PROF. LUIS TEIXEIRA
Física | Matemática

FICHA DE FÍSICA

Eletromagnetismo

Magnetismo

Aluno(a): _____ | **Data:** ___/___/____ | **Prof.:** Luis Teixeira

1. TEORIA

1.1 Ímãs e polos magnéticos

Os **ímãs** atraem objetos de ferro, níquel e cobalto. Toda a ação magnética se concentra em duas regiões perto das extremidades, os **polos**: o **polo norte (N)** e o **polo sul (S)**. O nome vem da bússola: o polo de um ímã que, solto, aponta para o norte geográfico é o polo norte do ímã.

- **Atração e repulsão:** polos de nomes **diferentes se atraem**; polos de **mesmo nome se repelem**.
- **Inseparabilidade dos polos:** ao quebrar um ímã, cada pedaço vira um ímã completo, com N e S. Não existe monopolo magnético isolado, ao contrário das cargas elétricas, que podem existir isoladamente.
- Os polos são **regiões** próximas às pontas, e não pontos exatamente nas extremidades.

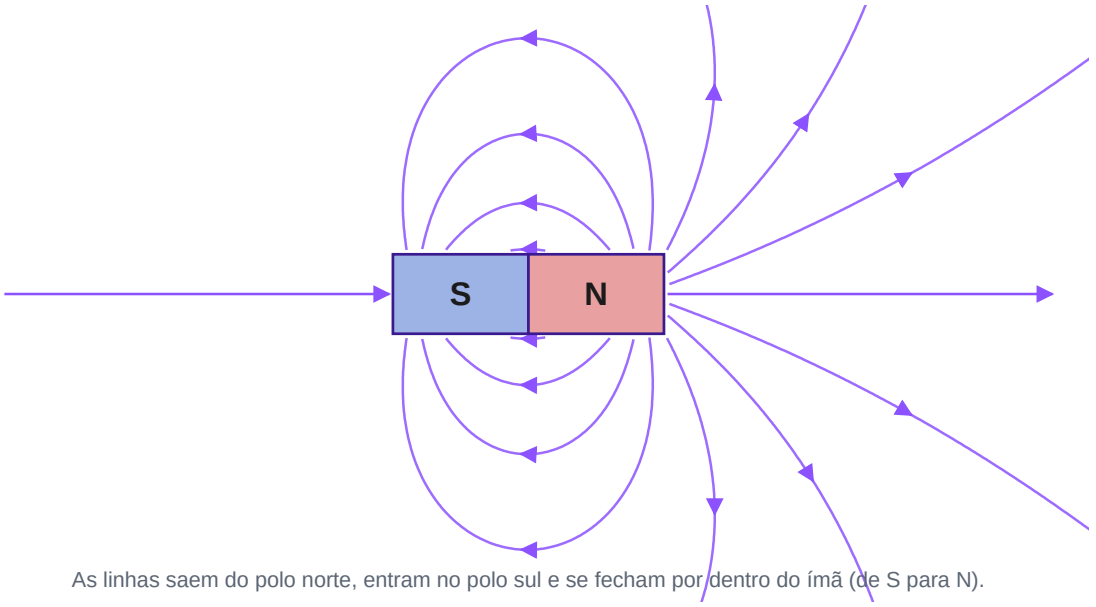
> **MAGNETISMO TERRESTRE E BÚSSOLA**
> A Terra se comporta como um grande ímã. A agulha da bússola é um pequeno ímã que se alinha ao campo da Terra: seu polo norte aponta para o norte geográfico. Como polos de nomes diferentes se atraem, próximo ao norte geográfico fica o **polo sul magnético** da Terra (e vice-versa). Os polos magnéticos não coincidem exatamente com os geográficos; o ângulo entre as duas direções é a **declinação magnética**.

1.2 Campo magnético e linhas de campo

Em torno de um ímã (ou de uma corrente elétrica) existe um **campo magnético** $\vec{B}$, uma grandeza **vetorial**. No SI, sua unidade é o **tesla (T)**; também se usa o gauss ($1\ \text{G} = 10^{-4}\ \text{T}$). O campo da Terra vale cerca de 5×10^{-5} T; o de um ímã de geladeira, da ordem de 10^{-2} T.

Representamos o campo por **linhas de campo** (ou linhas de indução):

- o vetor $\vec{B}$ é **tangente** à linha em cada ponto, no sentido dela;
- fora do ímã, as linhas **saem do polo norte e entram no polo sul**; por dentro, vão de S para N, de modo que as linhas de campo são sempre **fechadas**;
- onde as linhas estão mais juntas, o campo é mais intenso; elas **nunca se cruzam**;
- a agulha de uma bússola colocada num ponto alinha-se com $\vec{B}$, com seu polo norte apontando no sentido do campo.



As linhas saem do polo norte, entram no polo sul e se fecham por dentro do ímã (de S para N).

Linhas de campo de um ímã em barra: mais densas perto dos polos, onde o campo é mais intenso.

NOTAÇÃO PARA VETORES PERPENDICULARES AO PAPEL

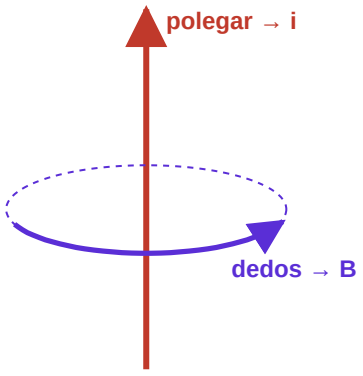
⊙ representa um vetor **saindo** do papel (a ponta de uma flecha vista de frente); ⊗ representa um vetor **entrando** no papel (a cauda da flecha, vista de trás). Um **campo uniforme** (mesmo módulo, direção e sentido em todos os pontos) é desenhado com linhas paralelas igualmente espaçadas, ou com uma grade de ⊙ ou ⊗.

1.3 A experiência de Oersted: corrente gera campo magnético

Em 1820, Oersted observou que a agulha de uma bússola se desviava quando passava corrente num fio próximo. Dessa experiência conclui-se que **cargas em movimento (correntes) criam campo magnético**, o que estabelece a ligação entre eletricidade e magnetismo. Mesmo nos ímãs, o campo tem origem no movimento dos elétrons nos átomos (movimento orbital e spin).

1.4 Campo de um fio retilíneo longo

As linhas de campo de um fio reto e longo são **circunferências concêntricas** ao fio, em planos perpendiculares a ele. O sentido é dado pela **regra da mão direita** (envolvente): o polegar aponta no sentido da corrente e os dedos, curvados, dão o sentido das linhas.



Regra da mão direita (envolvente)

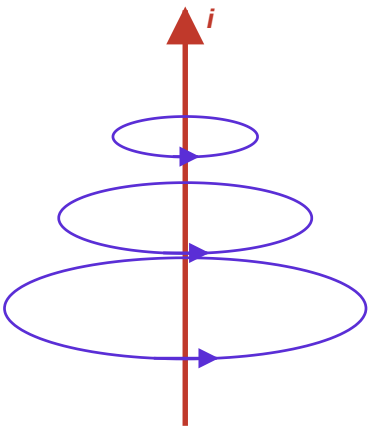
Polegar no sentido da corrente; os dedos curvados dão o sentido das linhas de campo.

FIO RETILÍNEO LONGO

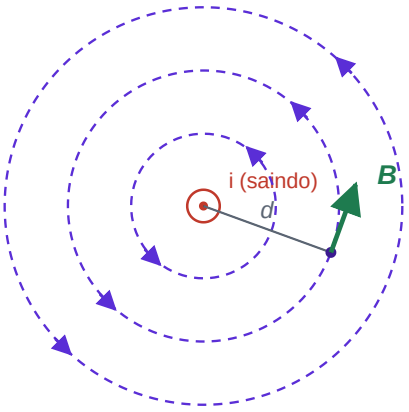
$$B = \frac{\mu_0\, i}{2\pi d}$$

d = distância ao fio; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A (permeabilidade do vácuo). Como $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$ T·m/A, nas contas pode-se usar $B = 2 \times 10^{-7}\,\frac{i}{d}$.

B é proporcional à corrente e **inversamente proporcional à distância**, e não ao quadrado da distância: dobrando d, B cai à metade.



Linhas de campo: circunferências em torno do fio



Vista de cima: B é tangente à linha de campo

Campo de um fio retilíneo: à esquerda em perspectiva, à direita visto de cima (corrente saindo do papel).

1.5 Espira circular e bobina chata

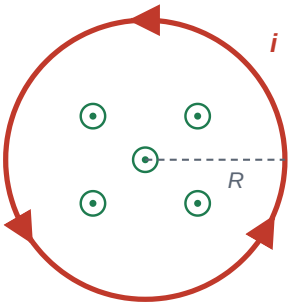
Uma **espira** é um fio em forma de circunferência de raio R. No **centro**, as contribuições de todos os trechos têm a mesma direção (perpendicular ao plano da espira):

CENTRO DA ESPIRA

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \qquad \text{bobina chata com } N \text{ espiras: } B = N\,\frac{\mu_0 i}{2R}$$

Sentido (mão direita): curvando os dedos no sentido da corrente, o polegar indica $\vec{B}$ no centro. Se a corrente circula no sentido anti-horário para quem olha a espira de frente, $\vec{B}$ sai do papel; no sentido horário, entra.

A face por onde as linhas **saem** se comporta como um **polo norte**; a outra, como polo sul. A espira com corrente se comporta, portanto, como um pequeno ímã.



Corrente anti-horária: B sai do papel (face norte)

Espira com corrente anti-horária: no centro o campo sai do papel.

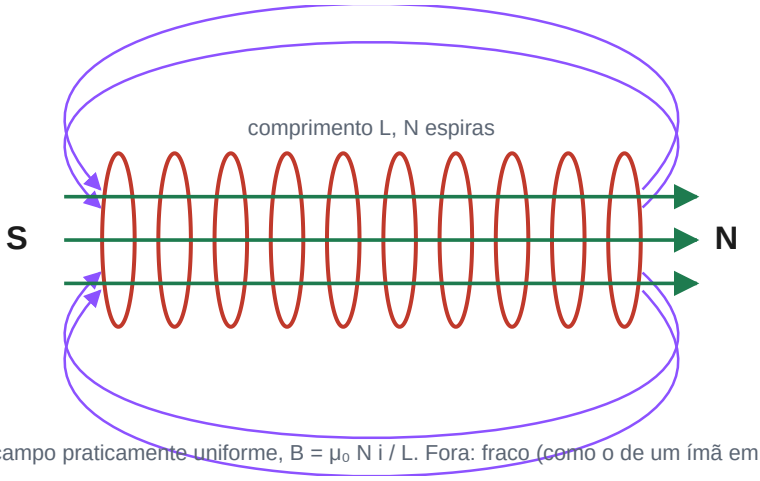
1.6 Solenoide (bobina longa)

Um **solenoide** é um fio enrolado em hélice, com muitas espiras lado a lado. No interior, longe das pontas, o campo é praticamente **uniforme** e paralelo ao eixo; fora, é fraco e parecido com o de um ímã em barra.

SOLENOIDE LONGO

$$B = \mu_0 \frac{N}{L}\, i = \mu_0\, n\, i$$

N = número de espiras, L = comprimento, $n = N/L$ = espiras por metro. **Não depende do raio** do solenoide.



Dentro: campo praticamente uniforme, B = μ₀ N i / L. Fora: fraco (como o de um ímã em barra).

Solenoide: campo uniforme no interior e linhas que se fecham por fora, como num ímã.

Com um núcleo de ferro dentro, o campo fica centenas ou milhares de vezes maior: é o **eletroímã** (guindastes de sucata, campainhas, relés, fechaduras elétricas).

1.7 Superposição de campos

Quando várias correntes atuam num ponto, o campo resultante é a **soma vetorial** dos campos de cada uma. Roteiro:

1. calcule o **módulo** de cada campo ($\mu_0 i/2\pi d$, $\mu_0 i/2R$...);
2. descubra a **direção e o sentido** de cada um pela regra da mão direita, com um esboço da situação;
3. some os vetores: no mesmo sentido, somam-se os módulos; em sentidos opostos, subtraem-se; se forem perpendiculares, use o teorema de Pitágoras.

> **ERRO COMUM**
>
> Somar os módulos sem considerar os sentidos. Dois fios paralelos com correntes de mesmo sentido produzem, na região entre eles, campos de **sentidos opostos** (pode haver ali um ponto de campo nulo); com correntes opostas, os campos entre os fios se somam.

1.8 Força magnética sobre uma carga em movimento

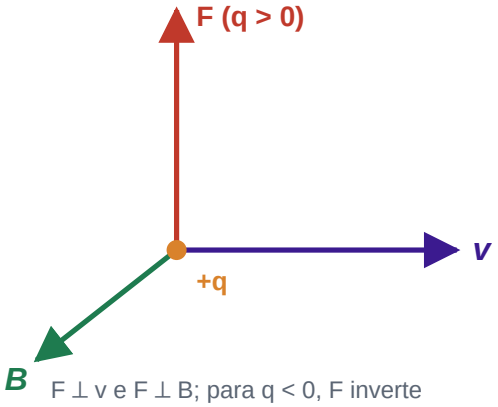
Uma carga q com velocidade $\vec{v}$ num campo $\vec{B}$ sofre a **força magnética** (força de Lorentz):

FORÇA DE LORENTZ

$$F = |q|\, v\, B\, \operatorname{sen}\theta$$

θ = ângulo entre $\vec{v}$ e $\vec{B}$. Vetorialmente, $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$.

- $\vec{F}$ é **perpendicular a** $\vec{v}$ **e a** $\vec{B}$ ao mesmo tempo.
- Carga em **repouso** ($v = 0$) ou movendo-se **paralela** ao campo ($\theta = 0°$ ou $180°$): $F = 0$.
- Máxima quando $\vec{v} \perp \vec{B}$: $F = |q|vB$.
- **Sentido** (regra da mão direita espalmada, também chamada regra do tapa): polegar em $\vec{v}$, demais dedos em $\vec{B}$; para carga positiva, a palma indica o sentido de $\vec{F}$. Para carga negativa, o sentido se inverte.



A força magnética é perpendicular ao plano formado por v e B.

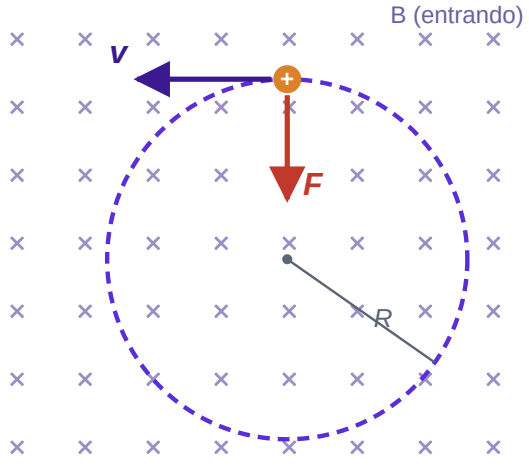
A FORÇA MAGNÉTICA NÃO REALIZA TRABALHO

Como $\vec{F} \perp \vec{v}$ o tempo todo, a potência $P = Fv\cos 90°$ é nula. A força magnética muda apenas a direção da velocidade, nunca o módulo, e a **energia cinética permanece constante**. Para alterar a energia cinética de uma partícula carregada é necessário um campo elétrico.

1.9 Movimento de uma partícula em campo uniforme

Caso 1: $\vec{v} \parallel \vec{B}$**.** Não há força: movimento **retilíneo uniforme**.

Caso 2: $\vec{v} \perp \vec{B}$**.** A força tem módulo constante e é sempre perpendicular à velocidade: ela faz o papel de **resultante centrípeta** e a partícula descreve um **MCU**.



A força magnética é a resultante centrípeta

Carga positiva com velocidade perpendicular a um campo uniforme entrando no papel: MCU anti-horário.

$$|q|\, v\, B = \frac{mv^2}{R} \;\Rightarrow\; \boxed{R = \frac{mv}{|q|\, B}}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} \;\Rightarrow\; \boxed{T = \frac{2\pi m}{|q|\, B}} \qquad f = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

O **período não depende da velocidade** nem do raio: partículas mais rápidas descrevem círculos maiores, mas gastam o mesmo tempo em cada volta. Esse é o princípio de funcionamento do **cíclotron**.

Caso 3: $\vec{v}$ **oblíqua a** $\vec{B}$**.** Decompomos $\vec{v}$: a componente paralela $v_{\parallel} = v\cos\theta$ não sofre força (MU ao longo do campo); a perpendicular $v_{\perp} = v\,\operatorname{sen}\theta$ gera um MCU. A composição é uma **hélice** (movimento helicoidal), de

raio $R = \dfrac{mv_\perp}{|q|B}$ e **passo** $p = v_\parallel T$.

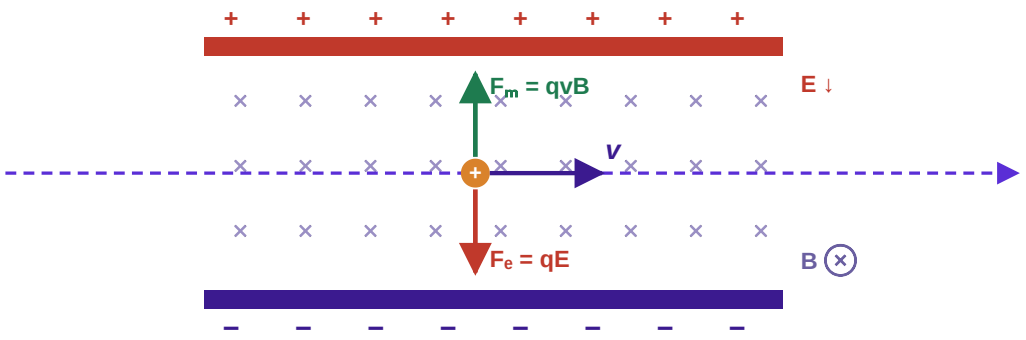
> **ERROS COMUNS**
>
> - Usar v inteiro no raio da hélice: o raio usa só $v_\perp$.
> - Esquecer o sinal da carga: elétron e próton com a mesma velocidade giram em sentidos **opostos**; o raio do elétron é cerca de 1836 vezes menor ($R \propto m$).
> - Supor que a força magnética reduz a rapidez da partícula: o módulo de v não muda.

1.10 Seletor de velocidades e espectrômetro de massa

No **seletor de velocidades** há um campo elétrico $\vec{E}$ e um magnético $\vec{B}$ perpendiculares entre si e à velocidade. A força elétrica qE e a magnética qvB têm sentidos opostos; só passa **sem desvio** a partícula para a qual elas se equilibram:

$$qE = qvB \;\Rightarrow\; v = \frac{E}{B}$$

O resultado **não depende da carga nem da massa**.



Só passa sem desviar quem tem v = E / B

Seletor de velocidades: a força elétrica e a magnética se equilibram.

No **espectrômetro de massa**, íons de mesma carga e mesma velocidade (saídos do seletor) entram num campo B' e fazem meia-volta: $R = \dfrac{mv}{qB'}$, então **íons mais pesados fazem círculos maiores** e batem em pontos diferentes do anteparo, a uma distância $2R$ da entrada. Se os íons forem acelerados do repouso por uma ddp U: $qU = \dfrac{mv^2}{2}$ e $R = \dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2mU}{q}}$ (raio proporcional a $\sqrt{m}$). É assim que se separam **isótopos**.

1.11 Força magnética sobre um condutor com corrente

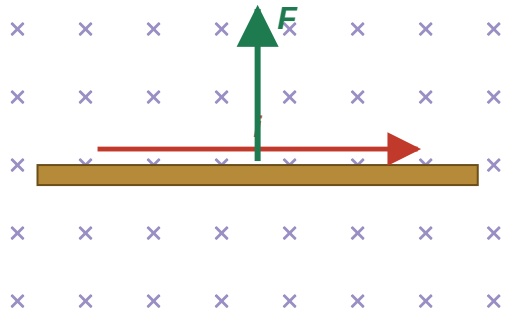
Num fio com corrente há cargas em movimento ordenado; somando as forças magnéticas sobre elas, obtém-se:

CONDUTOR RETILÍNEO

$$F = B\,i\,L\,\operatorname{sen}\theta$$

L = comprimento do fio dentro do campo; θ = ângulo entre o fio (sentido da corrente) e $\vec{B}$.

O sentido sai da mesma regra da mão direita, com o polegar no sentido da **corrente convencional**.



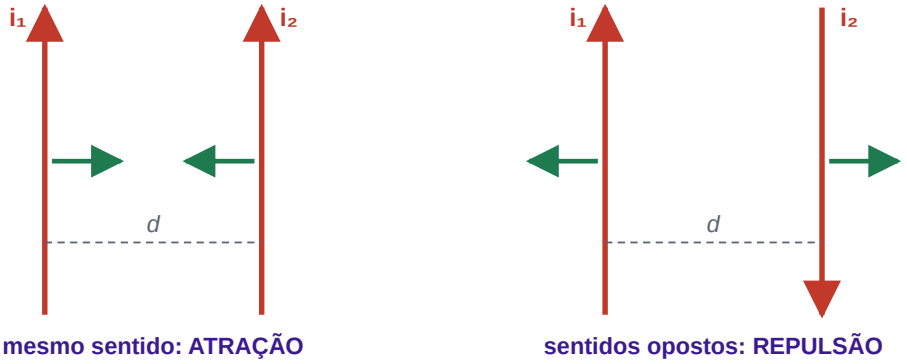
F = B·i·L (i ⊥ B); B entrando, i → : F para cima

Força magnética sobre um condutor retilíneo.

1.12 Força entre fios paralelos

Cada fio cria um campo onde está o outro, e por isso eles se exercem forças (ação e reação, de mesmo módulo):

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0\, i_1\, i_2}{2\pi d}$$



Fios paralelos: correntes de mesmo sentido se atraem; opostas se repelem.

Correntes de **mesmo sentido se atraem**; de **sentidos opostos se repelem** (ao contrário do que ocorre com cargas elétricas, em que sinais iguais se repelem). Até 2019, essa força servia de base para a definição do ampère no SI.

1.13 Torque numa espira: o motor elétrico

Numa espira retangular dentro de um campo uniforme, os lados opostos sofrem forças opostas que formam um **binário**: a força resultante é nula, mas há **torque**, que faz a espira girar. Para uma bobina de N espiras de área A:

$$\tau = N\,B\,i\,A\,\operatorname{sen}\varphi$$

(φ = ângulo entre $\vec{B}$ e a normal ao plano da espira). O torque é máximo com o plano da espira **paralelo** a $\vec{B}$ e nulo com o plano perpendicular. No **motor elétrico de corrente contínua**, um **comutador** inverte a corrente a cada meia-volta para que o giro continue sempre no mesmo sentido. Galvanômetros e alto-falantes funcionam pelo mesmo princípio.

1.14 Materiais magnéticos

Tipo	Comportamento num campo externo	Exemplos
Ferromagnéticos	imantam-se fortemente, no mesmo sentido do campo; podem ficar imantados depois (ímãs permanentes, histerese)	ferro, níquel, cobalto, neodímio
Paramagnéticos	imantação fraca, no sentido do campo, que desaparece quando o campo é retirado	alumínio, platina, oxigênio
Diamagnéticos	imantação fraquíssima, em sentido **oposto** ao campo (são levemente repelidos)	cobre, ouro, água, bismuto

Acima da **temperatura de Curie** (cerca de 770 °C para o ferro), um material ferromagnético perde a imantação.

1.15 Quadro-resumo

Situação	Fórmula	Observação
Fio retilíneo longo	$B = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi d}$	linhas circulares; mão direita
Centro de espira (N voltas)	$B = N\dfrac{\mu_0 i}{2R}$	anti-horária $\Rightarrow$ saindo
Solenoide	$B = \mu_0 \dfrac{N}{L} i$	uniforme dentro; não depende do raio
Força sobre carga	$F = \lvert q\rvert v B \operatorname{sen}\theta$	$\perp$ a v e B; não realiza trabalho
MCU no campo	$R = \dfrac{mv}{\lvert q\rvert B},\ T = \dfrac{2\pi m}{\lvert q\rvert B}$	T independe de v
Hélice	$R = \dfrac{mv_\perp}{\lvert q\rvert B},\ p = v_\parallel T$	v oblíqua a B
Seletor de velocidades	$v = E/B$	independe de q e m
Condutor	$F = BiL\operatorname{sen}\theta$	polegar na corrente convencional
Fios paralelos	$\dfrac{F}{L} = \dfrac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d}$	mesmo sentido atraem
Torque em bobina	$\tau = NBiA\operatorname{sen}\varphi$	motor elétrico

2. EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

Quando não for dito o contrário, use $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A, carga elementar $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C, massa do próton $1{,}67 \times 10^{-27}$ kg, massa do elétron $9{,}1 \times 10^{-31}$ kg e $g = 10$ m/s².

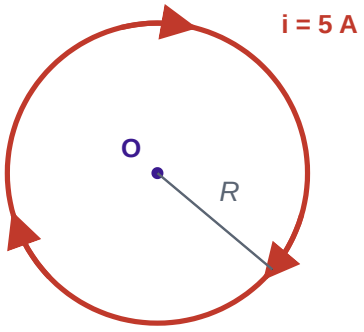
Exercício resolvido 1. Um fio retilíneo longo é percorrido por uma corrente de 10 A. Calcule a intensidade do campo magnético a 20 cm do fio e diga como são as linhas de campo.

Resolução:

1. **Fórmula do fio:** $B = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi d} = 2 \times 10^{-7} \cdot \dfrac{i}{d}$.
2. **Unidades no SI:** $d = 20$ cm $= 0{,}2$ m.
3. **Conta:** $B = 2 \times 10^{-7} \cdot \dfrac{10}{0{,}2} = 1{,}0 \times 10^{-5}$ T.
4. **Linhas:** circunferências concêntricas ao fio, em planos perpendiculares a ele, com sentido dado pela regra da mão direita.

Resposta: $B = 1{,}0 \times 10^{-5}$ T (cerca de 1/5 do campo da Terra)

Exercício resolvido 2. Uma espira circular de raio 2π cm é percorrida por corrente de 5 A no sentido horário (vista pelo leitor). Determine o módulo e o sentido do campo no centro.



Corrente no sentido horário (vista do leitor)

Espira percorrida por corrente no sentido horário.

Resolução:

1. **Fórmula:** $B = \dfrac{\mu_0 i}{2R}$, com $R = 2\pi \times 10^{-2}$ m.
2. **Conta:** $B = \dfrac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot 2\pi \times 10^{-2}} = \dfrac{20\pi \times 10^{-7}}{4\pi \times 10^{-2}} = 5{,}0 \times 10^{-5}$ T. O π do raio cancela o de μ_0.
3. **Sentido:** com os dedos da mão direita curvados no sentido horário, o polegar aponta para dentro do papel.

Resposta: $B = 5{,}0 \times 10^{-5}$ T, entrando no papel ($\otimes$)

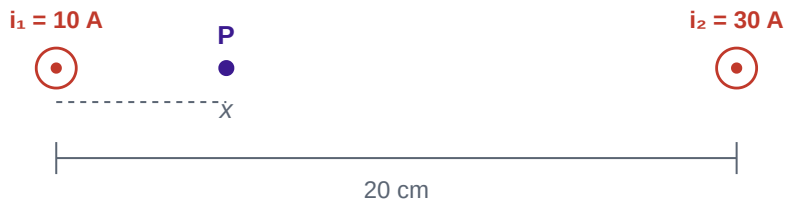
Exercício resolvido 3. Um solenoide de 50 cm de comprimento tem 1000 espiras e é percorrido por 2 A. Qual é o campo no seu interior? E se o mesmo fio fosse enrolado num solenoide de mesmo comprimento, mas com o dobro do diâmetro?

Resolução:

1. **Espiras por metro:** $n = \dfrac{N}{L} = \dfrac{1000}{0{,}5} = 2000$ espiras/m.
2. **Campo:** $B = \mu_0 n i = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 2 = 1{,}6\pi \times 10^{-3} \approx 5{,}0 \times 10^{-3}$ T.
3. **Dobro do diâmetro:** com o **mesmo fio** (mesmo comprimento de fio), cada espira gasta o dobro de fio, então cabem só 500 espiras: n cai à metade e B também, $\approx 2{,}5 \times 10^{-3}$ T. O raio em si não entra na fórmula; o que mudou foi N.

Resposta: $B \approx 5{,}0 \times 10^{-3}$ **T; com o dobro do diâmetro e o mesmo fio,** $\approx 2{,}5 \times 10^{-3}$ **T**

Exercício resolvido 4. Dois fios longos e paralelos, separados por 20 cm, conduzem correntes de 10 A e 30 A, de mesmo sentido. Em que ponto da reta que liga os fios o campo magnético é nulo?



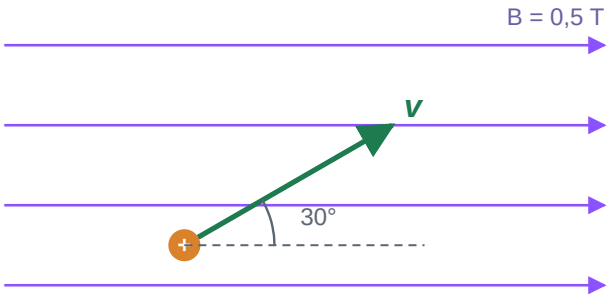
Fios com correntes de mesmo sentido (saindo do papel) e o ponto P procurado.

Resolução:

1. **Região do ponto:** com correntes de mesmo sentido, os campos têm sentidos opostos entre os fios e o mesmo sentido fora deles. Logo, o ponto está **entre os fios**.
2. **Posição:** para que os módulos se igualem, o ponto deve estar mais perto do fio de menor corrente (10 A). Seja x a distância a ele.
3. **Igualdade:** $\dfrac{\mu_0 \cdot 10}{2\pi x} = \dfrac{\mu_0 \cdot 30}{2\pi(0{,}2 - x)} \Rightarrow 10(0{,}2 - x) = 30x \Rightarrow 2 = 40x \Rightarrow x = 0{,}05$ m.

Resposta: a 5 cm do fio de 10 A (e 15 cm do de 30 A)

Exercício resolvido 5. Um próton entra num campo de $0{,}5$ T com velocidade de 2×10^6 m/s, formando 30° com o campo. Calcule a força magnética. O que muda se for um elétron com a mesma velocidade?



Próton entrando no campo (o elétron teria a mesma velocidade)

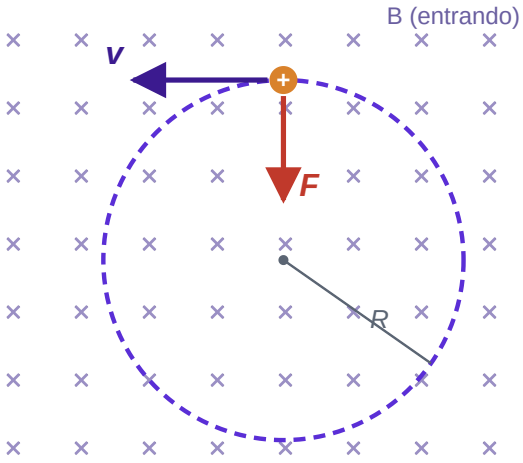
Velocidade do próton formando 30° com as linhas de campo.

Resolução:

1. **Lorentz:** $F = |q|vB \operatorname{sen}\theta = 1{,}6 \times 10^{-19} \cdot 2 \times 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot \operatorname{sen} 30^\circ$.
2. **Conta:** $F = 1{,}6 \times 10^{-19} \cdot 2 \times 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 8{,}0 \times 10^{-14}$ N.
3. **Elétron:** a carga tem o mesmo módulo, logo a força tem o mesmo módulo, mas **sentido oposto**. A aceleração do elétron, porém, é cerca de 1836 vezes maior, porque sua massa é menor.

Resposta: $F = 8{,}0 \times 10^{-14}$ **N; para o elétron, mesmo módulo e sentido contrário**

Exercício resolvido 6. Um próton entra perpendicularmente num campo uniforme de $0{,}1$ T com velocidade de $1{,}0 \times 10^6$ m/s. Determine o raio da trajetória e o período do movimento. Se a velocidade dobrar, o que acontece com o raio e com o período?



A força magnética é a resultante centrípeta

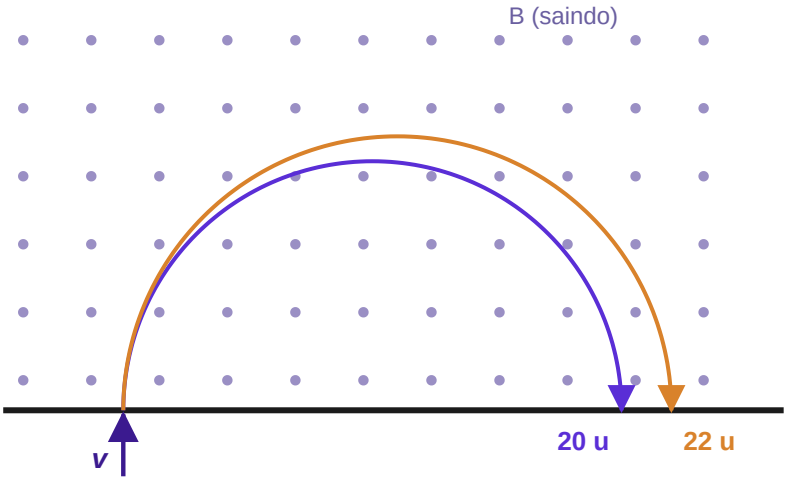
Carga positiva com velocidade perpendicular a um campo uniforme entrando no papel: MCU anti-horário.

Resolução:

1. **Força magnética = resultante centrípeta:** $qvB = \dfrac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{mv}{qB}$.
2. **Raio:** $R = \dfrac{1{,}67 \times 10^{-27} \cdot 10^6}{1{,}6 \times 10^{-19} \cdot 0{,}1} \approx 0{,}104$ m ≈ 10 cm.
3. **Período:** $T = \dfrac{2\pi m}{qB} = \dfrac{2\pi \cdot 1{,}67 \times 10^{-27}}{1{,}6 \times 10^{-20}} \approx 6{,}6 \times 10^{-7}$ s.
4. **Dobrando v:** como $R \propto v$, o raio dobra (≈ 21 cm); T não muda, pois não depende de v.

Resposta: $R \approx 10$ cm, $T \approx 6{,}6 \times 10^{-7}$ s; com $2v$: raio dobra e período igual

Exercício resolvido 7. Íons de neônio com carga $+e$ passam por um seletor de velocidades com $E = 2 \times 10^4$ V/m e $B = 0{,}1$ T. Em seguida entram num campo $B' = 0{,}5$ T, perpendicular à velocidade, e fazem meia-volta até um anteparo. O feixe contém os isótopos de massas 20 u e 22 u (1 u $= 1{,}66 \times 10^{-27}$ kg). Qual é a distância entre os pontos onde eles batem?



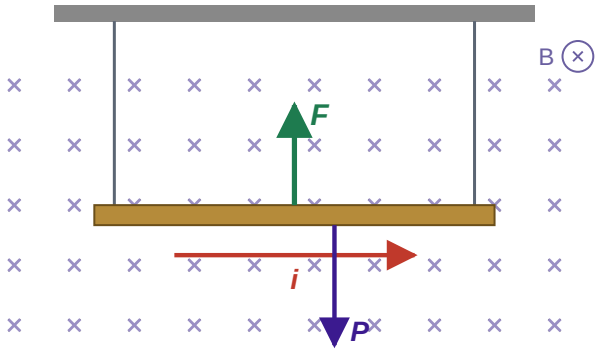
Espectrômetro: o isótopo mais pesado descreve a semicircunferência maior.

Resolução:

1. **Seletor:** $v = \dfrac{E}{B} = \dfrac{2 \times 10^4}{0{,}1} = 2 \times 10^5$ m/s, a mesma para os dois isótopos.
2. **Raios:** $R = \dfrac{mv}{qB'}$. Para 20 u: $R_{20} = \dfrac{20 \cdot 1{,}66 \times 10^{-27} \cdot 2 \times 10^5}{1{,}6 \times 10^{-19} \cdot 0{,}5} = 0{,}0830$ m. Para 22 u: $R_{22} = 0{,}0913$ m.
3. **Ponto de impacto:** cada íon faz meia circunferência e bate a $2R$ da entrada.
4. **Separação:** $\Delta = 2(R_{22} - R_{20}) = 2 \cdot 0{,}0083 \approx 1{,}7 \times 10^{-2}$ m.

Resposta: cerca de $1{,}7$ cm

Exercício resolvido 8. Uma barra condutora de 50 cm e 200 g está pendurada horizontalmente por dois fios leves, num campo uniforme de $0{,}4$ T, horizontal e perpendicular à barra, entrando no papel. Que corrente (módulo e sentido) deve passar na barra para que a tração nos fios seja nula?



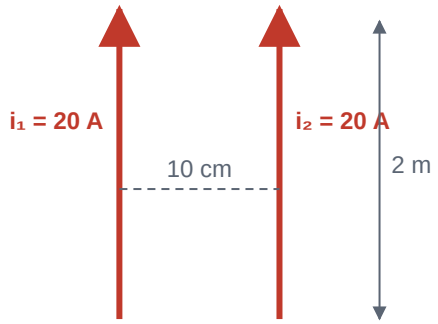
Barra suspensa: a força magnética deve equilibrar o peso.

Resolução:

1. **Tração nula:** a força magnética deve equilibrar sozinha o peso, apontando para cima: $BiL = mg$.
2. **Módulo:** $i = \dfrac{mg}{BL} = \dfrac{0{,}2 \cdot 10}{0{,}4 \cdot 0{,}5} = 10$ A.
3. **Sentido:** com $\vec{B}$ entrando, para $\vec{F}$ ser para cima a corrente deve ir **para a direita** (regra da mão direita: polegar para a direita, dedos para dentro do papel, palma para cima).

Resposta: $i = 10$ A, da esquerda para a direita

Exercício resolvido 9. Dois fios paralelos de 2 m, a 10 cm um do outro, conduzem 20 A cada, no mesmo sentido. Calcule a força entre eles e diga se é de atração ou repulsão. O que acontece se as duas correntes dobrarem?



Fios paralelos, correntes de mesmo sentido

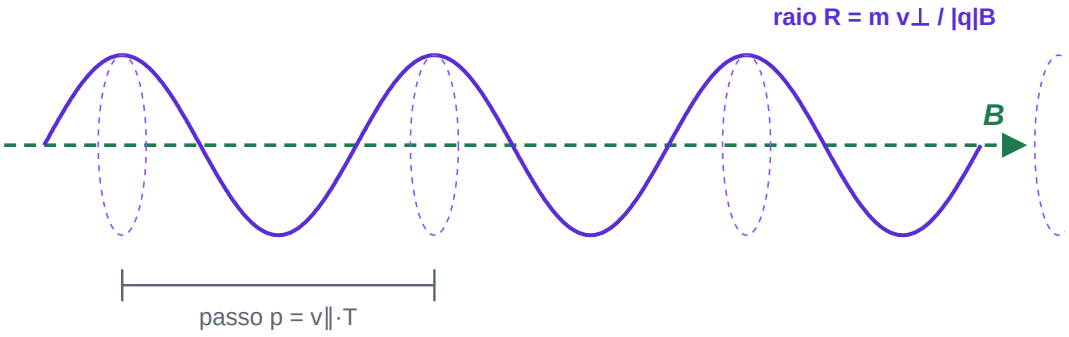
Dois fios paralelos de 2 m, a 10 cm um do outro.

Resolução:

1. **Fórmula:** $F = \dfrac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d} L = 2 \times 10^{-7} \cdot \dfrac{20 \cdot 20}{0{,}1} \cdot 2$.
2. **Conta:** $F = 2 \times 10^{-7} \cdot 4000 \cdot 2 = 1{,}6 \times 10^{-3}$ N.
3. **Tipo:** mesmo sentido $\Rightarrow$ **atração**.
4. **Correntes dobradas:** $F \propto i_1 i_2$, então fica 4 vezes maior: $6{,}4 \times 10^{-3}$ N.

Resposta: $1{,}6 \times 10^{-3}$ N, atração; com correntes dobradas, $6{,}4 \times 10^{-3}$ N

Exercício resolvido 10 [nível ITA/IME]. Um elétron entra num campo uniforme de $1{,}0 \times 10^{-3}$ T com velocidade de $4{,}0 \times 10^{6}$ m/s formando 60° com o campo. Determine o raio da hélice, o período e o passo.



Velocidade oblíqua ao campo: movimento helicoidal.

Resolução:

1. **Componentes de $\vec{v}$:** $v_\perp = v \operatorname{sen} 60^\circ \approx 3{,}46 \times 10^{6}$ m/s, responsável pelo giro, e $v_\parallel = v \cos 60^\circ = 2{,}0 \times 10^{6}$ m/s, ao longo do campo, que não sofre força.
2. **Raio:** $R = \dfrac{m v_\perp}{eB} = \dfrac{9{,}1 \times 10^{-31} \cdot 3{,}46 \times 10^{6}}{1{,}6 \times 10^{-19} \cdot 10^{-3}} \approx 1{,}97 \times 10^{-2}$ m.
3. **Período:** $T = \dfrac{2\pi m}{eB} = \dfrac{2\pi \cdot 9{,}1 \times 10^{-31}}{1{,}6 \times 10^{-22}} \approx 3{,}57 \times 10^{-8}$ s.
4. **Passo:** distância percorrida ao longo de $\vec{B}$ numa volta: $p = v_\parallel T = 2 \times 10^{6} \cdot 3{,}57 \times 10^{-8} \approx 7{,}1 \times 10^{-2}$ m.

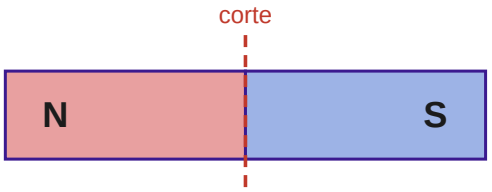
Resposta: $R \approx 2{,}0$ cm; $T \approx 3{,}6 \times 10^{-8}$ s; $p \approx 7{,}1$ cm

3. EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Dados, quando necessário: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A, $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C, $m_p = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg, $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg, $g = 10$ m/s².

Nível 1 básico

01 Um ímã em barra é partido ao meio, perpendicularmente ao eixo que liga seus polos. Obtemos:



O ímã é partido ao meio, perpendicularmente ao eixo NS

Ímã em barra e a linha de corte.

(A) um pedaço só com polo norte e outro só com polo sul.
(B) dois pedaços sem propriedades magnéticas.
(C) dois ímãs, cada um com polo norte e polo sul.
(D) dois ímãs com dois polos norte cada.
(E) um ímã e um pedaço de ferro comum.

02 Calcule a intensidade do campo magnético a 10 cm de um fio retilíneo longo percorrido por 5 A.

03 Uma carga elétrica positiva está em repouso numa região de campo magnético uniforme de 2 T. A força magnética sobre ela:

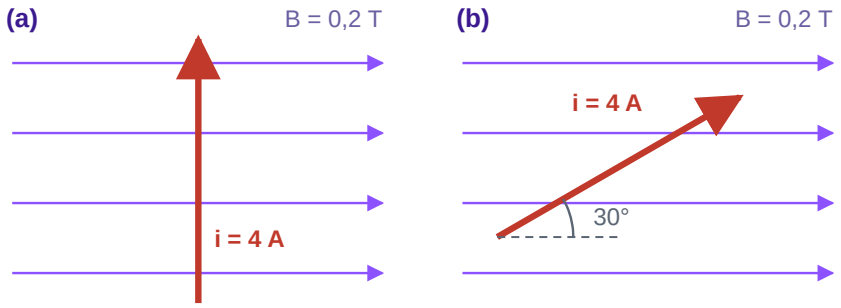
(A) tem a direção do campo.
(B) é perpendicular ao campo.
(C) vale $2q$.
(D) é nula.
(E) depende do sinal da carga.

04 Uma espira circular de raio 10 cm é percorrida por 2 A. Determine o campo no centro (deixe em função de π e dê o valor aproximado).

05 Dois fios longos e paralelos conduzem correntes de mesmo sentido. Eles:

(A) se repelem.
(B) se atraem.
(C) não interagem.
(D) giram um em torno do outro.
(E) se atraem só se as correntes forem iguais.

06 Um trecho de fio de $0{,}5$ m, com 4 A, está num campo uniforme de $0{,}2$ T. Calcule a força magnética quando o fio está (a) perpendicular ao campo e (b) formando $30°$ com o campo.



Trecho de 0,5 m dentro do campo

Posições do fio em relação ao campo nos itens (a) e (b).

Nível 2 intermediário

07 Um próton e um elétron entram num mesmo campo uniforme com a mesma velocidade, perpendicular ao campo. Sobre as trajetórias:

(A) são idênticas.

(B) têm o mesmo raio e sentidos de giro opostos.

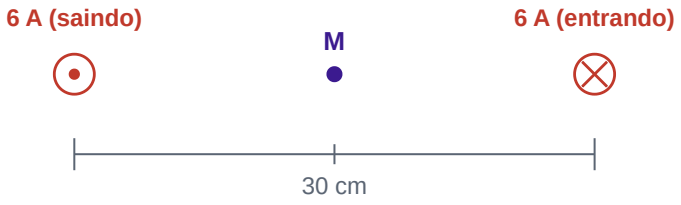
(C) o raio do próton é cerca de 1836 vezes maior, e os sentidos de giro são opostos.

(D) o raio do elétron é cerca de 1836 vezes maior, e os sentidos de giro são iguais.

(E) o próton segue em linha reta.

08 Um solenoide de 20 cm tem 400 espiras e é percorrido por $0{,}5$ A. Calcule o campo no interior.

09 Dois fios longos e paralelos, a 30 cm um do outro, conduzem 6 A cada, em sentidos opostos. O campo magnético no ponto médio entre eles vale:



Fios perpendiculares ao papel e o ponto médio M.

(A) zero

(B) $4{,}0 \times 10^{-6}$ T

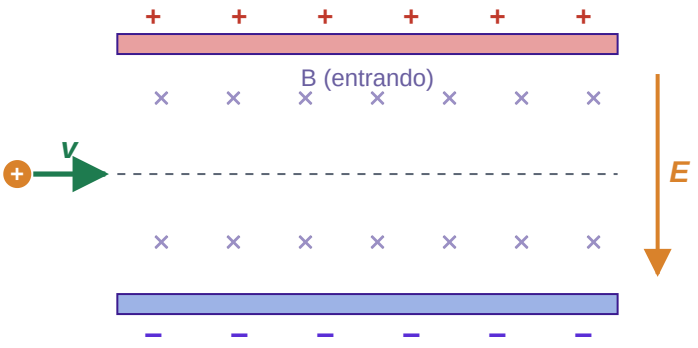
(C) $8{,}0 \times 10^{-6}$ T

(D) $1{,}6 \times 10^{-5}$ T

(E) $3{,}2 \times 10^{-5}$ T

10 Uma partícula alfa ($q = 3{,}2 \times 10^{-19}$ C, $m = 6{,}4 \times 10^{-27}$ kg) entra perpendicularmente num campo de $0{,}2$ T com velocidade de $1{,}0 \times 10^{5}$ m/s. Calcule o raio e o período do movimento.

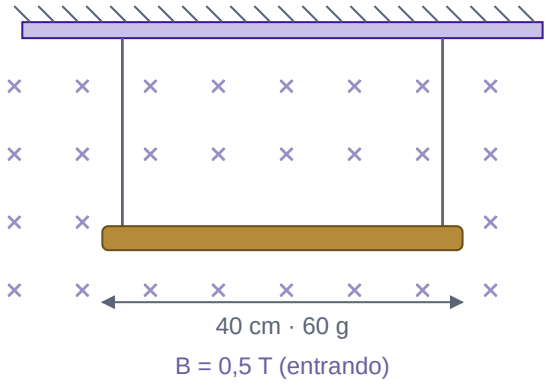
11 Num seletor de velocidades, o campo elétrico vale $3{,}0 \times 10^{3}$ V/m e o magnético, $1{,}5 \times 10^{-2}$ T. A velocidade das partículas que passam sem desvio é:



Seletor de velocidades: campos elétrico e magnético cruzados.

(A) $4{,}5 \times 10^{1}$ m/s
(B) $2{,}0 \times 10^{3}$ m/s
(C) $2{,}0 \times 10^{4}$ m/s
(D) $2{,}0 \times 10^{5}$ m/s
(E) $5{,}0 \times 10^{-6}$ m/s

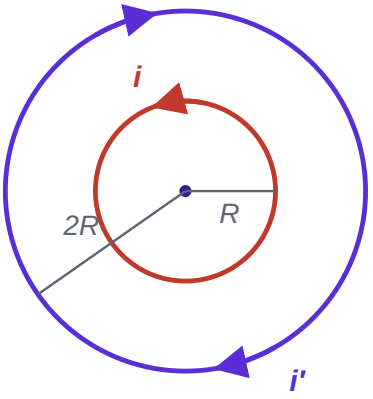
12 Uma barra de 40 cm e 60 g, pendurada horizontalmente por dois fios, está num campo horizontal de $0{,}5$ T perpendicular a ela. Qual corrente anula a tração nos fios?



Barra suspensa por dois fios num campo horizontal.

Nível 3 avançado

13 Duas espiras coplanares e concêntricas têm raios R e $2R$ e correntes i (na menor) e i' (na maior), em sentidos opostos. Para que o campo no centro seja nulo, i' deve valer:

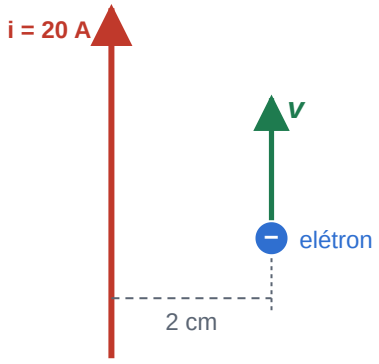


Correntes em sentidos opostos

Espiras coplanares e concêntricas de raios R e 2R.

(A) $i/4$
(B) $i/2$
(C) i
(D) $2i$
(E) $4i$

14 Um fio longo conduz 20 A. Um elétron se move paralelamente ao fio, a 2 cm dele, com velocidade de 5×10^6 m/s no mesmo sentido da corrente. Calcule a força sobre o elétron e diga se ele é atraído ou repelido pelo fio.



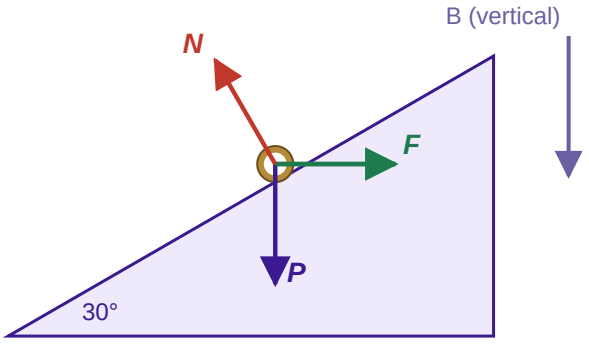
v paralela ao fio, no sentido da corrente

Elétron movendo-se paralelamente ao fio.

15 Dois íons de mesma carga, de massas m e $4m$, são acelerados do repouso pela mesma ddp e entram perpendicularmente no mesmo campo magnético. A razão entre os raios R_{4m}/R_m é:

(A) $1/4$
(B) $1/2$
(C) 1
(D) 2
(E) 4

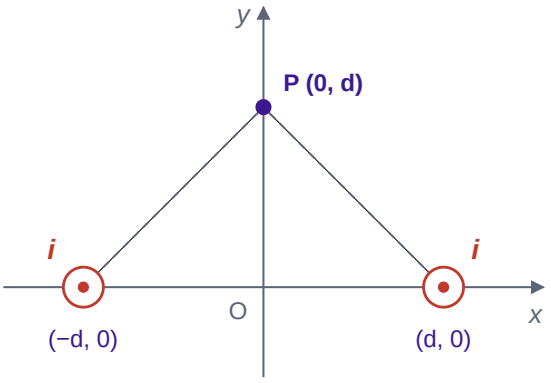
16 Uma barra condutora de $0{,}1$ kg e $0{,}5$ m repousa sobre dois trilhos paralelos inclinados de $30°$, sem atrito, num campo magnético **vertical** de $0{,}4$ T. Que corrente deve passar na barra para que ela fique em equilíbrio?



Vista lateral: corrente saindo do papel

Barra sobre trilhos inclinados (vista lateral) num campo vertical.

17 Dois fios longos, perpendiculares ao papel, estão nos pontos $(-d, 0)$ e $(d, 0)$ e conduzem correntes iguais i, ambas saindo do papel. O módulo do campo resultante no ponto $(0, d)$ é:



Fios perpendiculares ao papel, com correntes saindo, e o ponto P.

(A) zero

(B) $\dfrac{\mu_0 i}{4\pi d}$

(C) $\dfrac{\mu_0 i}{2\pi d}$

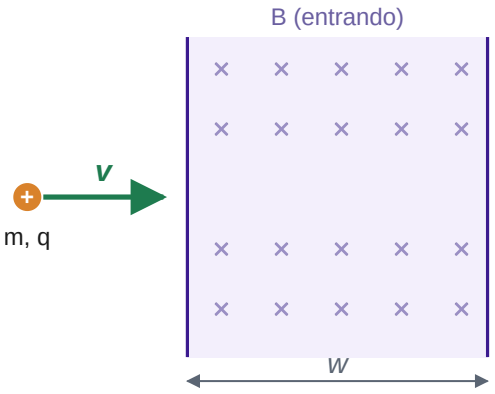
(D) $\dfrac{\mu_0 i\sqrt{2}}{2\pi d}$

(E) $\dfrac{\mu_0 i}{\pi d}$

Nível ITA/IME olímpico

18 Um próton entra num campo uniforme de $0{,}1$ T com velocidade de $2{,}0 \times 10^5$ m/s formando $30°$ com o campo. Calcule o raio da hélice, o período e o passo.

19 Uma partícula de massa m e carga $q > 0$ entra, perpendicularmente à borda, numa faixa de largura w onde há um campo uniforme B perpendicular ao plano do movimento. A condição para que ela atravesse a faixa (saia pelo outro lado) é:



Partícula entrando na faixa de campo magnético.

(A) $v > \dfrac{qBw}{2m}$

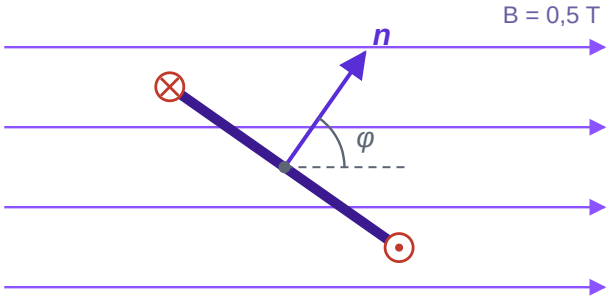
(B) $v > \dfrac{qBw}{m}$

(C) $v > \dfrac{2qBw}{m}$

(D) $v < \dfrac{qBw}{m}$

(E) qualquer v, pois a força magnética não realiza trabalho

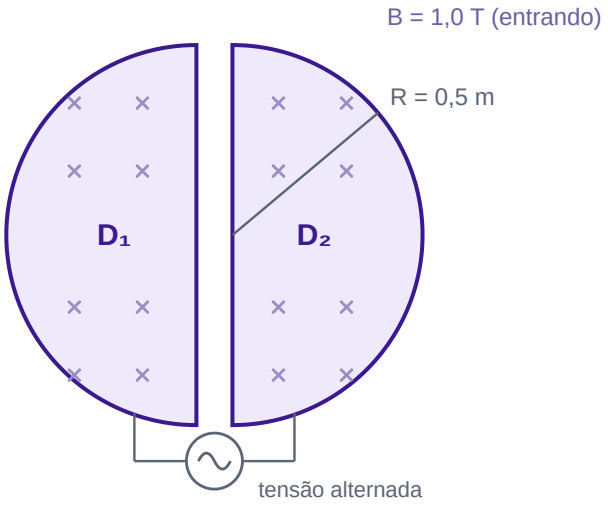
20 Uma bobina quadrada de 100 espiras, lado 10 cm, é percorrida por 2 A num campo uniforme de $0{,}5$ T. (a) Qual o torque máximo sobre ela e em que posição ele ocorre? (b) Em que posição o torque é nulo? (c) Por que um motor precisa de um comutador?



Vista lateral (eixo de giro perpendicular ao papel)

Bobina num campo uniforme; φ é o ângulo entre o campo e a normal à bobina.

21 **Cíclotron.** Num cíclotron de raio $0{,}5$ m com campo de $1{,}0$ T, prótons são acelerados. (a) Qual deve ser a frequência da tensão alternada aplicada entre os dês (D_1 e D_2)? (b) Qual a energia cinética máxima dos prótons, em J e em MeV (1 MeV $= 1{,}6 \times 10^{-13}$ J)? (c) Mostre que a frequência não depende da velocidade.



Esquema de um cíclotron visto de cima.

4. QUESTÕES OFICIAIS DE VESTIBULARES E CONCURSOS

Questões oficiais de provas anteriores (EFOMM, EsPCEx, Escola Naval e AFA), selecionadas do banco de questões da Trilha Militares.

22 [EFOMM 2023]

Com relação ao campo magnético gerado por um ímã, analise os itens abaixo e marque a opção correta. I – Ao se quebrar um ímã, cada pedaço irá formar um ímã de dois polos cada um. II – Os polos de um ímã estão localizados exatamente nos seus extremos. III – A força de atração entre dois ímãs é maior quanto maior a sua distância. IV – Enquanto fora do ímã o sentido das linhas de campo é do polo norte para o polo sul, dentro do ímã o sentido é do polo sul para o polo norte. Das afirmações feitas, pode-se dizer que

(A) somente I e II são verdadeiras.
(B) somente I e IV são verdadeiras.
(C) somente II e IV são verdadeiras.
(D) somente III e IV são verdadeiras.
(E) somente I, II e IV são verdadeiras.

23 [EsPCEx 2017]

Uma carga elétrica puntiforme, no interior de um campo magnético uniforme e constante, dependendo de suas condições cinemáticas, pode ficar sujeita à ação de uma força magnética. Sobre essa força pode-se afirmar que

(A) tem a mesma direção do campo magnético, se a carga elétrica tiver velocidade perpendicular a ele.
(B) é nula se a carga elétrica estiver em repouso.
(C) tem máxima intensidade se o campo magnético e a velocidade da carga elétrica forem paralelos.
(D) é nula se o campo magnético e a velocidade da carga elétrica forem perpendiculares.
(E) tem a mesma direção da velocidade da carga elétrica.

24 [EFOMM 2023]

Considere uma partícula carregada com carga q e velocidade de módulo constante igual a v e paralelo a um campo magnético uniforme de intensidade B. A partícula descreverá um movimento:

(A) circular e uniforme.
(B) circular e uniformemente variado.
(C) retilíneo e uniforme.
(D) retilíneo uniformemente variado.
(E) espiral.

25 [EFOMM 2015]

Em cada uma das figuras dadas abaixo, pequenas bússolas estão dispostas próximas a um ímã.

Figura I

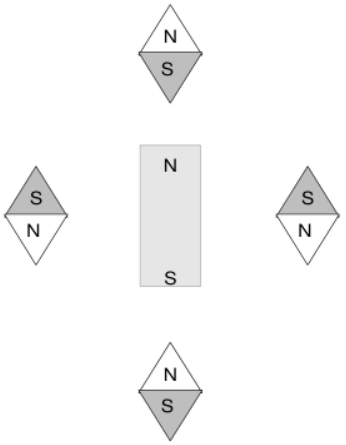


Figura II

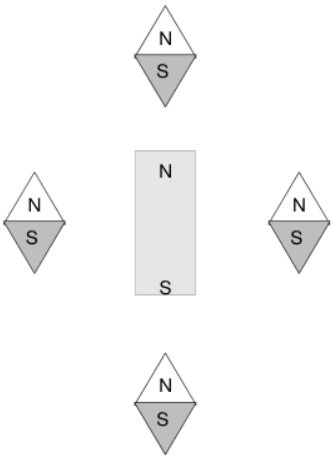


Figura III

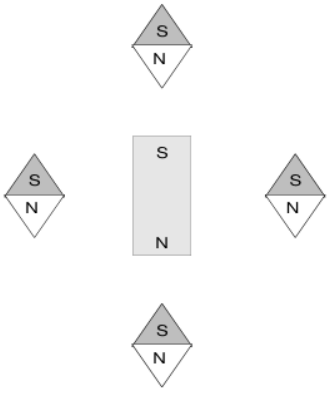
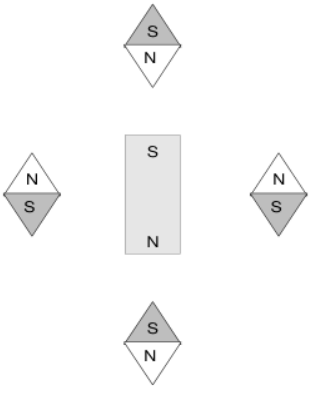


Figura IV



Em relação à disposição dos polos magnéticos norte e sul, podemos afirmar que as figuras certas são apenas

(A) I e III.
(B) I e II.
(C) II e IV.
(D) I e IV.
(E) III e II.

26 [Escola Naval 2020]

Dois fios idênticos A e B de comprimento L estão em paralelo e são percorridos por uma corrente elétrica $I_A = I$ e $I_B = 2I$, respectivamente, ambas no mesmo sentido. Se esses fios distam de uma distância d e sendo d muito menor do que L. É correto afirmar que:

(A) as forças que um fio exerce sobre o outro são nulas.
(B) a força que um fio exerce sobre o outro é repulsiva e a força que o fio A exerce sobre o fio B é maior que a força que o fio B exerce sobre A.
(C) a força que um fio exerce sobre o outro é repulsiva e a força que o fio A exerce sobre o fio B é igual à força que o fio B exerce sobre A.
(D) a força que um fio exerce sobre o outro é atrativa e a força que o fio A exerce sobre o fio B é maior que a força que o fio B exerce sobre A.
(E) a força que um fio exerce sobre o outro é atrativa e a força que o fio A exerce sobre o fio B é igual à força que o fio B exerce sobre A.

27 [AFA 2027]

Uma partícula carregada eletricamente se desloca com velocidade constante, numa trajetória horizontal e perpendicular a um espelho plano fixo. O conjunto partícula-espelho encontra-se em uma região na qual atuam, simultaneamente, dois campos uniformes perpendiculares entre si, um elétrico e outro magnético, cujas intensidades são 4,0 N/C e $2{,}0 \cdot 10^{-1}$ T. À medida que a partícula se aproxima do espelho, desprezando a ação gravitacional e a resistência do ar, a imagem também se aproxima do espelho com uma velocidade, em m/s, de

(A) 10
(B) 20
(C) 40
(D) 80

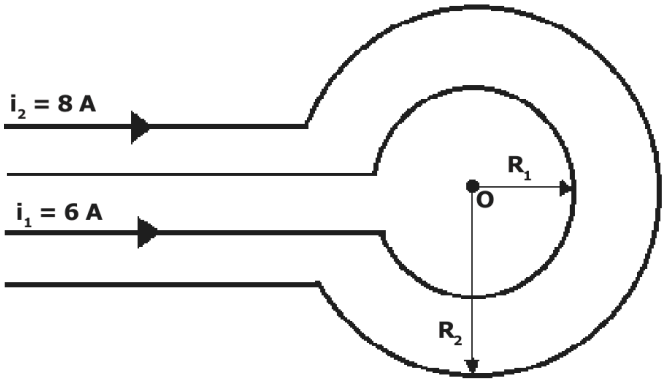
28 [EFOMM 2021]

Considere duas espiras circulares, coplanares e concêntricas. Uma espira, de raio R_1, é percorrida por uma corrente i_1 e a segunda espira, de raio $R_2 = 4R_1/9$, por uma corrente i_2. Nessas condições, o campo magnético no centro das espiras é nulo. Pode-se afirmar que a razão entre as correntes i_1 e i_2 é:

(A) $4/9$
(B) $3/2$
(C) $9/4$
(D) $2/3$
(E) 0

29 [EsPCEx 2019]

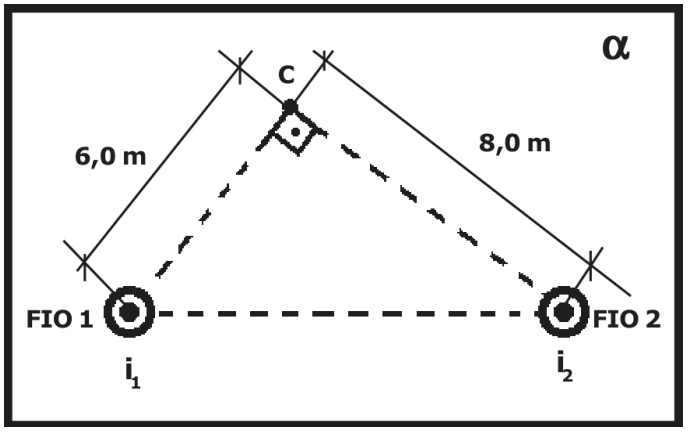
Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares de raios $R_1 = 2\pi$ m e $R_2 = 4\pi$ m são percorridas, respectivamente, por correntes de intensidades $i_1 = 6$ A e $i_2 = 8$ A, conforme mostra o desenho. A intensidade (módulo) do vetor indução magnética no centro das espiras "O" é Dado: o meio é o vácuo e a permeabilidade magnética do vácuo $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m/A.



(A) $2 \cdot 10^{-7}$ T.
(B) $3 \cdot 10^{-7}$ T.
(C) $6 \cdot 10^{-7}$ T.
(D) $8 \cdot 10^{-7}$ T.
(E) $9 \cdot 10^{-7}$ T.

30 [EsPCEx 2018]

Dois fios longos e retilíneos 1 e 2, fixos e paralelos entre si, estão dispostos no vácuo, em uma direção perpendicular a um plano α. O plano α contém o ponto C conforme representado no desenho abaixo. Os fios são percorridos por correntes elétricas constantes, de mesmo sentido, saindo do plano α para o observador. O fio 1 é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $i_1 = 6$ A e o fio 2 por uma corrente de intensidade $i_2 = 8$ A. O módulo do vetor indução magnética resultante no ponto C devido às correntes i_1 e i_2 é Dado: considere a permeabilidade magnética do vácuo igual a $4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m/A.



(A) $8 \cdot 10^{-7}$ T.
(B) $6\sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T.
(C) $4\sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T.
(D) $4 \cdot 10^{-7}$ T.
(E) $2\sqrt{2} \cdot 10^{-7}$ T.

31 [EFOMM 2020]

Uma partícula de massa $m = 1{,}0 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$ e carga $q = 1{,}0\,\mathrm{nC}$, com energia cinética de $1{,}25\,\mathrm{keV}$, movendo-se na direção positiva do eixo x, penetra em uma região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme de módulo $1{,}0\,\mathrm{kV/m}$ orientado no sentido positivo do eixo y. Para que não ocorra nenhum desvio da partícula nessa região, é necessária a existência de um campo magnético de intensidade Dado: $1\,\mathrm{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$

(A) $1{,}0\,\mathrm{mT}$
(B) $2{,}0\,\mathrm{mT}$
(C) $3{,}0\,\mathrm{mT}$
(D) $4{,}0\,\mathrm{mT}$
(E) $5{,}0\,\mathrm{mT}$

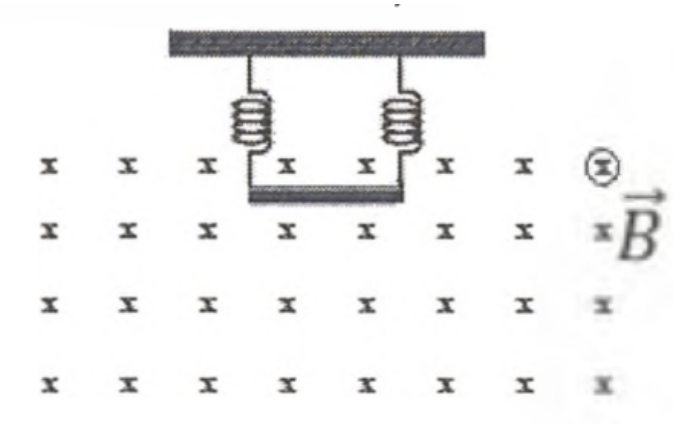
32 [EFOMM 2017]

Uma partícula com carga elétrica de $5{,}0 \times 10^{-6}$ C é acelerada entre duas placas planas e paralelas, entre as quais existe uma diferença de potencial de 100 V. Por um orifício na placa, a partícula escapa e penetra em um campo magnético de indução magnética uniforme de valor igual a $2{,}0 \times 10^{-2}$ T, descrevendo uma trajetória circular de raio igual a 20 cm. Admitindo que a partícula parte do repouso de uma das placas e que a força gravitacional seja desprezível, qual é a massa da partícula?

(A) $1{,}4 \times 10^{-14}$ kg
(B) $2{,}0 \times 10^{-14}$ kg
(C) $4{,}0 \times 10^{-14}$ kg
(D) $2{,}0 \times 10^{-13}$ kg
(E) $4{,}0 \times 10^{-13}$ kg

33 [EFOMM 2019]

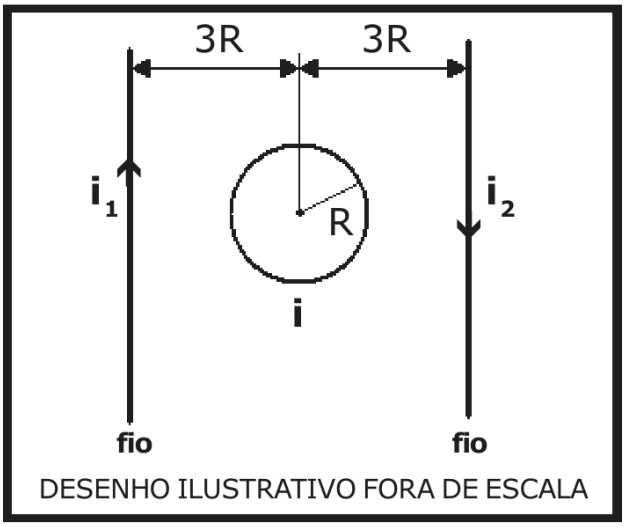
Um tenente da EFOMM construiu um dispositivo para o laboratório de Física da instituição. O dispositivo é mostrado na figura a seguir. Podemos observar que uma barra metálica, de 5 m de comprimento e 30 kg, está suspensa por duas molas condutoras de peso desprezível, de constante elástica 500 N/m e presas ao teto. As molas estão com uma deformação de 100 mm e a barra está imersa num campo magnético uniforme de intensidade 8,0 T. Determine a intensidade e o sentido da corrente elétrica real que se deve passar pela barra para que as molas não alterem a deformação.



(A) 2,5 A, esquerda
(B) 2,5 A, direita
(C) 5 A, esquerda
(D) 5 A, direita
(E) 10 A, direita

34 [EsPCEx 2016]

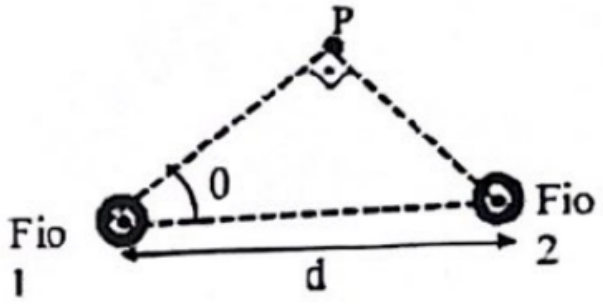
Dois fios condutores retilíneos, muito longos e paralelos entre si, são percorridos por correntes elétricas de intensidades distintas, i_1 e i_2, de sentidos opostos. Uma espira circular condutora de raio R é colocada entre os dois fios e é percorrida por uma corrente elétrica i. A espira e os fios estão no mesmo plano. O centro da espira dista de 3R de cada fio, conforme o desenho abaixo. Para que o vetor campo magnético resultante, no centro da espira, seja nulo, a intensidade da corrente elétrica i e seu sentido, tomando como referência o desenho, são respectivamente:



(A) $\frac{i_1 + i_2}{3}$ e horário
(B) $\frac{i_1 - i_2}{3\pi}$ e anti-horário
(C) $\frac{i_1 - i_2}{3\pi}$ e horário
(D) $\frac{i_1 + i_2}{3\pi}$ e horário
(E) $\frac{i_1 + i_2}{3\pi}$ e anti-horário

35 [EFOMM 2024]

Dois fios longos, fixos e retilíneos, 1 e 2, estão no vácuo e paralelos entre si, numa direção perpendicular ao plano desse papel, conforme mostra a figura. Inicialmente, somente o fio 1 é percorrido por uma corrente constante $i_1 = 3$ A, entrando no plano do papel. Nessa condição, o módulo do vetor indução magnética no ponto P vale $0{,}3\,\mu\text{T}$. Uma corrente $i_2 = 1$ A começa a percorrer o fio 2 com o mesmo sentido de i_1, resultando num vetor indução magnética total no ponto P de módulo $\frac{\sqrt{10}}{10}\,\mu\text{T}$. Qual é a distância d, em metros, entre os fios? Dado: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A.

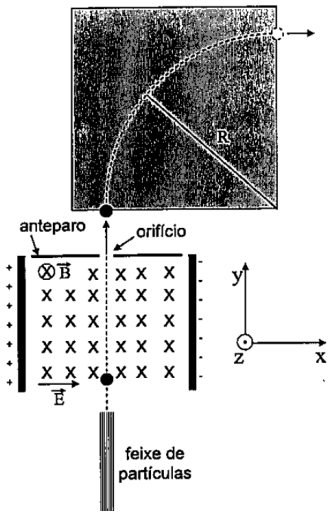


(A) $\frac{\sqrt{2}}{2}$
(B) $\sqrt{3}$

(C) $2\sqrt{3}$
(D) $2\sqrt{2}$
(E) 2

36 [Escola Naval 2021]

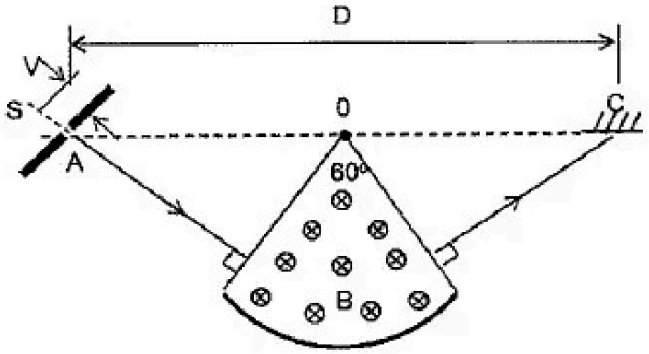
Um feixe de partículas, carregadas negativamente e com diferentes velocidades penetra em uma região com dois campos perpendiculares entre si, um campo elétrico de módulo E = 10 V/m e um campo magnético de módulo $B = 5 \times 10^{-2}$ T, uniformes e constantes, e com direções e sentidos indicados na figura. Na outra extremidade dessa região existe um anteparo com um orifício que permite que somente partículas que não tenham tido sua trajetória desviada o ultrapassem, como ilustrado na figura. Ao ultrapassar o anteparo, as partículas penetram uma outra região de campo magnético constante e uniforme (área cinza na figura), descrevendo uma trajetória circular de raio R = 1 cm. Usando o eixo de coordenadas da figura, calcule o módulo e o sentido do vetor do campo magnético, ao longo do eixo z, na região de área cinza, considerando o módulo da carga de cada partícula $q = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C, e massa de cada partícula $m = 1{,}6 \times 10^{-31}$ kg e assinale a opção correta.



(A) 4×10^{-8} T; sentido positivo
(B) 2×10^{-8} T; sentido negativo
(C) 2×10^{-7} T; sentido positivo
(D) 2×10^{-7} T; sentido negativo
(E) 2×10^{-8} T; sentido positivo

37 [Escola Naval 2024]

A figura acima ilustra o princípio de funcionamento de um espectrômetro de massa, um instrumento utilizado para medir a massa dos íons ou para separar íons de massas diferentes. No esquema da figura, os íons são acelerados pela diferença de potencial V entre os pontos S e A e, em seguida, entram em uma região com um campo magnético uniforme B, perpendicular ao plano da folha, que cobre um setor de 60°, com centro em O, e, na sequência, são defletidos em direção a um detector em C. Sabendo que D é a distância entre os pontos A e C, que tem O como ponto médio, calcule a razão entre a carga q e a massa m (q/m) dos íons e assinale a opção correta.



(A) $\frac{8V}{B^2D^2}$

(B) $\frac{12V}{B^2D^2}$

(C) $\frac{16V}{B^2D^2}$

(D) $\frac{24V}{B^2D^2}$

(E) $\frac{32V}{B^2D^2}$

5. GABARITO COMENTADO

Exercícios propostos

Q	Resp.	Q	Resp.	Q	Resp.	Q	Resp.
01	C	03	D	05	B	07	C
09	D	11	D	13	D	15	D
17	C	19	B				

▼ **Nível 1 (01 a 06)**

01 (C). Inseparabilidade dos polos: cada pedaço vira um ímã completo, com N e S.

02. $B = 2 \times 10^{-7} \cdot \dfrac{5}{0{,}1} = 1{,}0 \times 10^{-5}$ T.

03 (D). $F = |q|vB\,\mathrm{sen}\,\theta$ com $v = 0 \Rightarrow F = 0$. Carga em repouso não sofre força magnética.

04. $B = \dfrac{\mu_0 i}{2R} = \dfrac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2}{2 \cdot 0{,}1} = 4\pi \times 10^{-6} \approx 1{,}26 \times 10^{-5}$ T.

05 (B). Correntes de mesmo sentido se atraem; de sentidos opostos se repelem.

06. (a) $F = BiL = 0{,}2 \cdot 4 \cdot 0{,}5 = 0{,}4$ N. (b) $F = BiL\,\mathrm{sen}\,30^\circ = 0{,}4 \cdot 0{,}5 = 0{,}2$ N.

▼ **Nível 2 (07 a 12)**

07 (C). $R = \dfrac{mv}{|q|B}$: mesma $|q|$, v e $B \Rightarrow R \propto m$, e $m_p/m_e \approx 1836$. Cargas de sinais opostos giram em sentidos opostos.

08. $n = \dfrac{400}{0{,}2} = 2000$ espiras/m; $B = \mu_0 n i = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 0{,}5 = 4\pi \times 10^{-4} \approx 1{,}26 \times 10^{-3}$ T.

09 (D). Cada fio, a $0{,}15$ m: $B = 2 \times 10^{-7} \cdot \dfrac{6}{0{,}15} = 8 \times 10^{-6}$ T. Com correntes opostas, entre os fios os campos têm o mesmo sentido (aplique a regra da mão direita a cada fio), e o campo resultante é $B = 1{,}6 \times 10^{-5}$ T.

10. $R = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{6{,}4 \times 10^{-27} \cdot 10^5}{3{,}2 \times 10^{-19} \cdot 0{,}2} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ m $= 1$ cm. $T = \dfrac{2\pi m}{qB} = \dfrac{2\pi \cdot 6{,}4 \times 10^{-27}}{6{,}4 \times 10^{-20}} = 2\pi \times 10^{-7} \approx 6{,}3 \times 10^{-7}$ s.

11 (D). $v = \dfrac{E}{B} = \dfrac{3 \times 10^3}{1{,}5 \times 10^{-2}} = 2{,}0 \times 10^5$ m/s.

12. Tração nula exige $BiL = mg$, logo $i = \dfrac{0{,}06 \cdot 10}{0{,}5 \cdot 0{,}4} = 3$ A, no sentido que faz a força magnética apontar para cima.

▼ **Nível 3 (13 a 17)**

13 (D). Campos opostos de mesmo módulo: $\dfrac{\mu_0 i}{2R} = \dfrac{\mu_0 i'}{2 \cdot 2R} \Rightarrow i' = 2i$. A espira maior precisa de corrente maior porque está mais distante do centro.

14. Campo do fio no elétron: $B = 2\times10^{-7}\cdot\dfrac{20}{0{,}02} = 2\times10^{-4}$ T. Força: $F = evB = 1{,}6\times10^{-19}\cdot 5\times10^{6}\cdot 2\times10^{-4} = 1{,}6\times10^{-16}$ N. Sentido: uma carga positiva que se move no mesmo sentido da corrente equivale a uma corrente paralela de mesmo sentido e seria atraída; o elétron, de carga negativa, é **repelido** pelo fio.

15 (D). $qU = \dfrac{mv^2}{2}$ e $R = \dfrac{mv}{qB} \Rightarrow R = \dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2mU}{q}}$, logo $R \propto \sqrt{m}$: $\dfrac{R_{4m}}{R_m} = \sqrt{4} = 2$.

16. Com $\vec{B}$ vertical, a força magnética na barra é horizontal e empurra a barra contra a rampa. Forças: peso P (vertical), normal N (perpendicular à rampa) e $F = BiL$ (horizontal). Ao longo da rampa: $F\cos 30^\circ = P\,\mathrm{sen}\,30^\circ \Rightarrow BiL = mg\,\mathrm{tg}\,30^\circ$. Então $i = \dfrac{0{,}1\cdot 10\cdot 0{,}577}{0{,}4\cdot 0{,}5} \approx 2{,}9$ A.

17 (C). Cada fio está a $d\sqrt{2}$ do ponto: $B_1 = B_2 = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi d\sqrt{2}}$. Cada vetor é perpendicular à reta fio–ponto, que faz 45° com a horizontal; as componentes verticais se cancelam e as horizontais se somam: $B = 2B_1\cos 45^\circ = 2\cdot\dfrac{\mu_0 i}{2\pi d\sqrt{2}}\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2} = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi d}$.

▼ **Nível ITA/IME (18 a 21)**

18. $v_\perp = v\,\mathrm{sen}\,30^\circ = 1{,}0\times10^{5}$ m/s e $v_\parallel = v\cos 30^\circ \approx 1{,}73\times10^{5}$ m/s. Raio: $R = \dfrac{mv_\perp}{eB} = \dfrac{1{,}67\times10^{-27}\cdot 10^{5}}{1{,}6\times10^{-20}} \approx 1{,}04\times10^{-2}$ m. Período: $T = \dfrac{2\pi m}{eB} \approx 6{,}56\times10^{-7}$ s. Passo: $p = v_\parallel T \approx 1{,}73\times10^{5}\cdot 6{,}56\times10^{-7} \approx 0{,}114$ m ≈ 11 cm.

19 (B). Dentro da faixa a partícula descreve um arco de raio $R = \dfrac{mv}{qB}$ cujo centro está sobre a borda de entrada. Se $R \le w$, ela dá meia-volta e sai pela mesma borda; para atravessar é preciso $R > w$, isto é, $v > \dfrac{qBw}{m}$. A força não muda o módulo de v, mas muda a direção, por isso a alternativa E é falsa.

20. (a) $\tau_{máx} = NBiA = 100\cdot 0{,}5\cdot 2\cdot(0{,}1)^2 = 1{,}0$ N·m, quando o plano da bobina é **paralelo** ao campo. (b) Torque nulo com o plano **perpendicular** ao campo (posição de equilíbrio). (c) Ao passar dessa posição, o torque se inverteria e faria a bobina voltar; o comutador inverte a corrente a cada meia-volta para manter o giro no mesmo sentido.

21. (a) A tensão deve inverter-se no mesmo ritmo do giro dos prótons: $f = \dfrac{eB}{2\pi m} = \dfrac{1{,}6\times10^{-19}\cdot 1}{2\pi\cdot 1{,}67\times10^{-27}} \approx 1{,}5\times10^{7}$ Hz. (b) No raio máximo, $v = \dfrac{eBR}{m}$ e $E_c = \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{e^2B^2R^2}{2m} = \dfrac{(1{,}6\times10^{-19})^2\cdot 1\cdot 0{,}25}{2\cdot 1{,}67\times10^{-27}} \approx 1{,}9\times10^{-12}$ J ≈ 12 MeV. (c) $T = \dfrac{2\pi R}{v}$ com $R = \dfrac{mv}{eB}$ dá $T = \dfrac{2\pi m}{eB}$: o v cancela.

Questões oficiais

Q	Resp.	Q	Resp.	Q	Resp.	Q	Resp.
22	B	23	B	24	C	25	D
26	E	27	B	28	C	29	A
30	E	31	E	32	E	33	C
34	E	35	D	36	B	37	E

▼ **22 a 37 – Questões oficiais**

22 (B) · EFOMM 2023.

I. Verdadeira: não existem polos isolados; cada pedaço vira um ímã completo.

II. Falsa: os polos são regiões próximas às extremidades, não pontos exatamente nelas.

III. Falsa: a força diminui com a distância.

IV. Verdadeira: as linhas de campo são fechadas.

23 (B) · EsPCEx 2017.

$$F = |q|\, v\, B \operatorname{sen}\theta$$

Com $v = 0$ a força é nula (B). Ela é sempre perpendicular a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$ (A e E falsas), máxima quando $\theta = 90^\circ$ (D falsa) e nula quando $\vec{v} \parallel \vec{B}$ (C falsa).

24 (C) · EFOMM 2023.

$F = |q|vB \operatorname{sen} 0^\circ = 0$: sem força, a partícula mantém a velocidade, em movimento retilíneo e uniforme.

25 (D) · EFOMM 2015.

O polo norte da agulha aponta no sentido do campo, que sai do polo N do ímã e entra no polo S. Nas pontas do eixo o campo é paralelo ao eixo (de S para N por dentro, continuando para fora no lado N); nas laterais, junto ao meio do ímã, ele aponta de N para S.

Figura I (N em cima): em cima e embaixo as agulhas apontam para cima, nas laterais para baixo. Está certa.

Figura II: nas laterais as agulhas apontam para cima (do S para o N). Está errada.

Figura III (S em cima): nas laterais as agulhas apontam para baixo, do S para o N. Está errada.

Figura IV (S em cima): em cima e embaixo apontam para baixo, nas laterais para cima. Está certa.

26 (E) · Escola Naval 2020.

Correntes de mesmo sentido se atraem, e pela 3ª lei de Newton as forças têm o mesmo módulo, $F = \frac{\mu_0\, I \cdot 2I}{2\pi d} L$.

27 (B) · AFA 2027.

Velocidade constante: força elétrica e magnética se equilibram, $qE = qvB$:

$$v = \frac{E}{B} = \frac{4{,}0}{0{,}2} = 20\ \mathrm{m/s}$$

No espelho plano a imagem se aproxima do espelho com a mesma velocidade do objeto: 20 m/s.

28 (C) · EFOMM 2021.

$$\frac{\mu_0 i_1}{2R_1} = \frac{\mu_0 i_2}{2R_2} \;\Rightarrow\; \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{9}{4}$$

As correntes circulam em sentidos opostos.

29 (A) · EsPCEx 2019.

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2R_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6}{4\pi} = 6 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{T} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2R_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{8\pi} = 4 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{T}$$

Pelo desenho, i_2 entra pelo terminal superior da espira externa e a percorre no sentido horário; i_1 entra pelo terminal inferior da espira interna e a percorre no sentido anti-horário. Os campos no centro têm sentidos opostos:

$$B = 6 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7} = 2 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{T}$$

30 (E) · EsPCEx 2018.

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi d_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6}{2\pi \cdot 6} = 2 \cdot 10^{-7}\ \text{T} \qquad B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8}{2\pi \cdot 8} = 2 \cdot 10^{-7}\ \text{T}$$

Cada campo é perpendicular à reta que liga o fio a C; como essas retas são perpendiculares entre si (ângulo reto em C), os dois campos também são:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-7}\ \text{T}$$

31 (E) · EFOMM 2020.

$$E_c = 1{,}25 \times 10^3 \cdot 1{,}6 \times 10^{-19} = 2{,}0 \times 10^{-16}\,\text{J} \ \Rightarrow\ v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{4 \times 10^{10}} = 2 \times 10^5\,\text{m/s}$$

$$qE = qvB \ \Rightarrow\ B = \frac{E}{v} = \frac{10^3}{2 \times 10^5} = 5{,}0 \times 10^{-3}\,\text{T} = 5{,}0\,\text{mT}$$

32 (E) · EFOMM 2017.

$$qU = \frac{mv^2}{2}, \qquad R = \frac{mv}{qB} \ \Rightarrow\ m = \frac{qB^2R^2}{2U}$$

$$m = \frac{5 \times 10^{-6} \cdot 4 \times 10^{-4} \cdot 0{,}04}{200} = 4{,}0 \times 10^{-13}\,\text{kg}$$

33 (C) · EFOMM 2019.

As molas fazem $2 \cdot 500 \cdot 0{,}1 = 100$ N para cima; o peso é 300 N. A força magnética deve completar 200 N para cima:

$$BiL = 200 \ \Rightarrow\ i = \frac{200}{8 \cdot 5} = 5\ \text{A}$$

Com $\vec{B}$ entrando no papel, a força é para cima quando a corrente convencional vai para a direita ($\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B}$). O enunciado pede o sentido real (movimento dos elétrons), que é o oposto: para a esquerda.

34 (E) · EsPCEx 2016.

Pela regra da mão direita, i_1 (subindo, à esquerda do centro) e i_2 (descendo, à direita) produzem no centro campos de mesmo sentido, ambos entrando no papel:

$$B_{fios} = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi \cdot 3R} + \frac{\mu_0 i_2}{2\pi \cdot 3R} = \frac{\mu_0 (i_1 + i_2)}{6\pi R}$$

A espira precisa gerar um campo saindo do papel, o que exige corrente no sentido anti-horário, com

$$\frac{\mu_0 i}{2R} = \frac{\mu_0 (i_1 + i_2)}{6\pi R} \ \Rightarrow\ i = \frac{i_1 + i_2}{3\pi}$$

35 (D) · EFOMM 2024.

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

Pela figura, o ângulo em P é reto: as distâncias de P aos fios são perpendiculares, e os campos (cada um perpendicular à sua distância) também são.

$$B_1^2 + B_2^2 = \left(\frac{\sqrt{10}}{10}\right)^2 = 0{,}1 \ \Rightarrow\ B_2 = 0{,}1\,\mu\text{T} \ \Rightarrow\ r_2 = \frac{2 \times 10^{-7} \cdot 1}{10^{-7}} = 2\,\text{m}$$

$$d = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = 2\sqrt{2}\,\text{m}$$

36 (B) · Escola Naval 2021.

$$v = \frac{E}{B} = \frac{10}{5 \cdot 10^{-2}} = 200\ \text{m/s} \qquad B' = \frac{mv}{qR} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-31} \cdot 200}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}01} = 2 \times 10^{-8}\ \text{T}$$

A partícula entra subindo (+y) e curva para +x. Para carga negativa, $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$ aponta para +x quando $\vec{B}$ está em −z: sentido negativo.

37 (E) · Escola Naval 2024.

Os íons cruzam as bordas do setor perpendicularmente, então o arco tem centro em O e raio r. A trajetória retilínea de A até a borda é tangente ao arco; com a borda a 30° da vertical, a geometria dá $\frac{D}{2} = 2r$, isto é, $r = \frac{D}{4}$.

$$qV = \frac{mv^2}{2}, \quad r = \frac{mv}{qB} \;\Rightarrow\; \frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2} = \frac{32V}{B^2 D^2}$$