Snow666

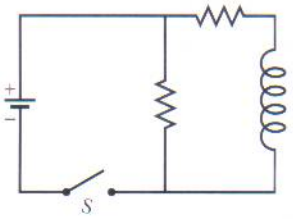

FIG. 30-35 Pergunta 9.

10 A chave do circuito da Fig. 30-20 permaneceu na posição *a* por muito tempo, e depois foi deslocada para a posição *b*. A Fig. 30-36 mostra a corrente no indutor para quatro conjuntos de valores da resistência R e da indutância L: (1) R_0 e L_0; (2) $2R_0$ e L_0; (3) R_0 e $2L_0$; (4) $2R_0$ e $2L_0$. Qual é a curva correspondente a cada conjunto?

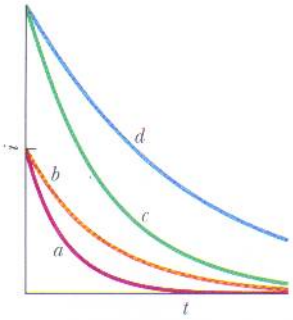

FIG. 30-36 Pergunta 10.

PROBLEMAS

• – ••• O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

seção 30-4 A Lei de Lenz

•1 Na Fig. 30-37 o fluxo de campo magnético na espira aumenta de acordo com a equação $\Phi_B = 6{,}0t^2 + 7{,}0t$, onde Φ_B está em miliwebers e t em segundos. (a) Qual é o módulo da força eletromotriz induzida na espira no instante $t = 2{,}0$ s? (b) O sentido da corrente no resistor R é para a direita ou para a esquerda?

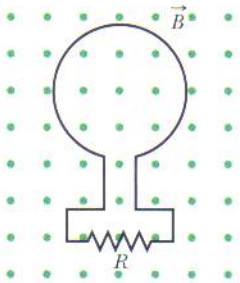

FIG. 30-37 Problema 1.

•2 Uma espira com 12 cm de raio e uma resistência de 8,5 Ω é submetida a um campo magnético uniforme $\vec{B}$ cujo módulo varia de acordo com a Fig. 30-38. A escala do eixo vertical é definida por $B_s = 0{,}50$ T, e a escala do eixo horizontal é definida por $t_s = 6{,}00$ s. O plano da espira é perpendicular a $\vec{B}$. Determine a força eletromotriz induzida na espira durante os intervalos de tempo (a) $0 < t < 2{,}0$ s; (b) $2{,}0$ s $< t < 4{,}0$ s; (c) $4{,}0$ s $< t < 6{,}0$ s.

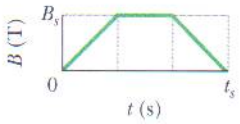

FIG. 30-38 Problema 2.

•3 Uma pequena espira com 6,8 mm² de área é colocada no interior de um solenóide longo com 854 espiras/cm, percorrido por uma corrente senoidal i com 1,28 A de amplitude e uma freqüência angular de 212 rad/s. Os eixos centrais da espira e do solenóide coincidem. Qual é a amplitude da força eletromotriz induzida na espira?

•4 Um material condutor elástico é esticado e usado para fazer uma espira circular com 12,0 cm de raio, que é submetida a um campo magnético uniforme de 0,800 T perpendicular ao plano da espira. Ao ser liberada a espira começa a se contrair, e seu raio diminui inicialmente à taxa de 75,0 cm/s. Qual é a força eletromotriz induzida na espira durante a contração?

•5 Na Fig. 30-39 uma bobina de 120 espiras, com 1,8 cm de raio e uma resistência de 5,3 Ω, é coaxial com um solenóide de 220 espiras/cm e 3,2 cm de diâmetro. A corrente no solenóide diminui de 1,5 A para zero em um intervalo de tempo $\Delta t = 25$ ms. Qual é a corrente induzida na bobina no intervalo Δt?

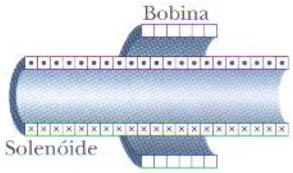

FIG. 30-39 Problema 5.

•6 Um campo magnético uniforme $\vec{B}$ é perpendicular ao plano de uma espira circular com 10 cm de diâmetro, formada por um fio com 2,5 mm de diâmetro e uma resistividade de $1{,}69 \times 10^{-8}$ Ω · m. Qual deve ser a taxa de variação de $\vec{B}$ para que uma corrente de 10 A seja induzida na espira?

•7 Na Fig. 30-40 um fio forma uma espira circular de raio $R = 2{,}0$ m e uma resistência de 4,0 Ω. Um fio retilíneo longo passa pelo centro da espira; no instante $t = 0$ a corrente no fio é 5,0 A para a direita. Para $t > 0$, a corrente varia de acordo com a equação $i = 5{,}0\text{ A} - (2{,}0\text{ A/s}^2)t^2$. (Como o fio é isolado, não há contato entre o fio e a espira.) Qual é o valor absoluto da corrente induzida na espira para $t > 0$?

Snow666

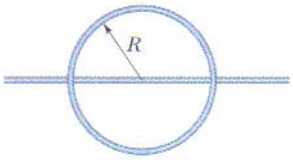

FIG. 30-40 Problema 7.

•8 A Fig. 30-41*a* mostra um circuito formado por uma fonte ideal de força eletromotriz $\mathscr{E} = 6{,}00\ \mu V$, uma resistência R e uma pequena espira com 5,0 cm² de área. Um campo magnético externo é aplicado à espira durante o intervalo de $t = 10$ s a $t = 20$ s. O campo é uniforme, dirigido para dentro do papel na Fig. 30-41*a*, e o módulo do campo é dado por $B = at$, onde B está em teslas, a é uma constante e t está em segundos. A Fig. 30-41*b* mostra a corrente i no circuito antes, durante e depois da aplicação do campo. A escala do eixo vertical é definida por $i_s = 2{,}0$ mA. Determine o valor da constante a na equação do módulo do campo.

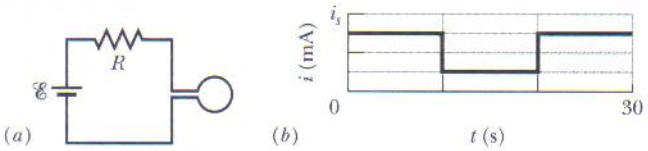

FIG. 30-41 Problema 8.

•9 Na Fig. 30-42 uma espira circular com 10 cm de diâmetro (vista de perfil) é posicionada com a normal $\vec{N}$ fazendo um ângulo $\theta = 30°$ com a direção de um campo magnético uniforme $\vec{B}$ cujo módulo é 0,50 T. A espira começa a girar de tal forma que $\vec{N}$ descreve um cone em torno da direção do campo à taxa de 100 revoluções por minuto; o ângulo θ permanece constante durante o processo. Qual é a força eletromotriz induzida na espira?

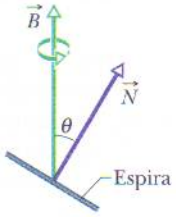

FIG. 30-42 Problema 9.

••10 Na Fig. 30-43*a* o módulo do campo magnético uniforme $\vec{B}$ aumenta com o tempo de acordo com o gráfico da Fig. 30-43*b*, onde a escala do eixo vertical é definida por $B_s = 9{,}0$ mT e a escala do eixo horizontal é definida por $t_s = 3{,}0$ s. Uma espira circular com uma área de $8{,}0 \times 10^{-4}$ m², no plano do papel, é submetida ao campo. A Fig. 30-43*c* mostra a carga q que passa pelo ponto A da espira em função do tempo t, com a escala do eixo vertical definida por $q_s = 6{,}0$ mC, e a escala do eixo horizontal definida por $t_s = 3{,}0$ s. Qual é a resistência da espira?

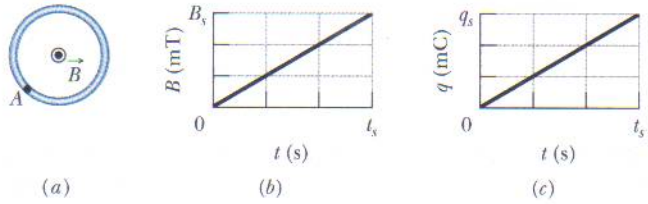

FIG. 30-43 Problema 10.

••11 Uma espira quadrada com 2,00 m de lado é mantida perpendicular a um campo magnético uniforme, com metade da área da espira na região em que existe campo, como mostra a Fig. 30-44. A espira contém uma fonte ideal de força eletromotriz $\mathscr{E} = 20{,}0$ V. Se o módulo do campo varia com o tempo de acordo com a equação $B = 0{,}0420 - 0{,}870t$, com B em teslas e t em segundos, determine (a) a força eletromotriz total aplicada à espira; (b) o sentido da corrente (total) na espira.

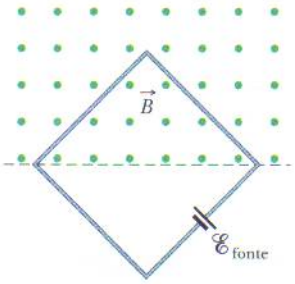

FIG. 30-44 Problema 11.

••12 A Fig. 30-45*a* mostra um fio que forma um retângulo ($W = 20$ cm, $H = 30$ cm) e tem uma resistência de 5,0 mΩ. O interior do retângulo é dividido em três partes iguais, que são submetidas a campos magnéticos $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$ e $\vec{B}_3$. Os campos são uniformes dentro de cada região e orientados para fora do papel. A Fig. 30-45*b* mostra a variação das componentes B_z dos três campos com o tempo t; a escala do eixo vertical é definida por $B_s = 4{,}0\ \mu$T e $B_b = 2{,}5B_s$, e a escala do eixo horizontal é definida por $t_s = 2{,}0$ s. Determine (a) o módulo e (b) o sentido da corrente induzida no fio.

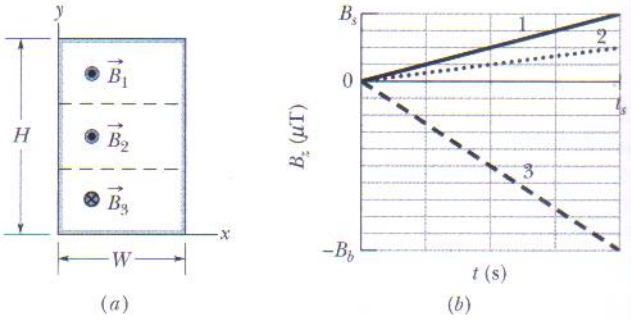

FIG. 30-45 Problema 12.

••13 Uma bobina retangular de comprimento a e largura b, com N espiras, gira com freqüência f na presença de um campo magnético uniforme $\vec{B}$, como mostra a Fig. 30-46. A bobina está ligada a cilindros metálicos que giram solidariamente a ela e nos quais estão apoiadas escovas metálicas que fazem contato com um circuito externo. (a) Mostre que a força eletromotriz induzida na bobina é dada (em função do tempo t) pela equação

$$\mathscr{E} = 2\pi fNabB\,\text{sen}(2\pi ft) = \mathscr{E}_0\,\text{sen}(2\pi ft).$$

Este é o princípio de funcionamento dos geradores comerciais de corrente alternada. (b) Para que valor de Nab a força eletromotriz gerada tem uma amplitude $\mathscr{E}_0 = 150$ V quando a bobina gira com uma freqüência de 60,0 revoluções por segundo em um campo magnético uniforme de 0,500 T?

Snow666

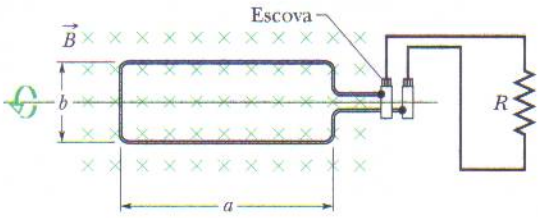

FIG. 30-46 Problema 13.

••14 A Fig. 30-47 mostra uma espira formada por um par de semicircunferências de 3,7 cm de raio situadas em planos mutuamente perpendiculares. A espira foi formada dobrando uma espira plana ao longo de um diâmetro até que as duas metades ficassem perpendiculares. Um campo magnético uniforme $\vec{B}$ de módulo 76 mT é aplicado perpendicularmente ao diâmetro da dobra, fazendo ângulos iguais (de 45°) com os planos das semicircunferências. O campo magnético é reduzido para zero a uma taxa uniforme durante um intervalo de tempo de 4,5 ms. Durante esse intervalo, determine (a) o valor absoluto e (b) o sentido (horário ou anti-horário, do ponto de vista do sentido de incidência de $\vec{B}$) da força eletromotriz induzida na espira.

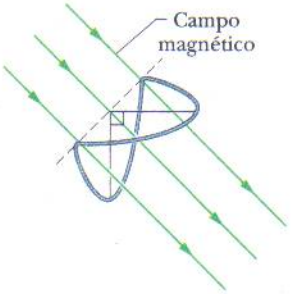

FIG. 30-47 Problema 14.

••15 Na Fig. 30-48 uma semicircunferência de fio de raio a = 2,00 cm gira com uma velocidade angular constante de 40 revoluções por segundo na presença de um campo magnético uniforme de 20 mT. Determine (a) a freqüência e (b) a amplitude da força eletromotriz induzida no circuito.

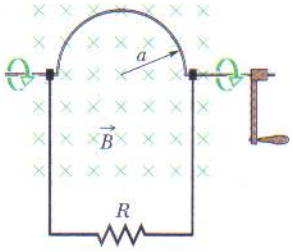

FIG. 30-48 Problema 15.

••16 Em uma certa localidade o campo magnético da Terra tem módulo B = 0,590 gauss e uma inclinação para baixo de 70,0° em relação à horizontal. Uma bobina plana horizontal tem 10,0 cm de raio, 1000 espiras e uma resistência total de 85,0 Ω e está ligada em série com um medidor com 140 Ω de resistência. A bobina descreve meia revolução em torno de um diâmetro. Qual é a carga que atravessa o medidor durante o movimento?

••17 Um gerador elétrico contém uma bobina de 100 espiras retangulares de 50,0 cm por 30,0 cm. A bobina é submetida a um campo magnético uniforme de módulo B = 3,50 T com $\vec{B}$ inicialmente perpendicular ao plano da bobina. Qual é o valor máximo da força eletromotriz produzida quando a bobina gira a 1000 revoluções por minuto em torno de um eixo perpendicular a $\vec{B}$?

••18 Na Fig. 30-49 uma espira retangular de dimensões L = 40,0 cm e W = 25,0 cm é submetida a um campo magnético $\vec{B}$. Determine (a) o módulo $\mathscr{E}$ e (b) o sentido (horário, anti-horário ou "nenhum", se $\mathscr{E} = 0$) da força eletromotriz induzida na espira se $\vec{B} = (4{,}00 \times 10^{-2}\ \text{T/m})y\hat{k}$. Determine (c) $\mathscr{E}$ e (d) o sentido de $\mathscr{E}$ se $\vec{B} = (6{,}00 \times 10^{-2}\ \text{T/s})t\hat{k}$. Determine (e) $\mathscr{E}$ e (f) o sentido de $\mathscr{E}$ se $\vec{B} = (8{,}00 \times 10^{-2}\ \text{T/m})yt\hat{k}$. Determine (g) $\mathscr{E}$ e (h) o sentido de $\mathscr{E}$ se $\vec{B} = (3{,}00 \times 10^{-2}\ \text{T/m})xt\hat{j}$. Determine (i) $\mathscr{E}$ e (j) o sentido de $\mathscr{E}$ se $\vec{B} = (5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{T/m} \cdot \text{s})yt\hat{i}$.

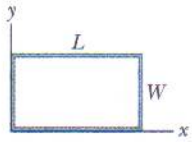

FIG. 30-49 Problema 18.

••19 Cem espiras de fio de cobre (isolado) são enroladas em um núcleo cilíndrico de madeira com uma seção reta de $1{,}20 \times 10^{-3}$ m². As duas extremidades do fio são ligadas a um resistor. A resistência total do circuito é 13,0 Ω. Se um campo magnético longitudinal uniforme aplicado ao núcleo muda de 1,60 T em um sentido para 1,60 T no sentido oposto, qual é a carga que passa por um ponto do circuito durante a mudança?

••20 Uma espira retangular, como uma área de 0,15 m², está girando na presença de um campo magnético uniforme de módulo B = 0,20 T. Quando o ângulo entre o campo e a normal ao plano da espira é $\pi/2$ e está aumentando à taxa de 0,60 rad/s, qual é a força eletromotriz induzida na espira?

••21 A Fig. 30-50 mostra duas espiras paralelas com um eixo comum. A espira menor (de raio r) está acima da espira maior (de raio R) a uma distância $x \gg R$. Em conseqüência, o campo magnético produzido por uma corrente i que atravessa a espira maior no sentido anti-horário é praticamente uniforme na região limitada pela espira menor. A distância x está aumentando a uma taxa constante $dx/dt = v$. (a) Escreva uma expressão para o fluxo magnético através da bobina menor em função de x. (*Sugestão:* Veja a Eq. 29-27.) (b) Escreva uma expressão para a força eletromotriz induzida na espira menor. (c) Determine o sentido da corrente induzida na espira menor.

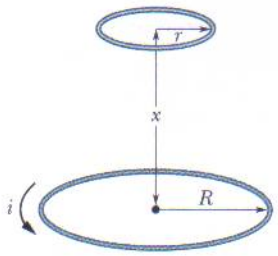

FIG. 30-50 Problema 21.

••22 Uma espira é formada por três segmentos circulares, todos de raio r = 10 cm, como mostra a Fig. 30-51. Cada segmento é um quarto de circunferência: ab está no plano xy, bc no plano yz e ca no plano zx. (a) Se um campo magnético uniforme $\vec{B}$ aponta

Snow666

no sentido positivo do eixo x, qual é o valor absoluto da força eletromotriz que aparece na espira quando B aumenta à taxa de 3,0 mT/s? (b) Qual é o sentido da corrente no segmento bc?

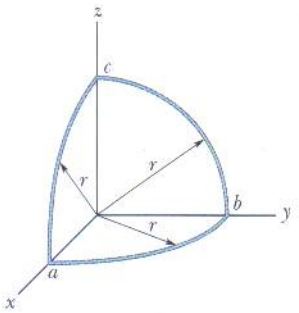

FIG. 30-51 Problema 22.

••23 Uma pequena espira circular com 2,00 cm² de área é concêntrica e coplanar com uma espira circular muito maior, com 1,00 m de raio. A corrente na espira maior varia a uma taxa constante de 200 A para −200 A (ou seja, troca de sentido) em um intervalo de 1,00 s, começando no instante $t = 0$. Determine o módulo do campo magnético $\vec{B}$ no centro da espira menor devido à corrente na espira menor (a) em $t = 0$; (b) em $t = 0{,}500$ s; (c) em $t = 1{,}00$ s. (d) O campo $\vec{B}$ troca de sentido no intervalo $0 < t < 1{,}00$ s? Como a espira menor é pequena, suponha que $\vec{B}$ é uniforme no seu interior. (e) Determine a força eletromotriz induzida na espira menor no instante $t = 0{,}500$ s.

•••24 No sistema da Fig. 30-52 $a = 12{,}0$ cm e $b = 16{,}0$ cm. A corrente no fio retilíneo longo é dada por $i = 4{,}50t^2 - 10{,}0t$, onde i está em ampères e t em segundos. (a) Determine a força eletromotriz na espira quadrada no instante $t = 3{,}00$ s. (b) Qual é o sentido da corrente induzida na espira?

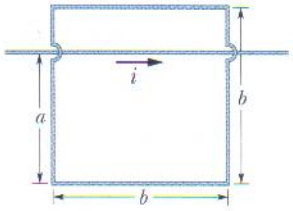

FIG. 30-52 Problema 24.

•••25 Na Fig. 30-53 uma espira quadrada com 2,0 cm de lado é submetida a um campo magnético, dirigido para fora do papel, cujo módulo é dado por $B = 4{,}0t^2y$, onde B está em teslas, t em segundos e y em metros. No instante $t = 2{,}5$ s, determine (a) o valor absoluto e (b) o sentido da força eletromotriz induzida na espira.

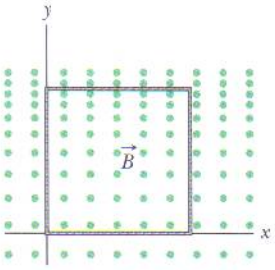

FIG. 30-53 Problema 25.

•••26 Na Fig. 30-54 uma espira retangular de comprimento $a = 2{,}2$ cm, largura $b = 0{,}80$ cm e resistência $R = 0{,}40$ mΩ é colocada nas vizinhanças de um fio infinitamente longo percorrido por uma corrente $i = 4{,}7$ A. Em seguida, a espira é afastada do fio com uma velocidade constante $v = 3{,}2$ mm/s. Quando o centro da espira está a uma distância $r = 1{,}5b$ do fio, determine (a) o valor absoluto do fluxo magnético que atravessa a espira; (b) a corrente induzida na espira.

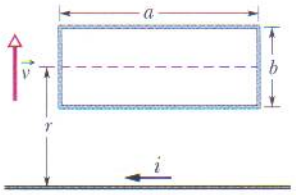

FIG. 30-54 Problema 26.

•••27 Dois fios longos e paralelos de cobre, com 2,5 mm de diâmetro, conduzem correntes de 10 A em sentidos opostos. (a) Se os eixos centrais dos fios estão separados por uma distância de 20 mm, determine o fluxo magnético por metro de fio que existe no espaço entre os fios. (b) Que porcentagem desse fluxo está no interior dos fios? (c) Repita o item (a) supondo que as correntes têm o mesmo sentido.

seção 30-5 Indução e Transferências de Energia

•28 Na Fig. 30-55*a* uma espira circular é concêntrica com um solenóide e está em um plano perpendicular ao eixo central do solenóide. A espira tem 6,00 cm de raio. O solenóide tem um raio de 2,00 cm, possui 8000 espiras/cm e sua corrente i_{sol} varia com o tempo t da forma indicada na Fig. 30-55*b*, onde a escala do eixo vertical é definida por $i_s = 1{,}00$ A e a escala do eixo horizontal é definida por $t_s = 2{,}0$ s. A Fig. 30-55*c* mostra, em função do tempo, a energia E_t que é transformada em energia térmica na espira; a escala do eixo vertical é definida por $E_s = 100{,}0$ nJ. Qual é a resistência da espira?

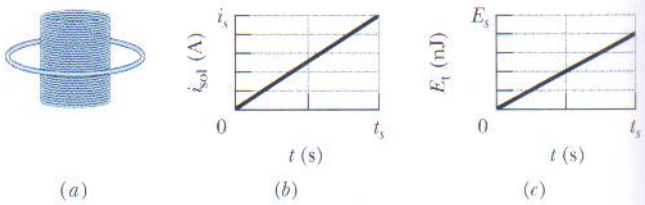

FIG. 30-55 Problema 28.

•29 Se 50,0 cm de um fio de cobre com 1,00 mm de diâmetro são usados para formar uma espira circular, que é mantida perpendicular a um campo magnético uniforme que está aumentando a uma taxa constante de 10,0 mT/s, qual é a taxa com a qual é gerada energia térmica na espira?

•30 Uma antena em forma de espira, com uma área de 2,00 cm² e uma resistência de 5,21 μΩ, é mantida perpendicular a um campo magnético uniforme de módulo 17,0 μT. O módulo do campo diminui para zero em 2,96 ms. Qual é a energia térmica produzida na espira pela variação do campo?

•31 Na Fig. 30-56 uma barra de metal é forçada a se mover com velocidade constante $\vec{v}$ ao longo de dois trilhos paralelos liga-

Snow666

dos em uma das extremidades por uma fita de metal. Um campo magnético de módulo $B = 0{,}350$ T aponta para fora do papel. (a) Se a distância entre os trilhos é 25,0 cm e a velocidade escalar da barra é 55,0 cm/s, qual é o valor absoluto da força eletromotriz gerada? (b) Se a barra tem uma resistência de 18,0 Ω e a resistência dos trilhos e da fita de ligação é desprezível, qual é a corrente na barra? (c) Qual é a taxa com a qual a energia é transformada em energia térmica?

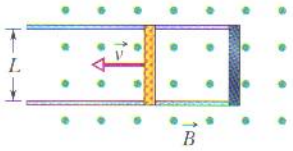

FIG. 30-56 Problema 31.

••32 Na Fig. 30-57 dois trilhos condutores retilíneos formam um ângulo reto. Uma barra condutora em contato com os trilhos parte do vértice no instante $t = 0$ com uma velocidade escalar constante de 5,20 m/s e passa a se mover entre os trilhos. Há um campo magnético $B = 0{,}350$ T, dirigido para fora da página, em toda a região. Determine (a) o fluxo magnético através do triângulo formado pelos trilhos e a barra no instante $t = 3{,}00$ s e (b) a força eletromotriz aplicada ao triângulo nesse instante. (c) Se a força eletromotriz é dada por $\mathscr{E} = at^n$, onde a e n são constantes, determine o valor de n.

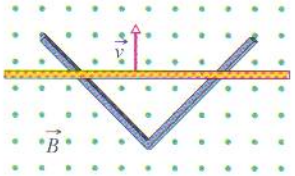

FIG. 30-57 Problema 32.

••33 A barra condutora da Fig. 30-56 tem comprimento L e está sendo puxada sobre trilhos horizontais condutores, sem atrito, com velocidade constante $\vec{v}$. Os trilhos estão ligados em uma das extremidades por uma fita condutora. Um campo magnético uniforme $\vec{B}$, orientado para fora do papel, ocupa a região na qual se move a barra. Suponha que $L = 10$ cm, $v = 5{,}0$ m/s e $B = 1{,}2$ T. Determine (a) o módulo e (b) o sentido (para cima ou para baixo) da força eletromotriz induzida na barra. Determine também (c) o valor absoluto e (d) o sentido da corrente na espira formada pela barra, os trilhos e a fita. Suponha que a resistência da barra é 0,40 Ω e que a resistência dos trilhos e da fita é desprezível. (e) Qual é a taxa com a qual a energia é dissipada na barra em forma de calor? (f) Qual é o módulo da força externa que deve ser aplicada à barra para que ela continue a se mover com velocidade v? (g) Qual é a taxa com a qual esta força executa trabalho sobre a barra?

••34 Na Fig. 30-58 uma espira retangular muito longa, de largura L, resistência R e massa m, está inicialmente suspensa na presença de um campo magnético horizontal uniforme $\vec{B}$ orientado para dentro do papel, que existe apenas acima da reta aa. Deixa-se cair a espira, que acelera sob a ação da gravidade até atingir uma certa velocidade terminal v_t. Escreva uma expressão para v_t, ignorando a resistência do ar.

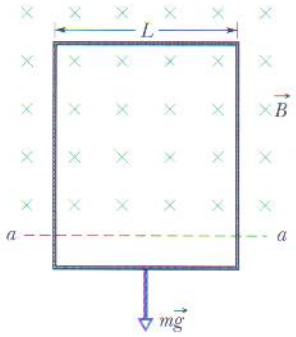

FIG. 30-58 Problema 34.

••35 A Fig. 30-59 mostra uma barra de comprimento $L = 10{,}0$ cm que é forçada a se mover com velocidade escalar constante $v = 5{,}00$ m/s ao longo de trilhos horizontais. A barra, os trilhos e a fita metálica na extremidade direita dos trilhos formam uma espira condutora. A barra tem uma resistência de 0,400 Ω; a resistência do resto da espira é desprezível. Uma corrente $i = 100$ A que percorre um fio longo situado a uma distância $a = 10{,}0$ mm da espira produz um campo magnético (não-uniforme) que atravessa a espira. Determine (a) a força eletromotriz e (b) a corrente induzida da espira. (c) Qual é a potência dissipada na espira? (d) Qual é o módulo da força que deve ser aplicada à espira para que se mova com velocidade constante? (e) Qual é a taxa com a qual essa força executa trabalho sobre a espira?

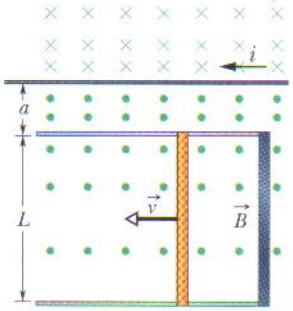

FIG. 30-59 Problema 35.

seção 30-6 Campos Elétricos Induzidos

•36 A Fig. 30-60 mostra duas regiões circulares, R_1 e R_2, de raios $r_1 = 20{,}0$ cm e $r_2 = 30{,}0$ cm. Em R_1 existe um campo magnético uniforme de módulo $B_1 = 50{,}0$ mT dirigido para dentro do papel, e em R_2 existe um campo magnético uniforme de módulo $B_2 = 75{,}0$ mT dirigido para fora do papel (ignore os efeitos de borda). Os dois campos estão diminuindo à taxa de 8,50 mT/s. Calcule o valor de $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ (a) para a trajetória 1; (b) para a trajetória 2; (c) para a trajetória 3.

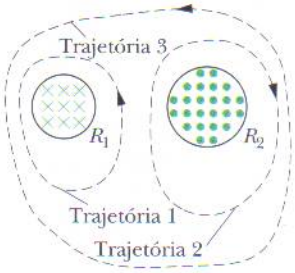

FIG. 30-60 Problema 36.

Snow666

•37 Um solenóide longo tem um diâmetro de 12,0 cm. Quando o solenóide é percorrido por uma corrente i um campo magnético uniforme de módulo $B = 30{,}0$ mT é produzido no seu interior. Através de uma diminuição da corrente i o campo magnético é reduzido a uma taxa de 6,50 mT/s. Determine o módulo do campo elétrico induzido (a) a 2,20 cm e (b) a 8,20 cm de distância do eixo do solenóide.

••38 Uma região circular no plano xy é atravessada por um campo magnético uniforme orientado no sentido positivo do eixo z. O módulo B do campo (em teslas) aumenta com o tempo t (em segundos) de acordo com a equação $B = at$, onde a é uma constante. A Fig. 30-61 mostra o módulo E do campo elétrico criado por esse aumento do campo magnético em função da distância radial r; a escala do eixo vertical é definida por $E_s = 300\ \mu$N/C, e a escala do eixo horizontal é definida por $r_s = 4{,}00$ cm. Determine o valor de a.

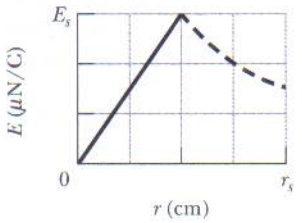

FIG. 30-61 Problema 38.

••39 O campo magnético de um ímã cilíndrico com 3,3 cm de diâmetro varia senoidalmente entre 29,6 T e 30,0 T com uma freqüência de 15 Hz. Qual é a amplitude do campo elétrico induzido por essa variação a uma distância de 1,6 cm do eixo do cilindro?

seção 30-7 Indutores e Indutância

•40 A indutância de uma bobina compacta de 400 espiras é 8,0 mH. Calcule o fluxo magnético através da bobina quando a corrente é 5,0 mA.

•41 Uma bobina circular tem 10,0 cm de raio e 30,0 espiras compactas. Um campo magnético externo de módulo 2,60 mT é aplicado perpendicularmente ao plano da bobina. (a) Se a corrente na bobina é zero, qual é o fluxo magnético que enlaça as espiras? (b) Quando a corrente na bobina é 3,80 A em um certo sentido, o fluxo magnético através da bobina é zero. Qual é a indutância da bobina?

••42 A Fig. 30-62 mostra uma fita de cobre de largura $W = 16{,}0$ cm que foi enrolada para formar um tubo de raio $R = 1{,}8$ cm com duas extensões planas. Uma corrente $i = 35$ mA está distribuída uniformemente na fita, fazendo com que o tubo se comporte como um solenóide de uma espira. Suponha que o campo magnético do lado de fora do tubo é desprezível e que o campo magnético no interior do tubo é uniforme. Determine (a) o módulo do campo magnético no interior do tubo; (b) a indutância do tubo (desprezando as extensões planas).

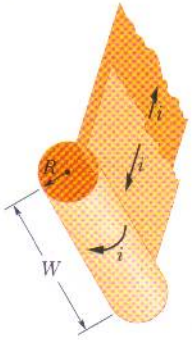

FIG. 30-62 Problema 42.

••43 Dois fios longos iguais, de raio $a = 1{,}53$ mm, são paralelos e conduzem correntes iguais em sentidos opostos. A distância entre os eixos centrais dos fios é $d = 14{,}2$ cm. Despreze o fluxo no interior dos fios, mas considere o fluxo na região entre os fios. Qual é a indutância dos fios por unidade de comprimento?

seção 30-8 Auto-indução

•44 Um indutor de 12 H conduz uma corrente de 2,0 A. Qual deve ser a taxa de variação da corrente para que a força eletromotriz induzida no indutor seja 60 V?

•45 Em um certo instante a corrente e a força eletromotriz auto-induzida em um indutor têm os sentidos indicados na Fig. 30-63. (a) A corrente está aumentando ou diminuindo? (b) A força eletromotriz induzida é 17 V e a taxa de variação da corrente é 25 kA/s; determine a indutância.

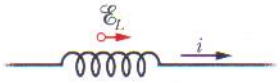

FIG. 30-63 Problema 45.

••46 A corrente i em um indutor de 4,6 H varia com o tempo t de acordo com o gráfico da Fig. 30-64, onde a escala do eixo vertical é definida por $i_s = 8{,}0$ A e a escala do eixo horizontal é definida por $t_s = 6{,}0$ ms. O indutor tem uma resistência de 12 Ω. Determine o módulo da força eletromotriz induzida $\mathscr{E}$ (a) para $0 < t < 2$ ms; (b) para $2\text{ ms} < t < 5$ ms; (c) para $5\text{ ms} < t < 6$ ms.

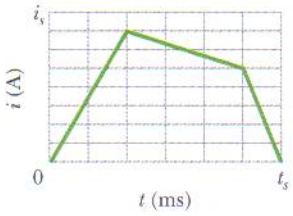

FIG. 30-64 Problema 46.

••47 *Indutores em série.* Dois indutores L_1 e L_2 estão ligados em série e estão separados por uma distância tão grande que o campo magnético de um não pode afetar o outro. (a) Mostre que a indutância equivalente é dada por

$$L_{eq} = L_1 + L_2.$$

(*Sugestão:* Estude novamente as seções que tratam de resistores em série e capacitores em série. Qual é a situação mais semelhante ao caso atual?) (b) Qual é a generalização da expressão do item (a) para N indutores em série?

••48 *Indutores em paralelo.* Dois indutores L_1 e L_2 estão ligados em paralelo e estão separados por uma distância tão grande que o campo magnético de um não pode afetar o outro. (a) Mostre que a indutância equivalente é dada por

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}.$$

(*Sugestão:* Estude novamente as seções que tratam de resistores em série e capacitores em paralelo. Qual é a situação mais semelhante ao caso atual?) (b) Qual é a generalização da expressão do item (a) para N indutores em paralelo?

••49 O circuito de indutores da Fig. 30-65, com $L_1 = 30{,}0$ mH, $L_2 = 50{,}0$ mH, $L_3 = 20{,}0$ mH e $L_4 = 15{,}0$ mH, é ligado a uma fonte de corrente alternada. Qual é a indutância equivalente do circuito? (*Sugestão:* Veja os Problemas 47 e 48.)

Snow666

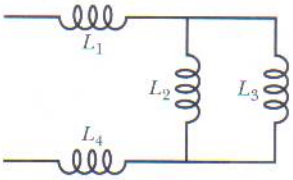

FIG. 30-65 Problema 49.

seção 30-9 Circuitos *RL*

•50 A chave da Fig. 30-20 é colocada na posição *a* no instante $t = 0$. Determine a razão $\mathscr{E}_L/\mathscr{E}$ entre a força eletromotriz autoinduzida no indutor e a força eletromotriz da fonte (a) logo após o instante $t = 0$; (b) no instante $t = 2{,}00\tau_L$. (c) Para que múltiplo de τ_L temos $\mathscr{E}_L/\mathscr{E} = 0{,}500$?

•51 Uma bateria é ligada a um circuito *RL* série no instante $t = 0$. Para que múltiplo de τ_L a corrente atinge um valor 0,100% menor que o valor final?

•52 A corrente em um circuito *RL* aumenta para um terço do valor final em 5,00 s. Determine a constante de tempo indutiva.

•53 A corrente em um circuito RL diminui de 1,0 A para 10 mA no primeiro segundo depois que a fonte é removida do circuito. Se $L = 10$ H, determine a resistência R do circuito.

•54 Na Fig. 30-66 o indutor tem 25 espiras e a fonte ideal tem uma força eletromotriz de 16 V. A Fig. 30-67 mostra o fluxo magnético Φ nas espiras do indutor em função da corrente *i*. A escala do eixo vertical é definida por $\Phi_s = 4{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{T \cdot m^2}$, e a escala do eixo horizontal é definida por $i_s = 2{,}00$ A. Se a chave S é fechada na instante $t = 0$, qual é a taxa de variação da corrente, di/dt no instante $t = 1{,}5\tau_L$?

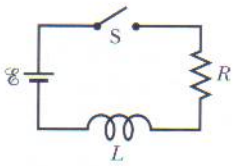

FIG. 30-66 Problemas 54, 83, 87, 94 e 99.

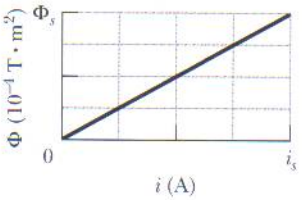

FIG. 30-67 Problema 54.

•55 Um solenóide com uma indutância de 6,30 μH é ligado em série com um resistor de 1,20 kΩ. (a) Se uma bateria de 14,0 V é ligada ao par de componentes, quanto tempo é necessário para que a corrente no resistor atinja 80,0% do valor final? (b) Qual é a corrente no resistor no instante $t = 1{,}0\tau_L$?

•56 Na Fig. 30-68 $\mathscr{E} = 100$ V, $R_1 = 10{,}0\ \Omega$, $R_2 = 20{,}0\ \Omega$, $R_3 = 30{,}0\ \Omega$ e $L = 2{,}00$ H. Determine os valores de (a) i_1 e (b) i_2 logo depois que a chave S é fechada. (Tome as correntes nos sentidos indicados na figura como sendo positivas, e as correntes no sentido oposto como sendo negativas.) Determine também os valores de (c) i_1 e (d) i_2 muito tempo depois de a chave ter sido fechada. A chave é aberta depois de ter permanecido fechada por muito tempo. Determine os valores de (e) i_1 e (f) i_2 logo depois de a chave ser novamente aberta. Determine também os valores de (g) i_1 e (h) i_2 muito tempo depois de a chave ser novamente aberta.

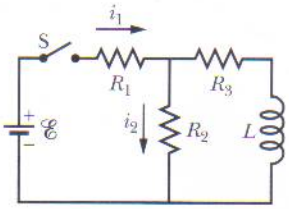

FIG. 30-68 Problema 56.

••57 Na Fig. 30-69 $R = 15\ \Omega$, $L = 5{,}0$ H, a força eletromotriz da fonte ideal é $\mathscr{E} = 10$ V e o fusível do ramo superior é um fusível ideal de 3,0 A. A resistência do fusível é zero enquanto a corrente que o atravessa permanece abaixo de 3,0 A. Quando atinge o valor de 3,0 A o fusível "queima" e passa a apresentar uma resistência infinita. A chave S é fechada no instante $t = 0$. (a) Em que instante o fusível queima? (*Sugestão:* A Eq. 30-41 não se aplica; use a Eq. 30-39.) (b) Faça um gráfico da corrente *i* no indutor em função do tempo e assinale o instante em que o fusível queima.

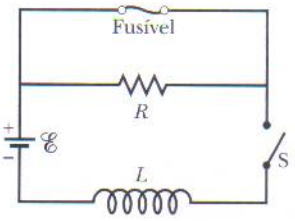

FIG. 30-69 Problema 57.

••58 A força eletromotriz da fonte do circuito da Fig. 30-21 varia com o tempo de tal forma que a corrente é dada por $i(t) = 3{,}0 + 5{,}0t$, onde *i* está em ampères e *t* em segundos. Suponha que $R = 4{,}0\ \Omega$ e $L = 6{,}0$ H e escreva uma expressão para a força eletromotriz da fonte em função de *t*. (*Sugestão:* Use a regra das malhas.)

•••59 Na Fig. 30-70, depois que a chave S é fechada no instante $t = 0$, a força eletromotriz da fonte é ajustada automaticamente para manter uma corrente constante *i* passando pela chave. (a) Determine a corrente no indutor em função do tempo. (b) Em que instante a corrente no resistor é igual à corrente no indutor?

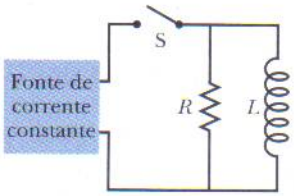

FIG. 30-70 Problema 59.

•••60 Um núcleo toroidal de madeira, de seção reta quadrada, possui um raio interno de 10 cm e um raio externo de 12 cm. Em torno desse núcleo é enrolada uma camada de espiras. O fio tem 1,0 mm de diâmetro e uma resistência de 0,020 Ω/m. Determine (a) a indutância; (b) a constante de tempo indutiva do conjunto. Ignore a espessura do isolamento do fio.

seção 30-10 Energia Armazenada em um Campo Magnético

•61 No instante $t = 0$ uma bateria é ligada em série a um resistor e a um indutor. Se a constante de tempo indutiva é 37,0 ms, em que instante a taxa com a qual a energia é dissipada no resistor é igual à taxa com a qual a energia é armazenada no campo magnético do indutor?

Snow666

•62 No instante $t = 0$ uma bateria é ligada em série com um resistor e um indutor. Para que múltiplo da constante de tempo indutiva a energia armazenada no campo magnético do indutor é 0,500 vez o valor final?

•63 Uma bobina é ligada em série com um resistor de 10,0 kΩ. Uma fonte ideal de 50,0 V é ligada em série com os dois componentes e a corrente atinge um valor de 2,00 mA após 5,00 ms. (a) Determine a indutância da bobina. (b) Determine a energia armazenada na bobina nesse instante.

•64 Uma bobina com uma indutância de 2,0 H e uma resistência de 10 Ω são ligadas bruscamente a uma fonte ideal com $\mathscr{E}$ = 100 V. Um décimo de segundo após ser feita a ligação determine (a) a taxa com a qual a energia está sendo armazenada no campo magnético da bobina; (b) a potência dissipada na resistência; (c) a potência fornecida pela fonte.

••65 No circuito da Fig. 30-21, suponha que $\mathscr{E}$ = 10,0 V, R = 6,70 Ω e L = 5,50 H. A fonte ideal é ligada no instante $t = 0$. (a) Qual é a energia fornecida pela fonte durante os primeiros 2,00 s? (b) Qual é a energia armazenada no campo magnético do indutor nesse mesmo intervalo? (c) Qual é a energia dissipada no resistor nesse mesmo intervalo?

••66 A Fig. 30-71*a* mostra, em seção reta, dois fios retilíneos, paralelos e muito compridos. A razão i_1/i_2 entre a corrente no fio 1 e a corrente no fio 2 é 1/3. O fio 1 é mantido fixo no lugar. O fio 2 pode ser deslocado ao longo do semi-eixo x positivo, o que faz variar a densidade de energia magnética u_B criada pelas duas correntes na origem. A Fig. 30-71*b* mostra um gráfico de u_B em função da posição x do fio 2. A curva tem uma assíntota u_B = 1,96 nJ/m³ para $x \rightarrow \infty$ e a escala do eixo horizontal é definida por x_s = 60,0 cm. Determine os valores de (a) i_1 e (b) i_2.

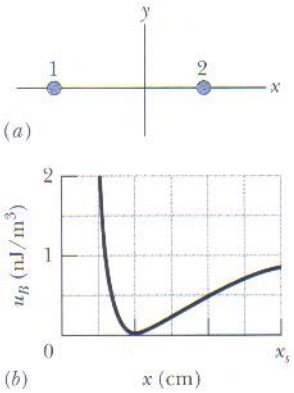

FIG. 30-71 Problema 66.

seção 30-11 Densidade de Energia de um Campo Magnético

•67 Qual deve ser o módulo de um campo elétrico uniforme para que possua a mesma densidade de energia que um campo magnético de 0,50 T?

•68 Um indutor toroidal com uma indutância de 90,0 mH envolve um volume de 0,0200 m³. Se a densidade de energia média no toróide é 70,0 J/m³, qual é a corrente no indutor?

•69 Um solenóide tem 85,0 cm de comprimento, uma seção reta de 17,0 cm², 950 espiras e é percorrido por uma corrente de 6,60 A. (a) Calcule a densidade de energia do campo magnético no interior do solenóide. (b) Determine a energia total armazenada no campo magnético, desprezando os efeitos de borda.

•70 Uma espira circular com 50 mm de raio conduz uma corrente de 100 A. Determine (a) a intensidade do campo magnético e (b) a densidade de energia no centro da espira.

••71 Um fio de cobre conduz uma corrente de 10 A uniformemente distribuída em sua seção reta. Calcule a densidade de energia (a) do campo magnético e (b) do campo elétrico na superfície do fio. O diâmetro do fio é 2,5 mm e a resistência é 3,3 Ω/km.

seção 30-12 Indução Mútua

•72 Dois solenóides fazem parte do circuito de ignição de um automóvel. Quando a corrente em um dos solenóides diminui de 6,0 A para zero em 2,5 ms uma força eletromotriz de 30 kV é induzida no outro solenóide. Qual é a indutância mútua M dos solenóides?

•73 Duas bobinas são mantidas fixas no espaço. Quando a corrente na bobina 1 é zero e a corrente na bobina 2 aumenta à taxa de 15,0 A/s a força eletromotriz na bobina 1 é 25,0 mV. (a) Qual é a indutância mútua das duas bobinas? (b) Quando a corrente na bobina 2 é zero e a corrente na bobina 1 é 3,60 A, qual é o enlaçamento de fluxo da bobina 2?

•74 A bobina 1 tem L_1 = 25 mH e N_1 = 100 espiras. A bobina 2 tem L_2 = 40 mH e N_2 = 200 espiras. As bobinas são mantidas fixas no espaço; a indutância mútua é 3,0 mH. Uma corrente de 6,0 mA na bobina 1 está variando à taxa de 4,0 A/s. Determine (a) o enlaçamento de fluxo magnético Φ_{12} da bobina 1; (b) a força eletromotriz auto-induzida na bobina 1; (c) o enlaçamento de fluxo magnético Φ_{21} na bobina 2; (d) a força eletromotriz auto-induzida na bobina 2.

••75 As duas bobinas da Fig. 30-72 têm indutâncias L_1 e L_2 quando estão muito afastadas. A indutância mútua é M. (a) Mostre que a combinação que aparece na figura pode ser substituída por uma indutância equivalente dada por

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M.$$

(b) De que forma as bobinas da Fig. 30-72 podem ser ligadas para que a indutância equivalente seja

$$L_{eq} = L_1 + L_2 - 2M?$$

(Este problema é uma extensão do Problema 47, na qual a condição de que as bobinas estejam muito afastadas foi suprimida.)

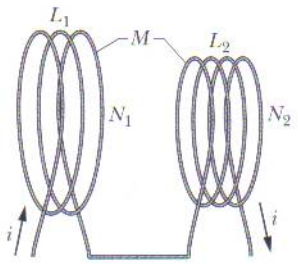

FIG. 30-72 Problema 75.

••76 Uma bobina C de N espiras envolve um solenóide longo S de raio R e n espiras por unidade de comprimento, como na Fig. 30-73. (a) Mostre que a indutância mútua da combinação bobina-solenóide é dada por $M = \mu_0 \pi R^2 nN$. (b) Explique por que M não depende da forma, do tamanho ou da possível falta de compactação da bobina.

Snow666

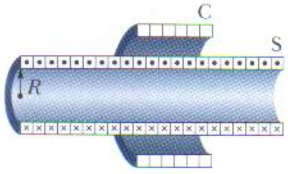

FIG. 30-73 Problema 76.

••77 Uma bobina retangular com N espiras compactas é colocada nas proximidades de um fio retilíneo longo, como mostra a Fig. 30-74. Qual é a indutância mútua M da combinação fio-bobina para $N = 100$, $a = 1{,}0$ cm, $b = 8{,}0$ cm e $l = 30$ cm?

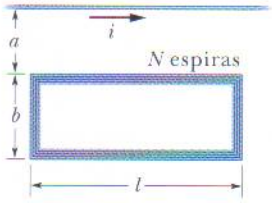

FIG. 30-74 Problema 77.

Problemas Adicionais

78 A Fig. 30-75*a* mostra duas regiões circulares concêntricas nas quais campos magnéticos uniformes podem variar. A região 1, com um raio $r_1 = 1{,}0$ cm, possui um campo magnético $\vec{B}_1$ dirigido para fora do papel cujo módulo está aumentando. A região 2, com um raio $r_2 = 2{,}0$ cm, possui um campo magnético $\vec{B}_2$ dirigido para fora do papel que também pode estar variando. Um anel condutor de raio R é colocado entre as duas regiões, e a força eletromotriz no anel é medida. A Fig. 30-75*b* mostra a força eletromotriz $\mathscr{E}$ em função do quadrado R^2 do raio do anel, entre o centro comum das regiões e a extremidade externa da região 2. A escala do eixo vertical é definida por $\mathscr{E}_s = 20{,}0$ nV. Determine os valores das taxas (a) dB_1/dt e (b) dB_2/dt. (c) O módulo de $\vec{B}_2$ está aumentando, diminuindo ou permanece constante?

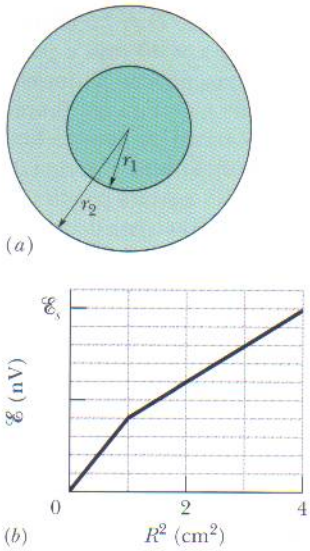

FIG. 30-75 Problema 78.

79 A Fig. 30-76 mostra um campo magnético uniforme $\vec{B}$ confinado a um volume cilíndrico de raio R. O módulo de $\vec{B}$ está diminuindo a uma taxa constante de 10 mT/s. Em termos dos vetores unitários, determine a aceleração inicial de um elétron liberado (a) no ponto a (a uma distância radial $r = 5{,}0$ cm); (b) no ponto b ($r = 0$); (c) no ponto c ($r = 5{,}0$ cm).

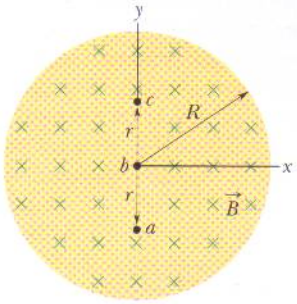

FIG. 30-76 Problema 79.

80 A indutância de uma bobina compacta é tal que uma força eletromotriz de 3,00 mV é induzida quando a corrente varia à taxa de 5,00 A/s. Uma corrente constante de 8,00 A produz um fluxo magnético de 40,0 μWb através das espiras da bobina. (a) Calcule a indutância da bobina. (b) Determine o número de espiras da bobina.

81 Uma espira quadrada com 20 cm de lado e uma resistência de 20 mΩ é mantida perpendicular a um campo magnético uniforme de módulo $B = 2{,}0$ T. Quando dois lados da espira são afastados um do outro os outros dois lados automaticamente se aproximam, reduzindo a área envolvida pela espira. Se a área se reduz a zero em um intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}20$ s, determine (a) a força eletromotriz média e (b) a corrente média induzida no circuito no intervalo de tempo Δt.

82 Uma espira quadrada é mantida em um campo magnético uniforme de 0,24 T perpendicular ao plano da espira. O comprimento dos lados do quadrado está diminuindo a uma taxa constante de 5,0 cm/s. Qual é a força eletromotriz induzida na espira quando o comprimento dos lados é 12 cm?

83 Na Fig. 30-66 uma fonte ideal de 12,0 V, um resistor de 20,0 Ω e um indutor são ligados por uma chave no instante $t = 0$. Qual é a taxa com a qual a fonte transfere energia para o campo magnético do indutor no instante $t = 1{,}61\tau_L$?

84 Quando tempo é necessário, depois que a fonte é removida, para que a diferença de potencial entre os terminais do resistor de um circuito RL com $L = 2{,}00$ H e $R = 3{,}00$ Ω diminua para 10,0% do valor inicial?

85 Na Fig. 30-77 a fonte é ideal, $\mathscr{E} = 10$ V, $R_1 = 5{,}0$ Ω, $R_2 = 10$ Ω e $L = 5{,}0$ H. A chave S é fechada no instante $t = 0$. Determine, logo depois do fechamento da chave, (a) i_1; (b) i_2; (c) a corrente i_S na chave; (d) a diferença de potencial V_2 entre os terminais do resistor 2; (e) a diferença de potencial V_L entre os terminais do indutor; (f) a taxa de variação di_2/dt. Determine também, muito tempo após o fechamento da chave, (g) i_1; (h) i_2; (i) i_S; (j) V_2; (k) V_L; (l) di_2/dt.

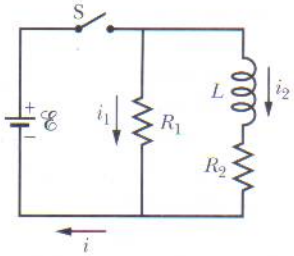

FIG. 30-77 Problema 85.