

diatamente detectada em pontos próximos de P . Explique. (b) Se a resistividade da lâmina for nula, a variação nunca será detectada em P . Explique. (c) Se \mathbf{B} variar periodicamente, com alta frequência, e se o condutor tiver baixa resistividade, a região próxima de P ficará quase completamente blindada contra a variação do fluxo. Explique. (d) Por que tal condutor não é útil na blindagem de campos magnéticos estáticos?

26. (a) Na Fig. 32-14b, é necessário que o círculo de raio r seja uma espira condutora que E e \mathcal{E} estejam presentes? (b) Se o círculo de raio r não fosse concêntrico (digamos, ligeiramente deslocado para a esquerda), \mathcal{E} mudaria? A configuração de \mathbf{E} em torno do círculo mudaria? (c) Para um círculo concêntrico de raio r , com $r > R$, existe fem? Existem campos elétricos?

27. Um anel de cobre e um anel de madeira, de dimensões iguais, estão dispostos de tal modo que são atravessados por um mesmo fluxo magnético variável. Compare os campos elétricos induzidos nos dois anéis.

28. Um avião move-se horizontalmente sobre o Alasca, onde o componente vertical (para baixo) do campo magnético da Terra é muito intenso. Que asa (direita ou esquerda) tem em sua extremidade mais elétrons que a outra asa?

29. Na Fig. 32-14d, como podem ser idênticas as fems induzidas ao longo dos caminhos 1 e 2? Os campos elétricos induzidos são muito menos intensos próximo ao caminho 1, do que ao caminho 2, como indica o espaçamento entre as linhas de campo. Veja também a Fig. 32-15.

30. Mostre que no betatron da Fig. 32-16, os sentidos das linhas de \mathbf{B} são coerentes com o sentido indicado para a circulação dos elétrons.

31. No betatron da Fig. 32-16, deseja-se aumentar o raio da órbita impondo-se subitamente um fluxo central adicional $\Delta\Phi_B$ (produzido pelo estabelecimento repentino de uma corrente numa bobina auxiliar não-mostrada). As linhas de \mathbf{B} associadas a este incremento de fluxo devem ter o mesmo sentido das linhas indicadas na figura ou o sentido oposto? Suponha que o campo magnético na posição da órbita permaneça praticamente inalterado por esse incremento de fluxo.

32. No betatron da Fig. 32-16, por que o núcleo do eletroímã é constituído por lâminas e não de um bloco metálico, como no caso do ciclotron da Seção 30-6? (Sugestão: Considere as implicações das Questões 24 e 25.)

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Seção 32-3 Lei da Indução de Faraday

1E. Num certo local do hemisfério norte, o campo magnético da Terra tem módulo de $42 \mu\text{T}$ e aponta para baixo, formando um ângulo de 57° com a vertical. Calcular o fluxo através de uma superfície horizontal de área igual a $2,5 \text{ m}^2$; veja a Fig. 32-32, na qual o vetor área \mathbf{A} foi arbitrariamente escolhido para baixo.

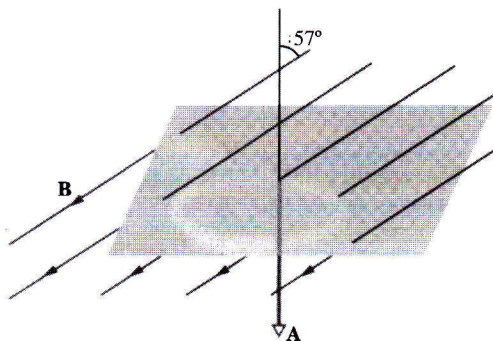


Fig. 32-32 Exercício 1.

2E. Uma corrente $i = i_0 \sin \omega t$ percorre um solenóide longo que possui n espiras por unidade de comprimento. Uma espira circular de área A está no interior do solenóide e seu eixo coincide com o eixo do solenóide. Determine a fem induzida na espira.

3E. Uma antena circular de televisão para UHF (frequência ultra-elevada) tem um diâmetro de 11 cm. O campo magnético de um sinal de TV é normal ao plano da antena e, num dado instante, seu módulo está variando na taxa de $0,16 \text{ T/s}$. O campo é uniforme. Qual é a fem na antena?

4E. Um campo magnético uniforme \mathbf{B} é perpendicular ao plano de uma espira circular de raio r . O módulo do campo varia com o tempo de acordo com a relação $B = B_0 e^{-t/\tau}$, onde B_0 e τ são constantes. Determine a fem induzida na espira em função do tempo.

5E. O fluxo magnético através da espira mostrada na Fig. 32-33 cresce com o tempo de acordo com a relação

$$\Phi_B = 6,0t^2 + 7,0t,$$

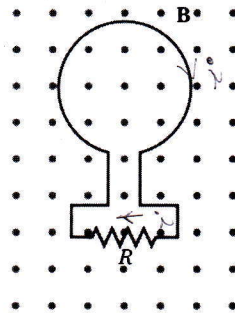


Fig. 32-33 Exercício 5 e Problema 17.

onde Φ_B é dado em miliwebers e t em segundos. (a) Qual é o módulo da fem induzida na espira quando $t = 2,0 \text{ s}$? (b) Qual é o sentido da corrente em R ?

6E. O módulo do campo magnético através de uma espira circular de 12 cm de raio e resistência igual a $8,5 \Omega$ varia com o tempo como mostra a Fig. 32-34. Determine a fem na espira em função do tempo. Con-

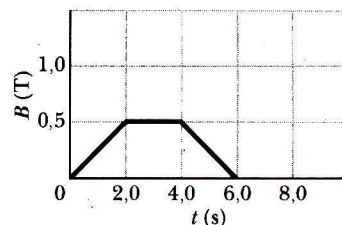


Fig. 32-34 Exercício 6.

sidere os intervalos de tempo (a) de $t = 0$ até $t = 2,0$ s; (b) de $t = 2,0$ s até $t = 4,0$ s; (c) de $t = 4,0$ s até $t = 6,0$ s. O campo magnético (uniforme) é perpendicular ao plano da espira.

7E. Uma antena circular, de área A e resistência R , é perpendicular a um campo magnético uniforme \mathbf{B} . O campo cai linearmente até zero num intervalo de tempo Δt . Determine uma expressão para a energia térmica total dissipada na antena.

8E. Um campo magnético uniforme é ortogonal ao plano de uma espira circular de diâmetro igual a 10 cm, feita de fio de cobre (diâmetro = 2,5 mm). (a) Calcular a resistência do fio. (Veja a Tabela 28-1.) (b) Em que taxa deve o campo magnético variar com o tempo para que uma corrente induzida de 10 A apareça na espira?

9P. Suponha que a corrente no solenóide do Exemplo 32-1 varie, não como nesse exemplo, mas de acordo com a relação $i = 3,0t + 1,0t^2$, onde i se expressa em ampères e t em segundos. (a) Faça o gráfico da fem na bobina desde $t = 0$ até $t = 4,0$ s. (b) A resistência da bobina vale 0,15 Ω . Qual é a corrente na bobina para $t = 2,0$ s?

10P. Na Fig. 32-35 uma bobina com 120 espiras, de raio 1,8 cm e resistência 5,3 Ω é colocada no exterior de um solenóide como o do Exemplo 32-1. Supondo-se que a corrente no solenóide varie como nesse exemplo, (a) que corrente aparece na bobina, enquanto a corrente no solenóide estiver variando? (b) Como é que os elétrons de condução na bobina "recebem a mensagem" do solenóide de que devem se mover para estabelecer uma corrente? Afinal de contas, o fluxo magnético está inteiramente confinado no interior do solenóide.

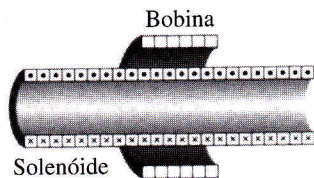


Fig. 32-35 Problema 10.

11P. Um solenóide longo com raio de 25 mm possui 100 espiras/cm. Uma espira circular de 5,0 cm de raio é colocada em torno do solenóide de modo que seu eixo coincida com o eixo do solenóide. A corrente no solenóide é reduzida de 1,0 A para 0,50 A numa taxa constante durante um intervalo de tempo de 10 ms. Que fem aparece na espira?

12P. Deduza uma expressão para o fluxo através de um toróide, com N espiras, transportando uma corrente i . Suponha que o enrolamento tenha uma seção transversal retangular de raio interno a , raio externo b e altura h .

13P. Um toróide tem uma seção transversal quadrada de lado igual a 5,0 cm, raio interno de 15 cm, 500 espiras e transporta uma corrente de 0,800 A. Qual é o fluxo através da seção transversal?

14P. Dispõe-se de 50,0 cm de fio de cobre (diâmetro = 1,00 mm). Ele é moldado na forma de uma espira circular e colocado perpendicularmente a um campo magnético que está crescendo numa taxa constante de 10,0 mT/s. Qual é a taxa de produção de energia térmica na espira?

15P. Uma espira fechada é constituída por dois semicírculos iguais, de raio 3,7 cm, contidos em planos ortogonais entre si. Ela foi formada porque se dobrou uma espira circular ao longo de um diâmetro até que as duas metades ficassem ortogonais. Um campo magnético uniforme \mathbf{B} , de módulo igual a 76 mT, é perpendicular ao diâmetro da dobra e faz ângulos iguais ($= 45^\circ$) com os planos dos semicírculos, conforme mostra a Fig. 32-36. O campo magnético é reduzido a zero, numa taxa constante, durante um intervalo de tempo de 4,5 ms. Determine o módulo da

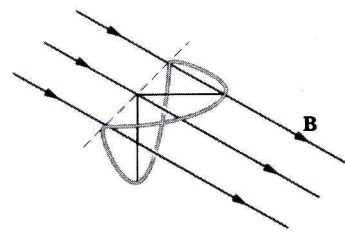


Fig. 32-36 Problema 15.

fem induzida e o sentido da corrente induzida na espira durante este intervalo.

16P. A Fig. 32-37 mostra duas espiras de fio, paralelas, tendo o mesmo eixo. A espira menor (raio r) está acima da espira maior (raio R), a uma distância $x \gg R$. Conseqüentemente, o campo magnético em virtude da corrente i na espira maior é aproximadamente constante através da espira menor. Suponha que x esteja crescendo numa taxa constante $dx/dt = u$. (a) Determine o fluxo magnético através da área limitada pela espira menor em função de x . (b) Calcular a fem gerada na espira menor. (c) Determine o sentido da corrente induzida na espira menor. (Sugestão: Veja a Eq. 31-25.)

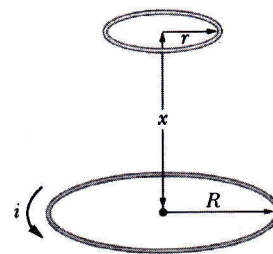


Fig. 32-37 Problema 16.

17P. Na Fig. 32-33, seja $\Phi_B(0)$ o fluxo através da espira no instante $t = 0$. Além disso, suponhamos que o campo magnético \mathbf{B} esteja variando de forma contínua, não-especificada, tanto em módulo como em direção e sentido, de modo que no instante t o fluxo seja representado por $\Phi_B(t)$. (a) Mostre que a carga líquida $q(t)$ que passou através do resistor durante o intervalo desde $t = 0$ até $t = t$, é

$$q(t) = \frac{1}{R} [\Phi_B(0) - \Phi_B(t)]$$

e é independente da forma como \mathbf{B} tenha variado. (b) Num caso particular, onde $\Phi_B(t) = \Phi_B(0)$, temos $q(t) = 0$. A corrente induzida é necessariamente nula no intervalo desde $t = 0$ até $t = t$?

18P. Cem espiras, de fio de cobre isolado, estão enroladas em torno de um núcleo cilíndrico de madeira cuja área da seção transversal é $1,20 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Os dois terminais estão ligados a um resistor. A resistência total do circuito vale 13,0 Ω . Submetendo-se o núcleo a um campo magnético longitudinal uniforme que varia de 1,60 T num sentido até 1,60 T no sentido oposto, que quantidade de carga flui através do circuito? (Sugestão: Veja o Problema 17.)

19P. Uma espira quadrada cujo lado mede 2,00 m está disposta perpendicularmente a um campo magnético uniforme com metade de sua área imersa no campo, como mostra a Fig. 32-38. A espira contém uma bateria de 20,0 V e resistência interna desprezível. Sabendo-se que o módulo do campo varia com o tempo de acordo com a relação $B = 0,042 -$

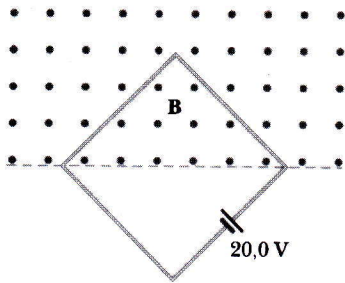


Fig. 32-38 Problema 19.

0,870t, com B em teslas e t em segundos, (a) qual é a fem total no circuito? (b) Qual é o sentido da corrente através da bateria?

20P*. Um fio é dobrado em três segmentos circulares de raio $r = 10$ cm como mostra a Fig. 32-39. Cada segmento é um quadrante de círculo, estando ab no plano xy , bc no plano yz e ca no plano zx . (a) Sabendo-se que um campo magnético uniforme \mathbf{B} aponta no sentido positivo do eixo x , qual é o módulo da fem desenvolvida no fio quando B cresce a uma taxa de 3,0 mT/s? (b) Qual é o sentido da corrente no segmento bc ?

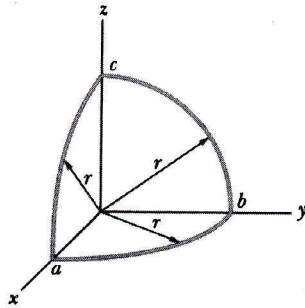


Fig. 32-39 Problema 20.

21P. Dois fios de cobre (diâmetro = 2,5 mm), longos e paralelos, transportam correntes de 10 A em sentidos opostos. (a) Sendo de 20 mm a distância entre seus centros, calcular o fluxo magnético por metro de fio que existe no espaço entre os eixos dos fios. (b) Que fração deste fluxo fica dentro dos fios? (c) Repetir o cálculo do item (a) para correntes de mesmo sentido.

Seção 32-5 Indução: Um Estudo Quantitativo

22E. Uma espira circular com diâmetro igual a 10 cm é colocada com sua normal fazendo um ângulo de 30° com a direção de um campo magnético uniforme de 0,50 T. A espira é impulsionada de modo que sua normal descreve um cone em torno da direção do campo a uma taxa constante de 100 rev/min; o ângulo ($= 30^\circ$) entre a normal e a direção do campo permanece inalterado durante o processo. Que fem aparece na espira?

23E. Uma barra metálica está se movendo com velocidade constante ao longo de dois trilhos metálicos paralelos, ligados por tira metálica numa das extremidades, como mostra a Fig. 32-40. Um campo magnético $\mathbf{B} = 0,350$ T aponta para fora da página. (a) Sabendo-se que os trilhos estão separados em 25,0 cm e a velocidade escalar da barra é 55,0 cm/s, que fem é gerada? (b) Sabendo-se que a resistência da barra vale 18,0 Ω e que a resistência dos trilhos é desprezível, qual é a corrente na barra?

24E. A Fig. 32-40 mostra uma barra condutora de comprimento L sendo puxada ao longo de trilhos condutores horizontais, sem atrito, com uma velocidade constante v . Um campo magnético vertical e uniforme,

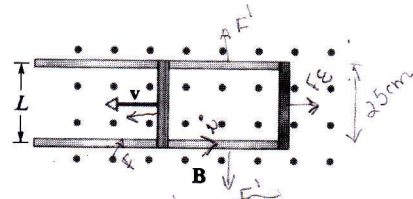


Fig. 32-40 Exercícios 23 e 24.

\mathbf{B} , preenche a região onde a barra se move. Suponha que $L = 10$ cm, $v = 5,0$ m/s e $B = 1,2$ T. (a) Qual é a fem induzida na barra? (b) Qual é a corrente na espira condutora? Considere que a resistência da barra seja 0,40 Ω e que a resistência dos trilhos seja desprezível. (c) Com que taxa a energia térmica está sendo gerada na barra? (d) Que força um agente externo deve exercer sobre a barra para manter seu movimento? (e) Com que taxa este agente externo realiza trabalho sobre a barra? Compare esta resposta com a do item (c).

25E. Na Fig. 32-41 uma barra condutora de massa m e comprimento L desliza sem atrito sobre dois trilhos horizontais longos. Um campo magnético vertical, uniforme, \mathbf{B} , preenche a região onde a barra está livre para mover-se. O gerador G fornece uma corrente constante i que flui ao longo de um trilho, através da barra e volta ao gerador ao longo do outro trilho. Determine a velocidade da barra em função do tempo, supondo que ela esteja em repouso no instante $t = 0$.

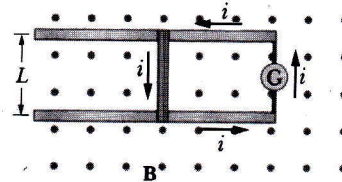


Fig. 32-41 Exercício 25 e Problema 32.

26P. Um material condutor elástico está esticado formando uma espira circular de raio igual a 12,0 cm. Ela é colocada perpendicularmente a um campo magnético uniforme de 0,800 T. Ao ser liberada, seu raio começa a se contrair numa taxa instantânea de 75,0 cm/s. Que fem é induzida na espira naquele instante?

27P. Dois trilhos retilíneos condutores formam um ângulo reto no ponto de junção de suas extremidades. Uma barra condutora em contato com os trilhos parte do vértice no instante $t = 0$ e se move com velocidade constante de 5,20 m/s para a direita, como mostra a Fig. 32-42. Um cam-

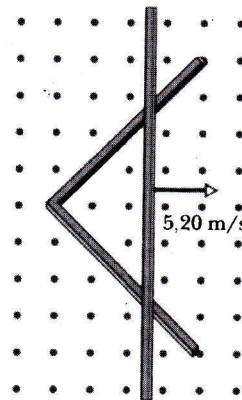


Fig. 32-42 Problema 27.

po magnético de 0,350 T aponta para fora da página. Calcular (a) o fluxo através do triângulo formado pelos trilhos e a barra no instante $t = 3,00$ s e (b) a fem induzida no triângulo nesse instante. (c) De que modo a fem induzida no triângulo varia com o tempo?

28P. Um fio resistente, dobrado na forma de uma semicircunferência de raio a é girada com uma frequência f num campo magnético uniforme, como sugerido na Fig. 32-43. Quais são (a) a frequência e (b) a amplitude da fem induzida na espira?

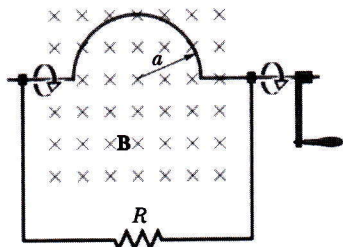


Fig. 32-43 Problema 28.

29P. Uma bobina retangular, com N espiras, comprimento a e largura b , é girada com uma frequência f num campo magnético uniforme B , como mostra a Fig. 32-44. (a) Mostre que uma fem induzida dada por

$$\mathcal{E} = 2\pi f Nab B \sin 2\pi ft = \mathcal{E}_0 \sin 2\pi ft$$

aparece na bobina. Este é o princípio de um gerador comercial de corrente alternada. (b) Projete uma bobina que produza uma fem com $\mathcal{E}_0 = 150$ V quando girada a 60,0 rev/s num campo magnético de 0,500 T.

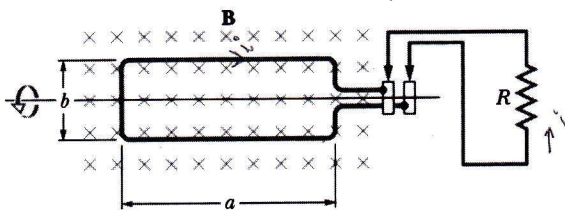


Fig. 32-44 Problema 29.

30P. Um gerador elétrico consiste em 100 espiras de fio formando uma bobina retangular de 50 cm por 30 cm, imersa completamente num campo magnético uniforme com módulo $B = 3,50$ T. Qual será o valor máximo da fem produzida quando a bobina for girada a 1.000 revoluções por minuto em torno de um eixo perpendicular a B ?

31P. Calcular a potência média fornecida pelo gerador do Problema 29b, sabendo-se que ele está ligado a um circuito de resistência igual a 42,0 Ω .

32P. No Exercício 25 (veja a Fig. 32-41), o gerador de corrente constante, G , é substituído por uma bateria que fornece uma fem constante \mathcal{E} . (a) Mostre que a velocidade da barra se aproxima, agora, de um valor terminal constante v e dê o módulo, a direção e o sentido desta velocidade. (b) Qual é a corrente na barra quando esta velocidade terminal é alcançada? (c) Analise esta situação bem como a do Exercício 25 do ponto de vista de transferência de energia.

33P. Num certo lugar, o campo magnético da Terra tem módulo $B = 0,590$ gauss e está inclinado para baixo, formando um ângulo de 70,0° com a horizontal. Uma bobina circular, plana, de raio igual a 10,0 cm, tem 1.000 espiras, uma resistência total de 85,0 Ω e está ligada a um

galvanômetro cuja resistência é de 140 Ω . A bobina, que está disposta horizontalmente, é girada meia volta em torno de um diâmetro e fica novamente na horizontal. Que quantidade de carga flui através do galvanômetro durante o giro? (Sugestão: Veja o Problema 17.)

34P. A Fig. 32-45 mostra uma barra de comprimento L que é deslocada com velocidade escalar constante v ao longo de trilhos condutores horizontais. Neste caso, o campo magnético em que a barra se move é não-uniforme, pois é criado por uma corrente i que percorre um fio longo paralelo aos trilhos. Suponha que $v = 5,00$ m/s, $a = 10,0$ mm, $L = 10,0$ cm e $i = 100$ A. (a) Calcule a fem induzida na barra. (b) Qual é a corrente na espira condutora? Suponha que a resistência da barra seja 0,400 Ω e que a resistência dos trilhos e da tira que os liga, no lado direito, sejam desprezíveis. (c) Em que taxa está sendo gerada energia térmica na barra? (d) Que força deve ser exercida sobre a barra por um agente externo para manter seu movimento? (e) Com que taxa este agente externo realiza trabalho sobre a barra? Compare esta resposta com a do item (c).

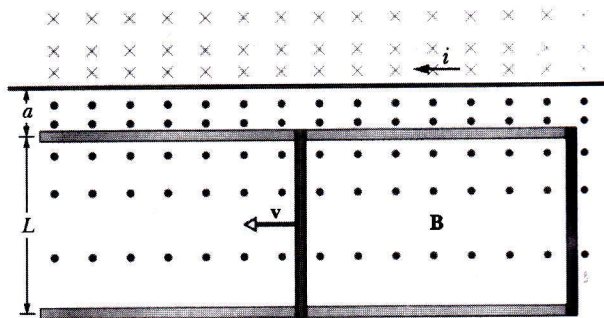


Fig. 32-45 Problema 34.

35P. Para a situação mostrada na Fig. 32-46, $a = 12,0$ cm e $b = 16,0$ cm. A corrente que percorre o fio retilíneo longo é dada por $i = 4,50 t^2 - 10,0 t$, onde i é dada em ampères e t em segundos. (a) Determine a fem na espira quadrada no instante $t = 3,00$ s. (b) Qual é o sentido da corrente induzida na espira?

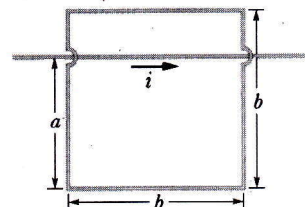


Fig. 32-46 Problema 35.

36P. Na Fig. 32-47, o lado da espira quadrada, de fio, mede 2,0 cm. Um campo magnético aponta para fora da página; seu módulo é dado por B

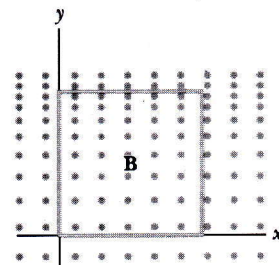


Fig. 32-47 Problema 36.

$= 4,0 t^2 y$, onde B é dado em teslas, t em segundos e y em metros. Determine a fem induzida no quadrado no instante $t = 2,5$ s e dê o seu sentido.

37P. Uma espira retangular, de fio, de comprimento a , largura b e resistência R está colocada nas proximidades de um fio infinitamente longo que transporta uma corrente i , como mostra a Fig. 32-48. A distância do fio longo ao centro da espira é r . Determine (a) o módulo do fluxo magnético através da espira e (b) a corrente na espira à medida que ela se afasta do fio longo com velocidade escalar v .

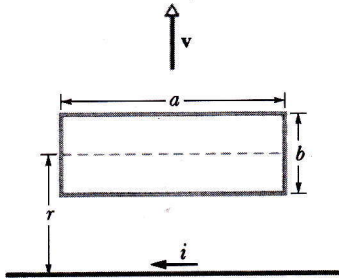


Fig. 32-48 Problema 37.

38P*. Uma barra de comprimento l , massa m e resistência R desliza sem atrito apoiada em dois trilhos condutores paralelos de resistência desprezível, como mostra a Fig. 32-49. Os trilhos estão ligados na parte de baixo, conforme é mostrado, formando, com a barra, uma espira condutora. O plano dos trilhos faz um ângulo θ com a horizontal e existe um campo magnético uniforme, vertical, B em todos os pontos da região. (a) Mostre que a barra adquire uma velocidade terminal constante cujo módulo é dado por

$$v = \frac{mgR \operatorname{sen} \theta}{B^2 l^2 \cos^2 \theta}$$

(b) Mostre que a taxa de produção de energia térmica na barra é igual à taxa com que esta perde energia potencial de gravitação. (c) Discuta a situação quando B estiver orientado para baixo ao invés de para cima.

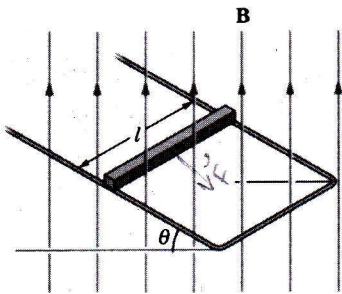


Fig. 32-49 Problema 38.

39P*. Um fio, cuja área da seção transversal é de $1,2 \text{ mm}^2$ e a resistividade é de $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, é encurvado na forma de um arco de círculo de raio $r = 24$ cm, como mostra a Fig. 32-50. Um segmento retilíneo adicional deste fio, OP , pode girar livremente em torno do pivô em O e tem contato deslizante com o arco em P . Finalmente, outro segmento retilíneo do mesmo fio, OQ , fecha o circuito. O conjunto todo está imerso num campo magnético uniforme $B = 0,15$ T, orientado para fora do plano da figura. O fio retilíneo OP parte do repouso em $\theta = 0$ com uma aceleração angular constante de 12 rad/s^2 . (a) Determine a resistência da espira $OPQO$ em função de θ . (b) Determine o fluxo magnético através da espira em função de θ . (c) Para qual valor de θ a corrente induzi-

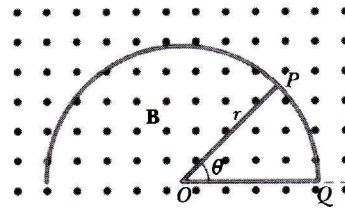


Fig. 32-50 Problema 39.

da na espira é máxima? (d) Qual é o valor máximo da corrente induzida na espira?

Seção 32-6 Campo Elétrico Induzido

40E. Um solenóide longo tem um diâmetro de 12,0 cm. Quando uma corrente i percorre suas espiras, um campo magnético uniforme $B = 30,0$ mT é produzido em seu interior. Diminuindo-se o valor de i , o campo diminui na taxa de 6,50 mT/s. Calcular o módulo do campo elétrico induzido num ponto situado a uma distância do eixo do solenóide igual a (a) 2,20 cm e (b) 8,20 cm.

41E. A Fig. 32-51 mostra duas regiões circulares, R_1 e R_2 , com raios $r_1 = 20,0$ cm e $r_2 = 30,0$ cm, respectivamente. Em R_1 existe um campo magnético uniforme $B_1 = 50,0$ mT para dentro da página e em R_2 existe um campo magnético uniforme $B_2 = 75,0$ mT para fora da página (ignore a distorção destes campos). Os dois campos estão diminuindo na taxa de 8,50 mT/s. Calcular a integral $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ para cada um dos três caminhos tracejados.

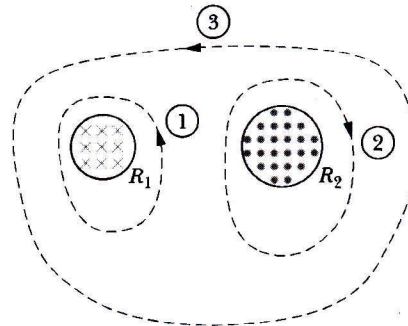


Fig. 32-51 Exercício 41.

42P. No começo de 1981, o "Francis Bitter National Magnet Laboratory" do M.I.T. começou a operar um eletroímã cilíndrico, de diâmetro 3,3 cm, que produz um campo de 30 T, na época o maior campo estacionário obtido em laboratório. O campo pode ser variado senoidalmente entre os limites de 29,6 e 30,0 T para uma frequência de 15 Hz. Quando isto é feito, qual é o valor máximo do campo elétrico induzido a uma distância radial de 1,6 cm a partir do eixo? (Sugestão: Veja o Exemplo 32-4.)

43P. A Fig. 32-52 mostra um campo magnético uniforme B confinado a um volume cilíndrico de raio R . O módulo de B está decrescendo numa taxa constante de 10 mT/s. Qual é a aceleração instantânea (módulo, direção e sentido) experimentada por um elétron, quando colocado sucessivamente nos pontos a , b e c ? Suponha $r = 5,0$ cm.

44P. Prove que o campo elétrico E , num capacitor de placas paralelas, carregado, não pode cair repentinamente a zero como é sugerido no ponto a da Fig. 32-53, à medida que nos movemos perpendicularmente ao campo, digamos, ao longo da seta horizontal mostrada na figura. Num capacitor real a distorção das linhas de campo sempre ocorre, o que sig-

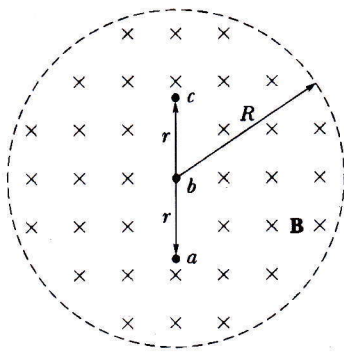


Fig. 32-52 Problema 43.

nifica que E se aproxima de zero de modo contínuo e gradual; compare este problema com o Problema 31-45. (*Sugestão:* Aplique a lei de Faraday ao caminho retangular indicado pelas linhas tracejadas.)

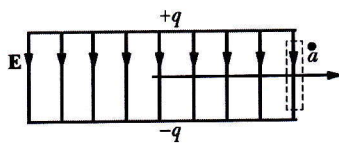


Fig. 32-53 Problema 44.

Seção 32-7 O Betatron

45E. A Fig. 32-54a mostra uma vista de cima da órbita de um elétron num betatron. Os elétrons são acelerados numa órbita circular no plano xy e, a seguir, são retirados para que possam atingir o alvo T . O campo magnético B está orientado no sentido positivo do eixo z (para fora da página). O campo magnético B_z ao longo deste eixo varia senoidalmente como mostra a Fig. 32-54b. Lembre que o campo magnético deve (i) guiar os elétrons em suas trajetórias circulares e (ii) gerar o campo elétrico que acelera os elétrons. Quais são os quartos de ciclo indicados na Fig. 32-54b condizentes: (a) com o objetivo (i), (b) com o objetivo (ii) e (c) com a operação do betatron?

46E. Num certo betatron, o raio da órbita dos elétrons vale $r = 32,0$ cm e o campo magnético na posição deste raio é dado por $B_{orb} = (0,280) \text{ sen } 120 \pi t$, onde t é dado em segundos e B_{orb} em teslas. (a) Calcular o campo elétrico induzido que atua sobre os elétrons no instante $t = 0$. (b) Determine a aceleração dos elétrons neste instante. Ignore os efeitos relativísticos.

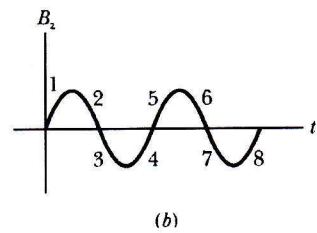
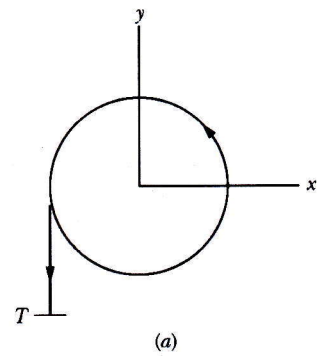


Fig. 32-54 Exercício 45.

47P. Algumas medidas do campo magnético máximo em função do raio para um betatron são:

r (cm)	B (tesla)	r (cm)	B (tesla)
0	0,950	81,2	0,409
10,2	0,950	83,7	0,400
68,2	0,950	88,9	0,381
73,2	0,528	91,4	0,372
75,2	0,451	93,5	0,360
77,3	0,428	95,5	0,340

Mostre por meio de uma análise gráfica que a relação $\bar{B} = 2B_{orb}$, mencionada na Seção 32-7 como essencial à operação do betatron, é satisfeita para o raio da órbita, $R = 84$ cm. (*Sugestão:* Note que

$$\bar{B} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R B(r) 2\pi r dr$$

e calcule a integral graficamente.)

PROBLEMAS ADICIONAIS

48. Na Fig 32-55, uma espira retangular comprida, de largura L , resistência R e massa m , está suspensa num campo magnético uniforme B , orientado para dentro da página e que existe somente acima da linha aa . A espira é, depois, solta; durante sua queda acelera até alcançar uma certa velocidade escalar v . Desprezando a resistência do ar, determine v .

49. Uma espira circular pequena, de área $2,00$ cm², está colocada no mesmo plano de uma espira circular grande, de raio $1,00$ m, e concêntrica com ela. A corrente na espira grande é variada uniformemente desde 200 A até -200 A (uma variação em sentido) num intervalo de tempo igual a $1,00$ s, começando no instante $t = 0$. (a) Qual é o campo magnético no centro da espira circular pequena em razão da corrente na espira circular grande nos instantes $t = 0$, $t = 0,500$ s e $t = 1,00$ s? (b) Que fem é induzida na espira pequena no instante $t = 0,500$ s? (Como a espira

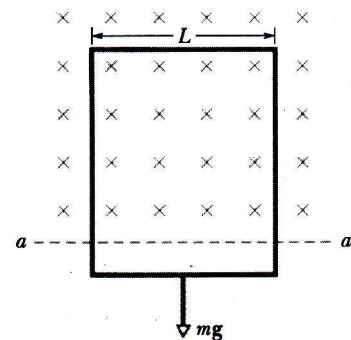


Fig. 32-55 Problema 48.

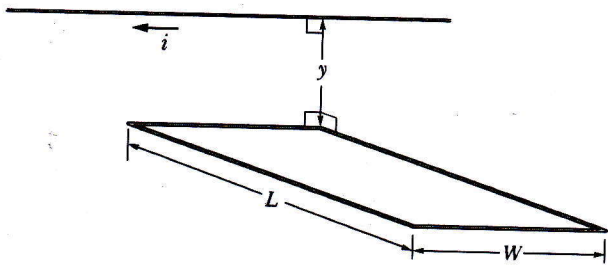


Fig. 32-56 Problema 50.

50. Na Fig. 32-56, um fio horizontal, fino e comprido, transportando uma corrente variável i se encontra a uma distância y acima da borda do fundo de uma espira retangular, horizontal, de comprimento L e largura W . A corrente no fio longo é dada por $i = i_0 \sin \omega t$. Que fem é induzida na espira?

51. Uma espira quadrada, de arame, de 20 cm de lado e resistência igual a $20 \text{ m}\Omega$ tem seu plano perpendicular a um campo magnético uniforme de módulo $B = 2,0 \text{ T}$. Afastando-se um do outro os dois lados opostos da espira, os outros dois lados são automaticamente puxados na direção um do outro, reduzindo a área delimitada pela espira. Sabendo-se que a área fica reduzida a zero em $\Delta t = 0,20 \text{ s}$, quais são (a) a fem média e (b) a corrente média induzida na espira durante Δt ?

interna é pequena, suponha que o campo \mathbf{B} graças à espira externa seja uniforme por toda a área da espira menor.)