

Lista 06 – Força Magnética e Campo magnético

Sequência didática proposta para os exercícios (Cap. 29):

Perguntas: 1, 6 e 8 (Halliday)

Exercícios e Problemas: 7, 9, 12, 13, 16, 21, 28, 29, 35, 39, 47 e 53 (Halliday)

REVISÃO E RESUMO

Campo Magnético \vec{B} Um **campo magnético** \vec{B} é definido em termos da força \vec{F}_B que age sobre uma partícula de teste com carga q que se move através do campo com velocidade \vec{v} :

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (29.2)$$

A unidade SI para \vec{B} é o **tesla** (T): $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A}\cdot\text{m}) = 10^4 \text{ gauss}$.

O Efeito Hall Quando uma tira condutora de espessura l transportando uma corrente i é colocada em um campo magnético uniforme \vec{B} , alguns portadores de carga (com carga e) se acumulam sobre os lados do condutor, criando uma diferença de potencial na largura da tira. As polaridades dos lados indicam o sinal dos portadores de carga; a densidade numérica n de portadores de carga pode ser calculada com

$$n = \frac{Bi}{Vle}. \quad (29.12)$$

Uma Partícula Carregada Circulando em um Campo Magnético Uma partícula carregada com massa m e intensidade de carga q se movendo com velocidade \vec{v} perpendicular a um campo magnético uniforme \vec{B} se deslocará em um círculo. Aplicando a segunda lei de Newton ao movimento circular produz

$$qvB = \frac{mv^2}{r}, \quad (29.15)$$

a partir da qual determinamos o raio r do círculo como

$$r = \frac{mv}{qB}. \quad (29.16)$$

A frequência de revolução f , a frequência angular ω e o período do movimento T são dados por

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}. \quad (29.19, 29.18, 29.17)$$

Ciclotrons e Síncrotrons Um ciclotron é um acelerador de partículas que usa um campo magnético para manter uma partícula carregada em uma órbita circular de raio crescente, de modo que um modesto poten-

cial de aceleração possa atuar repetidamente sobre a partícula, fornecendo a ela uma alta energia. Como a partícula em movimento fica fora de fase com o oscilador quando sua velocidade se aproxima da velocidade da luz, existe um limite superior para a energia que pode ser atingida com um ciclotron. Um síncrotron evita esta dificuldade. Aqui, tanto B quanto a frequência f_{osc} do oscilador são programadas para variar ciclicamente de modo que a partícula não apenas possa chegar a altas energias, mas possa também fazê-lo com um raio orbital constante.

Força Magnética sobre um Fio que Transporta Corrente Um fio reto transportando uma corrente i em um campo magnético uniforme experimenta uma força lateral

$$\vec{F}_B = i\vec{L} \times \vec{B}. \quad (29.26)$$

A força atuando sobre um elemento de corrente $i d\vec{L}$ em um campo magnético é

$$d\vec{F}_B = i d\vec{L} \times \vec{B}. \quad (29.28)$$

O sentido do vetor comprimento \vec{L} ou $d\vec{L}$ é o mesmo da corrente i .

Torque sobre uma Bobina que Transporta Corrente Uma bobina (de área A e transportando uma corrente i , com N voltas) em um campo magnético uniforme \vec{B} experimentará um torque $\vec{\tau}$ dado por

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}. \quad (29.37)$$

Nesta equação, $\vec{\mu}$ é o **momento de dipolo magnético** da bobina, com intensidade $\mu = NiA$, e direção e sentido dados pela regra da mão direita.

Energia de Orientação de um Dipolo Magnético A **energia potencial magnética** de um momento de dipolo em um campo magnético é

$$U(\theta) = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}. \quad (29.38)$$

Se um dipolo magnético gira de uma orientação inicial θ_i para uma outra orientação θ_f , o trabalho realizado pelo campo magnético sobre o dipolo é

$$W = -\Delta U = -(U_f - U_i). \quad (29.39)$$

PERGUNTAS

1. A Fig. 29.25 mostra três situações nas quais uma partícula positiva com velocidade \vec{v} se move através de um campo magnético uniforme \vec{B} e experimenta a ação de uma força magnética \vec{F}_B . Em cada situação, determine se as orientações dos vetores são razoáveis fisicamente.

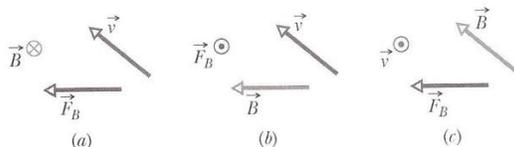


Fig. 29.25 Pergunta 1.

2. Para quatro situações, estão listadas a velocidade \vec{v} de um próton em um determinado instante quando ele se move através de um campo magnético uniforme \vec{B} :

- (a) $\vec{v} = 2\hat{i} - 3\hat{j}$ e $\vec{B} = 4\hat{k}$
- (b) $\vec{v} = 3\hat{i} + 2\hat{j}$ e $\vec{B} = -4\hat{k}$
- (c) $\vec{v} = 3\hat{j} - 2\hat{k}$ e $\vec{B} = 4\hat{i}$
- (d) $\vec{v} = 20\hat{i}$ e $\vec{B} = -4\hat{i}$.

Sem cálculos escritos, ordene as situações de acordo com a intensidade da força magnética sobre o próton, da maior para a menor.

3. Na Seção 29.3 estudamos uma partícula carregada se movendo através de campos cruzados com as forças \vec{F}_E e \vec{F}_B se opondo uma à outra. Concluímos que a partícula se move em uma linha reta (ou seja, nenhuma das duas forças domina o movimento) se a sua velocidade escalar for dada pela Eq. 29.7 ($v = E/B$). Qual das duas forças domina se a velocidade escalar da partícula for, em vez disso, (a) $v < E/B$ e (b) $v > E/B$?

4. A Fig. 29.26 mostra campos elétrico e magnético cruzados e uniformes \vec{E} e \vec{B} e, em um certo instante, os vetores velocidades das 10 par-

tículas carregadas listadas na Tabela 29.3. (Os vetores não estão desenhados em escala.) A tabela fornece os sinais das cargas e as velocidades escalares das partículas; as velocidades escalares são fornecidas como menores ou maiores do que E/B (veja a Pergunta 3). Que partículas se moverão para fora da página, na sua direção, após o instante da Fig. 29.26?

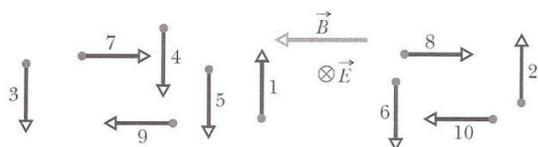


Fig. 29.26 Pergunta 4.

TABELA 29.3 Pergunta 4

Partícula	Carga	Velocidade Escalar	Partícula	Carga	Velocidade Escalar
1	+	Menor	6	-	Maior
2	+	Maior	7	+	Menor
3	+	Menor	8	+	Maior
4	+	Maior	9	-	Menor
5	-	Menor	10	-	Maior

5. Na Fig. 29.27, uma partícula carregada entra em um campo magnético uniforme \vec{B} com velocidade escalar v_0 , se move percorrendo um semicírculo no tempo T_0 e depois deixa o campo. (a) A carga é positiva ou negativa? (b) A velocidade escalar final da partícula é maior, menor ou igual a v_0 ? (c) Se a velocidade escalar inicial fosse de $0,5v_0$, o tempo gasto no campo \vec{B} teria sido maior, menor ou igual a T_0 ? (d) A trajetória teria sido um semicírculo, mais do que um semicírculo ou menos do que um semicírculo?

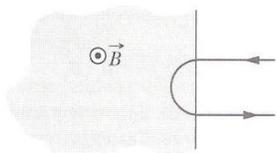


Fig. 29.27 Pergunta 5.

6. A Fig. 29.28 mostra a trajetória de uma partícula através de seis regiões de campo magnético uniforme, onde a trajetória ou é um semicírculo ou um quarto de círculo. Ao sair da última região, a partícula se desloca entre duas placas paralelas carregadas e é defletida em direção à placa de potencial mais alto. Quais são as direções (e sentidos) dos campos magnéticos nas seis regiões?

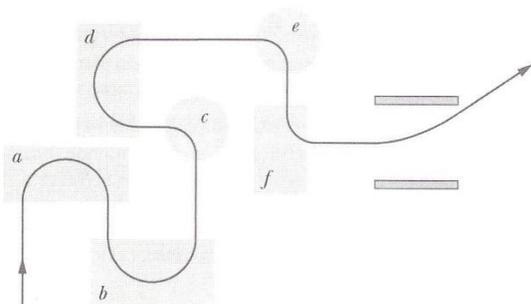


Fig. 29.28 Pergunta 6.

7. A Fig. 29.29 mostra a trajetória de um elétron que passa por duas regiões contendo campos magnéticos uniformes de intensidades B_1 e B_2 . A trajetória do elétron em cada região é um semicírculo. (a) Qual dos campos é mais forte? (b) Quais as direções (e sentidos) dos dois campos magnéticos? (c) O tempo gasto pelo elétron na região \vec{B}_1 é maior, menor ou igual ao tempo gasto na região \vec{B}_2 ?

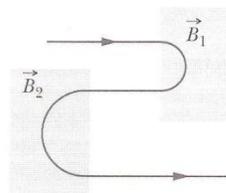


Fig. 29.29 Pergunta 7.

8. Trajetórias de Partículas. A Fig. 29.30 mostra 11 trajetórias que atravessam uma região de campo magnético uniforme. Uma trajetória é uma linha reta; as demais são semicírculos. A Tabela 29.4 fornece as massas, cargas e velocidades escalares de 11 partículas que descrevem essas trajetórias através do campo nas direções mostradas. Que trajetória na figura corresponde a que partícula na tabela?

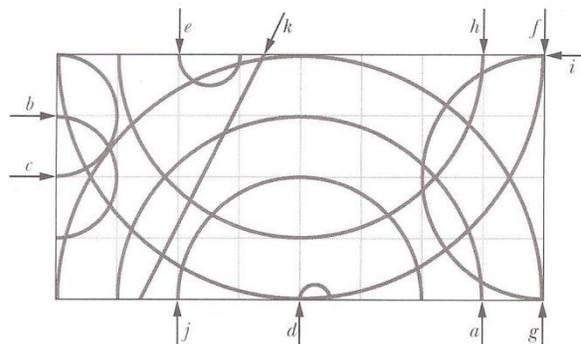


Fig. 29.30 Pergunta 8.

TABELA 29.4 Pergunta 8

Partícula	Massa	Carga	Velocidade Escalar
1	$2m$	q	v
2	m	$2q$	v
3	$m/2$	q	$2v$
4	$3m$	$3q$	$3v$
5	$2m$	q	$2v$
6	m	$-q$	$2v$
7	m	$-4q$	v
8	m	$-q$	v
9	$2m$	$-2q$	$8v$
10	m	$-2q$	$8v$
11	$3m$	0	$3v$

9. A Fig. 29.31 mostra oito fios que transportam correntes idênticas através do mesmo campo magnético uniforme (para dentro da página) em oito experimentos distintos. Cada fio é formado por dois segmentos retos (cada um com comprimento L e paralelo ou perpendicular aos eixos x e y mostrados) e um segmento curvo (com raio de curvatura R). Os sentidos das correntes que atravessam os fios são indicados pelas setas próximas aos fios. (a) Forneça a direção e o sentido da força mag-

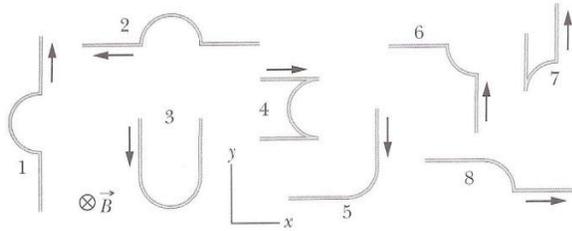


Fig. 29.31 Pergunta 9.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

SEÇÃO 29.2 A Definição de \vec{B}

1E. Uma partícula alfa se desloca a uma velocidade \vec{v} de intensidade igual a 550 m/s através de um campo magnético uniforme \vec{B} de intensidade 0,045 T. (Uma partícula alfa possui uma carga de $+3,2 \times 10^{-19}$ C e uma massa de $6,6 \times 10^{-27}$ kg.) O ângulo entre \vec{v} e \vec{B} é de 52° . Quais as intensidades (a) da força \vec{F}_B que atua sobre a partícula devido ao campo e (b) da aceleração da partícula devido a \vec{F}_B ? (c) A velocidade escalar da partícula aumenta, diminui ou permanece igual a 550 m/s?

2E. Um elétron no tubo de uma câmera de TV está se movendo a $7,20 \times 10^6$ m/s em um campo magnético com intensidade de 83,0 mT. (a) Sem conhecer a direção e o sentido do campo, o que se pode dizer a respeito da maior e da menor intensidade da força que atua sobre o elétron devido ao campo? (b) Em um ponto o elétron possui uma aceleração de intensidade igual a $4,90 \times 10^{14}$ m/s². Qual o ângulo entre o vetor velocidade do elétron e o campo magnético?

3E. Um próton viajando numa direção que faz um ângulo de $23,0^\circ$ em relação à direção de um campo magnético de intensidade igual a 2,60 mT experimenta a ação de uma força magnética de $6,50 \times 10^{-17}$ N. Calcule (a) a velocidade escalar do próton e (b) a sua energia cinética em elétrons-volts.

4P. Um elétron que possui velocidade dada por

$$\vec{v} = (2,0 \times 10^6 \text{ m/s})\hat{i} + (3,0 \times 10^6 \text{ m/s})\hat{j}$$

se move através de um campo magnético $\vec{B} = (0,030 \text{ T})\hat{i} - (0,15 \text{ T})\hat{j}$. (a) Determine a força sobre o elétron. (b) Repita seus cálculos para um próton que tenha a mesma velocidade.⁹

5P. Cada um dos elétrons no feixe do tubo de imagem de uma televisão possui uma energia cinética de 12,0 keV. O tubo está orientado de modo que os elétrons se movem horizontalmente do pólo geomagnético sul para o pólo geomagnético norte. A componente vertical do campo magnético da Terra aponta para baixo e possui uma intensidade de 55,0 μ T. (a) Em que direção o feixe será defletido? (b) Qual a aceleração de um único elétron devido ao campo magnético? (c) Qual será a deflexão do feixe ao atravessar 20,0 cm pelo tubo de imagem?

SEÇÃO 29.3 Campos Cruzados: A Descoberta do Elétron

6E. Um próton se desloca através de campos magnéticos e elétricos uniformes. O campo magnético é $\vec{B} = -2,5 \hat{i}$ mT. Em um instante, a velocidade do próton é $\vec{v} = 2000 \hat{j}$ m/s. Nesse instante, qual a intensidade da força resultante que atua sobre o próton se o campo elétrico for (a) $4,0 \hat{k}$ V/m, (b) $-4,0 \hat{k}$ V/m e (c) $4,0 \hat{i}$ V/m?

⁹Vetor velocidade. (N.T.)

nética resultante sobre cada fio em termos de um ângulo medido no sentido anti-horário, contado a partir do sentido positivo do eixo x. (b) Ordene os fios de 1 a 4 de acordo com a intensidade da força magnética resultante sobre eles, da maior para a menor. (c) Faça o mesmo tipo de ordenação para os fios de 5 a 8.

10. (a) No Ponto de Verificação 6, se o momento de dipolo $\vec{\mu}$ girasse da orientação 1 para a orientação 2, o trabalho realizado sobre o dipolo pelo campo magnético seria positivo, negativo ou nulo? (b) Ordene o trabalho realizado pelo campo magnético sobre o dipolo para rotações da orientação 1 para (1) a orientação 2, (2) a orientação 3 e (3) a orientação 4, do maior para o menor.

7E. Um elétron com energia cinética de 2,5 keV se move horizontalmente penetrando em uma região do espaço na qual existe um campo elétrico uniforme dirigido para baixo com intensidade de 10 kV/m. (a) Qual a intensidade, a direção e o sentido do (menor) campo magnético uniforme que fará com que o elétron continue a se mover horizontalmente? Ignore a força gravitacional, que é consideravelmente menor. (b) É possível que o próton passe através desta combinação de campos sem sofrer deflexão? Em caso positivo, em que circunstâncias?

8E. Um campo elétrico de 1,50 kV/m e um campo magnético de 0,400 T atuam sobre um elétron em movimento sem produzir nenhuma força resultante. (a) Calcule a velocidade mínima v do elétron. (b) Desenhe os vetores \vec{E} , \vec{B} e \vec{v} .

9P. Acelera-se um elétron por meio de uma diferença de potencial de 1,0 kV e para dentro de uma região entre duas placas paralelas separadas de 20 mm com uma diferença de potencial de 100 V entre elas. O elétron está se movendo perpendicularmente ao campo elétrico das placas ao entrar na região entre as placas. Que campo magnético uniforme, aplicado perpendicularmente tanto à trajetória do elétron quanto ao campo elétrico, permitirá que o elétron se desloque em linha reta?

10P. Um elétron possui uma velocidade inicial de $(12,0 \hat{j} + 15,0 \hat{k})$ km/s e uma aceleração constante de $(2,00 \times 10^{12} \text{ m/s}^2)\hat{i}$ em uma região na qual estão presentes um campo elétrico e um campo magnético uniformes. Se $\vec{B} = (400 \mu\text{T})\hat{i}$, determine o campo elétrico \vec{E} .

11P. Uma fonte de íons está produzindo íons de ${}^6\text{Li}$ (massa = 6,0 u), cada um com uma carga de $+e$. Os íons são acelerados por uma diferença de potencial de 10 kV e passam horizontalmente para dentro de uma região na qual existe um campo magnético vertical uniforme de intensidade $B = 1,2$ T. Calcule a intensidade do menor campo elétrico, a ser aplicado a essa mesma região, que permitirá que os íons ${}^6\text{Li}$ atravessem a região sem sofrer deflexão.

SEÇÃO 29.4 Campos Cruzados: O Efeito Hall

12E. Uma tira de cobre de 150 μ m de largura é colocada em um campo magnético uniforme \vec{B} de intensidade igual a 0,65 T, com \vec{B} perpendicular à tira. Uma corrente $i = 23$ A é então enviada pela tira, de modo que uma diferença de potencial Hall V aparece entre um lado e o outro da largura da tira. Calcule V . (O número de portadores de carga por unidade de volume para o cobre é $8,47 \times 10^{28}$ elétrons/m³.)

13P. (a) Mostre, na Fig. 29.8, que a razão entre o campo elétrico Hall E e o campo elétrico E_C responsável pela carga em movimento (a corrente) ao longo do comprimento da tira é

$$\frac{E}{E_C} = \frac{B}{nev}$$

onde ρ é a resistividade do material e n é a densidade numérica dos portadores de carga. (b) Calcule esta razão numericamente para o Exercício 12. (Veja a Tabela 27.1.)

14P. Uma tira metálica de 6,50 cm de comprimento, 0,850 cm de largura e 0,760 mm de espessura se move com velocidade constante \vec{v} através de um campo magnético uniforme $B = 1,20$ mT dirigido perpendicularmente à tira, como mostrado na Fig. 29.32. Uma diferença de potencial de $3,90 \mu\text{V}$ é medida entre os pontos x e y de um lado ao outro da tira. Calcule a velocidade escalar v .

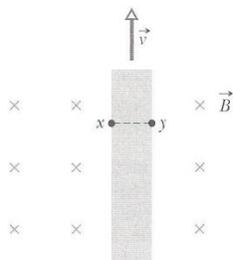


Fig. 29.32 Problema 14.

SEÇÃO 29.5 Uma Partícula Carregada Descrivendo um Círculo

15E. Que campo magnético uniforme, aplicado perpendicularmente a um feixe de elétrons se movendo a $1,3 \times 10^6$ m/s, é necessário para fazer com que os elétrons se desloquem em um arco circular de raio igual a 0,35 m?

16E. Um elétron é acelerado a partir do repouso por uma diferença de potencial de 350 V. Depois, ele entra em um campo magnético uniforme de intensidade igual a 200 mT com seu vetor velocidade perpendicular ao campo. Calcule (a) a velocidade escalar do elétron e (b) o raio da sua trajetória no campo magnético.

17E. Um elétron com energia cinética igual a 1,20 keV se move em círculos em um plano perpendicular a um campo magnético uniforme. O raio orbital é igual a 25,0 cm. Determine (a) a velocidade escalar do elétron, (b) o campo magnético, (c) a frequência de circulação e (d) o período do movimento.

18E. O físico S. A. Goudsmit inventou um método de medição das massas de íons pesados cronometrando os seus períodos de revolução em um campo magnético conhecido. Um íon monovalente de iodo faz 7,00 revoluções em um campo de 45,0 mT em 1,29 ms. Calcule a sua massa, em unidades de massa atômica unificada. (Na realidade, o método permite que sejam feitas medições de massa com uma precisão muito maior do que estes dados aproximados sugerem.)

19E. (a) Determine a frequência de rotação de um elétron com uma energia de 100 eV em um campo magnético uniforme de $35,0 \mu\text{T}$. (b) Calcule o raio da trajetória deste elétron se o seu vetor velocidade for perpendicular ao campo magnético.

20E. Uma partícula alfa ($q = +2e$, $m = 4,00$ u) se desloca em uma trajetória circular de raio igual a 4,50 cm em um campo magnético uniforme com $B = 1,20$ T. Calcule (a) a sua velocidade escalar, (b) o seu período de revolução, (c) a sua energia cinética em elétronvolts e (d) a diferença de potencial através da qual ela teria que ser acelerada para alcançar esta energia.

21E. Um feixe de elétrons cuja energia cinética é K emerge de uma estreita "janela" em forma de lâmina na extremidade de um tubo acelerador. Existe uma placa metálica a uma distância d desta janela e perpendicular à direção do feixe emergente (Fig. 29.33). Mostre que podemos evitar que o feixe colida contra a placa se aplicarmos um campo magnético uniforme \vec{B} de tal forma que

$$B \geq \sqrt{\frac{2mK}{e^2 d^2}},$$

onde m e e são a massa e a carga do elétron. Como \vec{B} deveria estar orientado?

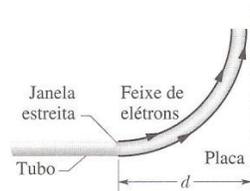


Fig. 29.33 Exercício 21.

22P. Uma fonte injeta um elétron com velocidade $v = 1,5 \times 10^7$ m/s para dentro de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 1,0 \times 10^{-3}$ T. A velocidade do elétron faz um ângulo $\theta = 10^\circ$ com a direção do campo magnético. Determine a distância d a partir do ponto de injeção na qual o elétron cruzará novamente a linha de campo que passa pelo ponto de injeção.

23P. Em um experimento nuclear, um próton com energia cinética de 1,0 MeV se move em uma trajetória circular em um campo magnético uniforme. Qual energia deve ter (a) uma partícula alfa ($q = +2e$, $m = 4,0$ u) e (b) um dêuteron ($q = +e$, $m = 2,0$ u) para que percorram a mesma trajetória circular?

24P. Um próton, um dêuteron ($q = +e$, $m = 2,0$ u) e uma partícula alfa ($q = +2e$, $m = 4,0$ u) com a mesma energia cinética entram em uma região de campo magnético uniforme \vec{B} , se movendo perpendicularmente a \vec{B} . Compare os raios das suas trajetórias circulares.

25P. Um certo espectrômetro de massa comercial (veja o Problema Resolvido 29.3) é usado para separar íons de urânio de massa igual a $3,92 \times 10^{-25}$ kg e carga igual a $3,20 \times 10^{-19}$ C de outras espécies parecidas. Os íons são acelerados usando uma diferença de potencial de 100 kV e depois penetram em um campo magnético uniforme, onde são curvados em uma trajetória com 1,00 m de raio. Após sofrerem uma mudança de direção de 180° e passarem por uma fenda de 1,00 mm de largura e 1,00 cm de altura, eles são coletados em uma taça. (a) Qual a intensidade do campo magnético (perpendicular) no separador? Se a máquina for usada para separar 100 mg de material por hora, calcule (b) a corrente dos íons desviados na máquina e (c) a energia produzida na taça em 1,00 h.

26P. Um próton com carga $+e$ e massa m entra em um campo magnético uniforme $\vec{B} = B\hat{i}$ com uma velocidade inicial $\vec{v} = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j}$. Determine uma expressão para a sua velocidade \vec{v} em qualquer instante posterior t usando a notação de vetores unitários.

27P. Um pósitron com energia cinética de 2,0 keV é lançado para dentro de um campo magnético uniforme \vec{B} de intensidade igual a 0,10 T, com seu vetor velocidade fazendo um ângulo de 89° com \vec{B} . Determine (a) o período, (b) o passo p e (c) o raio r de sua trajetória helicoidal.

28P. Na Fig. 29.34, uma partícula carregada se move para dentro de uma região de campo magnético uniforme \vec{B} , descreve um semicírculo e depois sai dessa região. A partícula tanto pode ser um próton como um elétron (você tem que decidir qual). Ela passa 130 ns no interior da região. (a) Qual a intensidade de \vec{B} ? (b) Se a partícula for mandada de volta atravessando o campo magnético (ao longo da mesma trajetória inicial), mas com 2,00 vezes a sua energia cinética anterior, quanto tempo ela passará no interior do campo?

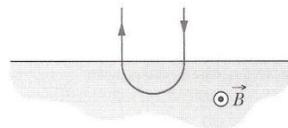


Fig. 29.34 Problema 28.

29P. Uma partícula neutra está em repouso em um campo magnético uniforme \vec{B} . No instante $t = 0$, ela decai se transformando em duas partículas carregadas, cada uma com massa m . (a) Se a carga de uma das partículas for $+q$, qual a carga da outra? (b) As duas partículas se afastam em trajetórias distintas, ambas contidas no plano perpendicular a \vec{B} . Após um certo tempo, as partículas colidem. Expresse o intervalo de tempo desde o decaimento até a colisão em termos de m , B e q .

SEÇÃO 29.6 Ciclotrons e Síncrotrons

30E. Em um certo ciclotron, um próton se move em um círculo de raio igual a 0,50 m. A intensidade do campo magnético é 1,2 T. (a) Qual a frequência do oscilador? (b) Qual a energia cinética do próton, em elétrons-volts?

31P. Estime o comprimento total da trajetória percorrida por um deuteron no ciclotron do Problema Resolvido 29.5 durante (todo) o processo de aceleração. Suponha que o potencial de aceleração entre os Ds seja de 80 kV.

32P. A frequência do oscilador do ciclotron no Problema Resolvido 29.5 foi ajustada para acelerar deuteron ($q = +e$, $m = 2,0$ u). (a) Se prótons, em vez de deuteron, forem injetados, até que energia cinética os prótons podem ser acelerados, usando a mesma frequência do oscilador? (b) Que campo magnético seria necessário? (c) Qual energia cinética poderia ser produzida para os prótons se o campo magnético fosse mantido no valor usado para os deuteron? (d) Que frequência do oscilador seria então necessária? (e) Responda às mesmas questões para partículas alfa ($q = +2e$, $m = 4,0$ u).

SEÇÃO 29.7 Força Magnética sobre um Fio Conduzindo Corrente

33E. Um condutor horizontal que é parte de uma linha de potência transporta uma corrente de 5000 A do sul para o norte. O campo magnético da Terra ($60,0 \mu\text{T}$) está dirigido para o norte e está inclinado para baixo formando um ângulo de 70° com a horizontal. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força magnética sobre 100 m do condutor em razão do campo magnético da Terra.

34E. Um fio com 1,80 m de comprimento transporta uma corrente de 13,0 A e faz um ângulo de 35° com um campo magnético uniforme $B = 1,50$ T. Calcule a força magnética sobre o fio.

35E. Um fio rígido de 62,0 cm de comprimento e 13,0 g de massa está suspenso por um par de lides¹⁰ flexíveis em um campo magnético uniforme de intensidade igual a 0,440 T (Fig. 29.35). Qual a intensidade e o sentido da corrente necessários para eliminar a tração nos lides de apoio?

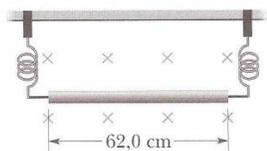


Fig. 29.35 Exercício 35.

36P. Um fio com 50 cm de comprimento situado ao longo do eixo x transporta uma corrente de 0,50 A no sentido positivo de x , através de um campo magnético $\vec{B} = (0,0030 \text{ T}) \hat{j} + (0,010 \text{ T}) \hat{k}$. Determine a força magnética sobre o fio.

37P. Uma barra de cobre de 1,0 kg está apoiada sobre dois trilhos horizontais separados por 1,0 m e transporta uma corrente de 50 A de um trilho para o outro. O coeficiente de atrito estático entre a barra e os trilhos é de 0,60. Qual o menor campo magnético (não necessariamente vertical) que faria a barra deslizar?

38P. Considere a possibilidade de um novo projeto para um trem elétrico. O motor é acionado pela força sobre um eixo condutor devido à componente vertical do campo magnético da Terra. Para produzir a força, uma corrente é mantida em um dos trilhos, passa por uma roda condutora, pelo eixo, por uma outra roda condutora, e depois volta para a fonte por meio do outro trilho. (a) Qual a corrente necessária para fornecer uma modesta força de 10 kN? Considere a componente vertical do campo da Terra como de $10 \mu\text{T}$ e o comprimento do eixo de 3,0 m. (b) A que taxa a energia elétrica seria dissipada para cada ohm de resistência nos trilhos? (c) Um trem como este é completa ou apenas ligeiramente irreal?

SEÇÃO 29.8 Torque sobre uma Espira de Corrente

39E. A Fig. 29.36 mostra uma bobina retangular de 20 voltas de fio, com dimensões de 10 cm por 5,0 cm. Ela transporta uma corrente de 0,10 A e está articulada ao longo de um lado comprimido. Ela é montada no plano xy , fazendo 30° com a direção de um campo magnético uniforme de intensidade igual a 0,50 T. Determine a intensidade, a direção e o sentido do torque que age sobre a bobina em torno da linha de articulação.

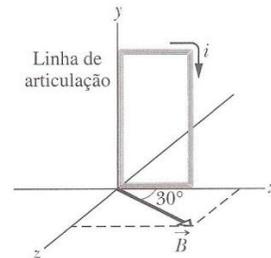


Fig. 29.36 Exercício 39.

40E. Uma espira de corrente de uma única volta, transportando uma corrente de 4,00 A, tem a forma de um triângulo retângulo com lados iguais a 50,0, 120 e 130 cm. A espira está em um campo magnético uniforme com intensidade igual a 75,0 mT, cuja direção é paralela à corrente no lado de 130 cm da espira. (a) Determine a intensidade da força magnética sobre cada um dos três lados da espira. (b) Mostre que a força magnética total sobre a espira é nula.

41E. Um comprimento L de fio transporta uma corrente i . Mostre que, se o fio for enrolado em uma bobina circular, então o torque máximo em dado campo magnético se dará quando a bobina possuir apenas uma volta e o torque máximo possuir a intensidade $\tau = L^2 i B / 4\pi$.

42P. Prove que a relação $\tau = NiAB \sin \theta$ é válida para espiras fechadas de forma arbitrária e não apenas para espiras retangulares como na Fig. 29.21. (Dica: Substitua a espira de forma arbitrária por um conjunto de espiras finas e longas aproximadamente retangulares que sejam praticamente equivalentes à espira de forma arbitrária no que diz respeito à distribuição de corrente.)

43P. A Fig. 29.37 mostra um fio em forma de anel de raio a que é perpendicular à direção geral de um campo magnético divergente radialmente simétrico. O campo magnético no anel possui a mesma intensidade B em todos os pontos, e a sua direção em todos os pontos do anel faz um ângulo θ com uma normal ao plano do anel. Os lides entrelaçados não possuem nenhum efeito sobre o problema. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força que o campo exerce sobre o anel se o anel transportar uma corrente i .

¹⁰Cabo terminal externo de ligação de uma máquina elétrica. (N.T.)

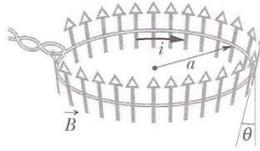


Fig. 29.37 Problema 43.

44P. Uma espira de fio fechada com uma corrente i está em um campo magnético uniforme B , com o plano da espira fazendo um ângulo θ com a direção de B . Mostre que a força magnética total sobre a espira é nula. A sua demonstração também vale para um campo magnético não-uniforme?

45P. A bobina de um certo galvanômetro (veja o Problema Resolvido 29.7) possui uma resistência de $75,3 \Omega$; seu ponteiro apresenta uma deflexão até o máximo da escala quando uma corrente de $1,62 \text{ mA}$ passa pela bobina. (a) Determine o valor da resistência auxiliar necessária para converter o galvanômetro em um voltímetro cuja leitura seja $1,00 \text{ V}$ quando houver uma deflexão até o máximo da escala. Como esta resistência deveria ser ligada? (b) Determine o valor da resistência auxiliar necessária para converter o galvanômetro em um amperímetro cuja leitura seja de $50,0 \text{ mA}$ quando houver uma deflexão máxima da escala. Como deveria ser ligada esta resistência?

46P. Uma partícula de carga q se move em um círculo de raio a com velocidade v . Tratando a trajetória circular como uma espira de corrente com corrente constante igual à sua corrente média, determine o torque máximo exercido sobre a espira por um campo magnético uniforme de intensidade B .

47P. A Fig. 29.38 mostra um cilindro de madeira de massa $m = 0,250 \text{ kg}$ e comprimento $L = 0,100 \text{ m}$ com $N = 10,0$ voltas de fio enrolado ao seu redor longitudinalmente, de modo que o plano da bobina de fio contenha o eixo do cilindro. Qual a menor corrente i que atravessa a bobina que evitará que o cilindro role para baixo de um plano inclinado que faz um ângulo θ com a horizontal, na presença de um campo magnético uniforme vertical de intensidade $0,500 \text{ T}$, se o plano da bobina for paralelo ao plano inclinado?

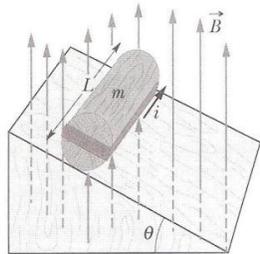


Fig. 29.38 Problema 47.

SEÇÃO 29.9 O Momento de Dipolo Magnético

48E. O momento de dipolo magnético da Terra é $8,00 \times 10^{22} \text{ J/T}$. Suponha que ele seja produzido por cargas escoando no núcleo externo derretido da Terra. Se o raio da trajetória circular das cargas for de 3500 km , calcule a corrente que eles produzem.

49E. Uma bobina circular de 160 voltas tem um raio de $1,90 \text{ cm}$. (a) Calcule a corrente que resulta em um momento de dipolo magnético de $2,30 \text{ A}\cdot\text{m}^2$. (b) Determine o torque máximo que a bobina, transportando esta corrente, pode experimentar em um campo magnético uniforme de $35,0 \text{ mT}$.

50E. Uma espira circular de fio cujo raio é de $15,0 \text{ cm}$ transporta uma corrente de $2,60 \text{ A}$. Ela é posicionada de tal modo que a normal ao seu

plano faz um ângulo de 41° com um campo magnético uniforme de $12,0 \text{ T}$. (a) Calcule o momento de dipolo magnético da espira. (b) Que torque atua sobre a espira?

51E. Uma espira de corrente, transportando uma corrente de $5,0 \text{ A}$, possui a forma de um triângulo retângulo com lados de $30, 40$ e 50 cm . A espira está em um campo magnético uniforme de intensidade igual a 80 mT , cuja direção é paralela à corrente no lado de 50 cm da espira. Determine a intensidade (a) do momento de dipolo magnético da espira e (b) do torque sobre a espira.

52E. Um relógio de parede circular em repouso possui uma face com um raio de 15 cm . Seis voltas de fio são enroladas ao redor do seu perímetro; o fio transporta uma corrente de $2,0 \text{ A}$ no sentido horário. O relógio está em um local onde existe um campo magnético externo uniforme constante com intensidade de 70 mT (mas o relógio ainda continua marcando o tempo corretamente). Exatamente às 13 h , o ponteiro das horas do relógio aponta na direção do campo magnético externo. (a) Após quantos minutos o ponteiro dos minutos apontará na direção do torque sobre o enrolamento devido ao campo magnético? (b) Determine a intensidade do torque.

53E. Duas espiras circulares concêntricas de fio, de raios $20,0$ e $30,0 \text{ cm}$, estão localizadas no plano xy ; cada uma delas transporta uma corrente de $7,00 \text{ A}$ no sentido horário (Fig. 29.39). (a) Determine o momento de dipolo magnético resultante deste sistema. (b) Repita os cálculos para a corrente invertida na espira interna.

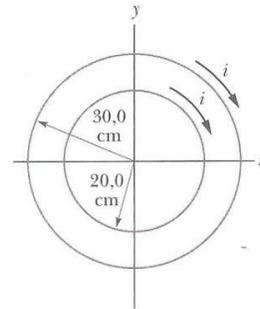


Fig. 29.39 Exercício 53.

54P. A Fig. 29.40 mostra uma espira de corrente $ABCDEFA$ transportando uma corrente $i = 5,00 \text{ A}$. Os lados da espira são paralelos aos eixos coordenados, com $AB = 20,0 \text{ cm}$, $BC = 30,0 \text{ cm}$ e $FA = 10,0 \text{ cm}$. Calcule a intensidade, a direção e o sentido do momento de dipolo magnético dessa espira. (Dica: Imagine correntes i iguais e em sentido contrário no segmento de reta AD ; depois trate as duas espiras retangulares $ABCD$ e $ADEFA$.)

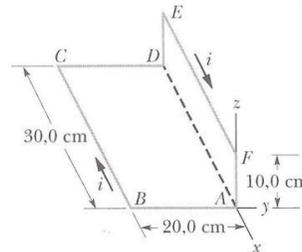


Fig. 29.40 Problema 54.

55P. Uma espira circular de fio com um raio de $8,0 \text{ cm}$ transporta uma corrente de $0,20 \text{ A}$. Um vetor de comprimento unitário e paralelo ao

Respostas dos
exercícios
propostos

CAPÍTULO 29

PV 1. a, +z; b, -x; c, $\vec{F}_B = 0$ 2. (a) 2, e então 1 e 3 com o mesmo valor (zero); (b) 4 3. (a) +z e -z empatadas, então +y e -y empatadas, e então +x e -x empatadas (zero); (b) +y 4. (a) o elétron; (b) no sentido horário 5. direção de y, sentido negativo 6. (a) as intensidades são iguais; (b) 1 e 4 empatadas, então 2 e 3 empatadas P 1. (a) não, \vec{v} e \vec{F}_B tem que ser perpendiculares; (b) sim; (c) não, \vec{B} e \vec{F}_B tem que ser perpendiculares 3. (a) \vec{F}_E ; (b) \vec{F}_B 5. (a) negativa; (b) igual; (c) igual; (d) um semicírculo 7. (a) \vec{B}_1 ; (b) B_1 perpendicular ao plano da página, entrando nela; B_2 perpendicular ao plano da página, saindo dela; (c) menor 9. (a) 1, 180°; 2, 270°; 3, 90°; 4, 0°; 5, 315°; 6, 225°; 7, 135°; 8, 45°; (b) 1 e 2 empatados, então 3 e 4 empatados; (c) 8, então 5 e 6 empatados, e então 7 EP 1. (a) $6,2 \times 10^{-18}$ N; (b) $9,5 \times 10^8$ m/s²; (c) permanece igual a 550 m/s 3. (a) 400 km/s; (b) 835 eV 5. (a) para leste; (b) $6,28 \times 10^{14}$ m/s²; (c) 2,98 mm 7. (a) $3,4 \times 10^{-4}$ T, horizontal e para a esquerda quando vistas ao longo de \vec{v}_0 ; (b) sim, se a sua velocidade for igual à velocidade do elétron 9. 0,27 mT 11. 680 kV/m 13. (b) $2,84 \times 10^{-3}$ 15. 21 μ T 17. (a) $2,05 \times 10^7$ m/s; (b) 467 μ T; (c) 13,1 MHz; (d) 76,3 ns 19. (a) 0,978 MHz; (b) 96,4 cm 23. (a) 1,0 MeV; (b) 0,5 MeV 25. (a) 495 mT; (b) 22,7 mA; (c) 8,17 MJ 27. (a) 0,36 ns; (b) 0,17 mm; (c) 1,5 mm 29. (a) -q; (b) $\pi mlqB$ 31. 240 m 33. 28,2 N, horizontalmente para oeste 35. 467 mA, da esquerda para a direita 37. 0,10 T, formando um ângulo de 31° com a vertical 39. $4,3 \times 10^{-3}$ N·m, na direção do eixo y, sentido negativo 43. $2\pi aiB \sin \theta$, normal ao plano do anel (para cima) 45. (a) 540 Ω , ligada em série com o galvanômetro; (b) 2,52 Ω , ligada em paralelo 47. 2,45 A 49. (a) 12,7 A; (b) 0,0805 N·m 51. (a) 0,30 J/T; (b) 0,024 N·m 53. (a) 2,86 A·m²; (b) 1,10 A·m² 55. (a) $(8,0 \times 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m})(-1,2\hat{i} - 0,90\hat{j} + 1,0\hat{k})$; (b) $-6,0 \times 10^{-4}$ J 57. $-(0,10 \text{ V/m})\hat{k}$ 59. -2,0 T

Cap. 29

12) $7,35 \cdot 10^{-6}$ V

16) $3,13 \cdot 10^{-4}$ m

28) elétron -> $1,37 \cdot 10^{-4}$ T

Próton -> 0,25 T