Semicondutores Os *semicondutores* são materiais que possuem um número relativamente pequeno de elétrons de condução, mas se tornam bons condutores quando são *dopados* com outros átomos que fornecem elétrons livres.

Supercondutores Os *supercondutores* são materiais cuja resistência se anula totalmente em baixas temperaturas. Recentemente, foram descobertos materiais cerâmicos que se tornam supercondutores em temperaturas bem maiores que as temperaturas em que o efeito se manifesta nos supercondutores metálicos.

Perguntas

1 A Fig. 26-15 mostra as seções retas de três condutores longos de mesmo comprimento, feitos do mesmo material. As dimensões das seções retas estão indicadas. O condutor *B* se encaixa perfeitamente no condutor *A*, e o condutor *C* se encaixa perfeitamente no condutor *B*. Coloque, na ordem decrescente da resistência entre as extremidades: os três condutores e a combinação *A* + *B* (*B* no interior de *A*) e a combinação *B* + *C* (*C* no interior de *B*) e *A* + *B* + *C* (*C* no interior de *B* e *B* no interior de *A*).

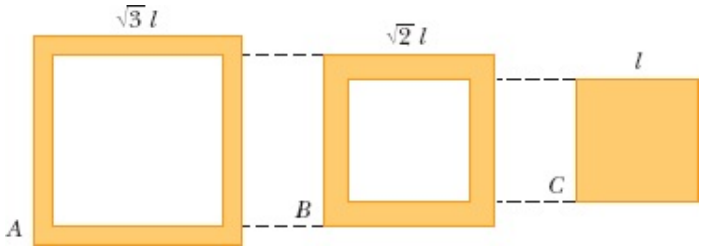


Figura 26-15 Pergunta 1.

2 A Fig. 26-16 mostra as seções retas de três fios de mesmo comprimento, feitos do mesmo material. A figura também mostra as dimensões das seções retas em milímetros. Coloque os fios na ordem decrescente da resistência (medida entre as extremidades do fio).

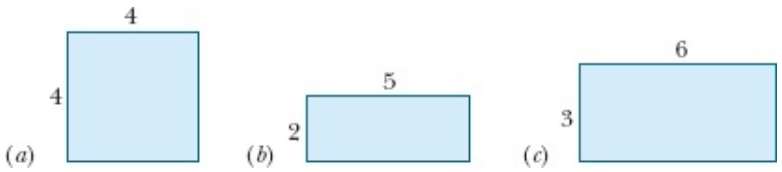


Figura 26-16 Pergunta 2.

3 A Fig. 26-17 mostra um condutor em forma de paralelepípedo de dimensões *L*, 2*L* e 3*L*. Uma diferença de potencial *V* é aplicada uniformemente entre pares de faces opostas do condutor, como na Fig. 26-8*b*. A diferença de potencial é aplicada primeiro entre as faces esquerda e direita, depois entre as faces superior e inferior, e finalmente entre as faces dianteira e traseira. Coloque esses pares na ordem decrescente dos valores das seguintes grandezas (no interior do condutor): (a) módulo do campo elétrico, (b) densidade de corrente, (c) corrente e (d) velocidade de deriva dos elétrons.

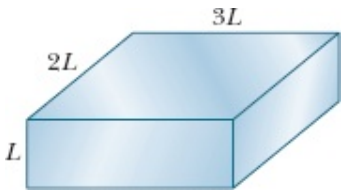


Figura 26-17 Pergunta 3.

4 A Fig. 26-18 mostra os gráficos da corrente i em uma seção reta de um fio em quatro diferentes intervalos de tempo. Coloque os intervalos na ordem decrescente da corrente total que passa pela seção reta durante o intervalo.

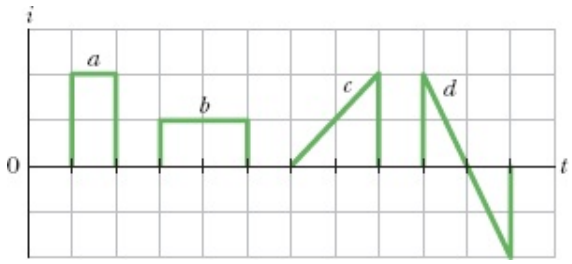


Figura 26-18 Pergunta 4.

5 A Fig. 26-19 mostra quatro situações nas quais cargas positivas e negativas se movem horizontalmente e a taxa com a qual as cargas se movem. Coloque as situações na ordem decrescente da corrente efetiva.

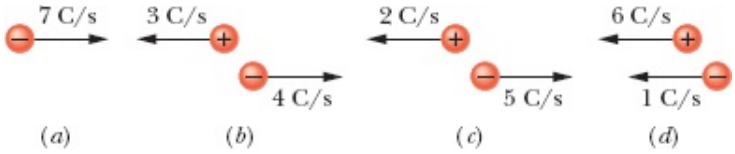


Figura 26-19 Pergunta 5.

6 Na Fig. 26-20, um fio percorrido por corrente possui três trechos de raios diferentes. Coloque os trechos na ordem decrescente do valor das seguintes grandezas: (a) corrente, (b) módulo da densidade de corrente e (c) módulo do campo elétrico.

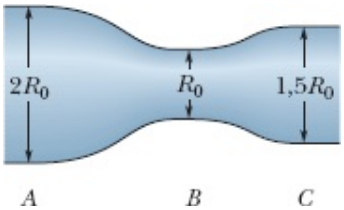


Figura 26-20 Pergunta 6.

7 A Fig. 26-21 mostra o potencial elétrico $V(x)$ em função da posição x ao longo de um fio de cobre percorrido por corrente. O fio possui três trechos de raios diferentes. Coloque os trechos na ordem decrescente do valor das seguintes grandezas: (a) campo elétrico e (b) densidade de corrente.

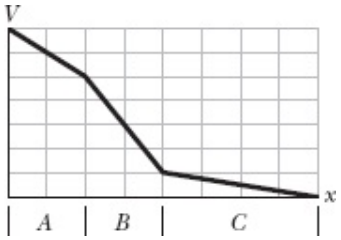


Figura 26-21 Pergunta 7.

8 A tabela a seguir mostra o comprimento, o diâmetro e a diferença de potencial entre as extremidades de três barras de cobre. Coloque as barras na ordem decrescente (a) do módulo do campo elétrico no interior da barra, (b) da densidade de corrente no interior da barra e (c) da velocidade de deriva dos elétrons.

Barra	Comprimento	Diâmetro	Diferença de Potencial
1	L	$3d$	V
2	$2L$	d	$2V$
3	$3L$	$2d$	$3V$

9 A Fig. 26-22 mostra a velocidade de deriva v_d dos elétrons de condução em um fio de cobre em função da posição x ao longo do fio. O fio possui três trechos com raios diferentes. Coloque os trechos na ordem decrescente do valor das seguintes grandezas: (a) raio, (b) número de elétrons de condução por metro cúbico, (c) módulo do campo elétrico e (d) condutividade.

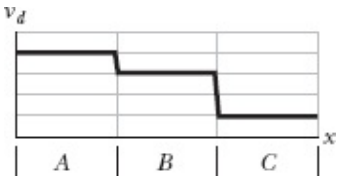


Figura 26-22 Pergunta 9.

10 Três fios de mesmo diâmetro são ligados sucessivamente entre dois pontos mantidos a certa diferença de potencial. As resistividades e os comprimentos dos fios são ρ e L (fio A), $1{,}2\rho$ e $1{,}2L$ (fio B) e $0{,}9\rho$ e L (fio C). Coloque os fios na ordem decrescente da taxa de conversão de energia elétrica em energia térmica.

11 A Fig. 26-23 mostra, para três fios de raio R, a densidade de corrente $J(r)$ em função da distância r do centro do fio. Os fios são todos do mesmo material. Coloque os fios na ordem decrescente do módulo do campo elétrico (a) no centro do fio, (b) a meio caminho da superfície do fio e (c) na superfície do fio.

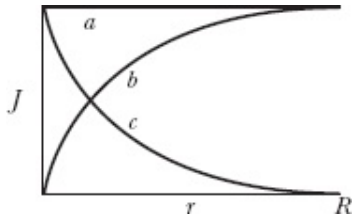


Figura 26-23 Pergunta 11.

Problemas

. - ... O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema.

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

Módulo 26-1 Corrente Elétrica

·1 Durante os 4,0 min em que uma corrente de 5,0 A atravessa um fio, (a) quantos coulombs e (b) quantos elétrons passam por uma seção reta do fio?

··2 Uma esfera condutora tem 10 cm de raio. Um fio leva até a esfera uma corrente de 1,000 002 0 A. Outro fio retira da esfera uma corrente de 1,000 000 0 A. Quanto tempo é necessário para que o potencial da esfera aumente de 1000 V?

··3 Uma correia com 50 cm de largura está se movendo a 30 m/s entre uma fonte de cargas e uma esfera. A correia transporta as cargas para a esfera a uma taxa que corresponde a 100 μA. Determine a densidade superficial de cargas da correia.

Módulo 26-2 Densidade de Corrente

·4 A tabela a seguir foi extraída do National Electric Code, que estabelece a corrente máxima considerada segura nos Estados Unidos para fios de cobre isolados, de vários diâmetros. Plote a densidade de corrente segura mostrada na tabela em função do diâmetro. Para qual calibre de fio a densidade de corrente segura é máxima? ("Calibre" é uma forma de indicar o diâmetro dos fios, e 1 mil = 1 milésimo de polegada.)

Calibre	4	6	8	10	12	14	16	18
Diâmetro, mils	204	162	129	102	81	64	51	40
Corrente segura, A	70	50	35	25	20	15	6	3

·5 Um feixe de partículas contém $2,0 \times 10^8$ íons positivos, duplamente carregados, por centímetro cúbico, todos se movendo para o norte com uma velocidade de $1,0 \times 10^5$ m/s. (a) Determine o módulo e

(b) a direção da densidade de corrente $\vec{J}$. (c) Que grandeza adicional é necessária para calcular a corrente total i associada a esse feixe de íons?

·6 Certo fio cilíndrico está conduzindo uma corrente. Desenhamos uma circunferência de raio r e centro no eixo do fio (Fig. 26-24*a*) e determinamos a corrente i no interior da circunferência. A Fig. 26-24*b* mostra a corrente i em função de r^2. A escala vertical é definida por i_s = 4,0 mA e a escala horizontal é definida por r_s^2 = 4,0 mm^2 = 4,0 mm^2. (a) A densidade de corrente é uniforme? (b) Caso a resposta do item (a) seja afirmativa, calcule o valor da densidade de corrente.

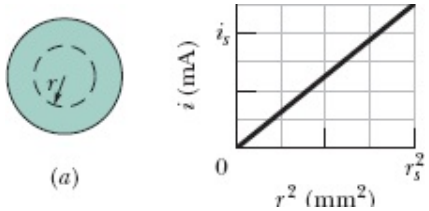


Figura 26-24 Problema 6.

·7 O fusível de um circuito elétrico é um fio projetado para fundir, abrindo o circuito, se a corrente ultrapassar certo valor. Suponha que o material a ser usado em um fusível funde quando a densidade de corrente ultrapassa 440 A/cm^2. Que diâmetro de fio cilíndrico deve ser usado para fazer um fusível que limite a corrente a 0,50 A?

·8 Uma corrente pequena, porém mensurável, de 1,2 × 10^{-10} A, atravessa um fio de cobre com 2,5 mm de diâmetro. O número de portadores de carga por unidade de volume é 8,49 × 10^{28} m^{-3}. Supondo que a corrente é uniforme, calcule (a) a densidade de corrente e (b) a velocidade de deriva dos elétrons.

··9 O módulo $J(r)$ da densidade de corrente, em um fio cilíndrico com 2,00 mm de raio, é dado por $J(r) = Br$, em que r é a distância do centro do fio em metros, e B = 2,00 × 10^5 A/m^3. Qual é a corrente que passa em um anel concêntrico com o fio, com 10,0 μm de largura, situado a 1,20 mm do centro do fio?

··10 O módulo J da densidade de corrente em um fio cilíndrico de raio R = 2,00 mm é dado por $J = (3{,}00 \times 10^8)r^2$, com J em ampères por metro quadrado e a distância radial r em metros. Qual é a corrente que passa em um anel, concêntrico com o fio, cujo raio interno é 0,900R e cujo raio externo é R?

··11 Determine a corrente em um fio de raio R = 3,40 mm se o módulo da densidade de corrente é dado por (a) $J_a = J_0/R$ e (b) $J_b = J_0(1 - r/R)$, em que r é a distância radial e J_0 = 5,50 × 10^4 A/m^2. (c) Para qual das duas funções a densidade de corrente perto da superfície do fio é maior?

··12 Nas vizinhanças da Terra, a densidade de prótons do vento solar (uma corrente de partículas proveniente do Sol) é 8,70 cm^{-3} e a velocidade dos prótons é 470 km/s. (a) Determine a densidade de corrente dos prótons do vento solar. (b) Se o campo magnético da Terra não desviasse os prótons, qual seria a corrente recebida pela Terra?

··13 Quanto tempo os elétrons levam para ir da bateria de um carro até o motor de arranque? Suponha que a corrente é 300 A e que o fio de cobre que liga a bateria ao motor de arranque tem 0,85 m de

comprimento e uma seção reta de 0,21 cm^2. O número de portadores de carga por unidade de volume é $8,49 \times 10^{28}\ m^{-3}$.

Módulo 26-3 Resistência e Resistividade

·14 Um ser humano pode morrer se uma corrente elétrica da ordem de 50 mA passar perto do coração. Um eletricista trabalhando com as mãos suadas, o que reduz consideravelmente a resistência da pele, segura dois fios desencapados, um em cada mão. Se a resistência do corpo do eletricista é 2000 Ω, qual é a menor diferença de potencial entre os fios capaz de produzir um choque mortal?

·15 Uma bobina é feita de 250 espiras de fio isolado, de cobre, calibre 16 (1,3 mm de diâmetro), enroladas em uma única camada para formar um cilindro com 12 cm de raio. Qual é a resistência da bobina? Despreze a espessura do isolamento. (*Sugestão*: Veja a Tabela 26-1.)

·16 Existe a possibilidade de usar cobre ou alumínio em uma linha de transmissão de alta tensão para transportar uma corrente de até 60,0 A. A resistência por unidade de comprimento deve ser de 0,150 Ω/km. As massas específicas do cobre e do alumínio são 8960 e 2600 kg/m^2, respectivamente. Determine (a) o módulo J da densidade de corrente e (b) a massa por unidade de comprimento λ no caso de um cabo de cobre e (c) J e (d) λ no caso de um cabo de alumínio.

·17 Um fio de Nichrome (uma liga de níquel, cromo e ferro, muito usada em elementos de aquecimento) tem 1,0 m de comprimento e 1,0 mm^2 de seção reta e conduz uma corrente de 4,0 A quando uma diferença de potencial de 2,0 V é aplicada às extremidades. Calcule a condutividade σ do Nichrome.

·18 Um fio com 4,00 m de comprimento e 6,00 mm de diâmetro tem uma resistência de 15,0 mΩ. Uma diferença de potencial de 23,0 V é aplicada às extremidades do fio. (a) Qual é a corrente no fio? (b) Qual é o módulo da densidade de corrente? (c) Calcule a resistividade do material do fio. (d) Identifique o material com o auxílio da Tabela 26-1.

·19 Um fio elétrico tem 1,0 mm de diâmetro, 2,0 m de comprimento e uma resistência de 50 mΩ. Qual é a resistividade do material do fio?

·20 Um fio tem uma resistência R. Qual é a resistência de um segundo fio, feito do mesmo material, com metade do comprimento e metade do diâmetro?

··21 As especificações de uma lâmpada de lanterna são 0,30 A e 2,9 V (os valores da corrente e tensão de trabalho, respectivamente). Se a resistência do filamento de tungstênio da lâmpada à temperatura ambiente (20°C) é 1,1 Ω, qual é a temperatura do filamento quando a lâmpada está acesa?

··22 *Empinando uma pipa durante uma tempestade*. A história de que Benjamin Franklin empinou uma pipa durante uma tempestade é apenas uma lenda; ele não era tolo nem tinha tendências suicidas. Suponha que a linha de uma pipa tem 2,00 mm de raio, cobre uma distância de 0,800 km na vertical e está coberta por uma camada de água de 0,500 mm de espessura, com uma resistividade de 150 Ω · m. Se a diferença de potencial entre as extremidades da linha é 160 MV (a diferença de potencial

típica de um relâmpago), qual é a corrente na camada de água? O perigo não está nessa corrente, mas na possibilidade de que a pessoa que segura a linha seja atingida por um relâmpago, que pode produzir uma corrente de até 500.000 A (mais do que suficiente para matar).

··23 Quando uma diferença de potencial de 115 V é aplicada às extremidades de um fio com 10 m de comprimento e um raio de 0,30 mm, o módulo da densidade de corrente é $1,4 \times 10^8$ A/m^2. Determine a resistividade do fio.

··24 A Fig. 26-25*a* mostra o módulo $E(x)$ do campo elétrico criado por uma bateria ao longo de uma barra resistiva de 9,00 mm de comprimento (Fig. 26-25*b*). A escala vertical é definida por $E_s = 4,00 \times 10^3$ V/m. A barra é formada por três trechos feitos do mesmo material, porém com raios diferentes. (O diagrama esquemático da Fig. 26-25*b* não mostra os raios diferentes.) O raio da seção 3 é 2,00 mm. Determine o raio (a) da seção 1 e (b) da seção 2.

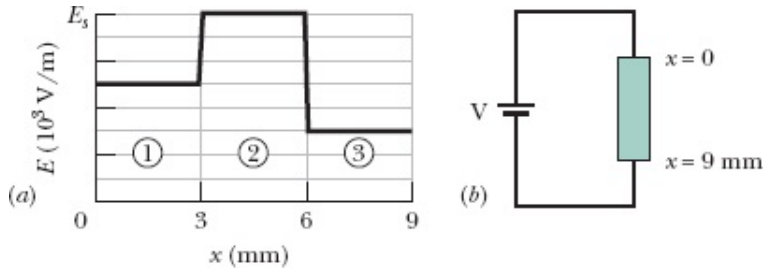


Figura 26-25 Problema 24.

··25 Um fio com uma resistência de 6,0 Ω é trefilado de tal forma que o comprimento se torna três vezes maior que o inicial. Determine a resistência do fio após a operação, supondo que a resistividade e a massa específica do material permaneçam as mesmas.

··26 Na Fig. 26-26*a*, uma bateria de 9,00 V é ligada a uma placa resistiva formada por três trechos com a mesma seção reta e condutividades diferentes. A Fig. 26-26*b* mostra o potencial elétrico $V(x)$ em função da posição x ao longo da placa. A escala horizontal é definida por $x_s = 8,00$ mm. A condutividade do trecho 3 é $3,00 \times 10^7$ $(\Omega \cdot m)^{-1}$. (a) Qual é a condutividade do trecho 1? (b) Qual é a condutividade do trecho 2?

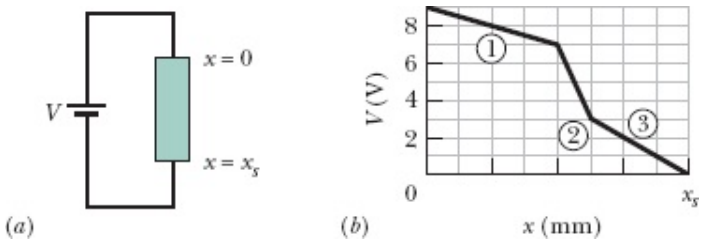


Figura 26-26 Problema 26.

··27 Dois condutores são feitos do mesmo material e têm o mesmo comprimento. O condutor *A* é um fio maciço de 1,0 mm de diâmetro; o condutor *B* é um tubo oco com um diâmetro externo de 2,0 mm e um

diâmetro interno de 1,0 mm. Qual é a razão entre as resistências dos dois fios, R_A/R_B? As resistências são medidas entre as extremidades dos fios.

··28 A Fig. 26-27 mostra o potencial elétrico $V(x)$ ao longo de um fio de cobre percorrido por uma corrente uniforme, de um ponto de potencial mais alto, V_s = 12,0 μV em x = 0, até um ponto de potencial nulo em x_s = 3,00 m. O fio tem um raio de 2,00 mm. Qual é a corrente no fio?

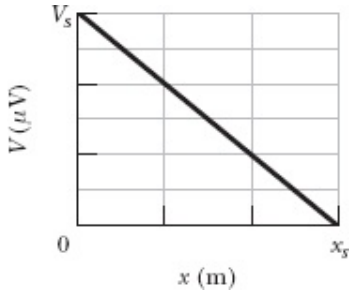


Figura 26-27 Problema 28.

··29 Uma diferença de potencial de 3,00 nV é estabelecida entre as extremidades de um fio de cobre com 2,00 cm de comprimento e um raio de 2,00 mm. Qual é a carga que passa por uma seção reta do fio em 3,00 ms?

··30 Se o número que indica o calibre de um fio aumenta de 6, o diâmetro é dividido por 2; se o calibre aumenta de 1, o diâmetro é dividido por $2^{1/6}$ (veja a tabela do Problema 4). Com base nessas informações e no fato de que 1000 pés de fio de cobre calibre 10 têm uma resistência de aproximadamente 1,00 Ω, estime a resistência de 25 pés de fio de cobre calibre 22.

··31 Um cabo elétrico é formado por 125 fios com uma resistência de 2,65 $\mu\Omega$ cada um. A mesma diferença de potencial é aplicada às extremidades de todos os fios, o que produz uma corrente total de 0,750 A. (a) Qual é a corrente em cada fio? (b) Qual é a diferença de potencial aplicada? (c) Qual é a resistência do cabo?

··32 A atmosfera inferior da Terra contém íons negativos e positivos que são produzidos por elementos radioativos do solo e por raios cósmicos provenientes do espaço. Em certa região, a intensidade do campo elétrico atmosférico é 120 V/m e o campo aponta verticalmente para baixo. Esse campo faz com que íons com uma unidade de carga positiva, com uma concentração de 620 cm^{-3}, se movam para baixo, enquanto íons com uma unidade de carga negativa, com uma concentração de 550 cm^{-3}, se movam para cima (Fig. 26-28). O valor experimental da condutividade do ar nessa região é $2{,}70 \times 10^{-14}$ $(\Omega \cdot m)^{-1}$. Determine (a) o módulo da densidade de corrente e (b) a velocidade de deriva dos íons, supondo que é a mesma para íons positivos e negativos.

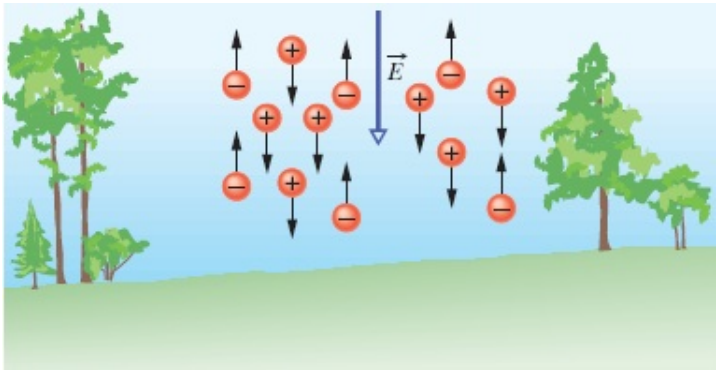


Figura 26-28 Problema 32.

··33 Um objeto em forma de paralelepípedo tem uma seção reta de 3,50 cm^2, um comprimento de 15,8 cm e uma resistência de 935 Ω. O material de que é feito o objeto possui $5,33 \times 10^{22}$ elétrons/m^3. Uma diferença de potencial de 35,8 V é mantida entre as faces dianteira e traseira. (a) Qual é a corrente que atravessa o objeto? (b) Se a densidade de corrente é uniforme, qual é o valor da densidade de corrente? (c) Qual é a velocidade de deriva dos elétrons de condução? (d) Qual é o módulo do campo elétrico no interior do objeto?

···34 A Fig. 26-29 mostra um fio 1, com 4,00R de diâmetro, e um fio 2, com 2,00R de diâmetro, ligados por um trecho em que o diâmetro do fio varia gradualmente. O fio é de cobre e está sendo percorrido por uma corrente distribuída uniformemente ao longo da seção reta do fio. A variação do potencial elétrico V ao longo do comprimento L = 2,00 m do fio 2 é 10,0 μV. O número de portadores de carga por unidade de volume é $8,49 \times 10^{28}$ m^{-3}. Qual é a velocidade de deriva dos elétrons de condução no fio 1?

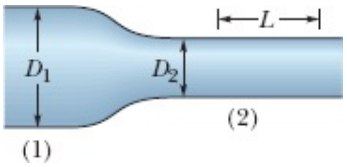


Figura 26-29 Problema 34.

···35 Na Fig. 26-30, uma corrente elétrica atravessa um tronco de cone circular reto de resistividade 731 Ω · m, raio menor a = 2,00 mm, raio maior b = 2,30 mm e comprimento L = 1,94 cm. A densidade de corrente é uniforme em todas as seções retas perpendiculares ao eixo da peça. Qual é a resistência da peça?

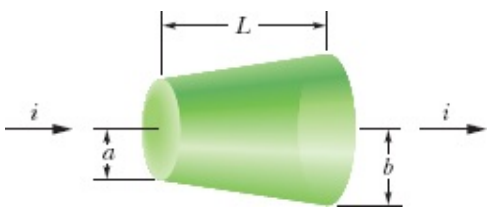


Figura 26-30 Problema 35.

···36 *Nadando durante uma tempestade*. A Fig. 26-31 mostra um nadador a uma distância D = 35,0 m de um relâmpago, com uma corrente I = 78 kA, que atinge a água. A água tem uma resistividade de 30 Ω · m, a largura do nadador ao longo de uma reta que passa pelo ponto em que caiu o raio é 0,70 m e a resistência do corpo do nadador nessa direção é 4,00 kΩ. Suponha que a corrente se espalha pela água como um hemisfério com o centro no ponto em que caiu o relâmpago. Qual é o valor da corrente que atravessa o corpo do nadador?

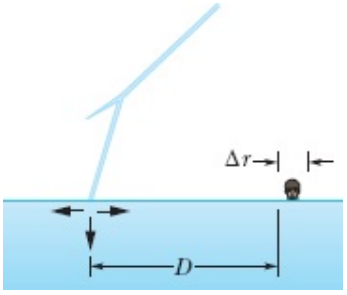


Figura 26-31 Problema 36.

Módulo 26-4 A Lei de Ohm

··37 Mostre que, de acordo com o modelo do elétron livre para a condução de corrente elétrica em metais e a física clássica, a resistividade dos metais é proporcional a $\sqrt{T}$, em que T é a temperatura em kelvins. (Veja a Eq. 19-31.)

Módulo 26-5 Potência, Semicondutores e Supercondutores

·38 Na Fig. 26-32*a*, um resistor de 20 Ω é ligado a uma bateria. A Fig. 26-32*b* mostra a energia térmica E_t gerada pelo resistor em função do tempo t. A escala vertical é definida por $E_{t,s}$ = 2,50 mJ e a escala horizontal é definida por t_s = 4,00 s. Qual é a diferença de potencial entre os terminais da bateria?

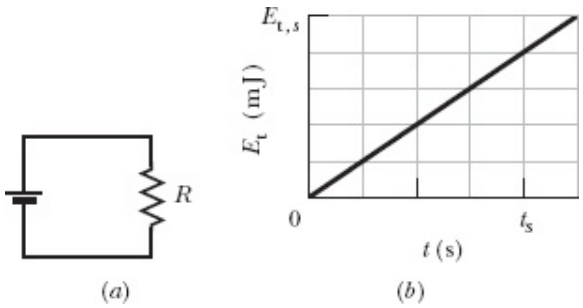


Figura 26-32 Problema 38.

·39 Uma máquina de cachorro-quente funciona aplicando uma diferença de potencial de 120 V às extremidades de uma salsicha e cozinhando-a com a energia térmica produzida. A corrente é 10,0 A e a energia necessária para cozinhar uma salsicha é 60,0 kJ. Se a potência dissipada não varia, quanto tempo é necessário para cozinhar três salsichas simultaneamente?

·40 Um resistor dissipa uma potência de 100 W quando a corrente é 3,00 A. Qual é a resistência?

·41 Uma diferença de potencial de 120 V é aplicada a um aquecedor de ambiente cuja resistência de operação é 14 Ω. (a) Qual é a taxa de conversão de energia elétrica em energia térmica? (b) Qual é o custo de 5,0 h de uso do aquecedor se o preço da eletricidade é R$0,05/kW · h?

·42 Na Fig. 26-33, uma bateria com uma diferença de potencial V = 12 V está ligada a um fio resistivo de resistência R = 6,0 Ω. Quando um elétron percorre o fio de um extremo a outro, (a) em que sentido o elétron se move? (b) Qual é o trabalho realizado pelo campo elétrico do fio sobre o elétron? (c) Qual é a energia transformada pelo elétron em energia térmica do fio?

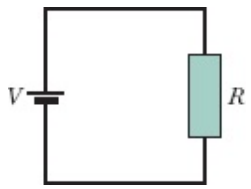


Figura 26-33 Problema 42.

·43 Quando um resistor de valor desconhecido é ligado aos terminais de uma bateria de 3,00 V, a potência dissipada é 0,540 W. Quando o mesmo resistor é ligado aos terminais de uma bateria de 1,50 V, qual é a potência dissipada?

·44 Um estudante manteve um rádio de 9,0 V, 7,0 W ligado no volume máximo, das 9 horas da noite às 2 horas da madrugada. Qual foi a carga que atravessou o rádio?

·45 Um aquecedor de ambiente de 1250 W foi projetado para funcionar com 115 V. (a) Qual é a corrente consumida pelo aparelho? (b) Qual é a resistência do elemento de aquecimento? (c) Qual é a energia térmica produzida pelo aparelho em 1,0 h?

··46 Um fio de cobre com seção reta de $2{,}00 \times 10^{-6}$ m^2 e comprimento de 4,00 m é percorrido por uma corrente uniformemente distribuída. (a) Qual é o módulo do campo elétrico no interior do fio? (b) Qual é a energia elétrica transformada em energia térmica em 30 min?

··47 Um elemento de aquecimento feito de Nichrome, com uma seção reta de $2{,}60 \times 10^{-6}$, é submetido a uma diferença de potencial de 75,0 V. O fio de Nichrome tem uma resistividade de $5{,}00 \times 10^{-7}$ Ω · m. (a) Se o fio dissipa 5000 W, qual é o comprimento do fio? (b) Qual deve ser o comprimento do fio para que a mesma dissipação seja obtida com uma diferença de potencial de 100 V?

··48 *Sapatos que explodem.* Os sapatos molhados de chuva de uma pessoa podem explodir se a corrente de terra de um relâmpago vaporizar a água. A transformação brusca de água em vapor produz uma expansão violenta, suficiente para destruir os sapatos. A água tem massa específica de 1000 kg/m^3 e calor de vaporização de 2256 kJ/kg. Se a corrente de terra produzida pelo relâmpago é horizontal, aproximadamente constante, dura 2,00 ms e encontra água com uma resistividade de 150 Ω · m, 12,0 cm de comprimento e uma seção reta vertical de 15×10^{-5} m^2, qual é o valor da corrente necessária para vaporizar a água?

··49 Uma lâmpada de 100 W é ligada a uma tomada de parede de 120 V. (a) Quanto custa deixar a lâmpada ligada continuamente durante um mês de 31 dias? Suponha que o preço da energia elétrica é R$0,06/kW·h. (b) Qual é a resistência da lâmpada? (c) Qual é a corrente na lâmpada?

··50 A corrente que circula na bateria e nos resistores 1 e 2 da Fig. 26-34*a* é 2,00 A. A energia elétrica é convertida em energia térmica nos dois resistores. As curvas 1 e 2 da Fig. 26-34*b* mostram a energia térmica E_t produzida pelos dois resistores em função do tempo t. A escala vertical é definida por $E_{t,s}$ = 40,0 mJ e a escala horizontal é definida por t_s = 5,00 s. Qual é a potência da bateria?

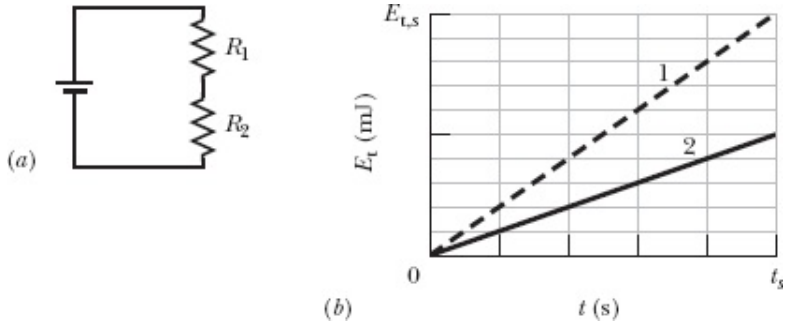


Figura 26-34 Problema 50.

··51 O fio C e o fio D são feitos de materiais diferentes e têm comprimentos $L_C = L_D$ = 1,0 m. A resistividade e o diâmetro do fio C são $2,0 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot m$ e 1,00 mm, e a resistividade e o diâmetro do fio D são $1,0 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot m$ e 0,50 mm. Os fios são unidos da forma mostrada na Fig. 26-35 e submetidos a uma corrente de 2,0 A. Determine a diferença de potencial elétrico (a) entre os pontos 1 e 2 e (b) entre os pontos 2 e 3. Determine a potência dissipada (c) entre os pontos 1 e 2 e (d) entre os pontos 2 e 3.

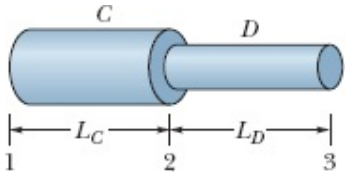


Figura 26-35 Problema 51.

··52 O módulo da densidade de corrente em um fio circular com 3,00 mm de raio é dado por $J = (2,75 \times 10^{10}\ A/m^4)r^2$, em que r é a distância radial. O potencial aplicado às extremidades do fio é 60,0 V. Qual é a energia convertida em energia térmica em 1,00 h?

··53 Uma diferença de potencial de 120 V é aplicada a um aquecedor de ambiente de 500 W. (a) Qual é a resistência do elemento de aquecimento? (b) Qual é a corrente no elemento de aquecimento?

···54 A Fig. 26-36*a* mostra uma barra de material resistivo. A resistência por unidade de comprimento da barra aumenta no sentido positivo do eixo x. Em qualquer posição x ao longo da barra, a resistência dR de um elemento de largura dx é dada por $dR = 5,00x\ dx$, em que dR está em ohms e x em metros. A Fig. 26-36*b* mostra um desses elementos de resistência. O trecho da barra entre $x = 0$ e $x = L$ é cortado e ligado aos terminais de uma bateria com uma diferença de potencial V = 5,0 V (Fig. 26-36*c*). Qual deve

ser o valor de L para que a potência dissipada pelo trecho cortado seja de 200 W?

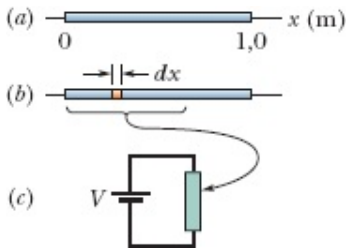


Figura 26-36 Problema 54.

Problemas Adicionais

55 Um aquecedor de Nichrome dissipa 500 W quando a diferença de potencial aplicada é 110 V e a temperatura do fio é 800°C. Qual será a potência dissipada se a temperatura do fio for mantida em 200°C por imersão em um banho de óleo? A diferença de potencial é a mesma nos dois casos, e o valor de α para o Nichrome a 800°C é $4,0 \times 10^{-4}\ K^{-1}$.

56 Uma diferença de potencial de 1,20 V é aplicada a 33,0 m de um fio de cobre calibre 18 (0,0400 polegada de diâmetro). Calcule (a) a corrente, (b) o módulo da densidade de corrente no interior do fio, (c) o módulo do campo elétrico no interior do fio e (d) a potência dissipada no fio.

57 Um dispositivo de 18,0 W funciona com uma diferença de potencial de 9,00 V. Qual é a carga que atravessa o dispositivo em 4,00 h?

58 Uma barra de alumínio de seção reta quadrada tem 1,3 m de comprimento e 5,2 mm de lado. (a) Qual é a resistência entre as extremidades da barra? (b) Qual deve ser o diâmetro de uma barra cilíndrica de cobre com 1,3 m de comprimento para que a resistência seja a mesma que a da barra de alumínio?

59 Uma barra de metal cilíndrica tem 1,60 m de comprimento e 5,50 mm de diâmetro. A resistência entre as duas extremidades (a 20°C) é $1,09 \times 10^{-3}\ \Omega$. (a) Qual é o material do fio? (b) Um disco circular, com 2,00 cm de diâmetro e 1,00 mm de espessura, é fabricado com o mesmo material. Qual é a resistência entre as faces do disco, supondo que as duas faces são superfícies equipotenciais?

60 *O mistério do chocolate em pó.* Essa história começou no Problema 60 do Capítulo 23 e continuou nos Capítulos 24 e 25. O pó de chocolate foi transportado para o silo em um cano de raio R, com velocidade v e densidade uniforme de carga ρ. (a) Determine uma expressão para a corrente i (o fluxo da carga elétrica associada ao pó) em uma seção reta do cano. (b) Calcule o valor de i para as condições da fábrica: raio do cano $R = 5,0$ cm, velocidade $v = 2,0$ m/s e densidade de carga $\rho = 1,1 \times 10^{-3}\ C/m^3$.

Se o pó sofresse uma variação de potencial elétrico V, a energia do pó poderia ser transferida para uma centelha a uma taxa $P = iV$. (c) Poderia haver essa transferência no interior do cano devido à diferença de potencial radial discutida no Problema 70 do Capítulo 24?

Quando o pó saiu do cano e entrou no silo, o potencial elétrico do pó mudou. O valor absoluto dessa

variação foi pelo menos igual à diferença de potencial radial no interior do cano (calculada no Problema 70 do Capítulo 24). (d) Tomando esse valor para a diferença de potencial e usando a corrente calculada no item (b) deste problema, determine a taxa com a qual a energia pode ter sido transferida do pó para uma centelha quando o pó deixou o cano. (e) Se uma centelha ocorreu no momento em que o pó deixou o tubo e durou 0,20 s (uma estimativa razoável), qual foi a energia transferida para a centelha? Lembre-se de que, como foi visto no Problema 60 do Capítulo 23, é necessária uma transferência de energia de, no mínimo, 150 mJ para provocar uma explosão. (f) Onde ocorreu provavelmente a explosão: na nuvem de pó da bandeja (Problema 60 do Capítulo 25), no interior do cano, ou na entradado silo?

61 Um feixe de partículas alfa ($q = +2e$) com uma energia cinética de 20 MeV corresponde a uma corrente de 0,25 μA. (a) Se o feixe incide perpendicularmente em uma superfície plana, quantas partículas alfa atingem a superfície em 3,0 s? (b) Quantas partículas alfa existem em uma extensão de 20 cm do feixe? (c) Qual é a diferença de potencial necessária para acelerar as partículas alfa, a partir do repouso, para que adquiram uma energia de 20 MeV?

62 Um resistor com uma diferença de potencial de 200 V dissipa uma potência de 3000 W. Qual é a resistência do resistor?

63 Um elemento de aquecimento de 2,0 kW de uma secadora de roupas tem 80 cm de comprimento. Se 10 cm do elemento forem removidos, qual será a potência dissipada pelo novo elemento para uma diferença de potencial de 120 V?

64 Um resistor cilíndrico com 5,0 mm de raio e 2,0 cm de comprimento é feito de um material cuja resistividade é $3,5 \times 10^{-5}\ \Omega \cdot m$. Determine (a) o módulo da densidade de corrente e (b) a diferença de potencial para que a potência dissipada no resistor seja 1,0 W.

65 Uma diferença de potencial V é aplicada a um fio de seção reta A, comprimento L e resistividade ρ. Estamos interessados em mudar a diferença de potencial aplicada e esticar o fio para que a potência dissipada seja multiplicada por 30,0 e a corrente seja multiplicada por 4,00. Supondo que a massa específica do fio permaneça a mesma, determine (a) a razão entre o novo comprimento e L, e (b) a razão entre a nova seção reta e A.

66 Os faróis de um carro em movimento consomem 10 A do alternador de 12 V, que é acionado pelo motor. Suponha que o alternador tem uma eficiência de 80% (a potência elétrica de saída é 80% da potência mecânica de entrada) e calcule o número de horsepower que o motor precisa fornecer para manter os faróis acesos.

67 Um aquecedor de 500 W foi projetado para funcionar com uma diferença de potencial de 115 V. (a) Qual será a queda percentual da potência dissipada se a diferença de potencial aplicada diminuir para 110 V? Suponha que a resistência permanece a mesma. (b) Se a variação da resistência com a temperatura for levada em consideração, a queda de potência será maior ou menor que o valor calculado no item (a)?

68 Os enrolamentos de cobre de um motor têm uma resistência de 50 Ω a 20°C quando o motor está frio.

Depois de o motor trabalhar durante várias horas, a resistência aumenta para 58 Ω. Qual é a nova temperatura dos enrolamentos? Suponha que as dimensões dos enrolamentos não variam. (*Sugestão*: Veja a Tabela 26-1.)

69 Qual é a energia dissipada em 2,00 h por uma resistência de 400 Ω se a diferença de potencial aplicada à resistência é 90,0 V?

70 Uma lagarta de 4,0 cm de comprimento rasteja no mesmo sentido que a deriva de elétrons em um fio de cobre de 5,2 mm de diâmetro que conduz uma corrente uniforme de 12 A. (a) Qual é a diferença de potencial entre as extremidades da lagarta? (b) A cauda da lagarta é positiva ou negativa em relação à cabeça? (c) Quanto tempo a lagarta leva para rastejar 1,0 cm à mesma velocidade que a velocidade de deriva dos elétrons no fio? (O número de portadores de carga por unidade de volume é $8,49 \times 10^{28}$ m^{-3}.)

71 (a) Para qual temperatura a resistência de um fio de cobre é o dobro da resistência a 20,0°C? (Use 20,0°C como ponto de referência na Eq. 26-17; compare a resposta com a Fig. 26-10.) (b) A "temperatura para o dobro da resistência" é a mesma para qualquer fio de cobre, independentemente da forma e do tamanho?

72 Um trilho de aço tem uma seção reta de 56,0 cm^2. Qual é a resistência de 10,0 km de trilhos? A resistividade do aço é $3,00 \times 10^{-7}$ Ω · m.

73 Uma bobina de fio de Nichrome é imersa em um líquido. (Nichrome é uma liga de níquel, cromo e ferro muito usada em elementos de aquecimento.) Quando a diferença de potencial entre as extremidades da bobina é 12 V e a corrente na bobina é 5,2 A, o líquido evapora à taxa de 21 mg/s. Determine o calor de vaporização do líquido. (*Sugestão*: Veja o Módulo 18-4.)

74 A densidade de corrente em um fio é $2,0 \times 10^6$ A/m^2, o comprimento do fio é 5,0 m e a densidade de elétrons de condução é $8,49 \times 10^{28}$ m^{-3}. Quanto tempo um elétron leva (em média) para atravessar o fio, de um extremo a outro?

75 Um tubo de raios X funciona com uma corrente de 7,00 mA e uma diferença de potencial de 80,0 kV. Qual é a potência do tubo em watts?

76 Uma corrente é estabelecida em um tubo de descarga de gás quando uma diferença de potencial suficientemente elevada é aplicada a dois eletrodos situados no interior do tubo. O gás se ioniza; elétrons se movem na direção do eletrodo positivo e íons positivos monoionizados se movem na direção do terminal negativo. (a) Qual é a corrente em um tubo de descarga de hidrogênio no qual $3,1 \times 10^{18}$ elétrons e $1,1 \times 10^{18}$ prótons atravessam uma seção reta do tubo por segundo? (b) O sentido da densidade de corrente $\vec{J}$ é do eletrodo positivo para o eletrodo negativo, ou do eletrodo negativo para o eletrodo positivo?

77 Na Fig. 26-37, um fio resistivo, ligado a uma bateria, é colocado no interior de um cilindro isolado termicamente, com um êmbolo sem atrito na extremidade superior, que contém um gás ideal. Uma corrente i = 240 mA atravessa o fio, que tem uma resistência R = 550 Ω. Se a temperatura do gás

permanece constante enquanto o êmbolo de 12 kg se desloca para cima, qual é a velocidade limite do êmbolo?

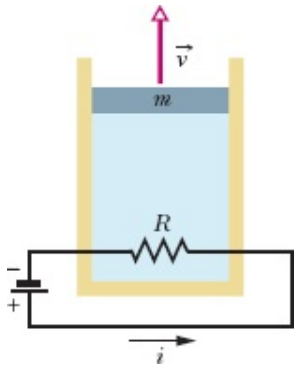


Figura 26-37 Problema 77.

78 Uma correia feita de material isolante, com 50 cm de largura, se move a uma velocidade de 30 m/s. A carga que a correia transporta até um aparelho de laboratório corresponde a uma corrente elétrica de 100 μA. Qual é a densidade superficial de carga da correia?

79 Em um laboratório hipotético de fusão nuclear, gás hélio a uma temperatura elevada é totalmente ionizado; cada átomo de hélio dá origem a dois elétrons livres e um núcleo positivamente carregado, que é chamado de partícula alfa. Um campo elétrico aplicado faz com que as partículas alfa se movam para leste com uma velocidade de deriva de 25,0 m/s e que os elétrons se movam para oeste com uma velocidade de deriva de 88,0 m/s. O número de partículas alfa por unidade de volume é $2{,}80 \times 10^{15}$ cm^{-3}. Determine (a) a densidade de corrente total e (b) o sentido da corrente elétrica.

80 Quando um fio de metal é aquecido, não é apenas a resistividade que muda; o comprimento e a área do fio também são afetados. De acordo com a equação $R = \rho L/A$, as três grandezas devem ser levadas em consideração ao calcularmos o efeito da temperatura sobre a resistência. Se a temperatura varia de 1,0C°, qual é a variação percentual (a) de L, (b) de A e (c) de ρ para um fio de cobre? (d) Que conclusão podemos tirar desses resultados? O coeficiente de dilatação linear do cobre é $1{,}70 \times 10^{-5}$ K^{-1}.

81 Um feixe de dêuterons de 16 Mev produzido por um cíclotron incide em um bloco de cobre. O feixe equivale a uma corrente de 15 μA. (a) Qual é o número de dêuterons que se chocam com o bloco por segundo? (b) Qual é a energia térmica produzida no bloco por segundo?

82 Um acelerador linear produz um feixe pulsado de elétrons. A corrente equivalente dos pulsos é 0,50 A e a duração de cada pulso é 0,10 μs. (a) Quantos elétrons são acelerados por pulso? (b) Qual é a corrente média se a frequência de operação da máquina é de 500 pulsos por segundo? Se a energia dos elétrons é 50 MeV, determine (c) a potência média e (d) a potência máxima do acelerador.

83 Um aquecedor elétrico de imersão normalmente leva 100 minutos para fazer com que água fria em um recipiente com um bom isolamento térmico chegue a uma determinada temperatura, na qual um termostato desliga o aquecedor. Um dia, a tensão da rede é reduzida de 6,00% por causa de uma sobrecarga. Quanto tempo o aquecedor leva para aquecer a água até a mesma temperatura? Suponha que a

variação da resistência do aquecedor com a temperatura é desprezível.

84 Um aquecedor elétrico de imersão de 400 W é introduzido em uma panela que contém 2,00 L de água a 20°C. (a) Quanto tempo a água leva para atingir a temperatura de ebulição, supondo que 80% da energia disponível é absorvida pela água? (b) Quanto tempo a mais é necessário para que metade da água seja transformada em vapor?

85 Um capacitor de 30 μF é ligado aos terminais de uma fonte de alimentação programável. Durante o intervalo de $t = 0$ a $t = 3{,}00$ s, a tensão de saída da fonte é dada por $V(t) = 6{,}00 + 4{,}00t - 2{,}00t^2$ volts. Determine, no instante $t = 0{,}500$ s, (a) a carga do capacitor, (b) a corrente do capacitor e (c) a potência de saída da fonte.

[1]Esse valor inesperadamente elevado do livre caminho médio foi explicado pela física quântica por meio de um modelo no qual os elétrons interagem com vibrações da rede cristalina. (N.T.)

[2]Esse aumento é explicado pela física quântica como consequência do aumento das vibrações da rede cristalina. (N.T.)