no espaço.



Pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.

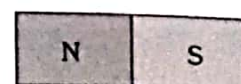
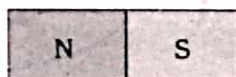
3 Substâncias magnéticas

Experimentalmente, pode-se verificar também que um *único pólo* não pode existir *isoladamente*.

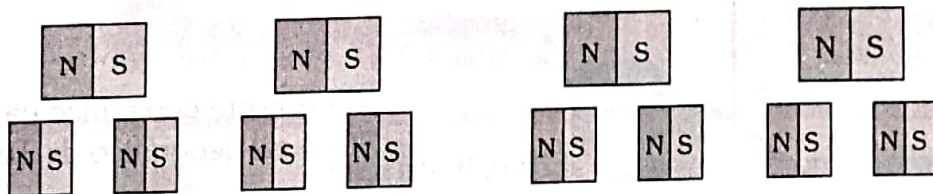
Imagine um ímã em forma de barra com seus pólos norte e sul.



Se o seccionarmos ao meio, surgirão novos pólos norte e sul em cada um dos pedaços, constituindo cada um deles um novo ímã.

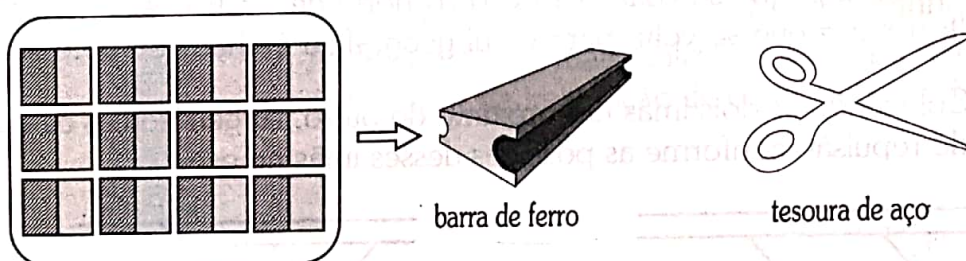


Se continuarmos com essa experiência de divisão de cada ímã em dois outros, obteremos ímãs cada vez menores, até que eles atinjam dimensões elementares.

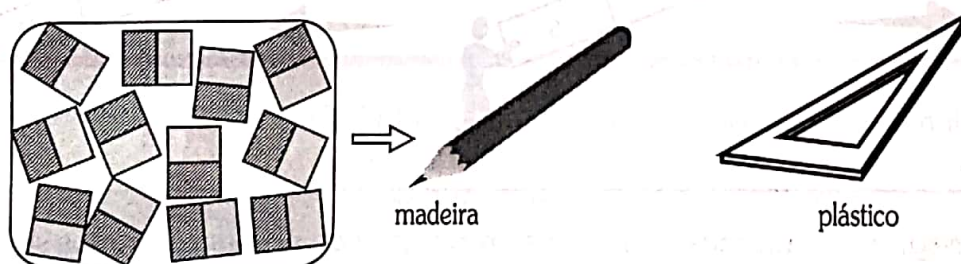


Essa linha de raciocínio nos leva à conclusão de que cada uma das partículas do corpo anterior é um pequeno ímã, denominado *ímã elementar*.

Denominam-se *substâncias magnéticas* aquelas que permitem a orientação dos seus ímãs elementares. Exemplos: ferro, níquel e algumas ligas metálicas, como o aço.



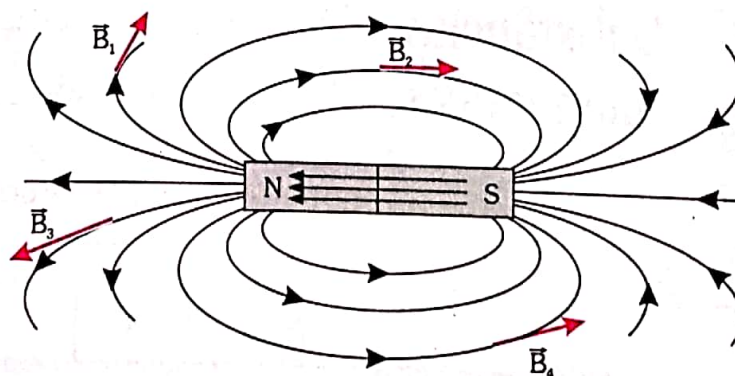
As substâncias *não-magnéticas* são aquelas que não permitem a orientação dos seus ímãs elementares. Exemplos: alumínio, madeira, plástico etc.



4 Campo magnético

A região do espaço que envolve um ímã é denominada *campo magnético*.

Sua representação é feita através de *linhas de campo* ou *linhas de indução*, que são linhas imaginárias fechadas que saem do pólo norte e entram no pólo sul.

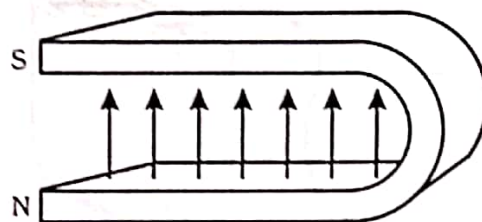


No interior do ímã, as linhas de campo vão do pólo sul para o pólo norte.

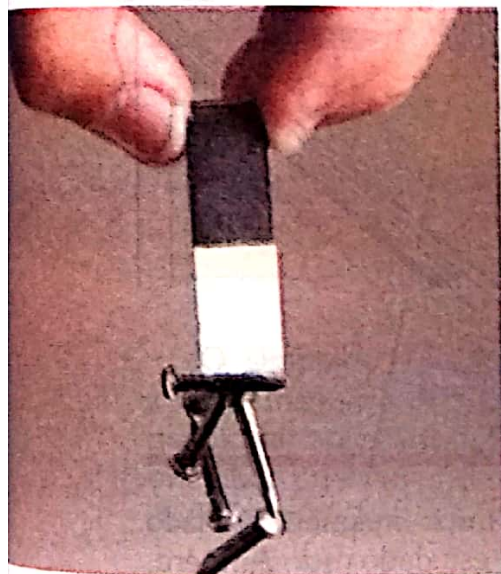
Cada ponto de um campo magnético é caracterizado por um vetor $\vec{B}$ denominado *vetor indução magnética* ou *vetor campo magnético*, sempre tangente às linhas de campo e no mesmo sentido delas.

Quando o campo magnético $\vec{B}$ for constante em todos os pontos, o campo magnético é dito *uniforme*.

As linhas de indução magnética são retas paralelas e igualmente espaçadas.



5 Indução magnética



Um prego de ferro é, normalmente, um corpo não-imantado. Porém, quando ele é colocado na presença de um ímã, o vetor campo magnético do campo criado por esse ímã orienta os ímãs elementares do prego, imantando-o e fazendo com que o prego seja atraído.

Dessa forma, o prego torna-se também um ímã, sendo capaz, portanto, de atrair outros pregos, através da repetição do mesmo fenômeno.

Denomina-se *indução magnética* o fenômeno da imantação de um corpo por meio de um ímã.

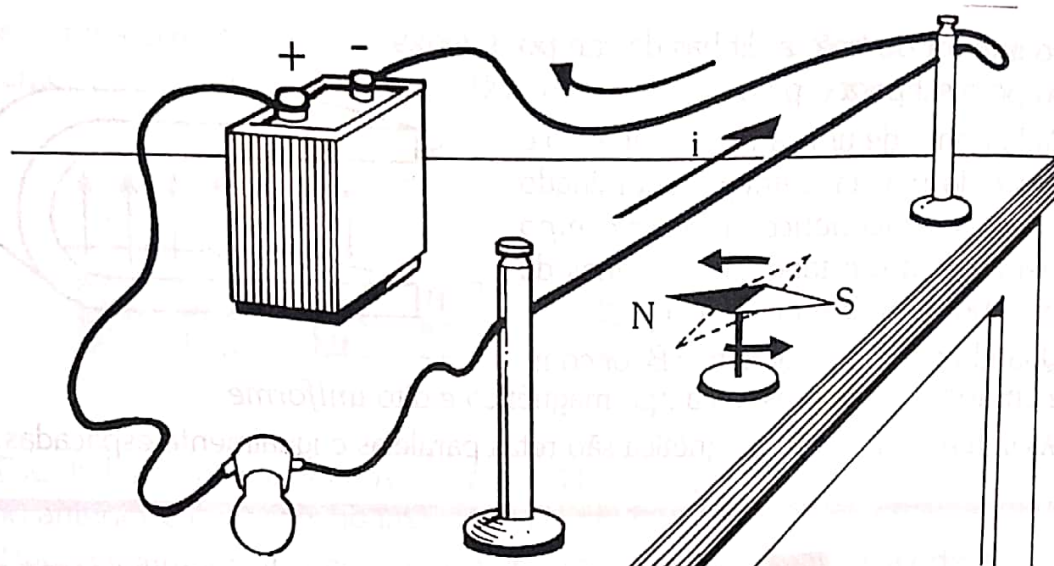
Observação:

As substâncias cujos ímãs elementares se orientam facilmente quando submetidos à ação de um campo magnético são denominadas substâncias *ferromagnéticas*.

6 Experiência de Oersted

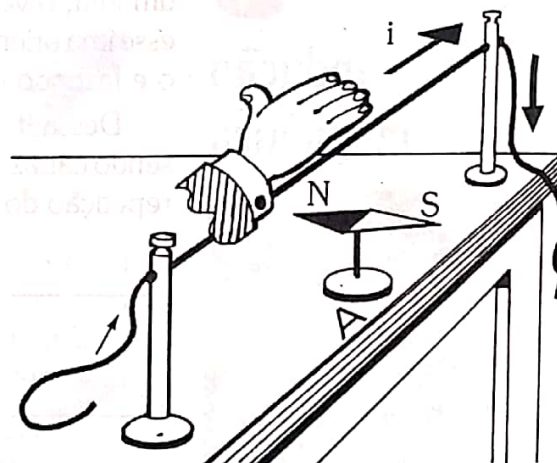
Experimentalmente, em 1820, o físico dinamarquês Hans C. Oersted verificou que a passagem de uma corrente elétrica num fio cria ao seu redor um campo magnético.

Esse fato pode ser observado facilmente colocando-se uma bússola próxima a um fio condutor, por onde circula uma corrente elétrica. Nessas condições, a agulha da bússola muda para uma posição perpendicular ao fio condutor, deixando de orientar o sentido norte-sul.



A experiência de Oersted marcou o início de estudos mais profundos que visaram à determinação das características desse campo magnético.

Colocando-se a mão direita sobre o fio, de tal maneira que a palma da mão esteja voltada para a agulha e que o sentido da corrente seja do pulso para os dedos, o pólo norte da agulha se desvia para o sentido indicado pelo dedo polegar.

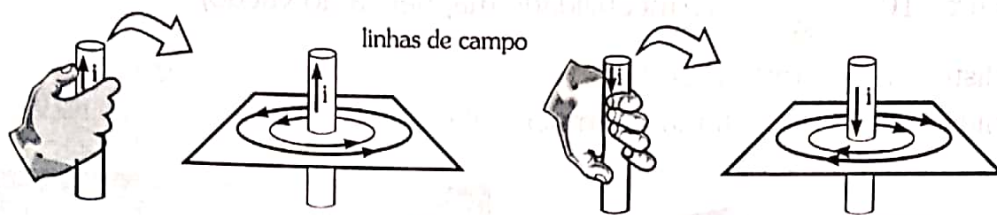


7

Campo magnético criado por um condutor retilíneo

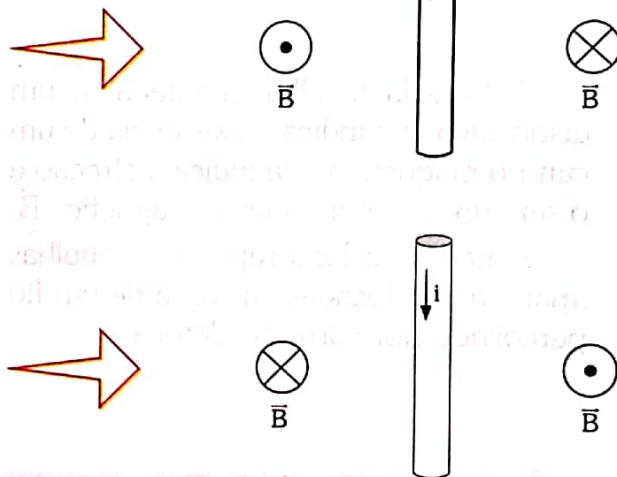
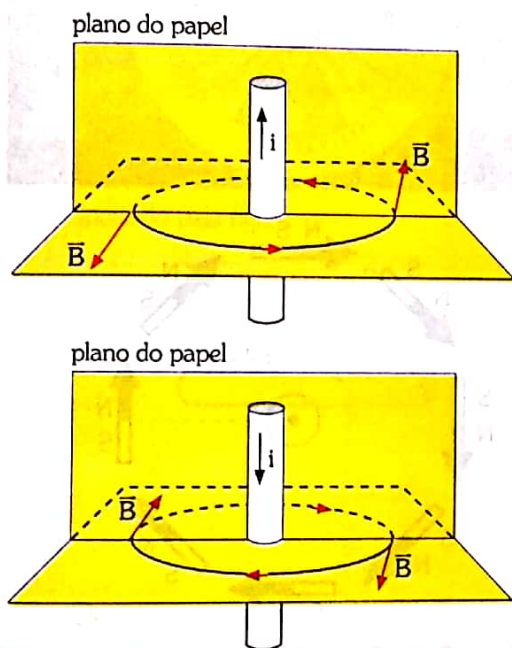
O sentido das linhas do campo magnético criado por uma corrente elétrica foi estudado por Ampère, que estabeleceu uma regra para determiná-lo, conhecida como *regra da mão direita*.

Segure o condutor com a mão direita, envolvendo-o com os dedos e mantendo o polegar apontando o sentido da corrente. O sentido das linhas de campo é dado pela indicação dos dedos que envolvem o condutor.



As linhas de campo são circulares e concêntricas ao fio por onde passa a corrente elétrica e estão contidas num plano perpendicular ao fio.

A direção do vetor campo magnético $\vec{B}$ é sempre tangente às linhas de campo em cada ponto considerado e sempre no mesmo sentido delas.

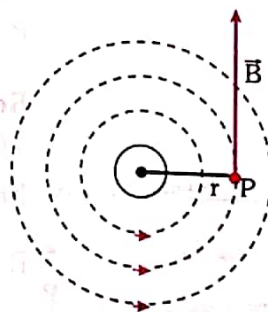
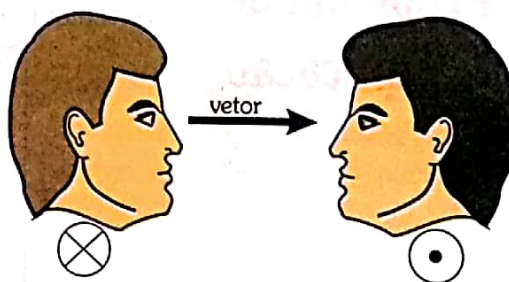


O símbolo $\odot$ representa um vetor (campo magnético, corrente, força) perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para fora, isto é, em posição de saída (aproximando-se do observador).

O símbolo $\otimes$ representa um vetor perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para dentro, isto é, em posição de entrada (afastando-se do observador).

A intensidade do vetor campo magnético em qualquer ponto do campo é proporcional à intensidade da corrente elétrica que passa pelo fio e inversamente proporcional à distância desse ponto ao fio. Sua expressão é:

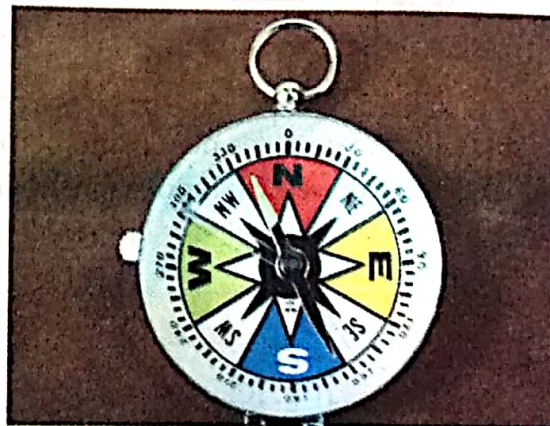
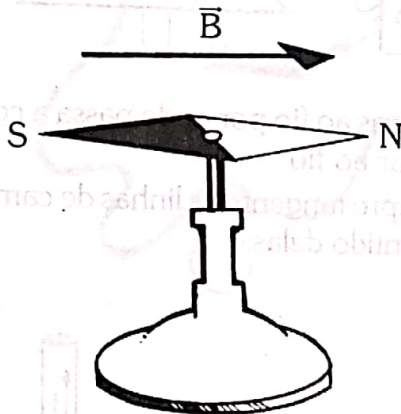
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i}{r}$$



$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \quad (\text{permeabilidade magnética do vácuo})$$

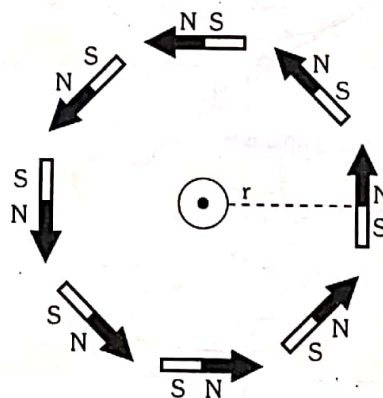
r = distância do ponto P ao fio.

A unidade de $\vec{B}$ no Sistema Internacional é o *tesla* (T).



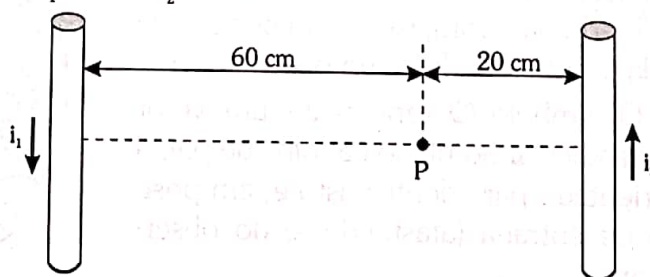
A bússola (agulha imantada) é um dispositivo que indica a existência de um campo magnético. Ela indica a direção e o sentido do vetor indução magnética $\vec{B}$.

A figura ao lado representa agulhas imantadas colocadas em volta de um fio percorrido por corrente elétrica.



Problema de Aplicação

Os fios da figura estão localizados no vácuo e são percorridos por correntes $i_1 = 3 \text{ A}$ e $i_2 = 5 \text{ A}$.



Calcular a intensidade do vetor campo magnético resultante no ponto P. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

Resolução:

• Cálculo de $\vec{B}_1$

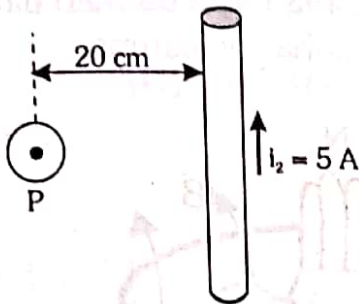
No ponto P, o campo $\vec{B}_1$ é de saída; logo:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_1}{r_1} \Rightarrow B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{3}{0,6}$$

$$B_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

• Cálculo de $\vec{B}_2$

No ponto P, o campo $\vec{B}_2$ é de saída; logo:



$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_2}{r_2} \Rightarrow B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{5}{0,2}$$

$$B_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

A intensidade do campo resultante no ponto P é igual a:

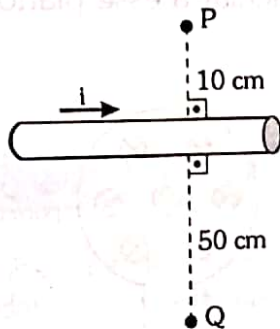
$$B = B_1 + B_2 \Rightarrow B = 1 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}$$

$$B = 6 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Resposta: $6 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

884 Um fio retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica contínua $i = 2 \text{ A}$, no sentido indicado pela figura.



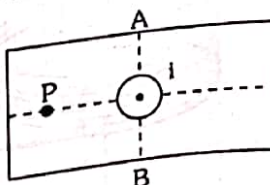
Determine os campos magnéticos $\vec{B}_P$ e $\vec{B}_Q$ gerados por essa corrente nos pontos P e Q.

Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

885 A 40 cm de um fio longo e retilíneo o campo magnético tem intensidade $4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$. Qual é a corrente que percorre o fio?

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

886 A figura representa o chão de uma sala, e AB, a direção NS da Terra. Um fio reto é colocado verticalmente nessa sala, conduzindo uma corrente i , dirigida para cima, de intensidade muito elevada. Uma pequena agulha magnética é colocada no ponto P indicado na figura.

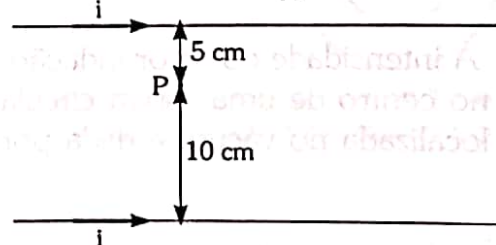


Determine a orientação final da agulha magnética.

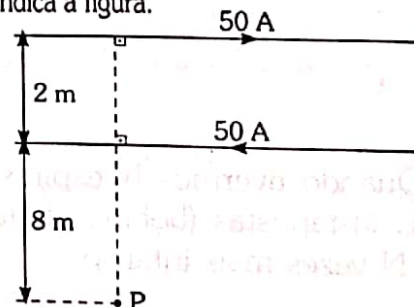
887 Faz-se passar uma corrente elétrica, de intensidade constante, por um fio retilíneo e longo. Nessas condições, a intensidade do vetor indução magnética num ponto situado a 10 cm do eixo do condutor é B. Determine a intensidade do vetor indução magnética num ponto situado a 20 cm do eixo do mesmo condutor.

888 (Faap-SP) Duas retas paralelas conduzem correntes com a mesma intensidade $i = 10 \text{ A}$. Calcule a intensidade do campo magnético no ponto P, situado no plano das retas, conforme a figura.

Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$



889 Dois fios retos, paralelos e longos, conduzem correntes constantes de sentidos opostos, conforme indica a figura.



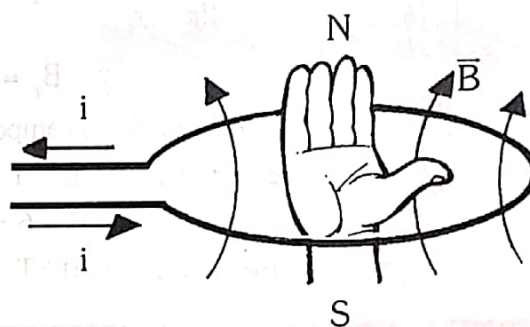
Sabendo que o meio é o vácuo, onde

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$, calcule a intensidade do campo magnético que essas correntes estabelecem no ponto P.

8

Campo magnético criado por uma espira circular

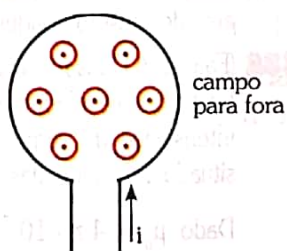
No caso de uma espira circular percorrida por uma corrente, pode-se utilizar a mesma regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo.



Observe que as linhas de campo entram por um lado e saem pelo outro.

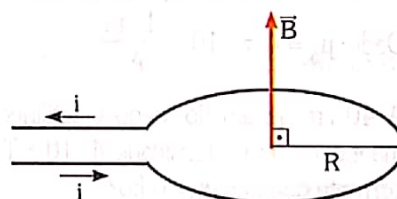
A direção do vetor campo magnético nos pontos do plano da espira é perpendicular a esse plano.

Para uma espira no plano do papel, temos:



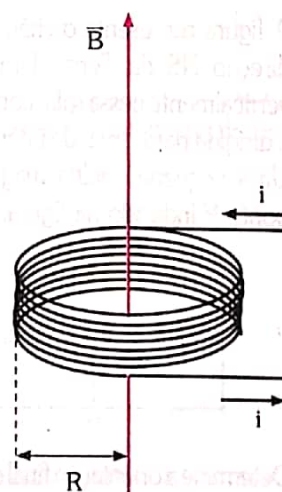
A intensidade do vetor indução magnética no centro de uma espira circular de raio R , localizada no vácuo, é dada por:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R}$$



Quando tivermos N espiras circulares e iguais justapostas (bobina chata), o campo será N vezes mais intenso.

$$B = N \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R}$$



Problema de Aplicação

Determinar a intensidade do campo de indução magnética no centro de uma espira circular de 20 cm de raio, quando ela é percorrida por uma corrente de intensidade 12 A. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$.

Resolução:

$$\text{Dados } \begin{cases} R = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m} \\ i = 12 \text{ A} \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \end{cases}$$

O campo no centro da espira é dado por:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R} \Rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{12}{0,2}$$

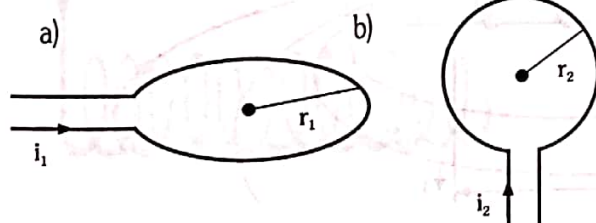
$$B = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Resposta: $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

890 Determine as características (intensidade, direção e sentido) do campo de indução magnética criado no centro de cada espira.

Considere $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$

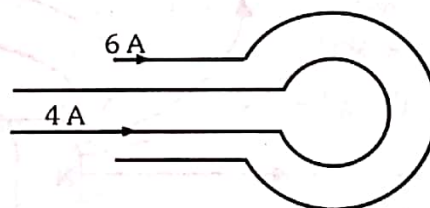


$$\text{Dados } \begin{cases} i_1 = 4 \text{ A} \\ r_1 = 50 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\text{Dados } \begin{cases} i_2 = 3 \text{ A} \\ r_2 = 10 \text{ cm} \end{cases}$$

891 Uma bobina chata é formada de 100 espiras circulares de raio 0,2 m. Sabendo que as espiras são percorridas por uma corrente de 8 A, determine a intensidade do vetor campo magnético no seu centro. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$.

892 Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios $4\pi \text{ m}$ e $5\pi \text{ m}$, são percorridas por correntes de 4 A e 6 A, como mostra a figura a seguir.



Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante no centro das espiras. Considere

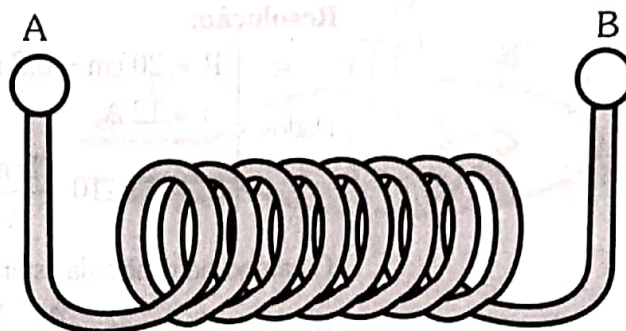
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

893 (Faap-SP) Duas espiras circulares concêntricas, de 1 m de raio cada uma, estão localizadas em planos perpendiculares. Calcule o campo magnético no centro das espiras, sabendo que cada espira conduz 0,5 A. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$.

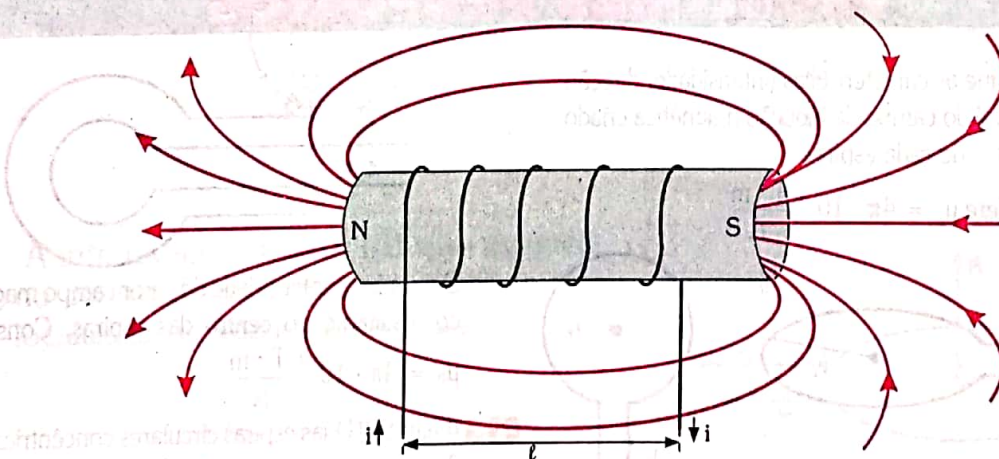
894 (Fuvest-SP) Uma espira condutora circular, de raio R, é percorrida por uma corrente de intensidade i no sentido horário. Uma outra espira circular de raio R/2 é concêntrica com a precedente e situada no mesmo plano que ela. Qual deve ser o sentido e qual o valor da intensidade de uma corrente que,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

9 Campo magnético criado por um solenóide

O solenóide é um dispositivo constituído de um fio condutor enrolado em forma de espiras não-justapostas. Recebe também o nome de *bobina longa*.



Esse aparelho possui larga aplicação industrial, pois, quando percorrido por uma corrente elétrica, se comporta como um ímã, no qual o pólo sul é o lado por onde entram as linhas de campo e o pólo norte, o lado por onde saem. A regra para se determinar o sentido do campo é a mesma regra da mão direita.



A intensidade do vetor indução magnética no interior de um solenóide é dada pela expressão abaixo.

$$B = \frac{\mu_0 N i}{l}$$

N é o número de espiras no comprimento l do solenóide.

Essa expressão é válida para qualquer ponto no interior de um solenóide, pois, nessa região, o campo magnético é *uniforme*.

A *direção* do campo magnético é perpendicular ao plano das espiras.

O solenóide é conhecido também como *eletroímã*.

Problema de Aplicação

É dado um solenóide retilíneo de comprimento 100 cm que contém 2 000 espiras e é percorrido por corrente de intensidade 5 A. Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$ a permeabilidade magnética no vácuo, determine a intensidade do vetor indução magnética na região central do solenóide.

Resolução:

$$\text{Dados} \begin{cases} \ell = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m} \\ N = 2\,000 \text{ espiras} \\ i = 5 \text{ A} \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \end{cases}$$

A intensidade do vetor indução magnética no centro do solenóide é dada por:

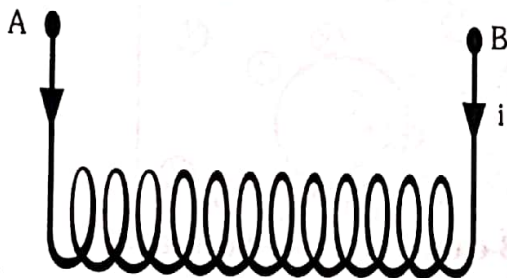
$$B = \frac{\mu_0 N i}{\ell} \Rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2\,000 \cdot 5}{1}$$

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

Resposta: $4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

895 O solenóide da figura, imerso no vácuo, é formado por 12 espiras e tem comprimento 20 cm.



Calcule o módulo, a direção e o sentido do vetor indução magnética no interior desse solenóide, sabendo que $i = 6 \text{ A}$. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

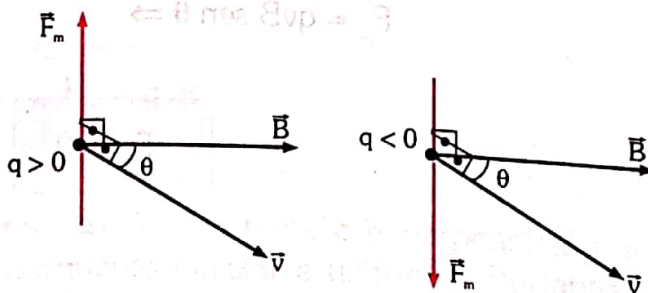
896 No interior de um solenóide de comprimento 16 cm, registra-se um campo de indução magnética de intensidade $5\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, quando ele é percorrido por uma corrente de 8 A. Quantas espiras tem esse solenóide?

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

10

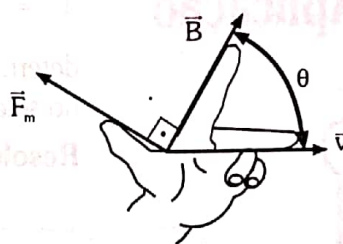
Força magnética sobre cargas elétricas

Consideremos uma carga elétrica q lançada dentro de um campo magnético $\vec{B}$ com velocidade vetorial $\vec{v}$, formando um ângulo θ com o vetor $\vec{B}$.



Verificamos, então, que essa carga sofre a ação de uma *força magnética*, também chamada *força de Lorentz*, cujas características são:

- direção: perpendicular ao plano formado pelos vetores $\vec{B}$ e $\vec{v}$;
- sentido: dado pela *regra da mão esquerda*. Para tanto, disponha os dedos polegar, indicador e médio conforme a figura.



O indicador representa o sentido de $\vec{B}$; o dedo médio, o sentido de $\vec{v}$ e o polegar representa o sentido de $\vec{F}_m$.

Se a carga for positiva, o sentido de $\vec{F}_m$ é o indicado na figura e, se a carga for negativa, o sentido de $\vec{F}_m$ é contrário ao dado pela mão esquerda.

- intensidade: dada por:

$$F_m = qvB \sin \theta$$

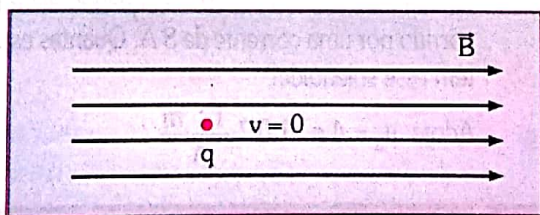
Utilizaremos as seguintes representações:

$\vec{F}_m \odot \Rightarrow$ força magnética saindo perpendicularmente do papel.

$\vec{F}_m \otimes \Rightarrow$ força magnética penetrando perpendicularmente no papel.

Casos particulares

a) Cargas em repouso ($v = 0$)



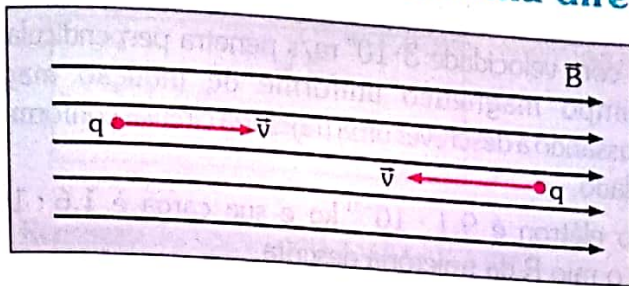
$\vec{B}$ é um campo uniforme.

Neste caso, temos:

$$F_m = qvB \sin \theta \Rightarrow$$

$$F_m = 0$$

b) **Cargas lançadas na mesma direção das linhas de campo**



$\vec{B}$ é um campo uniforme.

Neste caso, temos:

$\theta = 0^\circ \Rightarrow \sin \theta = 0$ (mesmo sentido do campo)

$\theta = 180^\circ \Rightarrow \sin \theta = 0$ (sentido contrário ao do campo)

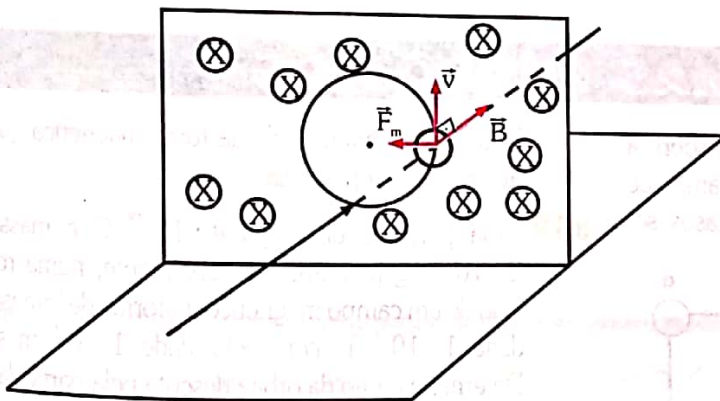
Logo:

$$F_m = qvB \sin \theta \Rightarrow F_m = 0$$

Para os dois casos, (a) e (b), pode-se concluir:

Cargas elétricas em repouso ou lançadas na mesma direção do campo magnético não sofrem a ação da força magnética.

c) **Cargas lançadas perpendicularmente ao campo**



$\vec{B}$ é um campo uniforme.

Neste caso, temos:

$\theta = 90^\circ \Rightarrow \sin \theta = 1$ (velocidade perpendicular ao campo)

Logo:

$$F_m = qvB \sin \theta \Rightarrow F_m = qvB$$

Se a força magnética tem intensidade constante e é perpendicular ao vetor velocidade, a carga realiza um movimento circular e uniforme. Portanto, a força magnética faz o papel da força centrípeta que age sobre a carga.

Problema de Aplicação

Um elétron com velocidade $3 \cdot 10^6$ m/s penetra perpendicularmente em um campo magnético uniforme de indução magnética $8 \cdot 10^{-5}$ T, passando a descrever uma trajetória circular conforme indica a figura ao lado.

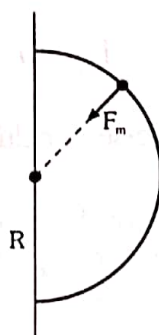
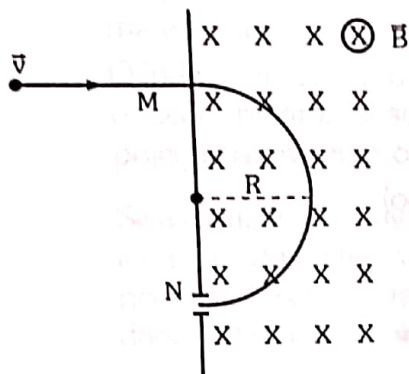
A massa do elétron é $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e sua carga é $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Determinar o raio R da trajetória descrita.

Resolução:

Dados

$$\begin{cases} v = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s} \\ B = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \\ m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \end{cases}$$

A força magnética é a força centrípeta, pois $\vec{v}$ é perpendicular a $\vec{B}$; logo:



$$F_m = F_{cp} \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

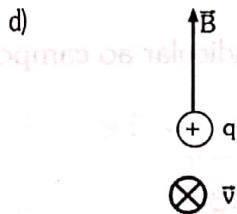
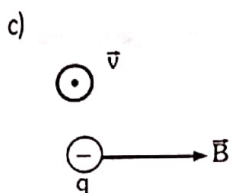
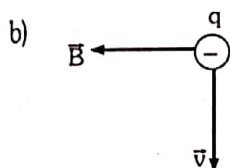
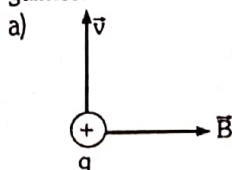
$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{-5}}$$

$$R \approx 0,21 \text{ m}$$

Resposta: $\approx 0,21 \text{ m}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

897 Represente a força magnética que atua sobre a carga q, lançada com velocidade v num campo de indução magnética uniforme B, nos casos seguintes:



898 Em uma região do espaço existe um campo magnético de intensidade $4 \cdot 10^2$ T. Uma partícula, com carga de $2 \cdot 10^{-6}$ C e velocidade de 100 m/s, é lançada, fazendo 30° com a direção do campo.

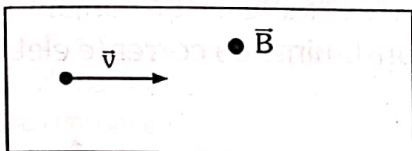
Determine a intensidade da força magnética que atuará sobre a partícula.

899 Uma partícula de carga $4 \cdot 10^{-18}$ C e massa $2 \cdot 10^{-26}$ kg penetra, ortogonalmente, numa região de um campo magnético uniforme de intensidade $1 \cdot 10^{-3}$ T, com velocidade $1 \cdot 10^5$ m/s. Determine o raio da órbita descrita pela partícula.

900 Uma partícula com carga de $2 \mu\text{C}$ penetra num campo magnético de 3 T com velocidade de 7 200 km/h, perpendicularmente ao vetor indução magnética. Determine a intensidade da força magnética que agirá sobre a partícula.

901 (UFV-MG) Uma câmara de bolhas é representada na figura seguinte, com campo magnético perpendicular à folha deste papel e orientado para fora. Uma partícula com carga positiva é então introduzida na câmara de bolhas, com velocidade v, perpendicularmente a $\vec{B}$.

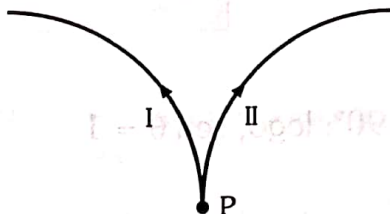
Dados: $B = 1,0 \text{ T}$; $v = 3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$; $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.



- Represente na figura acima o vetor força magnética que atua na partícula.
- Calcule a intensidade dessa força.

902 (Faap-SP) Uma partícula, com massa $m = 9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e carga $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, desloca-se numa órbita circular de raio $R = 20 \text{ cm}$, perpendicularmente a um campo de indução magnética de intensidade $B = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Calcule a velocidade da partícula.

903 (Vunesp-SP) A figura representa as trajetórias, no interior de um campo magnético uniforme, de um par de partículas pósitron-elétron, criado no ponto P durante um fenômeno no qual a carga elétrica total é conservada.



Considerando que o campo magnético é perpendicular ao plano da figura e aponta para o leitor, responda:

- Qual das partículas, I ou II, é o pósitron e qual é o elétron?

- Explique como se obtém a resposta.

904 (Unicamp-SP) Um campo magnético uniforme, $B = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ tesla}$, está aplicado no sentido positivo do eixo y. Um elétron é lançado através do campo, no sentido positivo do eixo z, com uma velocidade de $2,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Carga do elétron $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

- Qual é o módulo, a direção e o sentido da força magnética aplicada sobre o elétron no instante inicial?
- Que trajetória é descrita pelo elétron?
- Qual é o trabalho realizado pela força magnética?

905 (Vunesp-SP) Uma partícula de massa $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e carga $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ penetra, com velocidade $v = 4,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$, numa região onde existe um campo de indução magnética $B = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ uniforme, perpendicular à trajetória da partícula e sentido para fora do papel (ver figura).

- Calcule a força que B exerce sobre a partícula.
- Qual é a direção dessa força em relação à trajetória da partícula?
- Que tipo de trajetória a partícula descreve? Justifique.

