

## PROBLEMAS

1, 2\*, 3\* = direto, intermediário, desafiador

 = par de problemas numérico/simbólico

 = computador útil para a solução do problema

 = aplicação à ciência da vida

### Seção 20.1 Diferença de Potencial e Potencial Elétrico

- 1 (a) Calcule a velocidade de um próton que é acelerado a partir do repouso por uma diferença de potencial de 120 V. (b) Calcule a velocidade de um elétron que é acelerado pela mesma diferença de potencial.
- 2 Quanto trabalho é feito (por uma bateria, um gerador ou qualquer outra fonte de energia) ao deslocar-se um número de Avogadro de elétrons de um ponto inicial onde o potencial elétrico é 9,00 V para um ponto no qual o potencial é  $-5,00$  V? (O potencial em cada caso é medido em relação a um ponto de referência em comum.)
- 3 **Problema de Revisão.** Por qual diferença de potencial um elétron necessitaria ser acelerado para atingir uma velocidade de 40,0% da velocidade da luz, partindo do repouso? A velocidade da luz é  $c = 3,00 \times 10^8$  m/s; reveja o Capítulo 9 (vol. I)
- 4\* **Problema de Revisão.** Um elétron parte do repouso e é acelerado por uma diferença de potencial de 20,0 kV. (a) Encontre sua verdadeira velocidade relativística. (b) Encontre a velocidade que a física clássica iria prever para ele. Qual é o erro desse cálculo?

### Seção 20.2 Diferenças de Potencial em um Campo Elétrico Uniforme

- 5 Um campo elétrico uniforme de magnitude 250 V/m está na direção  $x$  positiva. Uma carga de  $+12,0 \mu\text{C}$  se desloca da origem para o ponto  $(x, y) = (20,0 \text{ cm}, 50,0 \text{ cm})$ . (a) Qual é a variação na energia potencial desse sistema carga-campo? (b) Através de qual diferença de potencial a carga se desloca?

- 6 A diferença de potencial entre as placas aceleradoras do canhão de elétrons do tubo de um aparelho de televisão é de cerca de 25 000 V. Se a distância entre essas placas é de 1,50 cm, encontre a magnitude do campo elétrico uniforme nesta região.
- 7\* Um elétron se deslocando paralelamente ao eixo  $x$  tem uma velocidade inicial de  $3,70 \times 10^6$  m/s na origem. Sua velocidade é reduzida para  $1,40 \times 10^5$  m/s no ponto  $x = 2,00$  cm. Calcule a diferença de potencial entre a origem e esse ponto. Qual ponto está no potencial mais alto?
- 8\* Suponha que um elétron é liberado do repouso em um campo elétrico uniforme cuja magnitude é  $5,90 \times 10^3$  V/m. (a) Através de qual diferença de potencial ele terá passado após se deslocar 1,00 cm? (b) Com que rapidez o elétron estará movendo-se após ter se deslocado 1,00 cm?
- 9\* **Problema de Revisão.** Um bloco de massa  $m$  e carga  $Q$  está conectado a uma mola que tem uma constante  $k$ . O bloco repousa em uma superfície horizontal sem atrito e o sistema está imerso em um campo elétrico uniforme de magnitude  $E$ , direcionado como mostrado na Figura P20.9. Se o bloco for liberado do repouso quando a mola não está esticada (em  $x = 0$ ), (a) por qual quantidade máxima a

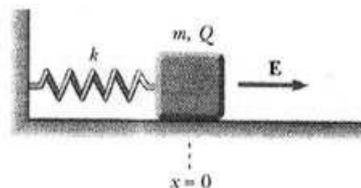


Figura P20.9

mola expande? (b) Qual é a posição de equilíbrio do bloco? (c) Demonstre que o movimento do bloco é harmônico simples e determine seu período. (d) Repita o item (a) se o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície é  $\mu_k$ .

**Seção 20.3 Potencial Elétrico e Energia Potencial Elétrica de Cargas Pontuais**

*Nota:* A menos que seja informado de forma diferente, suponha um nível de referência de potencial  $V = 0$  em  $r = \infty$ .

- 10 (a) Encontre o potencial a uma distância de 1,00 cm de um próton. (b) Qual é a diferença de potencial entre dois pontos que estão a 1,00 cm e 2,00 cm de um próton? (c) Repita os itens (a) e (b) para um elétron.
- 11\* Sendo dadas duas cargas de  $2,00 \mu\text{C}$ , como na Figura P20.11, e uma carga de prova positiva  $q = 1,28 \times 10^{-18} \text{ C}$  na origem, (a) qual é a força resultante exercida em  $q$  pelas duas cargas de  $2,00 \mu\text{C}$ ? (b) Qual é o campo elétrico na origem devido às duas cargas de  $2,00 \mu\text{C}$ ? (c) Qual é o potencial elétrico na origem devido às duas cargas de  $2,00 \mu\text{C}$ ?

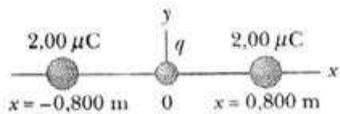


Figura P20.11

- 12\* Uma carga  $+q$  está na origem. Uma carga  $-2q$  está em  $x = 2,00 \text{ m}$  no eixo  $x$ . Para qual(is) valor(es) finito(s) de  $x$  (a) o campo elétrico é zero e (b) o potencial elétrico é zero?
- 13\* As três cargas da Figura P20.13 estão nos vértices de um triângulo isósceles. Calcule o potencial elétrico no ponto médio da base, considerando  $q = 7,00 \mu\text{C}$ .

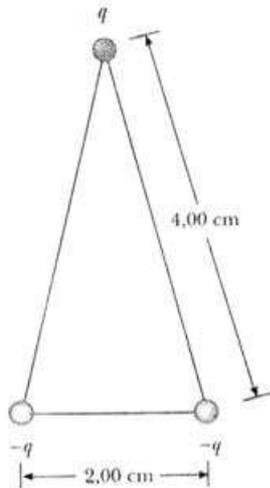


Figura P20.13

- 14\* O modelo de Bohr do átomo de hidrogênio estabelece que o único elétron pode existir apenas em determinadas órbitas permitidas ao redor do próton. O raio de cada órbita de Bohr é dado por  $r = n^2(0,0529 \text{ nm})$  onde  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Calcule a energia potencial elétrica de um átomo de hidrogênio quando o elétron está (a) na primeira órbita permitida, com  $n = 1$ ; (b) na segunda órbita permitida,  $n = 2$ ; e (c) quando o elétron escapou do átomo, com  $r = \infty$ . Expresse suas respostas em elétrons-volt.
  - 15\* Compare este problema com o Problema 53 do Capítulo 19. Quatro cargas pontuais idênticas ( $q = +10,0 \mu\text{C}$ ) estão localizadas nos cantos de um retângulo, como mostrado na Figura P19.53. As dimensões do retângulo são  $L = 60,0 \text{ cm}$  e  $W = 15,0 \text{ cm}$ . Calcule a energia potencial elétrica da carga no canto inferior esquerdo devida às outras três cargas.
  - 16\* Compare este problema com o Problema 12 do Capítulo 19. Duas cargas pontuais, cada uma com magnitude de  $2,00 \mu\text{C}$ , estão localizadas no eixo  $x$ . Uma está em  $x = 1,00 \text{ m}$  e a outra em  $x = -1,00 \text{ m}$ . (a) Determine o potencial elétrico no eixo  $y$  em  $y = 0,500 \text{ m}$ . (b) Calcule a variação na energia potencial elétrica do sistema dessas duas partículas mais uma terceira, se a terceira partícula, de carga  $-3,00 \mu\text{C}$ , é trazida de uma distância infinitamente grande e colocada no eixo  $y$  em  $y = 0,500 \text{ m}$ .
  - 17\* Demonstre que a quantidade de trabalho necessária para colocar quatro cargas pontuais idênticas de magnitude  $Q$  nos cantos de um quadrado de lado  $s$  é  $5,41kQ^2/s$ .
  - 18\* Compare este problema com o Problema 11 do Capítulo 19. Três cargas positivas iguais  $q$  estão localizadas nos cantos de um triângulo equilátero de lado  $a$ , como mostrado na Figura P19.11. (a) Em que ponto, se é que há um, no plano das cargas, o potencial elétrico é zero? (b) Qual é o potencial elétrico no ponto  $P$  devido às duas cargas na base do triângulo?
- 19\* **Problema de Revisão.** Duas esferas isolantes têm raios de 0,300 cm e 0,500 cm, massas de 0,100 kg e 0,700 kg e cargas uniformemente distribuídas de  $-2,00 \mu\text{C}$  e  $3,00 \mu\text{C}$ . Elas são liberadas do repouso quando seus centros estão separados por 1,00 m. (a) Com que rapidez elas estarão movendo-se quando colidirem? (*Dica:* Considere a conservação da energia e do momento linear.) (b) Se as esferas fossem condutoras, as velocidades seriam maiores ou menores do que as calculadas no item (a)? Explique.

20\* **Problema de Revisão.** Duas esferas isolantes têm raios  $r_1$  e  $r_2$ , massas  $m_1$  e  $m_2$  e cargas uniformemente distribuídas  $-q_1$  e  $q_2$ . Elas são liberadas do repouso quando seus centros estão separados por uma distância  $d$ . (a) Com que rapidez cada uma delas estará movendo-se quando colidirem? (*Dica:* Considere a conservação da energia e do momento linear.) (b) Se as esferas fossem condutoras, as velocidades seriam maiores ou menores do que as calculadas no item (a)? Explique.

- 21\* Em 1911, Ernest Rutherford e seus assistentes Geiger e Marsden conduziram um experimento no qual eles espalharam partículas alfa a partir de folhas finas de ouro. Uma partícula alfa, tendo carga  $+2e$  e massa  $6,64 \times 10^{-27}$  kg, é um produto de determinados decaimentos radioativos. Os resultados do experimento levaram Rutherford à idéia de que a maior parte da massa de um átomo está em um núcleo muito pequeno, com elétrons em órbita ao redor dele — seu modelo planetário do átomo. Suponha que uma partícula alfa, inicialmente muito distante de um núcleo de ouro, é lançada com uma velocidade de  $2,00 \times 10^7$  m/s diretamente em direção ao núcleo (carga  $+79e$ ). A que distância do núcleo essa partícula chega antes de mudar de direção? Suponha que o núcleo de ouro permanece estacionário.
- 22\* Duas partículas com cargas de 20,0 nC e  $-20,0$  nC estão localizadas nos pontos com as coordenadas (0, 4,00 cm) e (0,  $-4,00$  cm), como mostrado na Figura P20.22. Uma partícula com carga 10,0 nC está localizada na origem. (a) Encontre a energia da configuração das três cargas fixas. (b) Uma quarta partícula, com massa de  $2,00 \times 10^{-13}$  kg e carga de 40,0 nC, é liberada do repouso no ponto (3,00 cm, 0). Encontre sua velocidade após ela ter se deslocado livremente para uma distância muito grande.

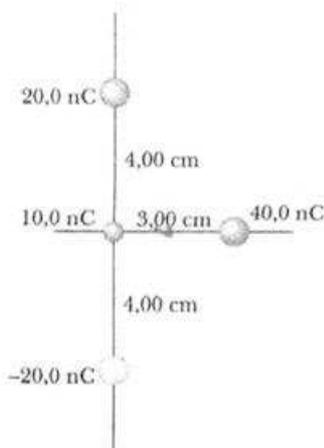


Figura P20.22

#### Seção 20.4 Obtendo o Campo Elétrico a Partir do Potencial Elétrico

- 23\* O potencial em uma região entre  $x = 0$  e  $x = 6,00$  m é  $V = a + bx$ , onde  $a = 10,0$  V e  $b = -7,00$  V/m. Determine (a) o potencial em  $x = 0$ , 3,00 m e 6,00 m, e (b) a magnitude e direção do campo elétrico em  $x = 0$ , 3,00 m e 6,00 m.
- 24\* O potencial elétrico dentro de um condutor esférico carregado de raio  $R$  é dado por  $V = k_e Q/R$  e fora do condutor é dado por  $V = k_e Q/r$ . Utilizando  $E_r = -dV/dr$ , derive o campo elétrico (a) dentro e (b) fora dessa distribuição de carga.

- 25\* Em uma determinada região do espaço, o potencial elétrico é dado por  $V = 5x - 3x^2y + 2yz^2$ . Encontre as expressões para as componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$  do campo elétrico nessa região. Qual é a magnitude do campo no ponto  $P$ , cujas coordenadas são (1, 0,  $-2$ ) m?

#### Seção 20.5 Potencial Elétrico Devido a Distribuições Contínuas de Carga

- 26 Considere um anel de raio  $R$  com a carga total  $Q$  uniformemente distribuída por seu perímetro. Qual é a diferença de potencial entre o centro do anel e um ponto no seu eixo a uma distância  $2R$  do centro?
- 27\* Uma barra de comprimento  $L$  (Figura P20.27) se encontra sobre o eixo  $x$  com sua extremidade esquerda na origem. Ela tem uma densidade de carga não uniforme  $\lambda = \alpha x$ , onde  $\alpha$  é uma constante positiva. (a) Quais são as unidades de  $\alpha$ ? (b) Calcule o potencial elétrico em  $A$ .

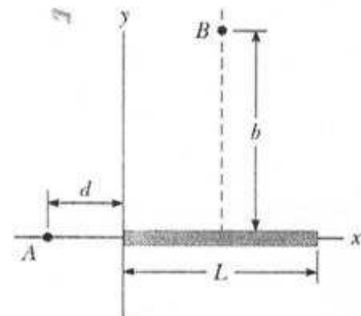


Figura P20.27 Problemas 27 e 28.

- 28\* Para o arranjo descrito no problema anterior, calcule o potencial elétrico no ponto  $B$  que se encontra na bissetriz perpendicular da barra a uma distância  $b$  acima do eixo  $x$ .
- 29 Compare este problema com o Problema 17 do Capítulo 19. Uma barra isolante e uniformemente carregada de comprimento 14,0 cm está curvada na forma de um semicírculo, como mostrado na Figura P19.17. Se a barra tem uma carga total de  $-7,50 \mu\text{C}$ , encontre o potencial elétrico em  $O$ , o centro do semicírculo.

#### Seção 20.6 Potencial Elétrico de um Condutor Carregado

- 30 Quantos elétrons devem ser removidos de um condutor esférico inicialmente descarregado de raio 0,300 m para produzir um potencial de 7,50 kV em sua superfície?
- 31\* Um condutor esférico tem um raio de 14,0 cm e carga de  $26,0 \mu\text{C}$ . Calcule o campo elétrico e o potencial elétrico em (a)  $r = 10,0$  cm, (b)  $r = 20,0$  cm e (c)  $r = 14,0$  cm a partir do centro.
- 32\* Pode-se acumular carga elétrica em um avião em voo. Você já deve ter observado extensões metálicas em forma de agulha nas extremidades das asas e da cauda de um avião.

O seu propósito é permitir que a carga escape antes de se acumular muito. O campo elétrico ao redor da agulha é muito maior que ao redor do corpo da aeronave e pode tornar-se grande o bastante para produzir um rompimento dielétrico do ar, descarregando o avião. Para modelar esse processo, suponha que dois condutores esféricos carregados estão conectados por um longo fio condutor, e uma carga de  $1,20 \mu\text{C}$  é colocada na combinação. Uma esfera, representando o corpo da aeronave, tem raio de  $6,00 \text{ cm}$  e a outra, representando a ponta da agulha, raio de  $2,00 \text{ cm}$ . (a) Qual é o potencial elétrico de cada esfera? (b) Qual é o campo elétrico na superfície de cada esfera?

### Seção 20.7 Capacitância

- 33 (a) Quanta carga há em cada placa de um capacitor de  $4,00 \mu\text{F}$  quando ele está conectado a uma bateria de  $12,0 \text{ V}$ ? (b) Se esse mesmo capacitor for conectado a uma bateria de  $1,50 \text{ V}$ , qual será a carga armazenada?
- 34 Dois condutores com cargas líquidas de  $+10,0 \mu\text{C}$  e  $-10,0 \mu\text{C}$  têm uma diferença de potencial de  $10,0 \text{ V}$ . Determine (a) a capacitância do sistema e (b) a diferença de potencial entre os dois condutores se as cargas neles forem aumentadas para  $+100 \mu\text{C}$  e  $-100 \mu\text{C}$ .
- 35 Um capacitor cheio de ar consiste em duas placas paralelas, cada uma com uma área de  $7,60 \text{ cm}^2$ , separadas por uma distância de  $1,80 \text{ mm}$ . Se uma diferença de potencial de  $20,0 \text{ V}$  for aplicada a essas placas, calcule (a) o campo elétrico entre as placas, (b) a densidade de carga na superfície, (c) a capacitância e (d) a carga em cada placa.
- 36 Uma esfera condutora isolada carregada de raio de  $12,0 \text{ cm}$  cria um campo elétrico de  $4,90 \times 10^4 \text{ N/C}$  a uma distância de  $21,0 \text{ cm}$  do seu centro. (a) Qual é sua densidade de carga de superfície? (b) Qual é sua capacitância?
- 37 Um capacitor variável preenchido com ar e usado em um circuito de sintonia de rádio é feito de  $N$  placas semicirculares, cada uma com um raio  $R$  e posicionada a uma distância  $d$  das suas vizinhas, às quais está eletricamente conectada. Como mostrado na Figura P20.37, um segundo conjunto idêntico de placas é colocado com suas placas a

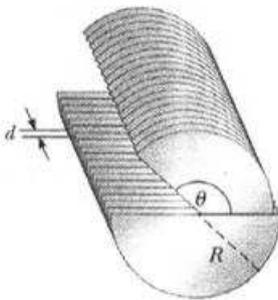


Figura P20.37

meio caminho entre as do primeiro conjunto. O segundo conjunto pode girar como uma unidade. Determine a capacitância como função do ângulo de rotação  $\theta$ , onde  $\theta = 0$  corresponde à capacitância máxima.

- 38 Um cabo coaxial de  $50,0 \text{ m}$  de comprimento tem um condutor interno com diâmetro de  $2,58 \text{ mm}$  e carga de  $8,10 \mu\text{C}$ . O condutor externo tem diâmetro interno de  $7,27 \text{ mm}$  e carga de  $-8,10 \mu\text{C}$ . (a) Qual é a capacitância desse cabo? (b) Qual é a diferença de potencial entre os dois condutores? Considere que a região entre os dois condutores é preenchida com ar.
- 39 Um pequeno corpo de massa  $m$  tem uma carga  $q$  e está suspenso por uma linha entre duas placas verticais de um capacitor de placas paralelas. A separação das placas é  $d$ . Se a linha faz um ângulo  $\theta$  com a vertical, qual é a diferença de potencial entre as placas?
- 40 Um capacitor esférico consiste em uma casca esférica condutora de raio  $b$  e carga  $-Q$  que é concêntrica com uma esfera condutora menor de raio  $a$  e carga  $+Q$  (Figura P20.40).

$$C = \frac{ab}{k_e(b-a)}$$

- (a) Demonstre que a capacitância é
- (b) Demonstre que, à medida que  $b$  se aproxima do infinito, a capacitância se aproxima do valor  $a/k_e = 4\pi\epsilon_0 a$ .

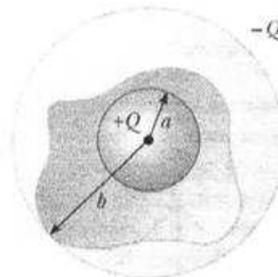
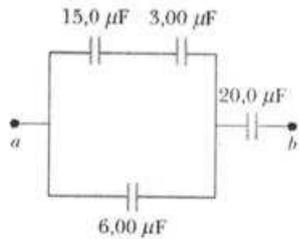


Figura P20.40

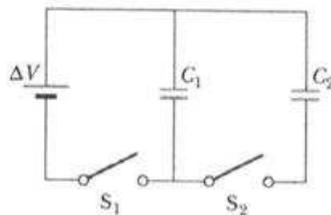
### Seção 20.8 Combinações de Capacitores

- 41 Os capacitores  $C_1 = 5,00 \mu\text{F}$  e  $C_2 = 12,0 \mu\text{F}$  estão conectados em paralelo e a combinação resultante é conectada a uma bateria de  $9,00 \text{ V}$ . (a) Qual é a capacitância equivalente da combinação? Quais são (b) a diferença de potencial em cada capacitor e (c) a carga armazenada em cada capacitor?
- 42 Os dois capacitores do Problema 41 são agora conectados em série a uma bateria de  $9,00 \text{ V}$ . Encontre (a) a capacitância equivalente da combinação, (b) a voltagem em cada capacitor e (c) a carga em cada capacitor.
- 43 Quatro capacitores são conectados, como mostra a Figura P20.43. (a) Encontre a capacitância equivalente entre os pontos  $a$  e  $b$ . (b) Calcule a carga em cada capacitor se  $\Delta V_{ab} = 15,0 \text{ V}$ .



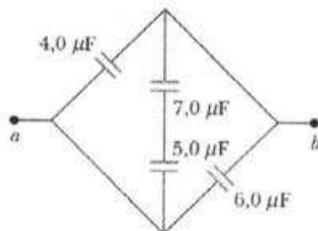
**Figura P20.43**

44. Dois capacitores quando conectados em paralelo têm uma capacitância equivalente de  $C_p$ , e uma capacitância equivalente de  $C_s$  quando conectados em série. Qual é a capacitância de cada capacitor?
45. Considere o circuito na Figura P20.45, onde  $C_1 = 6,00 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 3,00 \mu\text{F}$  e  $\Delta V = 20,0 \text{ V}$ . O capacitor  $C_1$  é carregado primeiro pelo fechamento da chave  $S_1$ . A chave  $S_1$  é então aberta e o capacitor carregado é conectado ao capacitor não carregado pelo fechamento de  $S_2$ . Calcule a carga inicial em  $C_1$  e a carga final em cada capacitor.



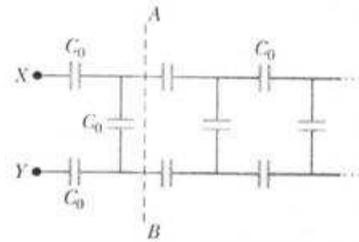
**Figura P20.45**

46. Encontre a capacitância equivalente entre os pontos  $a$  e  $b$  na combinação de capacitores mostrada na Figura P20.46.



**Figura P20.46**

47. Alguns sistemas físicos que têm a capacitância distribuída continuamente sobre o espaço podem ser modelados como um arranjo infinito de elementos de circuito discretos. Alguns exemplos são uma guia de microondas e o axônio de uma célula nervosa. Para praticar a análise de um arranjo infinito, determine a capacitância equivalente  $C$  entre os terminais  $X$  e  $Y$  do conjunto infinito de capacitores representado na Figura P20.47. Cada capacitor tem capacitância  $C_0$ . (Dica: Imagine que a escada é cortada na linha  $AB$  e observe que a capacitância equivalente da seção infinita à direita de  $AB$  também é  $C$ .)



**Figura P20.47**

**Seção 20.9 Energia Armazenada em um Capacitor Carregado**

48. (a) Um capacitor de  $3,00 \mu\text{F}$  é conectado a uma bateria de  $12,0 \text{ V}$ . Quanta energia é armazenada no capacitor? (b) Se o capacitor tivesse sido conectado a uma bateria de  $6,00 \text{ V}$ , quanta energia teria sido armazenada?
49. A causa imediata de muitas mortes é a fibrilação ventricular, um tremor descoordenado do coração, em oposição ao batimento adequado. Um choque elétrico no peito pode causar a paralisia momentânea do músculo cardíaco, após a qual o coração às vezes irá começar a bater novamente de forma organizada. Um desfibrilador (Figura P20.49) é um dispositivo que aplica um forte choque elétrico sobre o peito durante alguns poucos milissegundos. O dispositivo contém um capacitor de vários microfarads, carregado até muitos milhares de volts. Eletrodos de cerca de  $8 \text{ cm}$ , revestidos de pasta condutora, são segurados de encontro ao peito dos dois lados do coração. Suas alças estão isoladas para prevenir ferimentos ao operador, que grita então "Afastar!" (significando que ninguém deve tocar no paciente) e pressiona um botão



**Figura P20.49** (Adam Hart-Davis/Science Photo Library/Photo Researches, Inc.)

em um eletrodo para descarregar o capacitor através do peito do paciente. Considere que uma energia de 300 J deve ser fornecida por um capacitor de 30,0  $\mu\text{F}$ . Ele deve ser carregado a qual diferença de potencial?

- 50\* Dois capacitores,  $C_1 = 25,0 \mu\text{F}$  e  $C_2 = 5,00 \mu\text{F}$ , são conectados em paralelo e carregados com uma fonte de energia até 100 V. (a) Desenhe um diagrama do circuito e calcule a energia total armazenada nos dois capacitores. (b) Qual é a diferença de potencial necessária nos mesmos capacitores conectados em série para a combinação armazenar a mesma energia que no item (a)? Desenhe o diagrama desse circuito.
- 51\* Um capacitor de placas paralelas tem uma carga  $Q$  e placas de área  $A$ . Que força age sobre uma placa para atraí-la em direção à outra? Como o campo elétrico entre as placas é  $E = Q/A\epsilon_0$ , você pode pensar que a força é  $F = QE = Q^2/A\epsilon_0$ . Isso está incorreto, porque o campo  $E$  inclui contribuições das duas placas, e o campo criado pela placa positiva não pode exercer nenhuma força sobre a placa positiva. Demonstre que a força exercida sobre cada placa é realmente  $F = Q^2/2\epsilon_0 A$ . (Dica: Seja  $C = \epsilon_0 A/x$  para uma separação da placa arbitrária  $x$ ; então imponha que o trabalho realizado na separação das duas placas carregadas seja  $W = \int F dx$ .) A força exercida sobre uma placa carregada pela outra placa é às vezes usada em uma oficina para manter uma peça parada.
- 52\* À medida que uma pessoa se desloca em um ambiente seco, acumula carga elétrica em seu corpo. Uma vez que o corpo esteja em alta voltagem, positiva ou negativa, pode descarregar por meio de faíscas ou choques perceptíveis. Considere um corpo humano bem separado do solo, com a capacitância típica de 150 pF. (a) Que carga no corpo produz um potencial de 10,0 kV? (b) Aparelhos eletrônicos sensíveis podem ser destruídos pela descarga eletrostática de uma pessoa. Um determinado aparelho pode ser destruído por uma descarga que libera uma energia de 250  $\mu\text{J}$ . Isso corresponde a que voltagem no corpo?
- 53\* Um campo elétrico uniforme de magnitude  $E = 3\,000 \text{ V/m}$  existe dentro de uma certa região. Que volume de espaço contém uma energia igual a  $1,00 \times 10^{-7} \text{ J}$ ? Expresse sua resposta em metros cúbicos e em litros.

### Seção 20.10 Capacitores com Dielétricos

- 54 Determine (a) a capacitância e (b) a diferença de potencial máxima que pode ser aplicada a um capacitor de placas paralelas cheio de Teflon, cuja área da placa é de 1,75  $\text{cm}^2$  e a separação entre as placas é de 0,040 0 mm.
- 55 (a) Quanta carga pode ser colocada em um capacitor com ar entre as placas antes que ele sofra um rompimento dielétrico se a área de cada placa é 5,00  $\text{cm}^2$ ? (b) Encontre a carga máxima se o poliestireno for utilizado entre as placas em vez do ar.
- 56\* Um capacitor comercial é construído como mostra a Figura 20.29a. Esse determinado capacitor é enrolado a partir de duas folhas de alumínio separadas por duas folhas de

papel revestido com parafina. Cada folha de alumínio e de papel tem largura de 7,00 cm. A folha de alumínio tem espessura de 0,004 00 mm, e o papel tem espessura de 0,025 0 mm e uma constante dielétrica de 3,70. Qual é o comprimento que as folhas devem ter se é desejada a capacitância de  $9,50 \times 10^{-8} \text{ F}$ ? (Modele o capacitor como sendo de placas paralelas.)

- 57\* Um capacitor de placas paralelas é construído utilizando-se um material cuja constante dielétrica é 3,00 e cuja rigidez dielétrica é  $2,00 \times 10^8 \text{ V/m}$ . A capacitância desejada é 0,250  $\mu\text{F}$  e o capacitor deve suportar uma diferença de potencial máxima de 4 000 V. Encontre a área mínima das placas do capacitor.
- 58\* Um capacitor de placas paralelas no ar tem as placas separadas por 1,50 cm e a área das placas é de 25,0  $\text{cm}^2$ . As placas são carregadas até a diferença de potencial de 250 V e desconectadas da sua fonte. O capacitor é então imerso em água destilada. Determine (a) a carga nas placas antes e depois da imersão, (b) a capacitância e a diferença de potencial depois da imersão e (c) a variação na energia do capacitor. Considere que o líquido é um isolante.

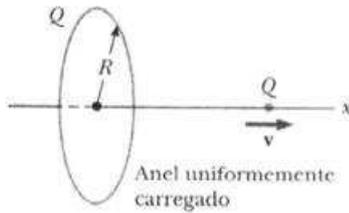
### Seção 20.11 Conexão com o Contexto – A Atmosfera como um Capacitor

- 59 O relâmpago pode ser estudado com um gerador de Van de Graaff, que consiste essencialmente em um domo esférico no qual a carga é continuamente depositada por uma correia em movimento. A carga pode ser adicionada até que o campo elétrico na superfície do domo se torne igual à rigidez dielétrica do ar. Qualquer carga a mais escapa por meio de faíscas. Considere que o domo tem diâmetro de 30,0 cm e é cercado de ar seco. (a) Qual é o potencial máximo do domo? (b) Qual é a carga máxima no domo?
- 60\* **Problema de Revisão.** Uma determinada nuvem de tempestade tem uma diferença de potencial de  $1,00 \times 10^8 \text{ V}$  relativa a uma árvore. Se, durante uma tempestade, 50,0 C de carga são transferidos por essa diferença de potencial e 1,00% da energia é absorvida pela árvore, quanta seiva da árvore pode desaparecer por ebulição? Modele a seiva como água inicialmente a 30,0  $^\circ\text{C}$ . A água tem calor específico de 4 186  $\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ , ponto de ebulição de 100  $^\circ\text{C}$  e calor de vaporização de  $2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ .

### Problemas Adicionais

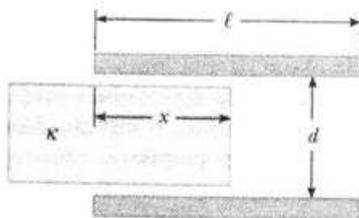
- 61\* O eixo  $x$  é o eixo de simetria de um anel uniformemente carregado de raio  $R$  e carga  $Q$  (Figura P20.61). Uma carga pontual  $q$  de massa  $M$  está localizada no centro do anel. Quando ela é levemente deslocada, a carga pontual acelera ao longo do eixo  $x$  para o infinito. Demonstre que a velocidade final da carga pontual é

$$v = \left( \frac{2k_e Q q^2}{MR} \right)^{1/2}$$



**Figura P20.61**

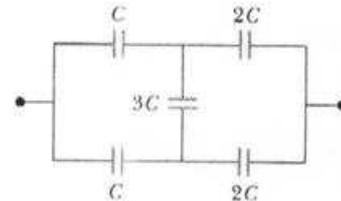
- 62\* Em um dia seco de inverno você arrasta as solas de couro dos seus sapatos por um tapete e sente um choque quando estende a ponta de um dedo em direção a uma maçaneta de metal. Em um quarto escuro você vê uma faísca de aproximadamente 5 mm de comprimento. Faça estimativas da ordem de grandeza de (a) seu potencial elétrico e (b) a carga no seu corpo antes de você tocar a maçaneta. Explique seu raciocínio.
- 63\* Calcule o trabalho que deve ser realizado para carregar uma casca esférica de raio  $R$  até uma carga total  $Q$ .
- 64\* Um capacitor de  $10,0 \mu\text{F}$  tem placas com vácuo entre elas. Cada placa tem uma carga de magnitude de  $1\,000 \mu\text{C}$ . Uma partícula com carga de  $-3,00 \mu\text{C}$  e massa de  $2,00 \times 10^{-16} \text{ kg}$  é disparada de uma placa positiva em direção à placa negativa com velocidade inicial de  $2,00 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Ela alcança a placa negativa? Se alcança, encontre sua velocidade de impacto. Se não, qual fração do caminho dentro do capacitor ela percorre?
- 65\* Um capacitor de placas paralelas de  $2,00 \text{ nF}$  é carregado até uma diferença de potencial inicial  $\Delta V_i = 100 \text{ V}$  e então isolado. O material dielétrico entre as placas é a mica, com a constante dielétrica de  $5,00$ . (a) Quanto trabalho é necessário para retirar a camada de mica? (b) Qual é a diferença de potencial do capacitor depois que a mica é retirada?
- 66\* Um capacitor é construído a partir de duas placas quadradas de lados  $\ell$  e separação  $d$ . Um material de constante dielétrica  $\kappa$  é inserido a uma distância  $x$  no capacitor, como mostra a Figura P20.66. Considere que  $d$  é muito menor do que  $x$ . (a) Encontre a capacitância equivalente do dispositivo. (b) Calcule a energia armazenada no capacitor se a diferença de potencial é  $\Delta V$ . (c) Encontre o sentido e a magnitude da força exercida sobre o dielétrico, considerando uma diferença de potencial constante  $\Delta V$ . Despreze o atrito. (d) Obtenha um valor numérico para a força considerando que  $\ell = 5,00 \text{ cm}$ ,  $\Delta V = 2\,000 \text{ V}$ ,



**Figura P20.66** Problemas 66 e 67.

$d = 2,00 \text{ mm}$  e que o dielétrico é vidro ( $\kappa = 4,50$ ). (Dica: O sistema pode ser considerado como dois capacitores conectados em paralelo.)

- 67\* Um capacitor é construído a partir de duas placas quadradas de lados  $\ell$  e separação  $d$ , como é sugerido na Figura P20.66. Você pode considerar que  $d$  é muito menor do que  $\ell$ . As placas têm cargas  $+Q_0$  e  $-Q_0$ . Um bloco de metal tem largura  $\ell$ , comprimento  $\ell$  e espessura levemente menor do que  $d$ . Ele é inserido a uma distância  $x$  no capacitor. As cargas nas placas não são perturbadas à medida que o bloco desliza para dentro. Em uma situação estática, um metal impede um campo elétrico de penetrá-lo. O metal pode ser concebido como um dielétrico perfeito com  $\kappa \rightarrow \infty$ . (a) Calcule a energia armazenada como função de  $x$ . (b) Encontre o sentido e a magnitude da força que age sobre o bloco metálico. (c) A área da face frontal do bloco que avança é essencialmente igual a  $\ell d$ . Considerando a força no bloco como agindo sobre essa face, encontre a pressão (força por área) sobre ela. (d) Para comparação, expresse a densidade de energia no campo elétrico entre as placas do capacitor em termos de  $Q_0$ ,  $\ell$ ,  $d$  e  $\epsilon_0$ .
- 68\* Determine a capacitância equivalente da combinação mostrada na Figura P20.68. (Dica: Considere a simetria envolvida.)



**Figura P20.68**

- 69\* Quando se considera o suprimento de energia para um automóvel, a energia por unidade de massa da fonte de energia é um parâmetro importante. Utilizando os seguintes dados, compare a energia por unidade de massa (J/kg) para a gasolina, baterias de chumbo e capacitores. (O ampère A será introduzido no próximo capítulo como a unidade SI da corrente elétrica. Observe que  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ .)

*Gasolina:* 126 000 Btu/gal; densidade =  $670 \text{ kg/m}^3$ .

*Bateria de chumbo:* 12,0 V; 100 A · h; massa = 16,0 kg.

*Capacitor:* diferença de potencial a plena carga = 12,0 V; capacitância = 0,100 F; massa = 0,100 kg.

- 70\* Um capacitor de  $10,0 \mu\text{F}$  é carregado até 15,0 V. A seguir é conectado em série com um capacitor não carregado de  $5,00 \mu\text{F}$ . A combinação em série é finalmente conectada a uma bateria de 50,0 V, como está representado na Figura P20.70. Encontre as novas diferenças de potencial nos capacitores de  $5 \mu\text{F}$  e  $10 \mu\text{F}$ .

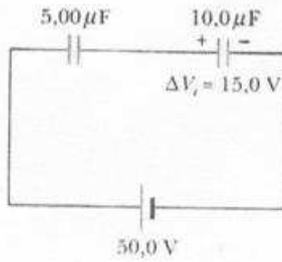


Figura P20.70

71\* É possível obter grandes diferenças de potencial carregando-se primeiro um banco de capacitores conectados em paralelo e, depois, ativando-se um arranjo de chaves que tem o efeito de desconectar os capacitores de sua fonte e entre si e conectá-los novamente todos em série. O grupo de capacitores carregados é então descarregado em série. Qual é a diferença de potencial máxima que pode ser obtida desta maneira utilizando-se dez capacitores de  $500 \mu\text{F}$  cada um e uma fonte de carga de  $800 \text{ V}$ ?

72\* O contador Geiger é um detector de radiação que consiste essencialmente em um cilindro de metal oco, fechado (o cátodo) de raio interno  $r_a$  e um fio cilíndrico coaxial (o ânodo) de raio  $r_b$  (Figura P20.72). A carga por unidade de comprimento no ânodo é  $\lambda$ , e a carga por unidade de comprimento no cátodo é  $-\lambda$ . Um gás preenche o espaço entre os eletrodos. Quando uma partícula elementar de alta energia atravessa esse espaço, ela pode ionizar um átomo do gás. O forte campo elétrico faz o íon resultante e o elétron acelerarem em sentidos opostos. Eles atingem outras moléculas do gás para ionizá-las, produzindo uma avalanche de descarga elétrica. O pulso de corrente elétrica entre o fio e o cilindro é contado por um circuito externo. (a) Mostre que a magnitude da diferença de potencial entre o fio e o cilindro é

$$\Delta V = 2k_e \lambda \ln \left( \frac{r_a}{r_b} \right)$$

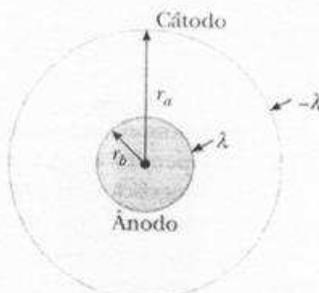


Figura P20.72

(b) Mostre que a magnitude do campo elétrico no espaço entre o cátodo e o ânodo é dada por

$$E = \frac{\Delta V}{\ln(r_a/r_b)} \left( \frac{1}{r} \right)$$

onde  $r$  é a distância do eixo do ânodo até o ponto onde o campo deve ser calculado.

73\* Suponha que o diâmetro interno do contador Geiger descrito no Problema 72 é  $2,50 \text{ cm}$  e que o fio ao longo do eixo tem um diâmetro de  $0,200 \text{ mm}$ . A rigidez dielétrica do gás entre o fio central e o cilindro é  $1,20 \times 10^6 \text{ V/m}$ . Use os resultados do Problema 72 para calcular a voltagem máxima que pode ser aplicada entre o fio e o cilindro antes que ocorra uma ruptura no gás.

74\* Os resultados do Problema 72 também se aplicam a um precipitador eletrostático (Figura P20.74). Esse dispositivo para controle de poluição consiste em um duto cilíndrico vertical com um fio ao longo de seu eixo em alta voltagem negativa. A descarga corona ioniza o ar em torno do fio para produzir elétrons livres, além de íons moleculares positivos e negativos. Os elétrons e os íons negativos aceleram para fora. À medida que o ar atravessa o cilindro, as partículas de sujeira tornam-se carregadas eletricamente pelas colisões e captura dos íons. Então elas são varridas do ar pelo campo elétrico horizontal entre o fio e o cilindro. Em um caso particular, uma voltagem aplicada  $\Delta V = 50,0 \text{ kV}$  produz um campo elétrico de magnitude  $5,50 \text{ MV/m}$  na superfície do fio central. A parede externa do cilindro tem raio uniforme  $r_a = 0,850 \text{ m}$ . (a) Qual deveria ser o raio  $r_b$  do fio central? Você precisará resolver uma equação transcendental. (b) Qual é a magnitude do campo elétrico na parede externa?

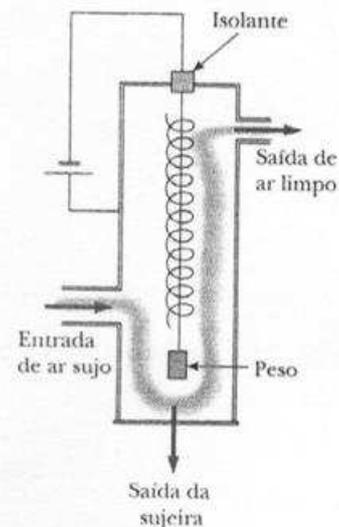


Figura P20.74

75\* O modelo de gota líquida do núcleo atômico sugere que oscilações de alta energia de certos núcleos podem dividir o núcleo em dois fragmentos desiguais, além de alguns nêutrons. Os produtos da fissão adquirem energia cinética a partir de sua repulsão mútua coulombiana. Calcule a energia potencial elétrica (em elétrons-volt) de dois fragmentos esféricos de um núcleo de urânio que têm as seguintes cargas e raios:  $38e$  e  $5,50 \times 10^{-15}$  m;  $54e$  e  $6,20 \times 10^{-15}$  m. Considere que a carga está distribuída de maneira uniforme pelo volume de cada fragmento esférico e que logo antes de se separar eles estão em repouso com suas superfícies em contato. Os elétrons ao redor do núcleo podem ser desprezados.

76\* Um dipolo elétrico está localizado ao longo do eixo  $y$  como mostra a Figura P20.76. A magnitude de seu momento de

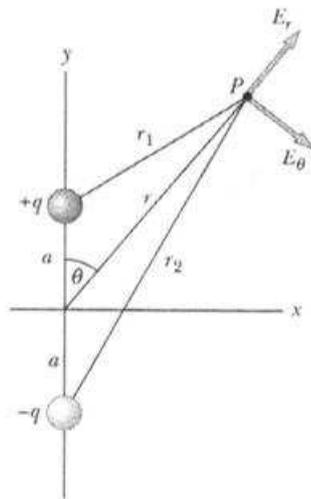


Figura P20.76

dipolo elétrico é definida como  $p = 2qa$ . (a) No ponto  $P$ , longe do dipolo ( $r \gg a$ ), demonstre que o potencial elétrico é

$$V = \frac{k_e p \cos \theta}{r^2}$$

(b) Calcule a componente radial  $E_r$  e a componente perpendicular  $E_\theta$  do campo elétrico associado. Observe que  $E_\theta = -(1/r)(\partial V/\partial \theta)$ . Esses resultados parecem razoáveis para  $\theta = 90^\circ$  e  $0^\circ$ ? Para  $r = 0$ ? (c) Para o arranjo de dipolo mostrado, expresse  $V$  em termos de coordenadas cartesianas utilizando  $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$  e a expressão

$$\cos \theta = \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}}$$

Utilizando esses resultados e novamente considerando  $r \gg a$ , calcule as componentes do campo  $E_x$  e  $E_y$ .

77\* Um capacitor de placas paralelas com separação entre as placas  $d$  é carregado até uma diferença de potencial  $\Delta V_0$ . Uma chapa dielétrica de espessura  $d$  e constante dielétrica  $\kappa$  é introduzida entre as placas enquanto a bateria permanece conectada às placas. (a) Mostre que a razão da energia armazenada após o dielétrico ser introduzido para a energia armazenada no capacitor vazio é  $U/U_0 = \kappa$ . Dê uma explicação física para esse aumento da energia armazenada. (b) O que acontece com a carga no capacitor? (Nota: Essa situação não é a mesma do Exemplo 20.11, na qual a bateria é removida do circuito antes de o dielétrico ser introduzido.)

## Capítulo 20

1. (a) 152 km/s (b) 6,49 Mm/s
3. 46,7 kV
5. (a)  $-600 \mu\text{J}$  (b)  $-50,0 \text{ V}$
7.  $-38,9 \text{ V}$ ; a origem
9. (a)  $2QE/k$  (b)  $QE/k$  (c)  $2\pi\sqrt{m/k}$   
(d)  $2(QE - \mu_k mg)/k$
11. (a)  $\mathbf{F} = 0$  (b)  $\mathbf{E} = 0$  (c) 45,0 kV
13.  $-11,0 \text{ MV}$
15. 8,95 J
19. (a) 10,8 m/s e 1,55 m/s (b) maiores
21. 27,4 fm
23. (a) 10,0 V,  $-11,0 \text{ V}$ ,  $-32,0 \text{ V}$   
(b) 7,00 N/C na direção + x
25.  $\mathbf{E} = (-5 + 6xy)\mathbf{i} + (3x^2 - 2z^2)\mathbf{j} - 4yz\mathbf{k}$ ; 7,07 N/C
27. (a)  $\text{C}/\text{m}^2$  (b)  $k_e\alpha[L - d \ln(1 + L/d)]$
29.  $-1,51 \text{ MV}$
31. (a) 0, 1,67 MV (b) 5,84 MN/C para fora, 1,17 MV  
(c) 11,9 MN/C para fora, 1,67 MV
33. (a)  $48,0 \mu\text{C}$  (b)  $6,00 \mu\text{C}$
35. (a) 11,1 kV/m em direção à placa negativa  
(b)  $98,3 \text{ nC}/\text{m}^2$  (c) 3,74 pF (d) 74,7 pC
37.  $(2N - 1)(\pi - \theta)R^2\epsilon_0/d$
39.  $mgd \tan \theta/q$
41. (a)  $17,0 \mu\text{F}$  (b) 9,00 V (c)  $45,0 \mu\text{C}$  e  $108 \mu\text{C}$
43. (a)  $5,96 \mu\text{F}$   
(b)  $89,5 \mu\text{C}$  no capacitor de  $20 \mu\text{F}$ ;  $63,2 \mu\text{C}$  no capacitor de  $6 \mu\text{F}$ ;  $26,3 \mu\text{C}$  nos capacitores de  $15 \mu\text{F}$  e de  $3 \mu\text{F}$
45.  $120 \mu\text{C}$ ;  $80,0 \mu\text{C}$  e  $40,0 \mu\text{C}$
47.  $(\sqrt{3} - 1)C_0/2$
49. 4,47 kV
53.  $2,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 2,51 \text{ L}$
55. (a) 13,3 nC (b) 272 nC
57.  $0,188 \text{ m}^2$
59. (a) 450 kV (b)  $7,51 \mu\text{C}$
63.  $k_e Q^2/2R$
65. (a)  $40,0 \mu\text{J}$  (b) 500 V
67. (a)  $Q_0^2 d(\ell - x)/(2\ell^3\epsilon_0)$   
(b)  $Q_0^2 d/(2\ell^3\epsilon_0)$  para a direita (c)  $Q_0^2/(2\ell^4\epsilon_0)$   
(d)  $Q_0^2/(2\ell^4\epsilon_0)$
69. A gasolina tem 194 vezes o conteúdo de energia específica da bateria e 727 000 vezes o do capacitor.
71. 8,00 kV
73. 579 V
75. 253 MeV
77. (a) A energia adicional vem do trabalho elétrico feito pela bateria ao separar a carga adicional.  
(b)  $Q/Q_0 = \kappa$