

partículas diminuem gradualmente de velocidade à medida que colidem com moléculas de ar existentes na sala.)

10. Na Fig. 30-6 por que o elétron e o pósitron deixam traços espirais? Isto é, por que o raio de curvatura varia no campo magnético constante onde a câmara está imersa?

11. Quais são as funções fundamentais (a) do campo elétrico e (b) do campo magnético no ciclotron?

12. Qual é o fato central que possibilita a operação de um ciclotron convencional? Ignore considerações relativísticas.

13. Um fio de cobre sem isolante emerge de uma das paredes de uma sala, atravessa a sala e desaparece para dentro da parede oposta. Sabemos que há uma corrente constante no fio. De que modo podemos determinar o seu sentido? Discuta as várias maneiras possíveis. Pode-se usar qualquer equipamento condizente, mas não se pode cortar o fio.

14. Na Seção 30-7 vimos que um campo magnético  $\mathbf{B}$  exerce uma força sobre os elétrons de condução existentes, digamos, num fio de cobre transportando uma corrente  $i$ . Supomos, tacitamente, que essa mesma força atuava sobre o próprio condutor. Estão faltando algumas passagens nesse argumento? Caso a resposta seja afirmativa, descreva-as.

15. Uma corrente experimenta uma força num campo magnético. Portanto, é possível bombear um líquido condutor enviando uma corrente através do líquido (num sentido apropriado) e deixando o líquido passar através de um campo magnético. Projete uma bomba desse tipo. Tal princípio é usado para bombear sódio líquido (um condutor, mas altamente corrosivo) em alguns reatores nucleares, onde ele é utilizado como refrigerante. Que vantagens teria uma bomba assim?

16. Um avião voa na direção oeste num vôo nivelado acima de Massachusetts, onde o campo magnético da Terra está direcionado verticalmente para baixo da linha do horizonte, apontando para o norte. Como resultado da força magnética exercida sobre os elétrons nas suas asas, a ponta de uma das asas terá mais elétrons do que a outra. Qual delas (a da direita ou a da esquerda) terá mais elétrons? A resposta será diferente se o avião estiver voando para o leste?

17. Um condutor, mesmo transportando uma corrente, tem carga líquida zero. Por que, então, um campo magnético exerce uma força sobre ele?

18. Desejamos modificar um galvanômetro (veja o Exemplo 30-8) a fim de que ele constitua (a) um amperímetro e (b) um voltímetro. O que é necessário fazer em cada caso?

19. Uma bobina retangular de corrente tem uma orientação arbitrária num campo magnético externo. Que trabalho é necessário para girar a bobina completamente em torno de um eixo perpendicular ao seu plano?

20. A Eq. 30-32 ( $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$ ) mostra que não existe torque atuando sobre uma bobina de corrente num campo magnético quando o ângulo entre o eixo da bobina e o campo é (a)  $0^\circ$  ou (b)  $180^\circ$ . Discuta a natureza do equilíbrio (isto é, se ele é estável, neutro ou instável) para as duas posições.

21. No Exemplo 30-9 mostramos que o trabalho necessário para inverter uma bobina de corrente num campo magnético externo é  $2\mu_B$ . Este resultado é válido qualquer que seja a orientação inicial da bobina?

22. Imagine que na sala em que você se encontra exista um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  apontando verticalmente para cima. Uma bobina circular tem seu plano horizontal. Para que sentido da corrente (visto de cima) a bobina estará em equilíbrio estável em relação às forças e torques de origem magnética?

23. O torque exercido por um campo magnético sobre um dipolo magnético pode ser usado para medir a intensidade desse campo magnético. Para fazermos uma medida precisa, importa ou não que o momento de dipolo seja pequeno? Lembre-se de que, no caso da medida de um campo elétrico, a carga-teste era tão pequena quanto possível para que não perturbasse a fonte do campo.

24. Dada uma esfera lisa do tamanho de uma bola de pingue-pong que contém um dipolo magnético, que experiências podem ser feitas para determinar o módulo, a direção e o sentido do seu momento de dipolo magnético?

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Seção 30-2 A Definição de  $\mathbf{B}$

1E. Expresse a unidade de um campo magnético  $\mathbf{B}$  em termos das dimensões M, L, T e Q (massa, comprimento, tempo e carga).

2E. Quatro partículas seguem as trajetórias mostradas na Fig. 30-28 quando elas passam através de um campo magnético. O que se pode concluir sobre a carga de cada partícula?

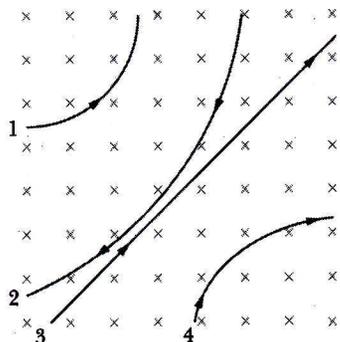


Fig. 30-28 Exercício 2.

3E. Um elétron num tubo de TV está se movendo a  $7,20 \times 10^6$  m/s num campo magnético de intensidade 83,0 mT. (a) Sem conhecermos a direção do campo, quais são o maior e o menor módulo da força que o elétron pode sentir devido a este campo? (b) Num certo ponto a aceleração do elétron é  $4,90 \times 10^{14}$  m/s<sup>2</sup>. Qual é o ângulo entre a velocidade do elétron e o campo magnético?

4E. Um próton que se move num ângulo de  $23^\circ$  em relação a um campo magnético de intensidade 2,60 mT experimenta uma força magnética de  $6,50 \times 10^{-17}$  N. Calcular (a) a velocidade escalar e (b) a energia cinética em elétron-volts do próton.

5E. Um elétron que tem velocidade  $\mathbf{v} = (2,0 \times 10^6 \text{ m/s}) \mathbf{i} + (3,0 \times 10^6 \text{ m/s}) \mathbf{j}$  penetra num campo magnético  $\mathbf{B} = (0,030 \text{ T}) \mathbf{i} - (0,15 \text{ T}) \mathbf{j}$ . (a) Determine o módulo, a direção e o sentido da força sobre o elétron. (b) Repita o cálculo para um próton tendo a mesma velocidade.

6E. Um elétron num campo magnético uniforme tem uma velocidade  $\mathbf{v} = (40 \text{ km/s}) \mathbf{i} + (35 \text{ km/s}) \mathbf{j}$ . Ele experimenta uma força  $\mathbf{F} = -(4,2 \text{ fN}) \mathbf{i} + (4,8 \text{ fN}) \mathbf{j}$ . Sabendo-se que  $B_x = 0$ , calcular o campo magnético.

7P. Os elétrons no feixe de um tubo de televisão têm uma energia cinética de 12,0 keV. O tubo está orientado de modo que os elétrons se

movam horizontalmente do sul magnético para o norte magnético. O componente vertical do campo magnético da Terra aponta para baixo e tem módulo de  $55,0 \mu\text{T}$ . (a) Em que direção o feixe será desviado? (b) Qual é a aceleração de um elétron devida ao campo magnético? (c) Qual será o desvio sofrido pelo feixe após ter percorrido  $20,0 \text{ cm}$  através do tubo de televisão?

14P. Um elétron tem uma velocidade inicial  $(12,0 \text{ km/s})\mathbf{j} + (15,0 \text{ km/s})\mathbf{k}$  e uma aceleração constante de  $(2,00 \times 10^{12} \text{ m/s}^2)\mathbf{i}$  numa região em que estão presentes um campo elétrico e um campo magnético uniformes. Sabendo-se que  $\mathbf{B} = (400 \mu\text{T})\mathbf{i}$ , determine o campo elétrico  $\mathbf{E}$ .

Seção 30-3 A Descoberta do Elétron

15E. Um típico osciloscópio de raios catódicos emprega um tubo de raios catódicos em que, por meio de campos elétricos, o feixe de elétrons pode ser defletido não só vertical como também horizontalmente. Quanto ao mais, este tubo é idêntico àquele mostrado na Fig. 30-9. A Fig. 30-29 mostra a frente de um tubo como esse. A linha reta cheia aparece quando o feixe é repetidamente varrido da esquerda para a direita por um campo elétrico variável no tempo. Se um campo magnético uniforme for aplicado perpendicularmente e para dentro de tubo, devemos esperar que a linha horizontal seja deslocada ou inclinada. Qual das quatro linhas tracejadas na figura será a linha resultante?

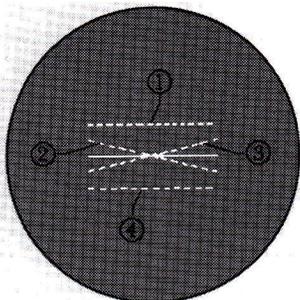


Fig. 30-29 Exercício 9.

16E. Um elétron com energia cinética de  $2,5 \text{ keV}$  se move horizontalmente para dentro de uma região do espaço onde existe um campo elétrico direcionado para baixo e cujo módulo é igual a  $10 \text{ kV/m}$ . (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido do (menor) campo magnético capaz de fazer com que os elétrons continuem a se mover horizontalmente? Ignore a força gravitacional, que é bastante pequena. (b) Será possível, para um próton, atravessar esta combinação de campos sem ser desviado? Se for, em que circunstâncias?

17E. Um campo elétrico de  $1,50 \text{ kV/m}$  e um campo magnético de  $0,400 \text{ T}$  atuam sobre um elétron em movimento de modo a produzir uma força resultante nula. (a) Calcule a velocidade escalar mínima  $v$  do elétron. (b) Desenhe os vetores  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{v}$ .

12P. Um elétron é acelerado através de uma diferença de potencial de  $1,0 \text{ kV}$  e dirigido para dentro de uma região entre duas placas paralelas separadas por  $20 \text{ mm}$ , entre as quais existe uma diferença de potencial de  $100 \text{ V}$ . O elétron está se movendo perpendicularmente ao campo elétrico quando entra na região entre as placas. Que campo magnético, perpendicular tanto à trajetória do elétron quanto ao campo elétrico, é necessário para que o elétron se desloque em linha reta?

13P. Uma fonte de íons está produzindo íons de  ${}^6\text{Li}$  (massa =  $6,0 \text{ u}$ ), cada um com uma carga  $+e$ . Os íons são acelerados por uma diferença de potencial de  $10 \text{ kV}$  e entram numa região onde existe um campo magnético uniforme vertical  $B = 1,2 \text{ T}$ . Calcule a intensidade do menor campo elétrico, a ser estabelecido na mesma região que permitirá aos íons de  ${}^6\text{Li}$  a passagem sem desvios.

Seção 30-4 O Efeito Hall

14E. A Fig. 30-30 mostra a seção transversal de um condutor transportando uma corrente perpendicular à página. (a) Entre os quatro terminais ( $a, b, c, d$ ), que par seria usado para medir a voltagem Hall se o campo magnético estivesse na direção  $+x$ , os portadores de carga fossem negativos e se movessem para fora da página? Neste par, que terminal está no potencial mais alto? (b) Responda as mesmas perguntas para um campo magnético na direção  $-y$  e portadores de carga positiva se movendo para fora da página. (c) Discuta a situação se o campo magnético estivesse na direção  $+z$ .

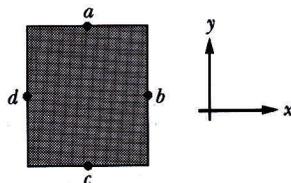


Fig. 30-30 Exercício 14.

15E. Mostre que, em termos do campo elétrico Hall e da densidade de corrente  $J$ , o número de portadores de carga por unidade de volume é dado por

$$n = \frac{JB}{eE}$$

16P. Numa experiência sobre o efeito Hall, uma corrente de  $3,0 \text{ A}$  percorre longitudinalmente uma tira condutora com  $1,0 \text{ cm}$  de largura,  $4,0 \text{ cm}$  de comprimento e  $10 \mu\text{m}$  de espessura, produzindo uma voltagem Hall transversal (através da largura) de  $10 \mu\text{V}$ , quando um campo magnético de  $1,5 \text{ T}$  é estabelecido perpendicularmente à tira. A partir de tais dados, determine (a) a velocidade de deriva dos portadores de carga e (b) a densidade de portadores de carga. (c) Mostre num diagrama os sentidos escolhidos para a corrente e o campo magnético e a conseqüente polaridade da voltagem Hall, supondo que os portadores de carga sejam elétrons.

17P. (a) Na Fig. 30-10, mostre que a razão entre o campo elétrico Hall  $E$  e o campo elétrico  $E_c$  responsável pelo movimento das cargas (a corrente) ao longo do comprimento da tira é

$$\frac{E}{E_c} = \frac{B}{ne\rho}$$

onde  $\rho$  é a resistividade do material. (b) Determine o valor numérico desta razão para o Exemplo 30-2. (Veja a Tabela 28-1.)

18P. Uma tira metálica, com  $6,50 \text{ cm}$  de comprimento,  $0,850 \text{ cm}$  de largura e  $0,760 \text{ mm}$  de espessura, se move com velocidade constante

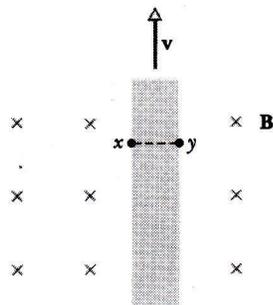


Fig. 30-31 Problema 18.

v através de um campo magnético  $B = 1,20 \text{ mT}$  perpendicular à tira, como mostra a Fig. 30-31. Uma diferença de potencial de  $3,90 \mu\text{V}$  é medida entre os pontos x e y através da tira. Calcule a velocidade escalar v.

**Seção 30-5 Movimento Circular de uma Carga**

**19E.** Campos magnéticos são freqüentemente usados para curvar um feixe de elétrons em experiências de física. Que campo magnético uniforme, aplicado perpendicularmente a um feixe de elétrons que se move a  $1,3 \times 10^6 \text{ m/s}$ , é necessário para fazer com que os elétrons percorram uma trajetória circular de raio  $0,35 \text{ m}$ ?

**20E.** (a) Num campo magnético com  $B = 0,50 \text{ T}$ , qual é o raio da trajetória circular percorrida por um elétron a 10% da velocidade escalar da luz? (b) Qual é a sua energia cinética em elétron-volts? Ignore os efeitos relativísticos.

**21E.** Que campo magnético uniforme deve ser estabelecido no espaço de modo a fazer um próton, de velocidade escalar  $1,0 \times 10^7 \text{ m/s}$ , mover-se numa circunferência do tamanho do equador terrestre?

**22E.** Um elétron com energia cinética de  $1,20 \text{ keV}$  está circulando num plano perpendicular a um campo magnético uniforme. O raio da órbita é  $25,0 \text{ cm}$ . Calcular (a) a velocidade escalar do elétron, (b) o campo magnético, (c) a freqüência de revolução e (d) o período do movimento.

**23E.** Um elétron é acelerado a partir do repouso por uma diferença de potencial de  $350 \text{ V}$ . Ele penetra, a seguir, num campo magnético uniforme de módulo  $200 \text{ mT}$  com sua velocidade perpendicular ao campo. Calcular (a) a velocidade escalar do elétron e (b) o raio de sua trajetória no campo magnético.

**24E.** O físico S. A. Goudsmit criou um método para medir com precisão as massas dos íons pesados pela cronometragem de seus períodos de revolução num campo magnético conhecido. Um íon monovalente de iodo faz  $7,00 \text{ rev}$  num campo de  $45,0 \text{ mT}$  em  $1,29 \text{ ms}$ . Calcule sua massa, em unidades de massa atômica. Na realidade, as medidas de massa são feitas com uma precisão muito maior do que a sugerida por estes dados aproximados.

**25E.** Uma partícula alfa ( $q = +2e, m = 4,00 \text{ u}$ ) percorre uma trajetória circular de raio  $4,50 \text{ cm}$  num campo magnético com  $B = 1,20 \text{ T}$ . Calcular (a) sua velocidade escalar, (b) seu período de revolução, (c) sua energia cinética em elétron-volts e (d) a diferença de potencial através da qual ela teria de ser acelerada para alcançar tal energia.

**26E.** (a) Determine a freqüência de rotação de um elétron com uma energia de  $100 \text{ eV}$  num campo magnético de  $35,0 \mu\text{T}$ . (b) Calcule o raio da sua trajetória quando a velocidade dele é perpendicular ao campo magnético.

**27E.** Um feixe de elétrons cuja energia cinética é  $K$  emerge da "janela" de saída na extremidade de um tubo acelerador. Existe uma placa metálica a uma distância  $d$  dessa janela e perpendicular à direção do feixe emergente. Veja a Fig. 30-32. Mostre que podemos evitar que

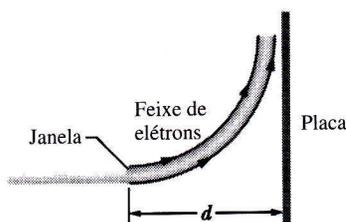


Fig. 30-32 Exercício 27.

o feixe colida com a placa se aplicarmos um campo magnético tal que

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

onde  $m$  e  $e$  são, respectivamente, a massa e a carga do elétron. Qual deve ser a orientação de  $\mathbf{B}$ ?

**28P.** Numa experiência de física nuclear, um próton com energia cinética de  $1,0 \text{ MeV}$  se move numa trajetória circular num campo magnético uniforme. Qual deve ser a energia (a) de uma partícula alfa e (b) de um dêuteron para que percorram a mesma órbita? (Lembre-se de que para uma partícula alfa  $q = +2e, m = 4,0 \text{ u}$ .)

**29P.** Um próton, um dêuteron e uma partícula alfa, acelerados através da mesma diferença de potencial, entram numa região de campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , movendo-se perpendicularmente a  $\mathbf{B}$ . (a) Compare suas energias cinéticas. Sabendo-se que o raio da trajetória circular do próton é  $10 \text{ cm}$ , quais são os raios das trajetórias (b) do dêuteron e (c) da partícula alfa?

**30P.** Um próton, um dêuteron e uma partícula alfa, com a mesma energia cinética, entram numa região de campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , movendo-se perpendicularmente a  $\mathbf{B}$ . Compare os raios de suas trajetórias circulares.

**31P.** A Fig. 30-33 mostra os aspectos mais importantes de um espectrômetro de massa, que é usado para medir as massas dos íons. Um íon de massa  $m$  e carga  $+q$  é produzido numa fonte  $S$ , numa câmara onde ocorre uma descarga gasosa. O íon, praticamente em repouso, deixa  $S$  e é acelerado por uma diferença de potencial  $V$  e, então, entra numa câmara onde existe um campo magnético  $\mathbf{B}$ . No campo ele se move num semicírculo, incidindo numa chapa fotográfica a uma distância  $x$  da abertura de entrada. Mostre que a massa  $m$  do íon é dada por

$$m = \frac{B^2 q}{8V} x^2$$

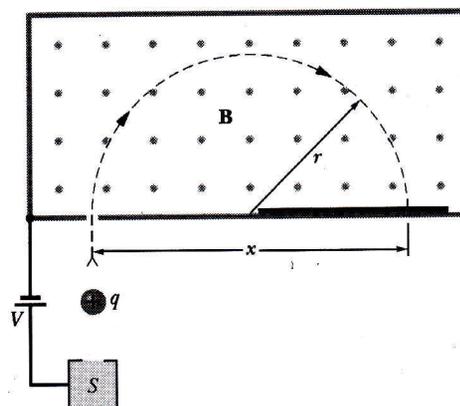


Fig. 30-33 Problema 31.

**32P.** Duas espécies de átomos uma vez ionizados, de mesma carga  $q$  e cujas massas diferem por uma pequena quantidade  $\Delta m$ , são introduzidos no espectrômetro de massa descrito no Problema 31. (a) Calcule a diferença de massa em termos de  $V, q, m$  (de qualquer um deles),  $B$ , e da distância  $\Delta x$  entre as manchas na chapa fotográfica. (b) Calcule  $\Delta x$  para um feixe de átomos de cloro uma vez ionizados, com massas de  $35$  e  $37 \text{ u}$ , no caso em que  $V = 7,3 \text{ kV}$  e  $B = 0,50 \text{ T}$ .

**33P.** Um espectrômetro de massa (veja o Problema 31) usado para fins comerciais separa íons de urânio de massa igual a  $3,92 \times 10^{-25} \text{ kg}$  e carga

de  $3,20 \times 10^{-19}$  C. Inicialmente, os íons são acelerados através de uma diferença de potencial de 100 kV e, então, penetram num campo magnético onde são curvados numa trajetória de raio igual a 1,0 m. Depois de percorrerem  $180^\circ$ , eles são coletados numa taça após a passagem por uma fenda de largura 1,0 mm e altura de 1,0 cm. (a) Qual é o módulo do campo magnético (perpendicular) no separador? Sabendo-se que a máquina foi projetada para separar 100 mg de material por hora, calcule (b) a corrente de íons na máquina e (c) a energia térmica dissipada na taça durante 1,00 h.

**34P.** O espectrômetro de massa de Bainbridge, mostrado na Fig. 30-34, separa íons que têm a mesma velocidade. Depois de terem penetrado através das fendas  $S_1$  e  $S_2$ , os íons passam por um seletor de velocidade composto de um campo elétrico produzido pelas placas carregadas P e P', e de um campo magnético  $\mathbf{B}$  perpendicular ao campo elétrico e à trajetória dos íons. Os íons que passam sem serem desviados pelos campos cruzados,  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$ , penetram numa região onde existe um segundo campo magnético  $\mathbf{B}'$ , e são curvados em trajetórias circulares. Uma chapa fotográfica registra a chegada deles. Mostre que, para os íons,  $q/m = E/(rBB')$ , onde  $r$  é o raio da órbita circular.

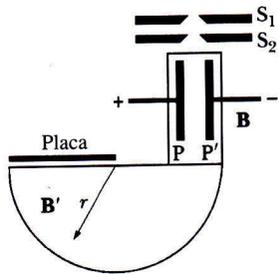


Fig. 30-34 Problema 34.

**35P.** Um pósitron com energia cinética de 2,0 keV é projetado para dentro de um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$  de 0,10 T com o seu vetor velocidade fazendo um ângulo de  $89^\circ$  com  $\mathbf{B}$ . Determine (a) o período, (b) o passo  $p$  e (c) o raio  $r$  de sua trajetória helicoidal. (Veja a Fig. 30-12b.)

**36P.** Uma partícula neutra está em repouso num campo magnético uniforme de módulo  $B$ . No instante  $t = 0$  ela decai em duas partículas carregadas de massa  $m$ . (a) Sabendo-se que a carga de uma das partículas é  $+q$ , qual é a carga da outra? (b) As duas partículas se afastam em trajetórias distintas contidas no plano perpendicular a  $\mathbf{B}$ . Num certo instante posterior, as partículas colidem. Expresse o intervalo de tempo desde o decaimento até a colisão em termos de  $m$ ,  $B$  e  $q$ .

**37P.** (a) Que velocidade escalar deveria ter um próton para que ele pudesse circular a Terra no equador, considerando-se que, em todos os pontos do equador, o campo magnético da Terra seja horizontal e direcionado ao longo das linhas longitudinais? Os efeitos relativísticos devem ser levados em conta. Suponha que, no Equador, o módulo do campo magnético da Terra seja  $41 \mu\text{T}$ . (Sugestão: Substitua o momento  $mv$  na Eq. 30-17 pelo momento relativístico dado na Eq. 9-24.) (b) Desenhe os vetores velocidade e campo magnético correspondentes a esta situação.

### Seção 30-6 Ciclotrons e Sincrotrons

**38E.** Num certo ciclotron um próton se move num círculo de raio 0,50 m. O módulo do campo magnético é 1,2 T. (a) Qual é a frequência do ciclotron? (b) Qual é a energia cinética do próton, em elétron-volts?

**39E.** Um físico está projetando um ciclotron para acelerar prótons a um décimo da velocidade da luz. O ímã usado produzirá um campo de 1,4 T. Calcule (a) o raio do ciclotron e (b) a frequência de oscilação correspondente. Os efeitos relativísticos não são significativos.

**40P.** O ciclotron do Exemplo 30-5 foi ajustado para acelerar dêutrons. (a) Usando-o para acelerar prótons, com a mesma frequência de oscilação empregada para os dêutrons, que energia seria atingida pelos prótons? (b) Que campo magnético seria necessário? (c) Que energia atingiriam os prótons se usássemos o mesmo valor do campo magnético empregado para os dêutrons? (d) Que frequência de oscilação seria, então, necessária? (e) Responda às mesmas perguntas para partículas alfa, em vez de prótons. (Para uma partícula alfa,  $q = +2e$ ,  $m = 4,0 u$ .)

**41P.** Um dêuteron num ciclotron está se movendo num campo magnético com  $B = 1,5$  T e num raio orbital de 50 cm. Devido a uma colisão rasante com o alvo, o dêuteron se decompõe, com uma perda desprezível de energia cinética, em um próton e um nêutron. Discuta o movimento subsequente dessas duas partículas. Suponha que a energia do dêuteron seja repartida igualmente entre o próton e o nêutron.

**42P.** Faça uma estimativa da distância percorrida por um dêuteron no ciclotron do Exemplo 30-5 durante o processo de aceleração. Suponha um potencial acelerador entre os dês de 80 kV.

### Seção 30-7 Força Magnética sobre um Fio Transportando Corrente

**43E.** A Fig. 30-35 mostra quatro posições de um ímã e um fio retilíneo pelo qual elétrons estão fluindo para fora da página, perpendicular ao plano do ímã. Em que caso a força sobre o fio aponta para o topo da página?

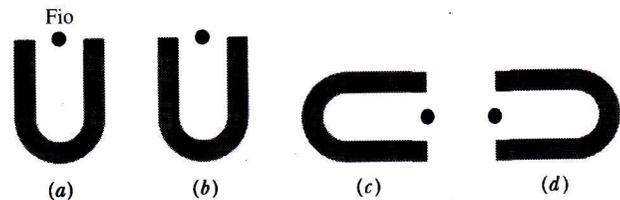


Fig. 30-35 Exercício 43.

**44E.** Um condutor horizontal numa linha de força transporta uma corrente de 5.000 A do sul para o norte. O campo magnético da Terra ( $60,0 \mu\text{T}$ ) está direcionado para o norte e inclinado para baixo de um ângulo de  $70^\circ$  com a linha horizontal. Determine o módulo, a direção e o sentido da força magnética devida ao campo da Terra sobre 100 m do condutor.

**45E.** Um fio de 1,80 m de comprimento transporta uma corrente de 13,0 A e faz um ângulo de  $35,0^\circ$  com um campo magnético uniforme  $B = 1,50$  T. Calcule a força magnética sobre o fio.

**46P.** Um fio de 62,0 cm de comprimento e 13,0 g de massa está suspenso por um par de condutores flexíveis num campo magnético de 0,440 T (Fig. 30-36). Quais são a intensidade e o sentido da corrente necessários para anular a tensão nos fios de suporte?

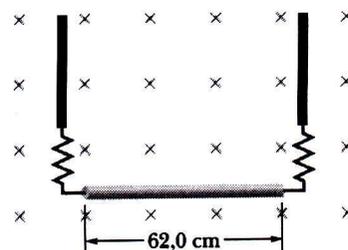


Fig. 30-36 Problema 46.

47P. Um fio de 50 cm de comprimento, situado ao longo do eixo  $x$ , é percorrido por uma corrente de 0,50 A, no sentido dos  $x$  positivos. O fio está imerso num campo magnético dado por  $\mathbf{B} = (0,0030 \text{ T}) \mathbf{j} + (0,010 \text{ T}) \mathbf{k}$ . Determine a força sobre o fio.

48P. Um fio de metal de massa  $m$  desliza sem atrito sobre dois trilhos horizontais separados por uma distância  $d$ , como na Fig. 30-37. Os trilhos estão colocados num campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ . Uma corrente constante  $i$  flui de um gerador  $G$  ao longo de um trilho, através do fio e retorna pelo outro trilho. Determine a velocidade (módulo, direção e sentido) do fio em função do tempo, supondo que ele esteja em repouso no instante  $t = 0$ .

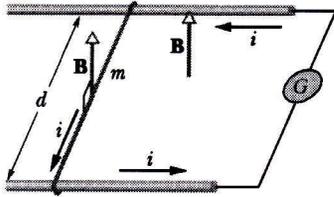


Fig. 30-37 Problema 48.

49P. A Fig. 30-38 mostra um fio de formato arbitrário transportando uma corrente  $i$  entre os pontos  $a$  e  $b$ . O fio está situado num plano perpendicular a um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ . (a) Prove que a força sobre o fio é a mesma que agiria sobre um fio retilíneo percorrido por uma corrente  $i$  diretamente de  $a$  para  $b$ . (Sugestão: Substitua o fio por uma série de "degraus" paralelos e perpendiculares à linha reta que liga  $a$  e  $b$ .) (b) Prove que a força sobre o fio se anula quando os pontos  $a$  e  $b$  são unidos de modo que o fio passa a constituir uma malha fechada cujo plano é perpendicular a  $\mathbf{B}$ .

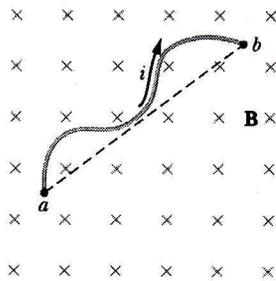


Fig. 30-38 Problema 49.

50P. Um condutor rígido e comprido, colocado ao longo do eixo  $x$ , é percorrido por uma corrente de 5,0 A no sentido  $-x$ . Um campo magnético  $\mathbf{B}$  está presente e é dado por  $\mathbf{B} = 3,0 \mathbf{i} + 8,0 x^2 \mathbf{j}$ , com  $x$  em metros e  $\mathbf{B}$  em militeslas. Calcule a força sobre um segmento de 2,0 m de condutor que está situado entre  $x = 1,0$  e  $x = 3,0$  m.

51P. Considere a possibilidade de um novo projeto para um trem elétrico. O motor é acionado pela força devida ao componente vertical do campo magnético da Terra sobre um eixo de condução. Uma corrente passa debaixo de um dos trilhos, através de uma roda condutora, do eixo, da outra roda condutora e, então, volta à fonte pelo outro trilho. (a) Que corrente é necessária para fornecer uma força modesta de 10 kN? Suponha que o componente vertical do campo da Terra seja igual a  $10 \mu\text{T}$  e que o comprimento do eixo seja 3,0 m. (b) Quanta energia será perdida para cada ohm de resistência nos trilhos? (c) Um trem como este é totalmente irreal ou limitadamente irreal?

52P. Uma barra de cobre de 1,0 kg está em repouso sobre dois trilhos horizontais que distam 1,0 m um do outro e permite a passagem de uma

corrente de 50 A de um trilho para o outro. O coeficiente de atrito estático é 0,60. Qual é o menor campo magnético (não necessariamente vertical) que daria início ao movimento da barra?

Seção 30-8 Torque sobre uma Bobina de Corrente

53E. Uma bobina de corrente de uma só volta, transportando uma corrente de 4,00 A, tem a forma de um triângulo retângulo de lados 50 cm, 120 cm e 130 cm. A bobina é colocada num campo magnético uniforme de módulo 75 mT e de direção paralela à corrente no lado de 130 cm da bobina. (a) Determine o módulo da força magnética que atua sobre cada um dos três lados da bobina. (b) Mostre que a força magnética total sobre a bobina é nula.

54E. A Fig. 30-39 mostra uma bobina retangular, com 20 voltas de fio, de dimensões 10 cm por 5,0 cm. Ela transporta uma corrente de 0,10 A e pode girar em torno de um lado longo. Ela está montada com seu plano fazendo um ângulo de  $30^\circ$  com a direção de um campo magnético uniforme de 0,50 T. Calcule o torque que atua sobre a bobina em torno do eixo que passa pelo lado longo.

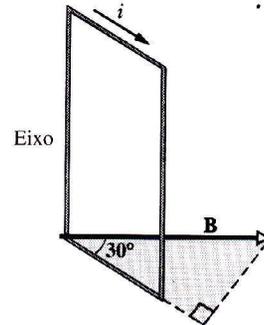


Fig. 30-39 Exercício 54.

55E. A face de um relógio de parede, circular e fixo, tem um raio de 15 cm. Enrola-se seis voltas de arame em torno de seu perímetro e mantém-se uma corrente de 2,0 A percorrendo o arame no sentido horário. No local em que se encontra o relógio existe um campo magnético externo uniforme, constante de 70 mT (o relógio ainda assim marca a hora perfeitamente). Exatamente às 13h, o ponteiro das horas do relógio aponta na direção do campo magnético externo. (a) Depois de quantos minutos o ponteiro dos minutos apontará na direção do torque, sobre o enrolamento, devido ao campo magnético? (b) Qual é o módulo deste torque?

56P. Um fio de comprimento  $L$  transporta uma corrente  $i$ . Mostre que, se o fio for enrolado na forma de uma bobina circular e colocado num campo magnético, o torque máximo será obtido quando a bobina tiver uma única volta e que o módulo máximo do torque vale

$$\tau = \frac{1}{4\pi} L^2 i B.$$

57P. Prove que a relação  $\tau = NiAB \sin \theta$  é válida para bobinas fechadas de forma arbitrária e não apenas para bobinas retangulares como na Fig. 30-26. (Sugestão: Substitua a bobina de forma arbitrária por um conjunto de bobinas longas e delgadas, aproximadamente retangulares, que sejam quase equivalentes à inicial no que diz respeito à distribuição da corrente.)

58P. Uma bobina fechada de arame é percorrida por uma corrente  $i$ . A bobina está imersa num campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ , com o seu plano fazendo um ângulo  $\theta$  com a direção de  $\mathbf{B}$ . Mostre que a força magnética resultante sobre a bobina é zero. Sua verificação também é válida para um campo magnético não-uniforme?

**59P.** A Fig. 30-40 mostra um anel de arame de raio  $a$  perpendicular à direção geral de um campo magnético divergente, radialmente simétrico. O campo magnético no anel tem em todos os seus pontos o mesmo módulo  $B$  e faz um ângulo  $\theta$  com a normal ao plano do anel. Os fios de ligação, entrelaçados, não têm efeito algum sobre o problema. Determine o módulo, a direção e o sentido da força que o campo exerce sobre o anel se este for percorrido por uma corrente  $i$  como mostra a figura.

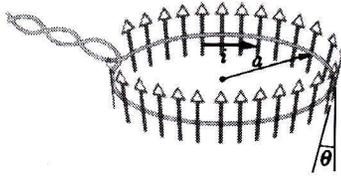


Fig. 30-40 Problema 59.

**60P.** Um certo galvanômetro tem uma resistência de  $75,3 \Omega$ ; seu ponteiro sofre a deflexão máxima da escala quando sua bobina é percorrida por uma corrente de  $1,62 \text{ mA}$ . (a) Determine o valor da resistência auxiliar necessária para converter o galvanômetro em voltímetro, cuja deflexão máxima da escala corresponda a  $1,00 \text{ V}$ . Como a resistência deverá ser ligada? (b) Determine o valor da resistência auxiliar necessária para converter o galvanômetro em amperímetro cuja deflexão máxima da escala corresponda a  $50,0 \text{ mA}$ . Como ela deverá ser ligada?

**61P.** A Fig. 30-41 mostra um cilindro de madeira com massa  $m = 0,250 \text{ kg}$  e comprimento  $L = 0,100 \text{ m}$ , com  $N = 10,0$  voltas de fio enrolado em torno dele longitudinalmente, de modo que o plano da bobina, assim formada, contenha o eixo do cilindro. Qual é a corrente mínima através da bobina capaz de impedir o cilindro de rolar para baixo no plano inclinado de  $\theta$  em relação à horizontal, na presença de um campo magnético uniforme vertical de  $0,500 \text{ T}$ , se o plano dos enrolamentos for paralelo ao plano inclinado?

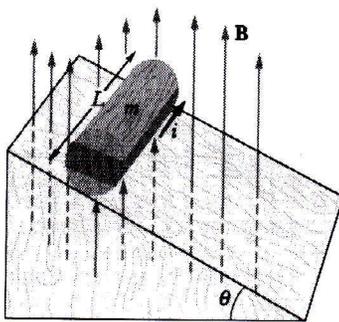


Fig. 30-41 Problema 61.

Seção 30-9 O Dipolo Magnético

**62E.** Uma bobina circular de 160 voltas tem um raio de  $1,90 \text{ cm}$ . (a) Calcular a corrente que origina um momento magnético de  $2,30 \text{ A}\cdot\text{m}^2$ . (b) Determine o torque máximo que a bobina, transportando esta corrente, pode experimentar num campo magnético uniforme de  $35,0 \text{ mT}$ .

**63E.** O momento de dipolo magnético da Terra vale  $8,00 \times 10^{22} \text{ J/T}$ . Suponha que ele seja produzido por cargas fluindo no núcleo derretido

da Terra. Calcular a corrente gerada por estas cargas, supondo que o raio da trajetória descrita por elas seja  $3.500 \text{ km}$ .

**64E.** Uma bobina circular, de uma só volta, cujo raio mede  $15,0 \text{ cm}$  transporta uma corrente de  $2,60 \text{ A}$ . Ela está localizada de modo que a normal ao seu plano faz um ângulo de  $41,0^\circ$  com um campo magnético uniforme de  $12,0 \text{ T}$ . (a) Calcular o momento de dipolo magnético da bobina. (b) Que torque atua sobre a bobina?

**65E.** Uma bobina, de uma só volta, transportando uma corrente de  $5,0 \text{ A}$ , tem a forma de um triângulo retângulo cujos lados medem  $30, 40$  e  $50 \text{ cm}$ . A bobina está imersa num campo magnético uniforme de módulo  $80 \text{ mT}$  e direção paralela à corrente no lado da bobina que mede  $50 \text{ cm}$ . Determine o módulo (a) do momento de dipolo magnético da bobina e (b) do torque sobre a bobina.

**66E.** Duas espiras circulares concêntricas de raios  $20,0 \text{ cm}$  e  $30,0 \text{ cm}$  no plano  $xy$  são percorridas por uma corrente de  $7,00 \text{ A}$  no sentido horário, como mostra a Fig. 30-42. (a) Determine o momento de dipolo magnético resultante deste sistema. (b) Responda a mesma pergunta se a corrente na espira de menor raio for invertida.

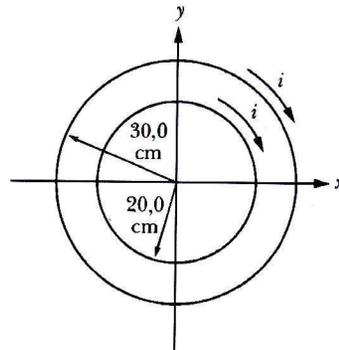


Fig. 30-42 Exercício 66.

**67P.** Uma espira circular de arame, de raio  $8,0 \text{ cm}$ , transporta uma corrente de  $0,20 \text{ A}$ . Um vetor unitário, paralelo ao momento de dipolo  $\mu$  da espira, é dado por  $0,60 \mathbf{i} - 0,80 \mathbf{j}$ . A espira está imersa num campo magnético dado por  $\mathbf{B} = (0,25 \text{ T}) \mathbf{i} + (0,30 \text{ T}) \mathbf{k}$ . Determine (a) o torque sobre a espira (usando notação vetorial) e (b) a energia potencial magnética da espira.

**68P.** A Fig. 30-43 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  $FA = 10,0 \text{ cm}$ . Calcular o módulo, a direção e o sentido do momento de dipolo magnético desta espira. (Sugestão: Imagine correntes  $i$  iguais e opostas no segmento linear  $AD$ ; a seguir, considere as duas espiras retangulares  $ABCD$  e  $ADEFA$ .)

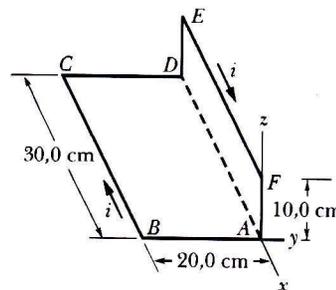


Fig. 30-43 Problema 68.

## PROBLEMAS ADICIONAIS

69. Uma fonte lança um elétron de velocidade escalar  $v = 1,5 \times 10^7$  m/s num campo magnético uniforme de módulo  $B = 1,0 \times 10^{-3}$  T. A velocidade do elétron faz um ângulo  $\theta = 10^\circ$  com a direção do campo magnético. A que distância  $d$ , a partir do ponto de lançamento, o elétron logo depois cruza a linha de campo que passa por esse ponto?

70. Na Fig. 30-44, um elétron de massa  $m$ , carga  $e$  e velocidade escalar muito pequena (desprezível) penetra na região entre as duas placas di-

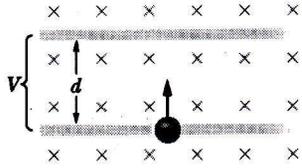


Fig. 30-44 Problema 70.

reccionado para a placa superior. As placas estão separadas por uma distância  $d$  e entre elas existe uma diferença de potencial  $V$ . Um campo magnético uniforme de módulo  $B$  é perpendicular ao plano da figura. Determine qual deve ser o valor mínimo de  $B$  de modo que o elétron não colida com a placa superior.

71. Uma partícula de carga  $q$  se move num círculo de raio  $a$  com velocidade escalar  $v$ . Tratando a trajetória circular como uma espira de corrente com uma corrente média, determine o torque máximo exercido sobre a espira por um campo magnético uniforme de módulo  $B$ .

72. Um próton de carga  $e$  e massa  $m$  entra num campo magnético uniforme  $\mathbf{B} = B\mathbf{i}$  com uma velocidade inicial  $v_{0x}\mathbf{i} + v_{0y}\mathbf{j}$ . Determine uma expressão vetorial (em termos dos vetores unitários) para a sua velocidade  $\mathbf{v}$  num instante  $t$  posterior qualquer.