

Fig. 27-19 Questão 7.

- 8. Os capacitores são, freqüentemente, abastecidos com um fio elétrico ligado através de seus terminais. Por que se faz assim?
- 9. Se a distorção das linhas do campo elétrico num capacitor de placas paralelas não fosse desprezada, a capacitância seria maior ou menor?
- 10. Dois discos circulares de cobre estão defronte um do outro separados por uma determinada distância. De que modo poderíamos reduzir a capacitância dessa combinação?
- 11. É de se esperar que a constante dielétrica de um material varie com a temperatura? Em caso afirmativo, como? Importa, ou não, que as moléculas tenham momentos de dipolo permanentes?
- 12. Discuta as analogias e diferenças quando: (a) uma lâmina dielétrica e (b) uma lâmina condutora são inseridas entre as placas de um capacitor de placas paralelas. Suponha que a espessura de cada lâmina seja igual à metade da separação entre as placas.

13. Um capacitor de placas paralelas contendo óleo foi projetado para ter uma capacitância  $C$  e para funcionar com segurança até uma certa diferença de potencial máxima  $V_m$  sem sofrer ruptura. Contudo, o projetista não foi feliz e o capacitor, às vezes, apresenta centelhamento. O que pode ser feito para recuperar o capacitor, mantendo-se  $C$  e  $V_m$  inalterados e usando o mesmo dielétrico?

- 14. Um objeto dielétrico experimenta uma força líquida quando é submetido a um campo elétrico não-uniforme. Por que não há força líquida quando o campo é uniforme?
- 15. Um jato de água que sai de uma torneira pode ser desviado se uma barra com carga for colocada próxima a ele. Explique por quê.
- 16. A água possui uma constante dielétrica de valor alto. Por que não é comum o seu uso como material dielétrico nos capacitores?
- 17. Um capacitor de placas paralelas é carregado por meio de uma bateria, sendo, a seguir, retirado. Uma lâmina dielétrica é, então, introduzida entre as placas do capacitor. Descreva qualitativamente o que acontece com a carga, a capacitância, a diferença de potencial, o campo elétrico, a energia armazenada e a lâmina.
- 18. Enquanto um capacitor permanece ligado a uma bateria, uma lâmina dielétrica é introduzida entre as placas. Descreva qualitativamente o que acontece com a carga, a capacitância, a diferença de potencial, o campo elétrico, e a energia armazenada. É necessário a realização de trabalho para introduzir-se a lâmina?
- 19. Dois capacitores idênticos estão ligados como mostra a Fig. 27-20. Uma lâmina dielétrica é introduzida entre as placas de um dos capacitores, a bateria permanecendo ligada. Descreva qualitativamente o que acontece com a carga, a capacitância, a diferença de potencial, o campo elétrico e a energia armazenada de cada um dos capacitores.

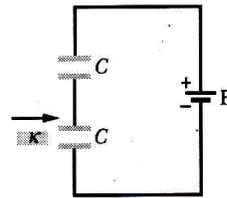


Fig. 27-20 Questão 19.

### EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

#### Seção 27-2 Capacitância

- 1E. Um eletrômetro é um instrumento usado para medir carga estática: uma carga desconhecida é colocada sobre as placas do capacitor do medidor e a diferença de potencial é medida. Que carga mínima pode ser medida por um eletrômetro com uma capacitância de 50 pF e uma sensibilidade à voltagem de 0,15 V?
- 2E. Os dois objetos metálicos da Fig. 27-21 têm cargas líquidas de +70 pC e -70 pC, o que resulta numa diferença de potencial de 20 V entre eles. (a) Qual é a capacitância do sistema? (b) Se as cargas mudarem para +200 pC e -200 pC, qual será o valor da capacitância? (c) Qual será o valor da diferença de potencial?



Fig. 27-21 Exercício 2.

de 120 V. Após a chave  $S$  ter ficado fechada por um longo tempo, quanta carga terá passado através da bateria?

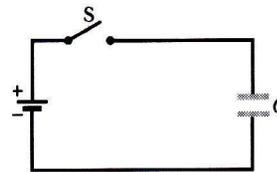


Fig. 27-22 Exercício 3.

#### Seção 27-3 Cálculo da Capacitância

- 4E. Resolvendo-se a Eq. 27-9 para  $\epsilon_0$ , vemos que sua unidade SI é o farad por metro. Mostre que esta unidade é equivalente àquela obtida anteriormente para  $\epsilon_0$ , ou seja, coulomb<sup>2</sup> por newton-metro<sup>2</sup>.
- 5E. Um capacitor de placas paralelas possui placas circulares de raio 8,2 cm e separação 1,3 mm. (a) Calcule a capacitância. (b) Que carga aparecerá sobre as placas se a diferença de potencial aplicada for de 120 V?

3E. O capacitor na Fig. 27-22 tem uma capacitância de 25  $\mu$ F e está inicialmente sem carga. A bateria fornece uma diferença de potencial

6E. Sejam duas placas metálicas planas, cada uma de área  $1,00 \text{ m}^2$ , com as quais desejamos construir um capacitor de placas paralelas. Para obtermos uma capacitância de  $1,00 \text{ F}$ , qual deverá ser a separação entre as placas? Será possível construirmos tal capacitor?

7E. A placa e o catodo de um diodo a vácuo têm a forma de dois cilindros concêntricos com o catodo sendo o cilindro central. O diâmetro do catodo é de  $1,6 \text{ mm}$  e o diâmetro da placa é de  $18 \text{ mm}$ ; os dois elementos têm comprimento de  $2,4 \text{ cm}$ . Calcular a capacitância do diodo.

8E. As placas de um capacitor esférico têm raios de  $38,0 \text{ mm}$  e  $40,0 \text{ mm}$ . (a) Calcular a capacitância. (b) Qual deve ser a área de um capacitor de placas paralelas que tem a mesma separação entre as placas e capacitância idêntica?

9E. Depois de andar sobre um tapete, num dia seco, uma pessoa toca com a mão na maçaneta metálica de uma porta, provocando uma centelha de  $5 \text{ mm}$ . Tal centelha significa que houve uma diferença de potencial de possivelmente  $15 \text{ kV}$  entre a pessoa e a maçaneta. Supondo esta diferença de potencial, qual foi a quantidade de carga que a pessoa acumulou andando sobre o tapete? Para este cálculo extremamente aproximado, considere o corpo da pessoa uma esfera condutora, uniformemente carregada, de  $25 \text{ cm}$  de raio, e eletricamente isolada de sua vizinhança.

10E. Duas placas de folha de alumínio têm uma separação de  $1,0 \text{ mm}$ , uma capacitância de  $10 \text{ pF}$  e estão carregadas a  $12 \text{ V}$ . (a) Calcule a área da placa. Mantendo-se a carga constante, diminuimos a separação entre as placas de  $0,10 \text{ mm}$ . (b) Qual é a nova capacitância? (c) De quanto varia a diferença de potencial? Explique, usando este princípio, como um microfone poderia ser construído.

11E. Uma gota esférica de mercúrio de raio  $R$  tem uma capacitância dada por  $C = 4\pi\epsilon_0 R$ . Se duas destas gotas se combinarem para formar uma única gota maior, qual será a sua capacitância?

12P. Calculamos, na Seção 27-3, a capacitância de um capacitor cilíndrico. Usando a aproximação  $\ln(1+x) \approx x$ , quando  $x \ll 1$  (veja o Apêndice G), mostre que ela se aproxima da capacitância de um capacitor de placas paralelas quando o espaçamento entre os dois cilindros é pequeno.

13P. Suponha que as duas cascas esféricas de um capacitor esférico tenham aproximadamente raios iguais. Sob tais condições, tal dispositivo se aproxima de um capacitor de placas paralelas com  $b - a = d$ . Mostre que a Eq. 27-17 se reduz, de fato, à Eq. 27-9, nesse caso.

14P. Um capacitor foi construído para operar com uma capacitância constante, em meio a uma temperatura variável. Como se demonstra na Fig. 27-23, o capacitor é do tipo de placas paralelas com "separadores" de plástico para manter as placas alinhadas. (a) Mostre que a taxa de variação da capacitância  $C$  com a temperatura  $T$  é dada por

$$\frac{dC}{dT} = C \left( \frac{1}{A} \frac{dA}{dT} - \frac{1}{x} \frac{dx}{dT} \right),$$

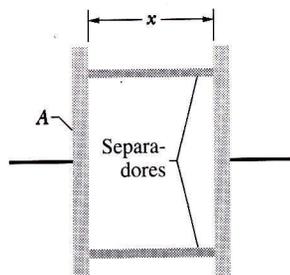


Fig. 27-23 Problema 14.

onde  $A$  é a área de cada placa e  $x$  a separação entre as placas. (b) Se as placas forem de alumínio, qual deverá ser o coeficiente de expansão térmica dos separadores a fim de que a capacitância não varie com a temperatura? (Ignore o efeito dos separadores sobre a capacitância.)

Seção 27-4 Capacitores em Paralelo e em Série

15E. Quantos capacitores de  $1,00 \mu\text{F}$  devem ser ligados em paralelo para acumular uma carga de  $1,00 \text{ C}$  com um potencial de  $110 \text{ V}$  através dos capacitores?

16E. Na Fig. 27-24, determine a capacitância equivalente da combinação. Suponha que  $C_1 = 10,0 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 5,00 \mu\text{F}$  e  $C_3 = 4,00 \mu\text{F}$ .

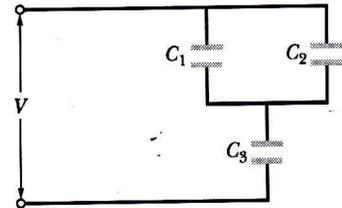


Fig. 27-24 Exercício 16 e Problemas 24 e 44.

17E. Na Fig. 27-25, determine a capacitância equivalente da combinação. Suponha que  $C_1 = 10,0 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 5,00 \mu\text{F}$  e  $C_3 = 4,00 \mu\text{F}$ .

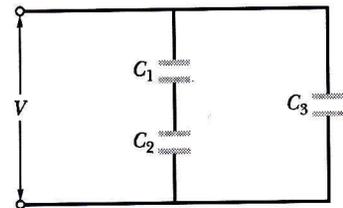


Fig. 27-25 Exercício 17 e Problema 45.

18E. Cada um dos capacitores descarregados na Fig. 27-26 tem uma capacitância de  $25,0 \mu\text{F}$ . Uma diferença de potencial de  $4.200 \text{ V}$  é estabelecida quando a chave é fechada. Quantos coulombs de carga passam então, através do amperímetro A?

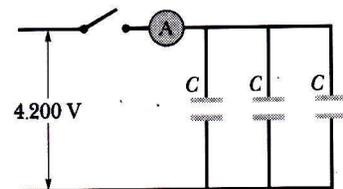


Fig. 27-26 Exercício 18.

19E. Uma capacitância  $C_1 = 6,00 \mu\text{F}$  é ligada em série com uma capacitância  $C_2 = 4,00 \mu\text{F}$  e uma diferença de potencial de  $200 \text{ V}$  é aplicada através do par. (a) Calcule a capacitância equivalente. (b) Qual é a carga sobre cada capacitor? (c) Qual é a diferença de potencial através de cada capacitor?

20E. Resolva o Exercício 19 para os mesmos dois capacitores ligados em paralelo.

22P. (a) Três capacitores são ligados em paralelo. Cada um tem placas de área  $A$  e separação  $d$  entre as placas. Qual deve ser a separação entre as placas de um único capacitor com placas de área  $A$ , para que sua capacitância seja igual à da combinação em paralelo? (b) Qual deve ser a separação entre as placas no caso de os três capacitores estarem ligados em série?

capacitância equivalente dessa combinação em série é independente da posição da seção central e é dada por

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{a - b}$$

23P. Uma diferença de potencial de 300 V é aplicada a uma ligação em série de dois capacitores, cujas capacitâncias são,  $C_1 = 2,0 \mu\text{F}$  e  $C_2 = 8,0 \mu\text{F}$ . (a) Quais são a carga e a diferença de potencial de cada capacitor? (b) Os capacitores carregados são desligados um do outro e da bateria. Eles são, então, ligados novamente, placa positiva com placa positiva e placa negativa com placa negativa, na ausência de qualquer diferença de potencial externa. Quais os novos valores da carga e da diferença de potencial de cada um deles? (c) Suponha que os capacitores carregados em (a) fossem montados com as placas de polaridade opostas ligadas entre si. Quais seriam, no estado estacionário, a carga e a diferença de potencial de cada capacitor?

24P. A Fig. 27-27 mostra um capacitor variável que usa o ar como dielétrico, do tipo empregado na sintonia dos aparelhos de rádio. As placas são ligadas alternadamente, um grupo de placas estando fixo e o outro podendo girar em torno de um eixo. Considere um conjunto de  $n$  placas de polaridade alternada, cada uma tendo uma área  $A$  e separadas por uma distância  $d$ . Mostre que este capacitor tem uma capacitância máxima de

$$C = \frac{(n - 1)\epsilon_0 A}{d}$$

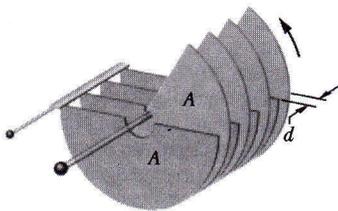


Fig. 27-27 Problema 23.

24P. Na Fig. 27-24, suponha que o capacitor  $C_3$  teve seu isolamento rompido eletricamente, tornando-se equivalente a um caminho condutor. Que variações ocorrem (a) na carga e (b) na diferença de potencial do capacitor  $C_1$ ? Suponha que  $V = 100 \text{ V}$ .

25P. Dispomos de vários capacitores de  $2,0 \mu\text{F}$ , capazes de suportar 200 V sem ruptura. Como poderíamos agrupar esses capacitores, de modo a obter uma combinação de capacitância equivalente de (a)  $0,40 \mu\text{F}$  ou (b)  $1,2 \mu\text{F}$ , cada uma capaz de suportar 1.000 V?

26P. A Fig. 27-28 mostra dois capacitores em série, cuja seção central, de comprimento  $b$ , pode ser deslocada verticalmente. Mostre que a ca-

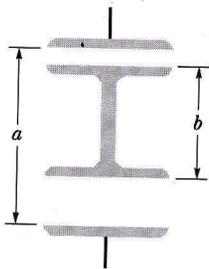


Fig. 27-28 Problema 26.

27P. Um capacitor de  $100 \text{ pF}$  é carregado sob uma diferença de potencial de 50V e a bateria que o carrega é retirada. O capacitor é, então, ligado em paralelo com um segundo capacitor, inicialmente descarregado. Sabendo-se que a diferença de potencial cai para 35V, qual é a capacitância deste segundo capacitor?

28P. Na Fig. 27-29, os capacitores  $C_1 = 1,0 \mu\text{F}$  e  $C_2 = 3,0 \mu\text{F}$  são ambos carregados a um potencial  $V = 100 \text{ V}$  mas com polaridades opostas, como é mostrado. As chaves  $S_1$  e  $S_2$  são, então, fechadas. (a) Qual é a diferença de potencial entre os pontos  $a$  e  $b$ ? (b) Qual é a carga sobre  $C_1$ ? (c) Qual é a carga sobre  $C_2$ ?

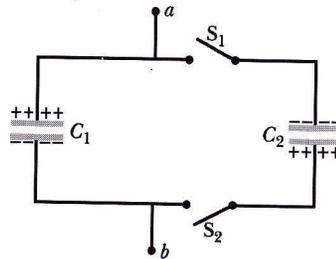


Fig. 27-29 Problema 28.

29P. Quando a chave  $S$ , na Fig. 27-30, é girada para a esquerda, as placas do capacitor  $C_1$  adquirem uma diferença de potencial  $V_0$ . Os capacitores  $C_2$  e  $C_3$  estão inicialmente descarregados. A chave é, agora, girada para a direita. Quais são as cargas finais  $q_1$ ,  $q_2$  e  $q_3$  sobre os capacitores correspondentes?

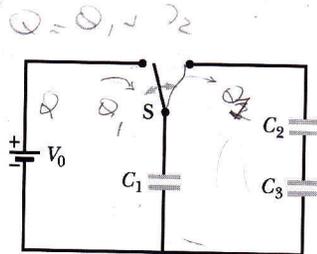


Fig. 27-30 Problema 29.

30P. Na Fig. 27-31, a bateria  $B$  fornece 12 V. (a) Determine a carga sobre cada capacitor quando a chave  $S_1$  é fechada e (b) quando (mais tarde) a chave  $S_2$  é também fechada. Considere  $C_1 = 1,0 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2,0 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 3,0 \mu\text{F}$  e  $C_4 = 4,0 \mu\text{F}$ .

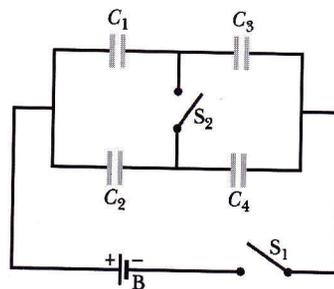


Fig. 27-31 Problema 30.

**31P.** A Fig. 27-32 mostra dois capacitores idênticos  $C$  num circuito com dois diodos (ideais)  $D$ . (Um diodo ideal tem a propriedade de o fluxo de carga positiva através dele se fazer somente no sentido da seta e o fluxo de carga negativa através dele somente no sentido oposto.) Uma bateria de 100 V é ligada aos terminais de entrada, primeiro com o terminal positivo em  $a$  e depois com o terminal positivo em  $b$ . Em cada caso, qual é a diferença de potencial através dos terminais de saída?

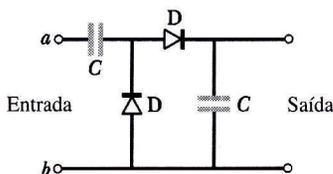


Fig. 27-32 Problema 31.

**Seção 27-5 Armazenamento de Energia num Campo Elétrico**

**32E.** Que quantidade de energia é armazenada num metro cúbico de ar, em virtude do campo elétrico de intensidade 150 V/m que existe na atmosfera terrestre?

**33E.** Experiências têm sido realizadas com o objetivo de construir um reator de fusão termonuclear controlada que, se concretizado, poderá vir a abastecer o mundo com um grande suprimento de energia proveniente do hidrogênio pesado extraído da água do mar. Estas experiências, usualmente, envolvem correntes imensas, por curtos períodos de tempo, nas bobinas geradoras de campos magnéticos. Por exemplo, o ZT-40, do Laboratório Científico de Los Alamos, possui compartimentos repletos de capacitores. Um dos bancos de capacitores fornece 61,0 mF a 10,0 kV. Calcular a energia armazenada em (a) em joules e (b) em kW·h.

**34E.** Que capacitância é necessária para armazenar uma energia de 10 kW·h sob uma diferença de potencial de 1.000 V?

**35E.** Um capacitor de placas paralelas (a ar) tem uma capacitância de 130 pF. (a) Qual é a energia armazenada quando a diferença de potencial aplicada é de 56,0 V? (b) Podemos calcular a densidade de energia para pontos entre as placas?

**36E.** Um capacitor de placas paralelas (a ar), com uma área de 40 cm<sup>2</sup> e separação entre as placas de 1,0 mm, é carregado sob uma diferença de potencial de 600 V. Determine (a) a capacitância, (b) o módulo da carga sobre cada placa, (c) a energia armazenada, (d) o campo elétrico entre as placas e (e) a densidade de energia entre as placas.

**37E.** Dois capacitores, de capacitâncias 2,0 μF e 4,0 μF, são ligados em paralelo através de uma diferença de potencial de 300 V. Calcular a energia total armazenada nos capacitores.

**38E.** (a) Calcular a densidade de energia do campo elétrico a uma distância  $r$  do centro de um elétron em repouso. (b) Supondo-se o elétron um ponto infinitesimal, o que este cálculo nos dá para a densidade de energia no limite de  $r \rightarrow 0$ ?

**39E.** Um certo capacitor é carregado sob uma diferença de potencial  $V$ . Se desejarmos aumentar sua energia armazenada de 10%, em que percentagem teremos de aumentar  $V$ ?

**40P.** Uma esfera metálica isolada cujo diâmetro é de 10 cm tem um potencial de 8.000 V. Calcular a densidade de energia no campo elétrico próximo da superfície da esfera.

**41P.** Um banco de 2.000 capacitores de 5,00 μF ligados em paralelo é usado para armazenar energia elétrica. Quanto custa carregá-lo a 50.000 V, supondo uma tarifa de 3,0 cents/kW·h?

**42P.** Para os capacitores do Problema 22, calcule a energia armazenada para as três ligações diferentes das partes (a), (b) e (c). Compare estas energias armazenadas e explique quaisquer diferenças.

**43P.** Um capacitor é carregado até que sua energia armazenada seja de 4,0 J. Um segundo capacitor descarregado é, então, ligado a ele em paralelo. (a) Sabendo-se que a carga se distribui igualmente, qual é, agora, a energia total armazenada nos campos elétricos? Para onde vai o excesso de energia?

**44P.** Na Fig. 27-24, determine (a) a carga, (b) a diferença de potencial e (c) a energia armazenada para cada capacitor. Suponha os valores numéricos do Exercício 16, com  $V = 100$  V.

**45P.** Na Fig. 27-25, determine (a) a carga, (b) a diferença de potencial e (c) a energia armazenada para cada capacitor. Suponha os valores numéricos do Exercício 17, com  $V = 100$  V.

**46P.** Um capacitor de placas paralelas tem placas de área  $A$  e separação  $d$ , e é carregado sob uma diferença de potencial  $V$ . A bateria que o carrega é, então, retirada e as placas são afastadas até que a separação entre elas seja de  $2d$ . Deduza expressões em termos de  $A$ ,  $d$  e  $V$  para (a) a nova diferença de potencial, (b) as energias armazenadas inicial e final e (c) o trabalho necessário para separar as placas.

**47P.** Um capacitor cilíndrico tem raios  $a$  e  $b$  como na Fig. 27-6. Mostre que metade da energia potencial elétrica armazenada está dentro de um cilindro cujo raio é

$$r = \sqrt{ab}.$$

**48P.** Suponha que o elétron não seja um ponto, mas sim uma esfera de raio  $R$ , e que a carga eletrônica esteja distribuída uniformemente sobre essa superfície. (a) Determine a energia que está associada ao campo elétrico externo do elétron, no vácuo, como função de  $R$ . (b) Associando-se, agora, tal energia à massa do elétron, podemos usar  $E = mc^2$  para estimar o valor de  $R$ . Calcule este raio numericamente; ele é frequentemente chamado de *raio clássico* do elétron.

**49P.** Mostre que as placas de um capacitor de placas paralelas se atraem mutuamente com uma força dada por

$$F = \frac{q^2}{2\epsilon_0 A}.$$

Obtenha o resultado calculando o trabalho necessário para aumentar a separação das placas de  $x$  para  $x + dx$ , com a carga  $q$  permanecendo constante.

**50P.** Usando o resultado do Problema 49, mostre que a força por unidade de área (a *tensão eletrostática*) atuando sobre cada placa é dada por  $\epsilon_0 E^2/2$ . (Na realidade, este resultado é geral, valendo para condutores de *qualquer* formato, com um campo elétrico  $E$  na sua superfície.)

**51P\*.** Uma carga  $q$  é colocada lentamente na superfície de uma bolha de sabão, de raio  $R_0$ . Devido à repulsão mútua existente entre as cargas superficiais, o raio aumenta ligeiramente para  $R$ . Por causa da expansão, a pressão do ar dentro da bolha cai para  $p$  ( $V_0/V$ ) onde  $p$  é a pressão atmosférica,  $V_0$  é o volume inicial e  $V$  é o volume final. Mostre que

$$q^2 = 32\pi^2\epsilon_0 p R (R^3 - R_0^3)$$

(Sugestão: Considere as forças que atuam sobre uma pequena área da bolha carregada. Forças decorrentes de (i) a pressão do gás; (ii) a pressão atmosférica; (iii) a tensão eletrostática. Ver o Problema 50.)

**Seção 27-6 Capacitor com um Dielétrico**

**52E.** Um capacitor de placas paralelas cheio de ar tem uma capacitância de 1,3 pF. Dobra-se a separação das placas e insere-se parafina entre

54E. A nova capacitância é 2,6 pF. Determine a constante dielétrica da parafina.

55E. Dado um capacitor de 7,4 pF, cheio de ar, pedimos convertê-lo em capacitor que armazene 7,4 μJ com uma diferença de potencial máxima de 652 V. Qual dos dielétricos listados na Tabela 27-2 poderia ser usado para preencher a lacuna de ar do capacitor?

56E. Para construirmos um capacitor de placas paralelas, temos disponíveis duas placas de cobre, uma lâmina de mica (espessura = 0,10 mm, κ = 5,4), uma lâmina de vidro (espessura = 2,0 mm, κ = 7,0), e uma lâmina de parafina (espessura = 1,0 cm, κ = 2,0). Para obtermos a maior capacitância possível, que lâmina deve ser colocada entre as placas de cobre?

57E. Um capacitor de placas paralelas cheio de ar tem uma capacitância de 50 pF. (a) Sabendo-se que suas placas têm uma área de 0,35 m<sup>2</sup>, qual é a separação entre elas? (b) Se a região entre as placas for preenchida com um material de constante dielétrica igual a 5,6, qual será a nova capacitância?

58E. Um cabo coaxial usado numa linha de transmissão tem um raio interno de 0,10 mm e um raio externo de 0,60 mm. Calcular a capacitância por metro de cabo. Suponha que o espaço entre os condutores seja preenchido com poliestireno.

59P. Uma certa substância tem uma constante dielétrica de 2,8 e uma rigidez dielétrica de 18 MV/m. Se a usarmos como material dielétrico num capacitor de placas paralelas, qual deverá ser a área mínima das placas para que a capacitância seja de 7,0 × 10<sup>-2</sup> μF e para que o capacitor seja capaz de resistir a uma diferença de potencial de 4,0 kV?

58P. Deseja-se construir um capacitor cuja capacitância se aproxime de 1 nF e um potencial de ruptura acima de 10.000 V. Com esse objetivo, podemos usar os lados de um copo grande de pìrex cobrindo as partes interna e externa com uma folha de alumínio. A altura do copo é de 15 cm e seus raios interno e externo medem 3,6 cm e 3,8 cm, respectivamente. Quais são (a) a capacitância e (b) o potencial de ruptura?

59P. Deseja-se construir um capacitor portátil capaz de armazenar 250 kJ de energia. O capacitor escolhido é do tipo de placas paralelas com dielétrico. (a) Escolhendo-se um dos dielétricos, na Tabela 27-2, cujo valor da rigidez dielétrica tenha sido dado, determine o volume mínimo factível do capacitor. (b) Alguns capacitores modernos, com ótimos desempenhos e que podem armazenar 250 kJ de energia, têm volumes de 0,0870 m<sup>3</sup>. Supondo que o dielétrico usado tenha a mesma rigidez dielétrica que no item (a), qual deve ser sua constante dielétrica?

60P. Dois capacitores de placas paralelas têm a mesma área A e separação d, mas as constantes dielétricas dos materiais entre as placas são: κ + Δκ em um deles e κ - Δκ no outro. (a) Determine a capacitância equivalente quando eles são ligados em paralelo. (b) Sabendo-se que a carga total sobre a combinação em paralelo é Q, qual é a carga sobre o capacitor de capacitância maior?

61P. Uma lâmina de cobre de espessura b é introduzida exatamente no meio e entre as placas de um capacitor de placas paralelas, como é mostrado na Fig. 27-33. (a) Qual é a capacitância depois da introdução

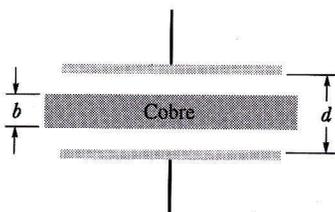


Fig. 27-33 Problemas 61 e 62.

da placa? (b) Mantendo-se a carga q sobre as placas, qual é a razão entre as energias armazenadas antes e depois da introdução da lâmina? (c) Que trabalho é realizado sobre a lâmina durante a sua introdução? A lâmina é puxada ou temos de empurrá-la para o interior do capacitor?

62P. Refazer o Problema 61 supondo que a diferença de potencial, e não a carga, seja mantida constante.

63P. Um capacitor de placas paralelas, de área A, é preenchido com dois dielétricos, como é mostrado na Fig. 27-34. Mostre que a capacitância é dada por

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left( \frac{\kappa_1 + \kappa_2}{2} \right).$$

Verifique essa fórmula para todos os casos limites possíveis. (Sugestão: Podemos considerar tal arranjo como dois capacitores em paralelo?)

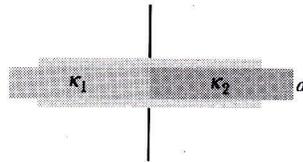


Fig. 27-34 Problema 63.

64P. Um capacitor de placas paralelas, de área A, é preenchido com dois dielétricos como mostra a Fig. 27-35. Mostre que a capacitância é dada por

$$C = \frac{2\epsilon_0 A}{d} \left( \frac{\kappa_1 \kappa_2}{\kappa_1 + \kappa_2} \right).$$

Verifique essa fórmula para todos os casos limites possíveis. (Sugestão: Podemos considerar tal arranjo como dois capacitores em série?)

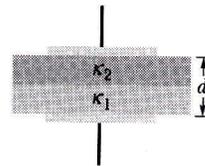


Fig. 27-35 Problema 64.

65P. Qual é a capacitância do capacitor, com placas de área A, mostrado na Fig. 27-36?

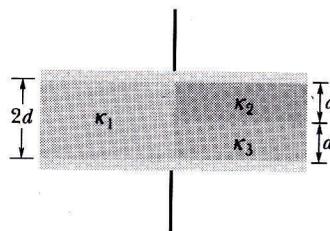


Fig. 27-36 Problema 65.

## Seção 27-8 Os Dielétricos e a Lei de Gauss

**66E.** Um capacitor de placas paralelas tem uma capacitância de 100 pF, placas de área igual a  $100 \text{ cm}^2$  e usa mica como dielétrico ( $\kappa = 5,4$ ). Para uma diferença de potencial de 50 V, calcule (a)  $E$  na mica, (b) o módulo da carga livre sobre as placas, e (c) o módulo da carga superficial induzida.

**67E.** No Exemplo 27-10, suponha que a bateria permaneça ligada durante o tempo que a lâmina dielétrica está sendo introduzida. Calcule: (a) a capacitância; (b) a carga sobre as placas do capacitor; (c) o campo elétrico no espaço vazio; (d) o campo elétrico na lâmina, depois que ela é introduzida.

**68P.** Duas placas paralelas de área igual a  $100 \text{ cm}^2$  possuem cargas iguais de sinais opostos e módulo igual a  $8,9 \times 10^{-7} \text{ C}$ . O campo elétrico no interior do material dielétrico que preenche o espaço entre as placas é de  $1,4 \times 10^6 \text{ V/m}$ . (a) Calcule a constante dielétrica do material. (b) Determine o módulo da carga induzida sobre cada superfície do dielétrico.

**69P.** Um capacitor de placas paralelas tem placas de área igual a  $0,12 \text{ m}^2$  e uma separação de 1,2 cm. Uma bateria carrega as placas sob uma diferença de potencial de 120 V e é, então, retirada. Uma lâmina dielétrica com 4,0 mm de espessura e constante dielétrica igual a 4,8 é intro-

duzida, simetricamente, entre as placas. (a) Determine a capacitância antes da introdução da lâmina. (b) Qual é a capacitância com a lâmina no lugar? (c) Qual é a carga livre  $q$ , antes e depois da introdução da lâmina? (d) Qual é o campo elétrico no espaço entre as placas e o dielétrico? (e) Qual é o campo elétrico no dielétrico? (f) Com a lâmina no lugar, qual é a diferença de potencial entre as placas do capacitor? (g) Que quantidade de trabalho externo está envolvida no processo de introdução da lâmina?

**70P.** No capacitor do Exemplo 27-10 (Fig. 27-17), (a) que fração da energia está armazenada nas lacunas de ar? (b) Que fração está armazenada na lâmina?

**71P.** Uma lâmina dielétrica de espessura  $b$  é introduzida entre as placas de um capacitor de placas paralelas de separação  $d$ . Mostre que a capacitância é dada por

$$C = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{\kappa d - b(\kappa - 1)}$$

(Sugestão: Deduza a fórmula seguindo o modelo do Exemplo 27-10. Esta fórmula prevê o resultado numérico correto do Exemplo 27-10. Verifique que a fórmula está de acordo com os casos especiais de  $b = 0$ ,  $\kappa = 1$  e  $b = d$ .

## PROBLEMAS ADICIONAIS

**72.** O capacitor de placas paralelas da Fig. 27-37 está ligeiramente desalinhado. A área de cada placa é  $A$ , e a quantidade de desalinhamento  $\Delta$  é muito menor que a distância média  $d$  entre as placas. Suponha que as linhas do campo elétrico são aproximadamente verticais e que o capacitor possa ser dividido em "tiras" de larguras infinitesimais, ao longo do eixo  $x$ , que estão efetivamente ligadas em paralelo. (a) Qual a capacitância  $C$  do capacitor? (b) Mostre que a resposta de (a) se reduz à Eq. 27-9 quando  $\Delta = 0$ .

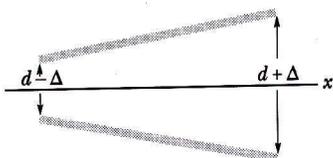


Fig. 27-37 Problema 72.

**73.** O espaço entre duas cascas esféricas condutoras concêntricas de raios  $b$  e  $a$  (onde  $b > a$ ) é preenchido com uma substância de constante dielétrica  $\kappa$ . Existe uma diferença de potencial  $V$  entre as cascas interna e externa. Determine (a) a capacitância, (b) a carga livre  $q$  sobre a casca interna e (c) a carga induzida  $q'$  ao longo da superfície da casca interna.

**74.** Um condutor esférico de raio  $R$  tem uma carga  $Q$  sobre sua superfície. Qual é o campo elétrico (a) interior e (b) exterior ao condutor? (c) Que quantidade de energia eletrostática está armazenada numa casca esférica de raio  $r > R$  e espessura  $dr$ ? (d) Determine por integração a energia armazenada no espaço que circunda o condutor. (e) Qual será a sua variação se o raio do condutor for aumentado para  $R + \Delta R$ ? (f) O trabalho necessário para esta variação de energia é igual ao produto de uma pressão eletrostática externa e a variação resultante no volume do condutor. Mostre que tal pressão é igual à densidade de energia eletrostática externa ao condutor.