material dielétrico de constante dielétrica $\kappa$, a constante elétrica $\varepsilon_0$ deve ser substituída por $\kappa\varepsilon_0$ em todas as equações.

Os efeitos da presença de um dielétrico podem ser explicados em termos da ação de um campo elétrico sobre os dipolos elétricos permanentes ou induzidos no dielétrico. O resultado é a formação de cargas induzidas nas superfícies do dielétrico. Essas cargas tornam o campo, no interior do dielétrico, menor do que o campo que seria produzido na mesma região pelas cargas livres das placas do capacitor se o dielétrico não estivesse presente.

**Lei de Gauss com um Dielétrico** Na presença de um dielétrico, a lei de Gauss assume a seguinte forma:

$$\varepsilon_0 \oint \kappa \vec{E} \cdot d\vec{A} = q. \qquad (25\text{-}36)$$

em que $q$ é a carga livre. O efeito das cargas induzidas no dielétrico é levado em conta pela inclusão na integral da constante dielétrica $\kappa$.

## Perguntas

**1** A Fig. 25-18 mostra gráficos da carga em função da diferença de potencial para três capacitores de placas paralelas cujos parâmetros são dados na tabela. Associe os gráficos aos capacitores.

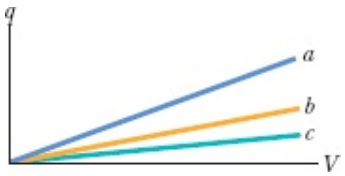



**Figura 25-18** Pergunta 1.

| Capacitor | Área | Distância |
|---|---|---|
| 1 | $A$ | $d$ |
| 2 | $2A$ | $d$ |
| 3 | $A$ | $2d$ |

**2** Qual será a capacitância equivalente $C_{eq}$ de três capacitores, todos de capacitância $C$, se os capacitores forem ligados a uma bateria (a) em série e (b) em paralelo? (c) Em qual dos dois arranjos a carga total armazenada nos capacitores será maior?

**3** (a) Na Fig. 25-19*a*, os capacitores 1 e 3 estão ligados em série? (b) Na mesma figura, os capacitores 1 e 2 estão ligados em paralelo? (c) Coloque os circuitos da Fig. 25-19 em ordem decrescente das capacitâncias equivalentes.

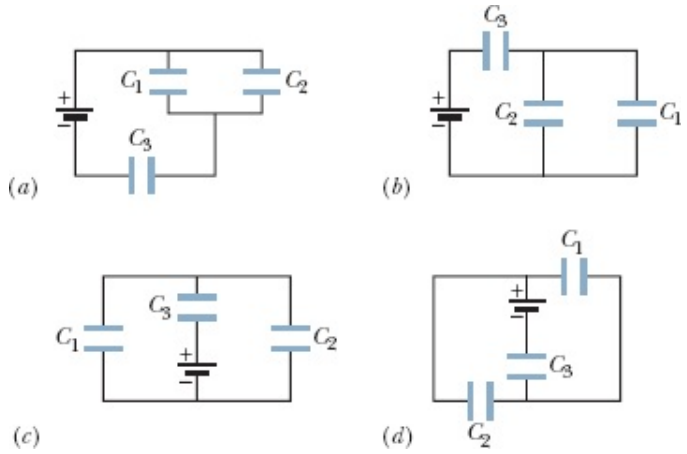



**Figura 25-19** Pergunta 3.

**4** A Fig. 25-20 mostra três circuitos formados por uma chave e dois capacitores inicialmente carregados da forma indicada na figura (com a placa superior positiva). Depois que as chaves são fechadas, em que circuito(s) a carga do capacitor da esquerda (a) aumenta, (b) diminui e (c) permanece constante?

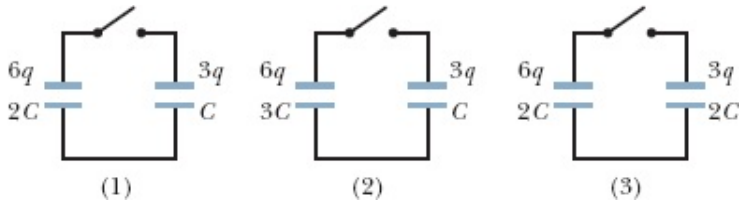



**Figura 25-20** Pergunta 4.

**5** Inicialmente, uma capacitância $C_1$ está ligada a uma bateria. Em seguida, uma capacitância $C_2$ é ligada em paralelo com $C_1$. (a) A diferença de potencial entre as placas de $C_1$ aumenta, diminui ou permanece a mesma? (b) A carga armazenada em $C_1$ aumenta, diminui ou permanece a mesma? (c) A capacitância equivalente de $C_1$ e $C_2$, $C_{12}$, é maior, menor ou igual a $C_1$? (d) A soma das cargas armazenadas em $C_1$ e $C_2$ é maior, menor ou igual à carga armazenada originalmente em $C_1$?

**6** Repita a Pergunta 5 para o caso em que a capacitância $C_2$ é ligada em série com $C_1$.

**7** Para cada circuito da Fig. 25-21, determine se os capacitores estão ligados em série, em paralelo, ou nem em série nem em paralelo.

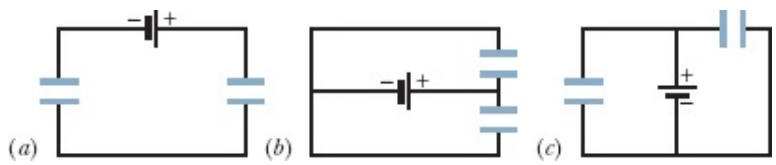



**Figura 25-21** Pergunta 7.

**8** A Fig. 25-22 mostra uma chave aberta, uma bateria que produz uma diferença de potencial $V$, um medidor de corrente $A$ e três capacitores iguais, descarregados, de capacitância $C$. Depois que a chave é fechada e o circuito atinge o equilíbrio, (a) qual é a diferença de potencial entre as placas de cada

capacitor? (b) Qual é a carga da placa da esquerda de cada capacitor? (c) Qual é a carga total que passa pelo medidor durante o processo?

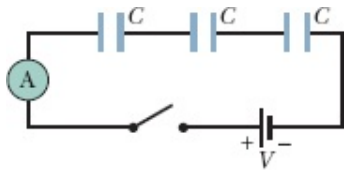



**Figura 25-22** Pergunta 8.

**9** Um capacitor de placas paralelas é ligado a uma bateria que produz uma diferença de potencial $V$. Se a distância entre as placas diminui, determine se cada uma das grandezas mencionadas a seguir aumenta, diminui ou permanece constante: (a) a capacitância do capacitor, (b) a diferença de potencial entre as placas do capacitor, (c) a carga do capacitor, (d) a energia armazenada pelo capacitor, (e) o módulo do campo elétrico na região entre as placas e (f) a densidade de energia do campo elétrico.

**10** Uma barra de material dielétrico é introduzida entre as placas de um dos dois capacitores iguais da Fig. 25-23. Determine se cada uma das propriedades do capacitor mencionadas a seguir aumenta, diminui ou permanece constante: (a) a capacitância, (b) a carga, (c) a diferença de potencial entre as placas, (d) a energia potencial. (e) Responda às mesmas perguntas para o outro capacitor.

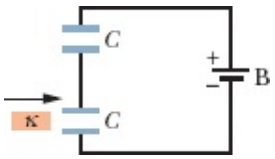



**Figura 25-23** Pergunta 10.

**11** As capacitâncias $C_1$ e $C_2$, com $C_1 > C_2$, são ligadas a uma bateria, primeiro separadamente, depois em série e depois em paralelo. Coloque os arranjos na ordem decrescente da carga armazenada.

## 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 25-1 Capacitância

·**1** Os dois objetos de metal da Fig. 25-24 possuem cargas de +70 pC e −70 pC, que resultam em uma diferença de potencial de 20 V. (a) Qual é a capacitância do sistema? (b) Se as cargas mudarem para +200 pC e −200 pC, qual será o novo valor da capacitância? (c) Qual será o novo valor da diferença de

potencial?



**Figura 25-24** Problema 1.

**·2** O capacitor da Fig. 25-25 possui uma capacitância de 25 $\mu$F e está inicialmente descarregado. A bateria produz uma diferença de potencial de 120 V. Quando a chave S é fechada, qual é a carga total que passa por ela?

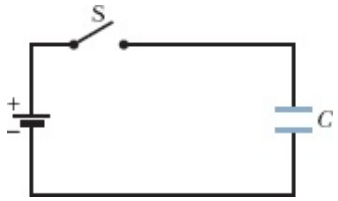



**Figura 25-25** Problema 2.

## Módulo 25-2 Cálculo da Capacitância

**·3** Um capacitor de placas paralelas possui placas circulares com um raio de 8,20 cm, separadas por uma distância de 1,30 mm. (a) Calcule a capacitância. (b) Qual será a carga das placas se uma diferença de potencial de 120 V for aplicada ao capacitor?

**·4** As placas de um capacitor esférico têm 38,0 mm e 40,0 mm de raio. (a) Calcule a capacitância. (b) Qual é a área das placas de um capacitor de placas paralelas com a mesma capacitância e a mesma distância entre as placas?

**·5** Qual é a capacitância de uma gota formada pela fusão de duas gotas esféricas de mercúrio com 2,00 mm de raio?

**·6** Pretende-se usar duas placas de metal com 1,00 $m^2$ de área para construir um capacitor de placas paralelas. (a) Qual deve ser a distância entre as placas para que a capacitância do dispositivo seja 1,00 F? (b) O dispositivo é fisicamente viável?

**·7** Se um capacitor de placas paralelas inicialmente descarregado, de capacitância $C$, é ligado a uma bateria, uma das placas, de área $A$, se torna negativa porque muitos elétrons migram para a superfície. Na Fig. 25-26, a profundidade $d$ da qual os elétrons migram para a superfície em um capacitor está plotada em função da tensão $V$ da bateria. A escala vertical é definida por $d_s$ = 1,00 pm e a escala horizontal por $V_s$ = 20,0 V. Quanto vale a razão $C/A$?

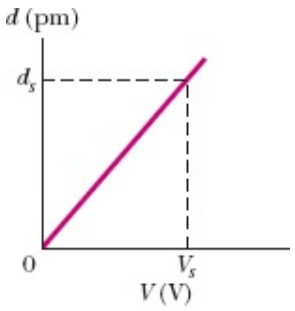



**Figura 25-26** Problema 7.

## Módulo 25-3 Capacitores em Paralelo e em Série

**·8** Quantos capacitores de 1,00 $\mu$F devem ser ligados em paralelo para armazenar uma carga de 1,00 C com uma diferença de potencial de 110 V entre as placas dos capacitores?

**·9** Os três capacitores da Fig. 25-27 estão inicialmente descarregados e têm uma capacitância de 25,0 $\mu$F. Uma diferença de potencial $V$ = 4200 V entre as placas dos capacitores é estabelecida quando a chave é fechada. Qual é a carga total que atravessa o medidor A?

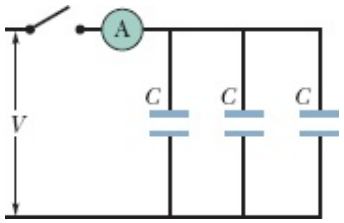



**Figura 25-27** Problema 9.

**·10** Determine a capacitância equivalente do circuito da Fig. 25-28 para $C_1$ = 10,0 $\mu$F, $C_2$ = 5,00 $\mu$F e $C_3$ = 4,00 $\mu$F.

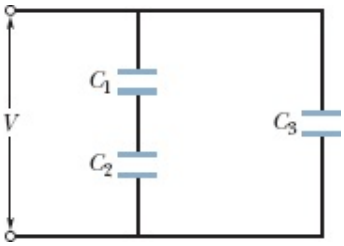



**Figura 25-28** Problemas 10 e 34.

**·11** Determine a capacitância equivalente do circuito da Fig. 25-29 para $C_1$ = 10,0 $\mu$F, $C_2$ = 5,00 $\mu$F e $C_3$ = 4,00 $\mu$F.

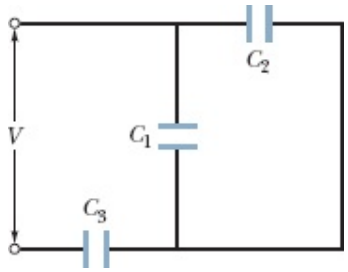



**Figura 25-29** Problemas 11, 17 e 38.

**··12** Dois capacitores de placas paralelas, ambos com uma capacitância de 6,0 $\mu$F, são ligados em paralelo a uma bateria de 10 V. Em seguida, a distância entre as placas de um dos capacitores é reduzida à metade. Quando essa modificação acontece, (a) qual é a carga adicional transferida aos capacitores pela bateria? (b) Qual é o aumento da carga total armazenada pelos capacitores?

**··13** Um capacitor de 100 pF é carregado com uma diferença de potencial de 50 V e a bateria usada para carregar o capacitor é desligada. Em seguida, o capacitor é ligado em paralelo com um segundo capacitor, inicialmente descarregado. Se a diferença de potencial entre as placas do primeiro capacitor cai para 35 V, qual é a capacitância do segundo capacitor?

**··14** Na Fig. 25-30, a bateria tem uma diferença de potencial $V = 10{,}0$ V e os cinco capacitores têm uma capacitância de 10,0 $\mu$F cada um. Determine a carga (a) do capacitor e (b) do capacitor 2.

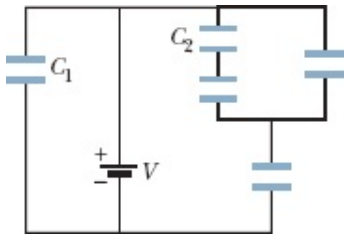



**Figura 25-30** Problema 14.

**··15** Na Fig. 25-31, uma bateria de 20,0 V é ligada a um circuito constituído por capacitores de capacitâncias $C_1 = C_6 = 3{,}00$ $\mu$F e $C_3 = C_5 = 2{,}00C_2 = 2{,}00C_4 = 4{,}00$ $\mu$F. Determine (a) a capacitância equivalente $C_{eq}$ do circuito, (b) a carga armazenada por $C_{eq}$, (c) $V_1$ e (d) $q_1$ do capacitor 1, (e) $V_2$ e (f) $q_2$ do capacitor 2, (g) $V_3$ e (h) $q_3$ do capacitor 3.

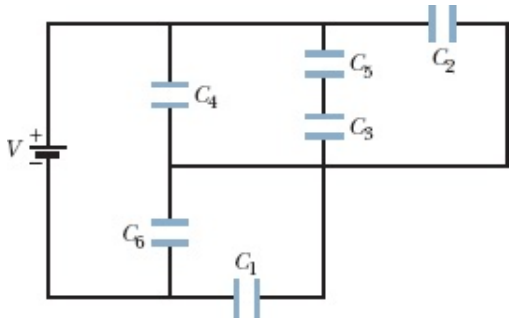



**Figura 25-31** Problema 15.

**··16** O gráfico 1 da Fig. 25-32*a* mostra a carga $q$ armazenada no capacitor 1 em função da diferença de potencial $V$ entre as placas. A escala vertical é definida por $q_s$ = 16,0 $\mu$C e a escala horizontal é definida por $V_s$ = 2,0 V. Os gráficos 2 e 3 são gráficos do mesmo tipo para os capacitores 2 e 3, respectivamente. A Fig. 25-32*b* mostra um circuito com os três capacitores e uma bateria de 6,0 V. Determine a carga do capacitor 2.

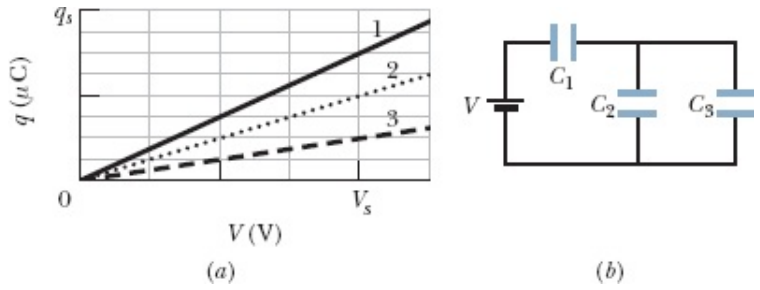



**Figura 25-32** Problema 16.

**··17** Na Fig. 25-29, uma diferença de potencial $V$ = 100,0 V é aplicada ao circuito e os valores das capacitâncias são $C_1$ = 10,0 $\mu$F, $C_2$ = 5,00 $\mu$F e $C_3$ = 4,00 $\mu$F. Se o capacitor 3 sofre uma ruptura dielétrica e passa a se comportar como um condutor, determine (a) o aumento da carga do capacitor 1 e (b) o aumento da diferença de potencial entre as placas do capacitor 1.

**··18** A Fig. 25-33 mostra quatro capacitores, cujo dielétrico é o ar, ligados em um circuito que faz parte de um circuito maior. O gráfico a seguir do circuito mostra o potencial elétrico $V(x)$ em função da posição $x$ no ramo inferior do circuito, que contém o capacitor 4. O gráfico acima do circuito mostra o potencial elétrico $V(x)$ em função da posição $x$ no ramo superior do circuito, que contém os capacitores 1, 2 e 3. O capacitor 3 tem uma capacitância de 0,80 $\mu$F. Determine a capacitância (a) do capacitor 1 e (b) do capacitor 2.

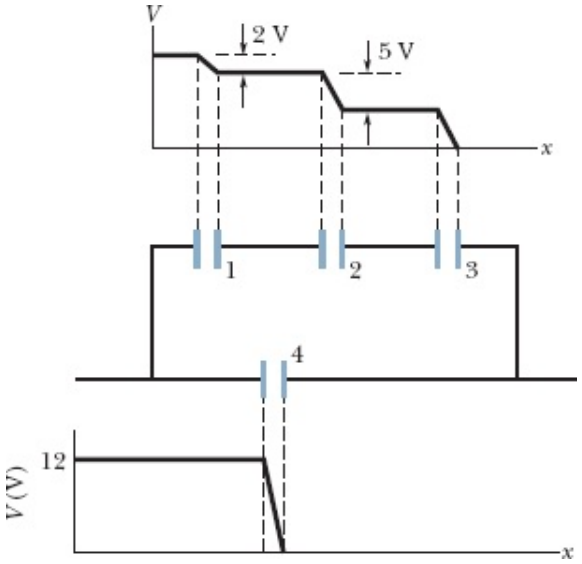



**Figura 25-33** Problema 18.

**··19** Na Fig. 25-34, $V$ = 9,0 V, $C_2$ = 3,0 $\mu$F, $C_4$ = 4,0 $\mu$F e todos os capacitores estão inicialmente

descarregados. Quando a chave S é fechada, uma carga total de 12 $\mu$C passa pelo ponto *a* e uma carga total de 8,0 $\mu$C passa pelo ponto *b*. (a) Qual é o valor de $C_1$? (b) Qual é o valor de $C_3$?]

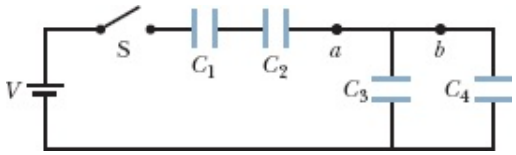



**Figura 25-34** Problema 19.

**··20** A Fig. 25-35 mostra um capacitor variável com "dielétrico de ar" do tipo usado para sintonizar manualmente receptores de rádio. O capacitor é formado por dois conjuntos de placas intercaladas, um grupo de placas fixas, ligadas entre si, e um grupo de placas móveis, também ligadas entre si. Considere um capacitor com 4 placas de cada tipo, todas com uma área $A$ = 1,25 cm$^2$; a distância entre placas vizinhas é $d$ = 3,40 mm. Qual é a capacitância máxima do conjunto?

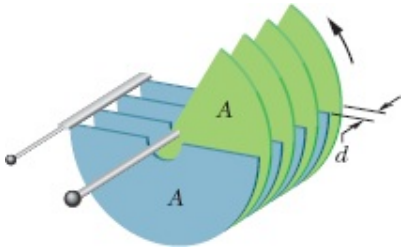



**Figura 25-35** Problema 20.

**··21** Na Fig. 25-36, as capacitâncias são $C_1$ = 1,0 $\mu$F e $C_2$= 3,0 $\mu$F e os dois capacitores são carregados com diferenças de potencial $V$ = 100 V de polaridades opostas. Em seguida, as chaves $S_1$ e $S_2$ são fechadas. (a) Qual é a nova diferença de potencial entre os pontos *a* e *b*? (b) Qual é a nova carga do capacitor 1? (c) Qual é a nova carga do capacitor 2?

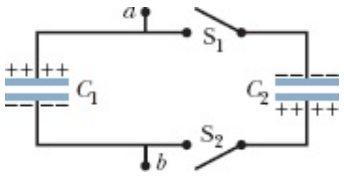



**Figura 25-36** Problema 21.

**··22** Na Fig. 25-37, $V$ = 10 V, $C_1$ = 10 $\mu$F e $C_2$ = $C_3$ = 20 $\mu$F. A chave S é acionada para a esquerda e permanece nessa posição até o capacitor 1 atingir o equilíbrio; em seguida, a chave é acionada para a direita. Quando o equilíbrio é novamente atingido, qual é a carga do capacitor 1?

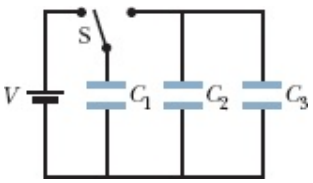


**Figura 25-37** Problema 22.

**··23** Os capacitores da Fig. 25-38 estão inicialmente descarregados. As capacitâncias são $C_1 = 4{,}0\ \mu F$, $C_2 = 8{,}0\ \mu F$ e $C_3 = 12\ \mu F$ e a diferença de potencial da bateria é $V = 12$ V. Quando a chave S é fechada, quantos elétrons passam (a) pelo ponto *a*, (b) pelo ponto *b*, (c) pelo ponto *c* e (d) pelo ponto *d*? Na figura, os elétrons estão se movendo para cima ou para baixo ao passarem (e) pelo ponto *b* e (f) pelo ponto *c*?

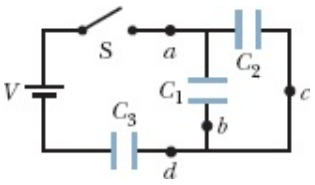



**Figura 25-38** Problema 23.

**··24** A Fig. 25-39 mostra dois capacitores cilíndricos, cujo dielétrico é o ar, ligados em série a uma bateria com um potencial $V = 10$ V. O capacitor 1 possui um raio interno de 5,0 mm, um raio externo de 1,5 cm e um comprimento de 5,0 cm. O capacitor 2 possui um raio interno de 2,5 mm, um raio externo de 1,0 cm e um comprimento de 9,0 cm. A placa externa do capacitor 2 é uma membrana orgânica condutora que pode ser esticada, e o capacitor pode ser inflado para aumentar a distância entre as placas. Se o raio da placa externa é aumentado para 2,5 cm, (a) quantos elétrons passam pelo ponto *P*? (b) Os elétrons se movem na direção da bateria ou na direção do capacitor 1?

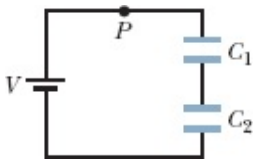



**Figura 25-39** Problema 24.

**··25** Na Fig. 25-40, dois capacitores de placas paralelas (com ar entre as placas) são ligados a uma bateria. A área das placas do capacitor 1 é 1,5 $cm^2$ e o campo elétrico entre as placas é 2000 V/m. A área das placas do capacitor 2 é 0,70 $cm^2$ e o campo elétrico entre as placas é 1500 V/m. Qual é a carga total dos dois capacitores?

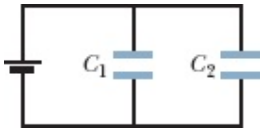



**Figura 25-40** Problema 25.

**···26** O capacitor 3 da Fig. 25-41*a* é um *capacitor variável* (é possível fazer variar a capacitância $C_3$). A Fig. 25-41*b* mostra o potencial elétrico $V_1$ entre as placas do capacitor 1 em função de $C_3$. A escala horizontal é definida por $C_{3s} = 12{,}0\ \mu F$. O potencial elétrico $V_1$ tende assintoticamente para 10 V quando

$C_3 \rightarrow \infty$. Determine (a) o potencial elétrico $V$ da bateria, (b) $C_1$ e (c) $C_2$.

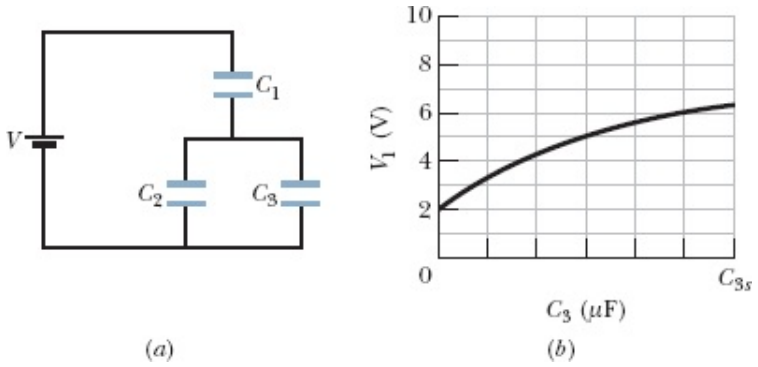



**Figura 25-41** Problema 26.

**···27** A Fig. 25-42 mostra uma bateria de 12,0 V e quatro capacitores descarregados de capacitâncias $C_1$ = 1,00 $\mu$F, $C_2$ = 2,00 $\mu$F, $C_3$ = 3,00 $\mu$F e $C_4$ = 4,00 $\mu$F. Se apenas a chave $S_1$ for fechada, determine a carga (a) do capacitor 1, (b) do capacitor 2, (c) do capacitor 3 e (d) do capacitor 4. Se as duas chaves forem fechadas, determine a carga (e) do capacitor 1, (f) do capacitor 2, (g) do capacitor 3 e (h) do capacitor 4.

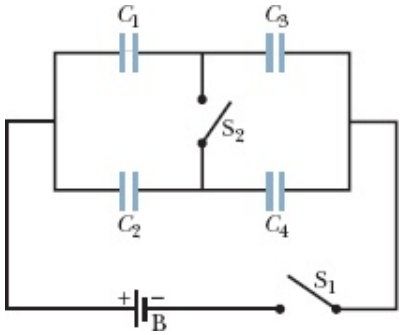



**Figura 25-42** Problema 27.

**···28** A Fig. 25-43 mostra uma bateria de 12,0 V e três capacitores descarregados, de capacitâncias $C_1$ = 4,00 $\mu$F, $C_2$ = 6,00 $\mu$F e $C_3$ = 3,00 $\mu$F. A chave é deslocada para a esquerda até que o capacitor 1 esteja totalmente carregado. Em seguida, a chave é deslocada para a direita. Determine a carga final (a) do capacitor 1, (b) do capacitor 2 e (c) do capacitor 3.

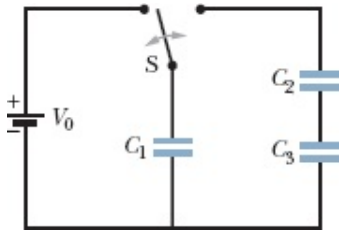



**Figura 25-43** Problema 28.

## Módulo 25-4 Energia Armazenada em um Campo Elétrico

·29 Qual é a capacitância necessária para armazenar uma energia de 10 kW · h com uma diferença de potencial de 1000 V?

·30 Qual é a energia armazenada em 1,00 $m^3$ de ar em um dia de "tempo bom", no qual o módulo do campo elétrico da atmosfera é 150 V/m?

·31 Um capacitor de 2,0 $\mu$F e um capacitor de 4,0 $\mu$F são ligados em paralelo a uma fonte com uma diferença de potencial de 300 V. Calcule a energia total armazenada nos capacitores.

·32 Um capacitor de placas paralelas cujo dielétrico é o ar é carregado com uma diferença de potencial de 600 V. A área das placas é 40 $cm^2$ e a distância entre as placas é 1,0 mm. Determine (a) a capacitância, (b) o valor absoluto da carga em uma das placas, (c) a energia armazenada, (d) o campo elétrico na região entre as placas e (e) a densidade de energia na região entre as placas.

··33 Uma esfera de metal carregada, com 10 cm de diâmetro, tem uma energia potencial de 8000 V em relação a $V = 0$ no infinito. Calcule a densidade de energia do campo elétrico perto da superfície da esfera.

··34 Na Fig. 25-28, uma diferença de potencial $V = 100$ V é aplicada a um circuito de capacitores cujas capacitâncias são $C_1 = 10{,}0$ $\mu$F, $C_2 = 5{,}00$ $\mu$F e $C_3 = 4{,}00$ $\mu$F. Determine (a) $q_3$, (b) $V_3$, (c) a energia $U_3$ armazenada no capacitor 3, (d) $q_1$, (e) $V_1$, (f) a energia $U_1$ armazenada no capacitor 1, (g) $q_2$, (h) $V_2$ e (i) a energia $U_2$ armazenada no capacitor 2.

··35 Considere um elétron estacionário como uma carga pontual e determine a densidade de energia $u$ do campo elétrico criado pela partícula (a) a 1,00 mm de distância, (b) a 1,00 $\mu$m de distância, (c) a 1,00 nm de distância e (d) a 1,00 pm de distância. (e) Qual é o limite de $u$ quando a distância tende a zero?

··36 Como engenheiro de segurança, o leitor precisa emitir um parecer a respeito da prática de armazenar líquidos condutores inflamáveis em recipientes feitos de material isolante. A companhia que fornece certo líquido vem usando um recipiente cilíndrico, feito de plástico, de raio $r = 0{,}20$ m, que está cheio até uma altura $h = 10$ cm, menor que a altura interna do recipiente (Fig. 25-44). A investigação do leitor revela que, durante o transporte, a superfície externa no recipiente adquire uma densidade de carga negativa de 2,0 $\mu C/m^2$ (aproximadamente uniforme). Como o líquido é um bom condutor de eletricidade, a carga do recipiente faz com que as cargas do líquido se separem. (a) Qual é a carga negativa induzida no centro do líquido? (b) Suponha que a capacitância da parte central do líquido em relação à terra seja 35 pF. Qual é a energia potencial associada à carga negativa desse capacitor efetivo? (c) Se ocorre uma centelha entre a terra e a parte central do líquido (através do respiradouro), a energia potencial pode alimentar a centelha. A energia mínima necessária para inflamar o líquido é 10 mJ. Nessa situação, o líquido pode pegar fogo por causa de uma centelha?

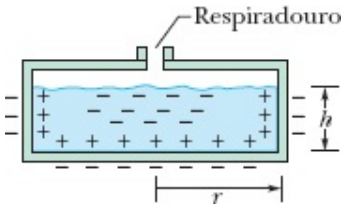



**Figura 25-44** Problema 36.

**··37** Um capacitor de placas paralelas, cujas placas têm área de 8,50 cm$^2$ e estão separadas por uma distância de 3,00 mm, é carregado por uma bateria de 6,00 V. A bateria é desligada e a distância entre as placas do capacitor é aumentada (sem descarregá-lo) para 8,00 mm. Determine (a) a diferença de potencial entre as placas, (b) a energia armazenada pelo capacitor no estado inicial, (c) a energia armazenada pelo capacitor no estado final e (d) a energia necessária para separar as placas.

**··38** Na Fig. 25-29, uma diferença de potencial $V$ = 100 V é aplicada a um circuito de capacitores cujas capacitâncias são $C_1$ = 10,0 $\mu$F, $C_2$ = 5,00 $\mu$F e $C_3$ = 15,00 $\mu$F. Determine (a) $q_3$, (b) $V_3$, (c) a energia $U_3$ armazenada no capacitor 3, (d) $q_1$, (e) $V_1$, (f) a energia $U_1$ armazenada no capacitor 1, (g) $q_2$, (h) $V_2$ e (i) a energia $U_2$ armazenada no capacitor 2.

**··39** Na Fig. 25-45, $C_1$ = 10,0 $\mu$F, $C_2$ = 20,0 $\mu$F e $C_3$ = 25,0 $\mu$F. Se nenhum dos capacitores pode suportar uma diferença de potencial de mais de 100 V sem que o dielétrico se rompa, determine (a) a maior diferença de potencial que pode existir entre os pontos $A$ e $B$ e (b) a maior energia que pode ser armazenada no conjunto de três capacitores.

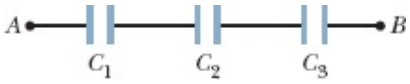



**Figura 25-45** Problema 39.

## Módulo 25-5 Capacitor com um Dielétrico

**·40** Um capacitor de placas paralelas, cujo dielétrico é o ar, tem uma capacitância de 1,3 pF. A distância entre as placas é multiplicada por dois, e o espaço entre as placas é preenchido com cera, o que faz a capacitância aumentar para 2,6 pF. Determine a constante dielétrica da cera.

**·41** Um cabo coaxial usado em uma linha de transmissão tem um raio interno de 0,10 mm e um raio externo de 0,60 mm. Calcule a capacitância, por metro, do cabo, supondo que o espaço entre os condutores seja preenchido com poliestireno.

**·42** Um capacitor de placas paralelas, cujo dielétrico é o ar, tem uma capacitância de 50 pF. (a) Se a área das placas é 0,35 m$^2$, qual é a distância entre as placas? (b) Se a região entre as placas for preenchida por um material com $\kappa$ = 5,6, qual será a nova capacitância?

**·43** Dado um capacitor de 7,4 pF cujo dielétrico é o ar, você recebe a missão de convertê-lo em um capacitor capaz de armazenar até 7,4 $\mu$J com uma diferença de potencial máxima de 652 V. Que dielétrico

da Tabela 25-1 você usaria para preencher o espaço entre as placas se não fosse permitida uma margem de erro?

**··44** Você está interessado em construir um capacitor com uma capacitância de aproximadamente 1 nF e um potencial de ruptura de mais de 10.000 V e pensa em usar as superfícies laterais de um copo de pirex como dielétrico, revestindo as faces interna e externa com folha de alumínio para fazer as placas. O copo tem 15 cm de altura, um raio interno de 3,6 cm e um raio externo de 3,8 cm. Determine (a) a capacitância e (b) o potencial de ruptura do capacitor.

**··45** Um capacitor de placas paralelas contém um dielétrico para o qual $\kappa = 5{,}5$. A área das placas é 0,034 $m^2$ e a distância entre as placas é 2,0 mm. O capacitor ficará inutilizado se o campo elétrico entre as placas exceder 200 kN/C. Qual é a máxima energia que pode ser armazenada no capacitor?

**··46** Na Fig. 25-46, qual é a carga armazenada nos capacitores de placas paralelas se a diferença de potencial da bateria é 12,0 V? O dielétrico de um dos capacitores é o ar; o do outro, uma substância com $\kappa = 3{,}00$. Para os dois capacitores, a área das placas é $5{,}00 \times 10^{-3}$ $m^2$ e a distância entre as placas é 2,00 mm.

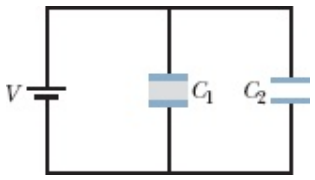



**Figura 25-46** Problema 46.

**··47** Uma substância tem uma constante dielétrica de 2,8 e uma rigidez dielétrica de 18 MV/m. Se for usada como dielétrico de um capacitor de placas paralelas, qual deverá ser, no mínimo, a área das placas do capacitor para que a capacitância seja 7,0 H $10^{-2}$ $\mu$F e o capacitor possa suportar uma diferença de potencial de 4,0 kV?

**··48** A Fig. 25-47 mostra um capacitor de placas paralelas com uma área das placas $A = 5{,}56$ $cm^2$ e uma distância entre as placas $d = 5{,}56$ mm. A parte esquerda do espaço entre as placas é preenchida por um material de constante dielétrica $\kappa_1 = 7{,}00$; a parte direita é preenchida por um material de constante dielétrica $\kappa_2 = 12{,}0$. Qual é a capacitância?

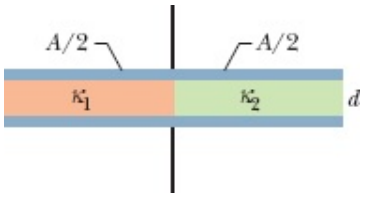



**Figura 25-47** Problema 48.

**··49** A Fig. 25-48 mostra um capacitor de placas paralelas com uma área das placas $A = 7{,}89$ $cm^2$ e uma distância entre as placas $d = 4{,}62$ mm. A parte superior do espaço entre as placas é preenchida por um

material de constante dielétrica $\kappa_1 = 11{,}00$; a parte inferior é preenchida por um material de constante dielétrica $\kappa_2 = 12{,}0$. Qual é a capacitância?

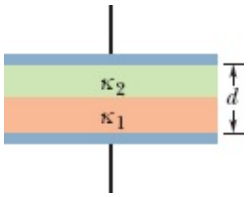



**Figura 25-48** Problema 49.

**··50** Na Fig. 25-49 é mostrado um capacitor de placas paralelas com área das placas $A = 10{,}5\ \text{cm}^2$ e distância entre as placas $2d = 7{,}12$ mm. O lado esquerdo do espaço entre as placas é preenchido por um material de constante dielétrica $\kappa_1 = 21{,}00$; a parte superior do lado direito é preenchida por um material de constante dielétrica $\kappa_2 = 42{,}0$; e a parte inferior do lado direito é preenchida por um material de constante dielétrica $\kappa_3 = 58{,}0$. Qual é a capacitância?

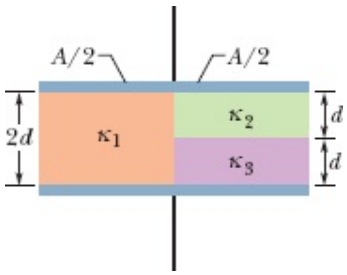



**Figura 25-49** Problema 50.

## Módulo 25-6 Dielétricos e a Lei de Gauss

**·51** Um capacitor de placas paralelas tem uma capacitância de 100 pF, uma área das placas de 100 $\text{cm}^2$ e um dielétrico de mica ($\kappa = 5{,}4$) que preenche totalmente o espaço entre as placas. Para uma diferença de potencial de 50 V, calcule (a) o módulo $E$ do campo elétrico no interior do dielétrico, (b) o valor absoluto da carga livre nas placas e (c) o valor absoluto da densidade superficial de cargas induzidas no dielétrico.

**·52** Suponha que a bateria permaneça ligada enquanto o dielétrico está sendo introduzido no capacitor do Exemplo 25.06. Determine (a) a capacitância, (b) a carga das placas do capacitor, (c) o campo elétrico nos espaços entre as placas do capacitor e o dielétrico e (d) o campo elétrico no interior do dielétrico, depois que o dielétrico for introduzido.

**··53** Um capacitor de placas paralelas tem uma área das placas de 0,12 $\text{m}^2$ e uma distância entre as placas de 1,2 cm. Uma bateria é usada para carregar as placas com uma diferença de potencial de 120 V e em seguida é removida do circuito. Um dielétrico com 4,0 mm de espessura e constante dielétrica 4,8 é introduzido simetricamente entre as placas. (a) Qual é a capacitância antes da introdução do dielétrico? (b) Qual é a capacitância após a introdução do dielétrico? (c) Qual é a carga das placas antes da

introdução do dielétrico? (d) Qual é a carga das placas após da introdução do dielétrico? (e) Qual é o módulo do campo elétrico no espaço entre as placas e o dielétrico? (f) Qual é o módulo do campo elétrico no interior do dielétrico? (g) Qual é a diferença de potencial entre as placas após a introdução do dielétrico? (h) Qual é o trabalho envolvido na introdução do dielétrico?

**··54** Duas placas paralelas de 100 $cm^2$ de área recebem cargas de mesmo valor absoluto, $8{,}9 \times 10^{-7}$ C, e sinais opostos. O campo elétrico no interior do dielétrico que preenche o espaço entre as placas é $1{,}4 \times 10^6$ V/m. (a) Calcule a constante dielétrica do material. (b) Determine o módulo da carga induzida nas superfícies do dielétrico.

**··55** O espaço entre duas cascas esféricas concêntricas de raios $b = 1{,}70$ cm e $a = 1{,}20$ cm é preenchido por uma substância de constante dielétrica $\kappa = 23{,}5$. Uma diferença de potencial $V = 73{,}0$ V é aplicada entre as duas cascas. Determine (a) a capacitância do dispositivo, (b) a carga livre $q$ da casca interna e (c) a carga $q'$ induzida na superfície do dielétrico mais próxima da casca interna.

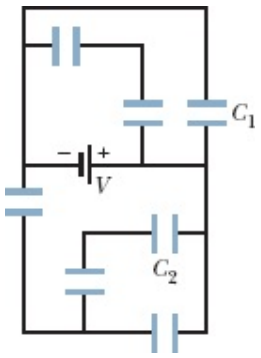



**Figura 25-50** Problema 56.

## Problemas Adicionais

**56** Na Fig. 25-50, a diferença de potencial $V$ da bateria é 10,0 V e os sete capacitores têm uma capacitância de 10,0 $\mu$F. Determine (a) a carga do capacitor 1 e (b) a carga do capacitor 2.

**57** Na Fig. 25-51, $V = 9{,}0$ V, $C_1 = C_2 = 30$ $\mu$F e $C_3 = C_4 = 15$ $\mu$F. Qual é a carga do capacitor $C_4$?

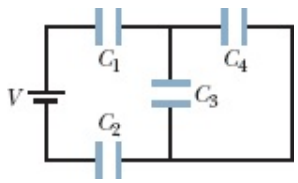



**Figura 25-51** Problema 57.

**58** As capacitâncias dos quatro capacitores da Fig. 25-52 são expressas em termos de uma constante $C$. (a) Se $C = 50$ $\mu$F, qual é a capacitância equivalente entre os pontos $A$ e $B$? (*Sugestão*: Imagine primeiro que uma bateria foi ligada entre os dois pontos; em seguida, reduza o circuito a uma capacitância equivalente.) (b) Responda à mesma pergunta do item (a) para os pontos $A$ e $D$.

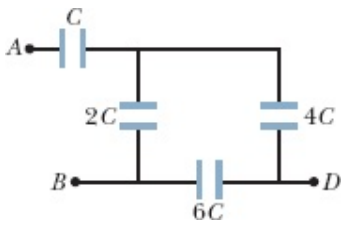



**Figura 25-52** Problema 58.

**59** Na Fig. 25-53, $V = 12$ V, $C_1 = C_4 = 2{,}0\ \mu$F, $C_2 = 4{,}0\ \mu$F e $C_3 = 1{,}0\ \mu$F. Qual é a carga do capacitor $C_4$?

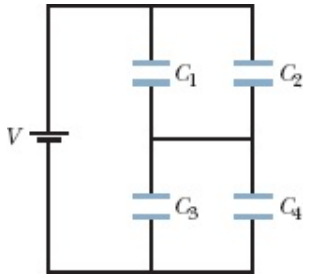



**Figura 25-53** Problema 59.

**60** *O mistério do chocolate em pó.* Essa história começa no Problema 60 do Capítulo 23. Como parte da investigação da explosão ocorrida na fábrica de biscoitos, o potencial elétrico dos operários foi medido enquanto eles esvaziavam sacos de chocolate em pó em uma bandeja, produzindo uma nuvem de pó de chocolate. Cada operário possuía um potencial elétrico de cerca de 7,0 kV em relação ao potencial da terra, que foi considerado como potencial zero. (a) Supondo que um operário pode ser modelado por um capacitor com uma capacitância efetiva de 200 pF, determine a energia armazenada nesse capacitor. Se uma única centelha entre um operário e um objeto condutor ligado à terra neutralizasse o operário, essa energia seria transferida para a centelha. De acordo com as medidas, para inflamar uma nuvem de pó de chocolate, provocando assim uma explosão, a centelha teria que ter uma energia de pelo menos 150 mJ. (b) Uma centelha produzida por um operário poderia provocar uma explosão enquanto o chocolate em pó estava sendo descarregado na bandeja? (A história continua no Problema 60 do Capítulo 26.)

**61** A Fig. 25-54 mostra o capacitor 1 ($C_1 = 8{,}00\ \mu$F), o capacitor 2 ($C_2 = 6{,}00\ \mu$F) e o capacitor 3 ($C_3 = 8{,}00\ \mu$F) ligados a uma bateria de 12,0 V. Quando a chave S é fechada, ligando ao circuito o capacitor 4 ($C_4 = 6{,}00\ \mu$F), inicialmente descarregado, determine (a) o valor da carga que passa pelo ponto $P$, proveniente da bateria e (b) o valor da carga armazenada no capacitor 4. (c) Explique por que os resultados dos itens (a) e (b) não são iguais.

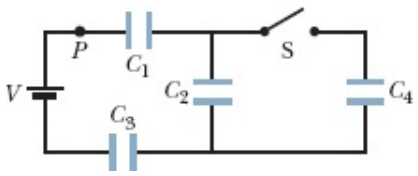



**Figura 25-54** Problema 61.

**62** Dois capacitores de placas paralelas, cujo dielétrico é o ar, são ligados a uma bateria de 10 V, primeiro separadamente, depois em série e, finalmente, em paralelo. Nesses arranjos, a energia armazenada nos capacitores é, em ordem crescente, 75 $\mu$J, 100 $\mu$J, 300 $\mu$J e 400 $\mu$J. (a) Qual é o valor do menor capacitor? (b) Qual é o valor do maior capacitor?

**63** Dois capacitores de placas paralelas, ambos com uma capacitância de 6,0 $\mu$F, são ligados em série a uma bateria de 10 V; em seguida, a distância entre as placas de um dos capacitores é reduzida à metade. (a) Qual é o valor da carga adicional transferida para os capacitores pela bateria em consequência da mudança? (b) Qual é o aumento da carga *total* armazenada nos capacitores (a soma da carga armazenada na placa positiva de um dos capacitores com a carga armazenada na placa positiva do outro capacitor)?

**64** Na Fig. 25-55, $V = 12$ V, $C_1 = C_5 = C_6 = 6{,}0$ $\mu$F e $C_2 = C_3 = C_4 = 4{,}0$ $\mu$F. Determine (a) a carga total armazenada nos capacitores e (b) a carga do capacitor $C_4$.

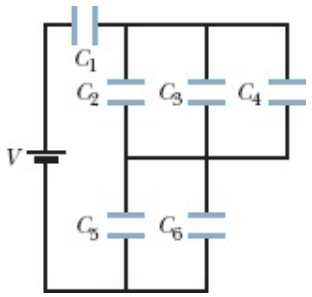



**Figura 25-55** Problema 64.

**65** Na Fig. 25-56, as placas do capacitor de placas paralelas têm área de $2{,}00 \times 10^{-2}$ m$^2$ e o espaço entre as placas é preenchido por dois blocos de material isolante com 2,00 mm de espessura cada um. A constante dielétrica de um dos materiais é 3,00 e a do outro é 7,00. Qual é a carga armazenada no capacitor por uma bateria de 7,00 V?

**66** Os raios de um capacitor cilíndrico como o da Fig. 25-6 são $a$ e $b$. Mostre que metade da energia potencial elétrica armazenada está no interior de um cilindro de raio $r = \sqrt{ab}$.




**Figura 25-56** Problema 65.

**67** Um capacitor de capacitância $C_1 = 6{,}00$ $\mu$F é ligado em série com um capacitor de capacitância $C_2 = 4{,}00$ $\mu$F, e uma diferença de potencial de 200 V é aplicada ao par de capacitores. (a) Calcule a capacitância equivalente. Determine (b) a carga $q_1$; (c) a diferença de potencial $V_1$, (d) $q_2$ e (e) $V_2$.

**68** Repita o Problema 67 para os mesmos dois capacitores, supondo que estão ligados em paralelo.

**69** Um capacitor é carregado com uma diferença de potencial $V$. Qual deve ser o aumento percentual de

$V$ para que a energia armazenada aumente de 10%?

**70** Uma barra de cobre, de espessura $b$ = 2,00 mm, é colocada entre as placas de um capacitor de placas paralelas. A área das placas é $A$ = 2,40 cm$^2$ e a distância entre as placas é $d$ = 5,00 mm. Como mostra a Fig. 25-57, a barra é colocada exatamente no centro do espaço entre as placas. (a) Qual é a capacitância após a introdução da barra? (b) Se uma carga $q$ = 3,40 $\mu$C é mantida nas placas, qual é a razão entre as energias armazenadas antes e depois da introdução da barra? (c) Qual é o trabalho executado quando a barra é introduzida? (d) A barra é atraída ou repelida pelo espaço entre as placas?

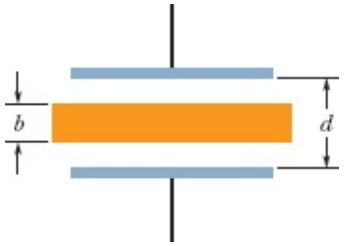



**Figura 25-57** Problemas 70 e 71.

**71** Repita o Problema 70, supondo que, em vez de a carga ser mantida constante, é mantida constante uma diferença de potencial entre as placas $V$ = 85,0 V.

**72** Uma diferença de potencial de 300 V é aplicada à combinação em série de dois capacitores, de capacitâncias $C_1$ = 2,00 $\mu$F e $C_2$ = 8,00 $\mu$F. Determine (a) a carga $q_1$, (b) a diferença de potencial $V_1$, (c) $q_2$ e (d) $V_2$. Os capacitores carregados são desligados um do outro e da bateria; em seguida, a ligação entre os capacitores é refeita, mas com as placas com cargas de *mesmo* sinal ligadas entre si (a bateria não é mais usada). Determine os novos valores de (e) $q_1$, (f) $V_1$, (g) $q_2$ e (h) $V_2$. Suponha que os capacitores carregados no item (a) tenham sido ligados com cargas de sinais *opostos* ligadas entre si. Determine quais são, nesse caso, os valores de (i) $q_1$, (j) $V_1$, (k) $q_2$ e (l) $V_2$.

**73** A Fig. 25-58 mostra um circuito com quatro capacitores que está ligado a um circuito maior pelos pontos $A$ e $B$. As capacitâncias são $C_1$ = 10 $\mu$F e $C_2$ = $C_3$ = $C_4$ = 20 $\mu$F. A carga do capacitor 1 é 30 $\mu$C. Qual é o valor absoluto da diferença de potencial $V_A - V_B$?

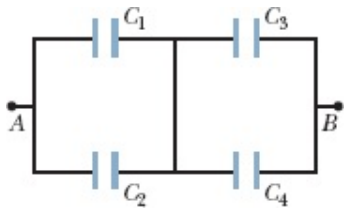



**Figura 25-58** Problema 73.

**74** O leitor dispõe de duas placas de cobre, uma folha de mica (espessura = 0,10 mm, $\kappa$ = 5,4), um pedaço de vidro (espessura = 2,0 mm, $\kappa$ = 7,0) e um bloco de parafina (espessura = 1,0 cm, $\kappa$ = 2,0). Para fabricar um capacitor de placas paralelas com o maior valor possível de $C$, que material você deve colocar entre as placas de cobre?

**75** Um capacitor de capacitância desconhecida $C$ é carregado com 100 V e ligado a um capacitor de 60 $\mu$F inicialmente descarregado. Se a diferença de potencial final entre os terminais do capacitor de 60 $\mu$F é 40 V, qual é o valor de $C$?

**76** Uma bateria de 10 V é ligada a $n$ capacitores em série, cada um com uma capacitância de 2,0 $\mu$F. Se a energia total armazenada nos capacitores é 25 $\mu$J, qual é o valor de $n$?

**77** Na Fig. 25-59, dois capacitores de placas paralelas $A$ e $B$ são ligados em paralelo a uma bateria de 600 V. A área das placas dos capacitores é 80,0 cm$^2$ e a distância entre as placas é 3,00 mm. O dielétrico do capacitor $A$ é o ar; o do capacitor $B$ é um material de constante dielétrica $\kappa$ = 2,60. Determine o módulo do campo elétrico (a) no espaço entre as placas do capacitor $B$ e (b) no espaço entre as placas do capacitor $A$. Determine a densidade de cargas livres $\sigma$ (c) na placa de maior potencial do capacitor $A$ e (d) na placa de maior potencial do capacitor $B$. (e) Determine a densidade de cargas induzidas $\sigma'$ na superfície superior do dielétrico do capacitor $B$.

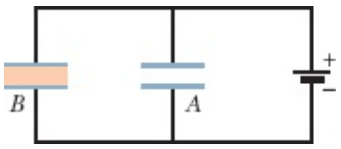



**Figura 25-59** Problema 77.

**78** O leitor dispõe de um suprimento ilimitado de capacitores de 2,0 $\mu$F, os quais suportam uma tensão de 200 V. De que forma esses capacitores podem ser usados para montar um circuito com uma capacitância equivalente (a) de 0,40 $\mu$F e (b) de 1,2 $\mu$F? Suponha que, em ambos os casos, o circuito tem que suportar uma tensão de 1000 V.

**79** Um capacitor de placas paralelas tem uma carga $q$ e a área das placas é $A$. Determine a força com a qual as placas se atraem, calculando o trabalho necessário para aumentar a distância entre as placas de $x$ para $x + dx$. (*Sugestão*: Veja a Eq. 8-22.) (b) Mostre que a força por unidade de área (a *tensão eletrostática*) a que cada placa está sujeita é igual à densidade de energia $\varepsilon_0 E^2/2$ na região entre as placas.

**80** Um capacitor é carregado até que a energia armazenada seja 4,00 J. Em seguida, um segundo capacitor é ligado em paralelo com o primeiro. (a) Se a carga se distribui igualmente entre os dois capacitores, qual é a energia total armazenada no campo elétrico dos dois capacitores? (b) Para onde foi a energia restante?