Perguntas

1 O vetor área de uma superfície é $\vec{A} = (2\hat{i} + 3\hat{j})\text{m}^2$. Qual é o fluxo de um campo elétrico através da superfície, se o campo é (a) $\vec{E} = 4\hat{i}$ N/C e (b) $\vec{E} = 4\hat{k}$ N/C?

2 A Fig. 23-22 mostra, em seção reta, três cilindros maciços de comprimento L e carga uniforme Q. Concêntrica com cada cilindro, existe uma superfície gaussiana cilíndrica; as três superfícies gaussianas têm o mesmo raio. Coloque as superfícies gaussianas em ordem decrescente do módulo do campo elétrico em qualquer ponto da superfície.

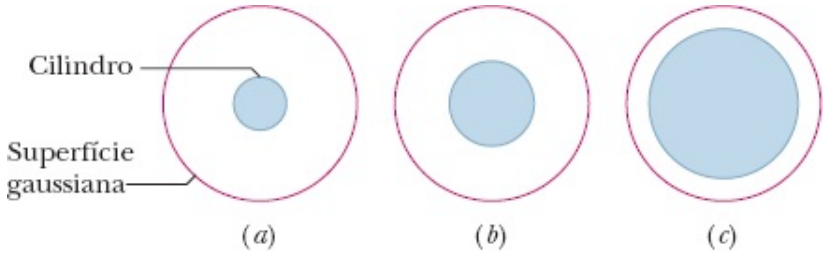


Figura 23-22 Pergunta 2.

3 A Fig. 23-23 mostra, em seção reta, uma esfera central metálica, duas cascas metálicas e três superfícies gaussianas esféricas concêntricas de raio R, $2R$ e $3R$. As cargas dos três corpos, distribuídas uniformemente, são as seguintes: esfera, Q; casca menor, $3Q$; casca maior, $5Q$. Coloque as três superfícies gaussianas em ordem decrescente do módulo do campo elétrico em qualquer ponto da superfície.

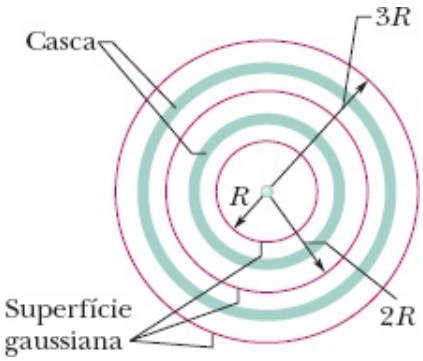


Figura 23-23 Pergunta 3.

4 A Fig. 23-24 mostra, em seção reta, duas esferas gaussianas e dois cubos gaussianos, no centro dos quais existe uma partícula de carga positiva. (a) Coloque as quatro superfícies gaussianas em ordem decrescente do fluxo elétrico que as atravessa. (b) Coloque as quatro superfícies gaussianas em ordem decrescente do módulo do campo elétrico em qualquer ponto da superfície, e informe se os módulos são uniformes ou variam de ponto para ponto da superfície.

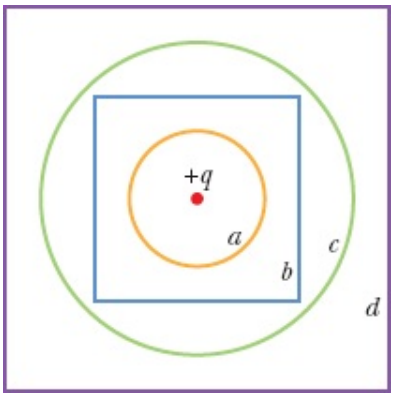


Figura 23-24 Pergunta 4.

5 Na Fig. 23-25, um elétron é liberado entre duas placas infinitas isolantes horizontais, com densidades superficiais de carga $\sigma_{(+)}$ e $\sigma_{(-)}$, como mostra a figura. O elétron é submetido às três situações mostradas na tabela a seguir, que envolvem as densidades superficiais de carga e a distância entre as placas. Coloque as situações em ordem decrescente do módulo da aceleração do elétron.

Situação	$\sigma_{(+)}$	$\sigma_{(-)}$	Distância
1	$+4\sigma$	-4σ	d
2	$+4\sigma$	$-\sigma$	$4d$
3	$+4\sigma$	-5σ	$9d$

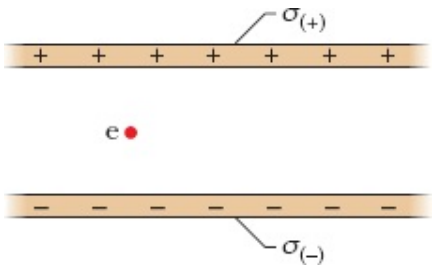


Figura 23-25 Pergunta 5.

6 Três placas infinitas isolantes, com densidades superficiais de carga positivas σ, 2σ e 3σ, foram alinhadas paralelamente, como as duas barras da Fig. 23-19*a*. Qual é a ordem das placas, da esquerda para a direita, se o campo elétrico $\vec{E}$ produzido pelas barras tem módulo $E = 0$ em uma região e $E = 2\sigma/\varepsilon_0$ em outra região?

7 A Fig. 23-26 mostra as seções retas de quatro conjuntos de barras finas e muito compridas, perpendiculares ao plano da figura. O valor abaixo de cada barra indica a densidade linear uniforme de carga da barra, em microcoulombs por metro. As barras estão separadas por distâncias d ou $2d$, e um ponto central é mostrado a meio caminho entre as barras internas. Coloque os conjuntos em ordem decrescente do módulo do campo elétrico no ponto central.

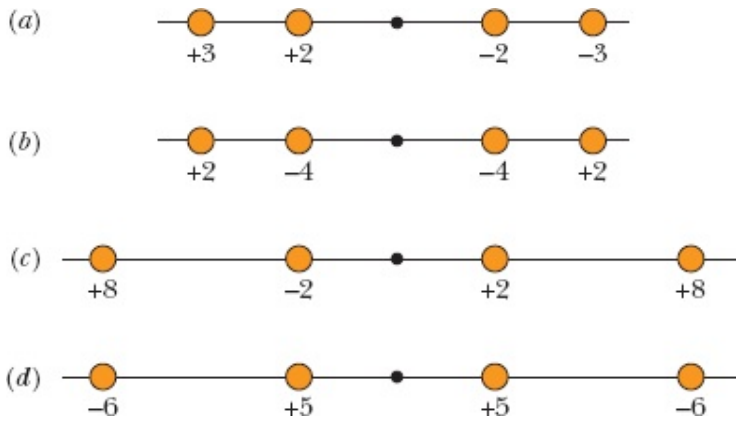


Figura 23-26 Pergunta 7.

8 A Fig. 23-27 mostra quatro esferas maciças, todas com uma carga Q distribuída uniformemente. (a) Coloque as esferas em ordem decrescente de acordo com a densidade volumétrica de carga. A figura mostra também um ponto P para cada esfera, todos à mesma distância do centro da esfera. (b) Coloque as esferas em ordem decrescente de acordo com o módulo do campo elétrico no ponto P.

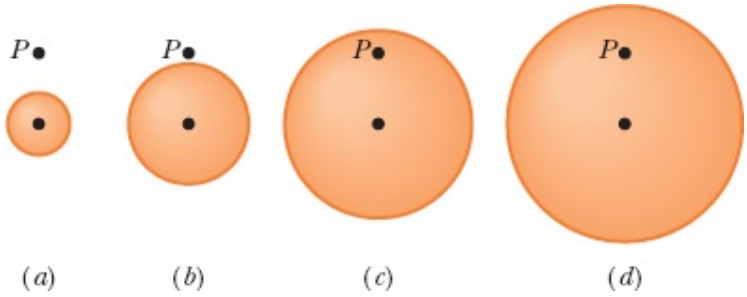


Figura 23-27 Pergunta 8.

9 Uma pequena esfera carregada está no interior de uma casca esférica metálica, de raio R. Para três situações, as cargas da esfera e da casca, respectivamente, são (1) $+4q$, 0; (2) $-6q$, $+10q$; (3) $+16q$, $-12q$. Coloque as situações em ordem decrescente, de acordo com a carga (a) da superfície interna da casca e (b) da superfície externa da casca.

10 Coloque em ordem decrescente as situações da Pergunta 9, de acordo com o módulo do campo elétrico (a) no centro da casca e (b) em um ponto a uma distância $2R$ do centro da casca.

11 A Fig. 23-28 mostra uma parte de três longos cilindros carregados com o mesmo eixo. O cilindro central A tem uma carga uniforme $q_A = +3q_0$. Que cargas uniformes devem ter os cilindros q_B e q_C para que (se for possível) o campo elétrico total seja zero (a) no ponto 1, (b) no ponto 2 e (c) no ponto 3?

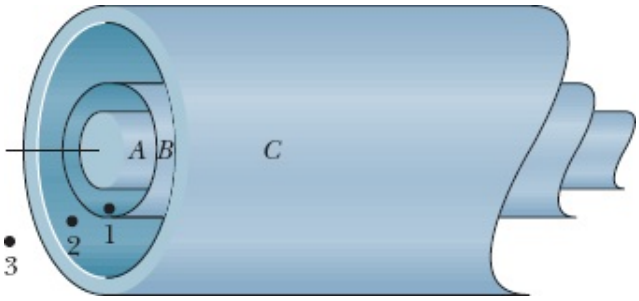


Figura 23-28 Pergunta 11.

12 A Fig. 23-29 mostra quatro superfícies gaussianas de mesma superfície lateral cilíndrica e bases diferentes. As superfícies estão em uma região onde existe um campo elétrico uniforme $\vec{E}$ paralelo ao eixo central dos cilindros. As formas das bases são as seguintes: S_1, hemisférios convexos; S_2, hemisférios côncavos; S_3, cones; S_4, discos planos. Coloque as superfícies em ordem decrescente, de acordo (a) com o fluxo elétrico total e (b) com o fluxo elétrico através das bases superiores.

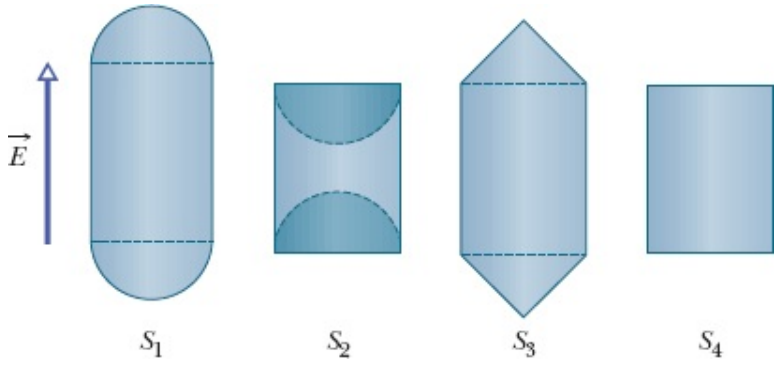


Figura 23-29 Pergunta 12.

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 23-1 Fluxo Elétrico

·1 A superfície quadrada da Fig. 23-30 tem 3,2 mm de lado e está imersa em um campo elétrico uniforme de módulo $E = 1800$ N/C e com linhas de campo fazendo um ângulo de 35° com a normal, como mostra a figura. Tome essa normal como apontando "para fora", como se a superfície fosse a tampa de uma caixa. Calcule o fluxo elétrico através da superfície.

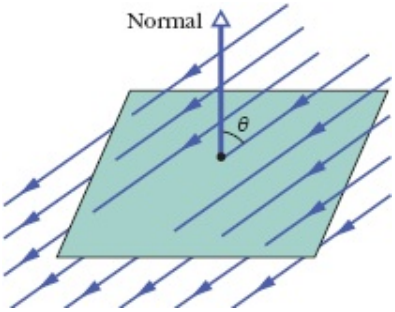


Figura 23-30 Problema 1.

··2 Um campo elétrico dado por $\vec{E} = 4{,}0\hat{i} - 3{,}0(y^2 + 2{,}0)\hat{j}$, em que $\vec{E}$ está em newtons por coulomb e y está em metros, atravessa um cubo gaussiano com 2,0 m de aresta, posicionado da forma mostrada na Fig. 23-7. Determine o fluxo elétrico (a) através da face superior, (b) através da face inferior, (c) através da face da esquerda e (d) através da face traseira. (e) Qual é o fluxo elétrico total através do cubo?

··3 O cubo da Fig. 23-31 tem 1,40 m de aresta e está orientado da forma mostrada na figura em uma região onde existe um campo elétrico uniforme. Determine o fluxo elétrico através da face direita do cubo se o campo elétrico, em newtons por coulomb, é dado por (a) $6{,}00\hat{i}$, (b) $-2{,}00\hat{j}$ e (c) $-3{,}00\hat{i} + 4{,}00\hat{k}$. (d) Qual é o fluxo total através do cubo nos três casos?

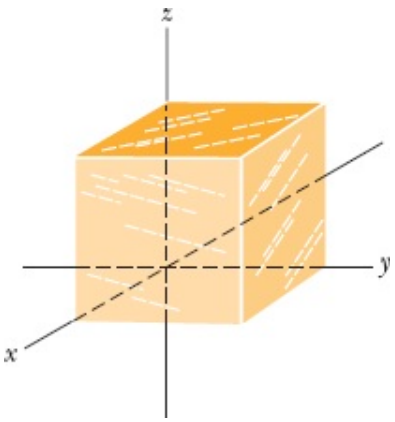


Figura 23-31 Problemas 3, 6 e 9.

Módulo 23-2 Lei de Gauss

·4 Na Fig. 23-32, uma rede para pegar borboletas está imersa em um campo elétrico uniforme de módulo $E = 3{,}0$ mN/C, com o aro, um círculo de raio $a = 11$ cm, perpendicular à direção do campo. A rede é eletricamente neutra. Determine o fluxo elétrico através da rede.

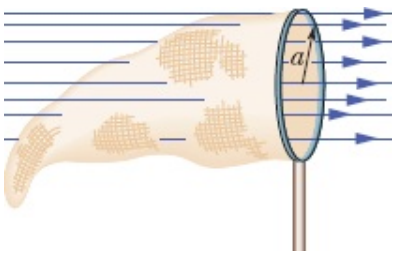


Figura 23-32 Problema 4.

·5 Na Fig. 23-33, um próton está uma distância $d/2$ do centro de um quadrado de aresta d. Qual é o módulo do fluxo elétrico através do quadrado? (*Sugestão*: Pense no quadrado como uma das faces de um cubo de aresta d.)

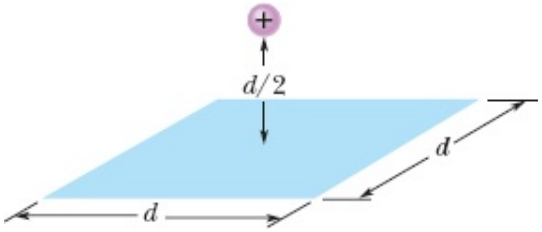


Figura 23-33 Problema 5.

·6 Em todos os pontos da superfície do cubo da Fig. 23-31, o campo elétrico é paralelo ao eixo z. O cubo tem 3,0 m de aresta. Na face superior do cubo, $\vec{E} = -34\hat{k}$ N/C; na face inferior, $\vec{E} = +20\hat{k}$ N/C. Determine a carga que existe no interior do cubo.

·7 Uma carga pontual de 1,8 μC está no centro de uma superfície gaussiana cúbica de 55 cm de aresta. Qual é o fluxo elétrico através da superfície?

··8 Quando um chuveiro é aberto em um banheiro fechado, os respingos de água no piso do boxe podem encher o ar de íons negativos e produzir um campo elétrico no ar de até 1000 N/C. Considere um banheiro de dimensões 2,5 m × 3,0 m × 2,0 m. Suponha que no teto, no piso e nas quatro paredes o campo elétrico no ar seja perpendicular à superfície e possua um módulo uniforme de 600 N/C. Suponha também que o teto, o piso e as paredes formem uma superfície gaussiana que envolva o ar do banheiro. Determine (a) a densidade volumétrica de carga ρ e (b) o número de cargas elementares e em excesso por metro cúbico de ar.

··9 A Fig. 23-31 mostra uma superfície gaussiana com a forma de um cubo com 1,40 m de aresta. Determine (a) o fluxo Φ através da superfície e (b) a carga q_{env} envolvida pela superfície se $\vec{E} = 3{,}00y\hat{j}$ N/C, com y em metros; os valores de (c) Φ e (d) q_{env} se $\vec{E} = [-4{,}00\hat{i} + (6{,}00 + 3{,}00y)\hat{j}]$ N/C.

··10 A Fig. 23-34 mostra uma superfície gaussiana com a forma de um cubo de 2,00 m de aresta, imersa em um campo elétrico dado por $\vec{E} = (3{,}00x + 4{,}00)\hat{i} + 6{,}00\hat{j} + 7{,}00\hat{k}$ N/C, com x em metros. Qual é a carga total contida no cubo?

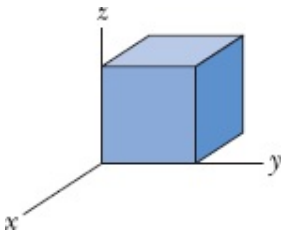


Figura 23-34 Problema 10.

··11 A Fig. 23-35 mostra uma superfície gaussiana com a forma de um cubo de 2,00 m de aresta, com um vértice no ponto $x_1 = 5{,}00$ m, $y_1 = 4{,}00$ m. O cubo está imerso em um campo elétrico dado por $\vec{E} = -3{,}00\hat{i} - 4{,}00y^2\hat{j} + 3{,}00\hat{k}$ N/C, com y em metros. Qual é a carga total contida no cubo?

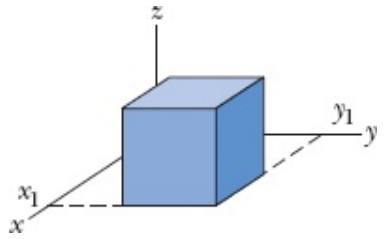


Figura 23-35 Problema 11.

··12 A Fig. 23-36 mostra duas cascas esféricas isolantes mantidas fixas no lugar. A casca 1 possui uma densidade superficial de carga uniforme de +6,0 μC/m^2 na superfície externa e um raio de 3,0 cm; a casca 2 possui uma densidade superficial de carga uniforme de +4,0 μC/m^2 na superfície externa e um raio de 2,0 cm; os centros das cascas estão separados por uma distância $L = 10$ cm. Qual é o campo elétrico no ponto $x = 2{,}0$ cm, na notação dos vetores unitários?

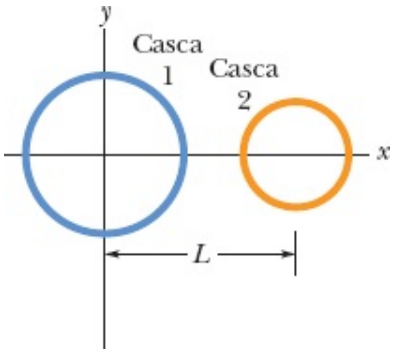


Figura 23-36 Problema 12.

··13 Observa-se experimentalmente que o campo elétrico em uma região da atmosfera terrestre aponta verticalmente para baixo. A uma altitude de 300 m, o campo tem um módulo de 60,0 N/C; a uma altitude de 200 m, o módulo é 100 N/C. Determine a carga em excesso contida em um cubo com 100 m de aresta e faces horizontais a 200 e 300 m de altitude.

··14 *Fluxo e cascas isolantes*. Uma partícula carregada está suspensa no centro de duas cascas esféricas concêntricas muito finas, feitas de um material isolante. A Fig. 23-37*a* mostra uma seção reta do sistema e a Fig. 23-37*b* mostra o fluxo Φ através de uma esfera gaussiana com centro na partícula em função do raio r da esfera. A escala do eixo vertical é definida por $\Phi_s = 5{,}0 \times 10^5$ N · m^2/C. (a) Determine a carga da partícula central. (b) Determine a carga da casca *A*. (c) Determine a carga da casca *B*.

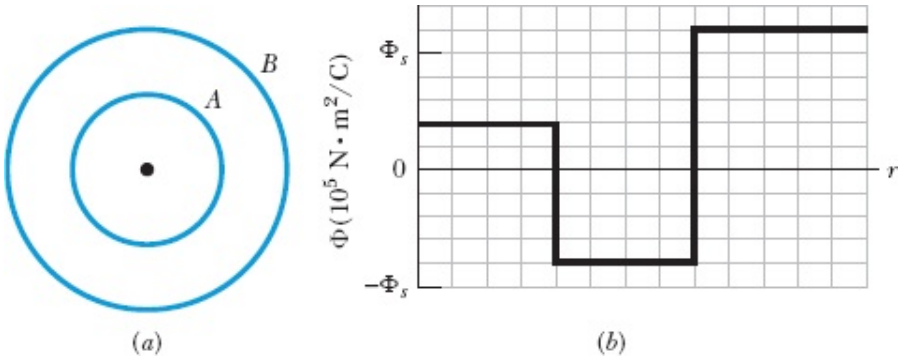


Figura 23-37 Problema 14.

··15 Uma partícula de carga $+q$ é colocada em um dos vértices de um cubo gaussiano. Determine o múltiplo de q/ε_0 que corresponde ao fluxo (a) através de uma das faces do cubo que contêm o vértice e (b) através de uma das outras faces do cubo.

···16 A superfície gaussiana, em forma de paralelepípedo, da Fig. 23-38 envolve uma carga de $+24{,}0\varepsilon_0$ C e está imersa em um campo elétrico, que é fornecido por $\vec{E} = [(10{,}0 + 2{,}00x)\hat{i} - 3{,}00\hat{j} + bz\hat{k}]$ N/C, com x e z em metros e b uma constante. A face inferior está no plano xz; a face superior está no plano horizontal que passa pelo ponto $y_2 = 1{,}00$ m. Qual é o valor de b para $x_1 = 1{,}00$ m, $x_2 = 4{,}00$ m, $z_1 = 1{,}00$ m e $z_2 = 3{,}00$ m?

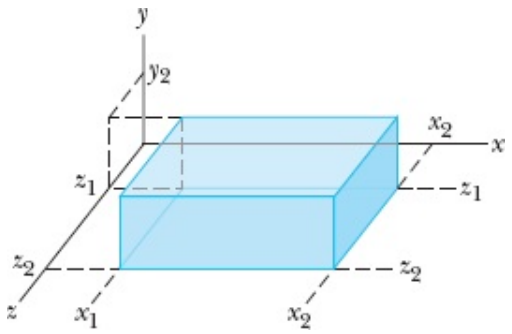


Figura 23-38 Problema 16.

Módulo 23-3 Um Condutor Carregado

·17 Uma esfera condutora uniformemente carregada com 1,2 m de diâmetro possui uma densidade superficial de carga 8,1 μC/m^2. Determine (a) a carga da esfera e (b) o fluxo elétrico através da superfície da esfera.

·18 O campo elétrico nas vizinhanças da superfície lateral de um cilindro condutor tem um módulo E de $2{,}3 \times 10^5$ N/C. Qual é a densidade superficial de carga do cilindro?

·19 Os veículos espaciais que atravessam os cinturões de radiação da Terra podem interceptar um número significativo de elétrons. O acúmulo de carga resultante pode danificar componentes eletrônicos e prejudicar o funcionamento de alguns circuitos. Suponha que um satélite esférico feito de metal, com 1,3 m de diâmetro, acumule 2,4 μC de carga. (a) Determine a densidade superficial de carga do satélite. (b) Calcule o módulo do campo elétrico nas vizinhanças do satélite devido à carga superficial.

·20 *Fluxo e cascas condutoras*. Uma partícula carregada é mantida no centro de duas cascas esféricas condutoras concêntricas, cuja seção reta aparece na Fig. 23-39*a*. A Fig. 23-39*b* mostra o fluxo Φ através de uma esfera gaussiana com centro na partícula em função do raio r da esfera. A escala do eixo vertical é definida por $\Phi_s = 5{,}0 \times 10^5$ N · m^2/C. Determine (a) a carga da partícula central, (b) a carga da casca A e (c) a carga da casca B.

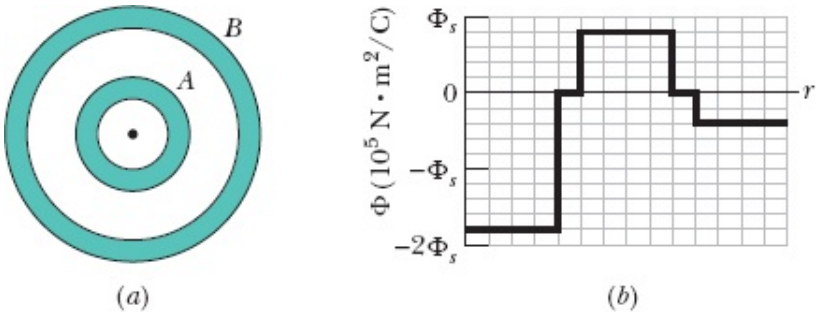


Figura 23-39 Problema 20.

··21 Um condutor possui uma carga de $+10 \times 10^{-6}$ C. No interior do condutor existe uma cavidade; no interior da cavidade está uma carga pontual $q = +3{,}0 \times 10^{-6}$ C. Determine a carga (a) da superfície da cavidade e (b) da superfície externa do condutor.

Módulo 23-4 Aplicações da Lei de Gauss: Simetria Cilíndrica

·22 Um elétron é liberado a partir do repouso a 9,0 cm de distância de uma barra isolante retilínea muito longa com uma densidade de carga uniforme de 6,0 μC por metro. Qual é o módulo da aceleração inicial do elétron?

·23 (a) O cilindro condutor de uma máquina tem um comprimento de 42 cm e um diâmetro de 12 cm. O campo elétrico nas proximidades da superfície do cilindro é $2{,}3 \times 10^5$ N/C. Qual é a carga total do cilindro? (b) O fabricante deseja produzir uma versão compacta da máquina. Para isso, é necessário reduzir o comprimento do cilindro para 28 cm e o diâmetro para 8,0 cm. O campo elétrico na superfície do tambor deve permanecer o mesmo. Qual deve ser a carga do novo cilindro?

·24 A Fig. 23-40 mostra uma seção de um tubo longo, de metal, de parede finas, com raio $R = 3{,}00$ cm e carga por unidade de comprimento $\lambda = 2{,}00 \times 10^{-8}$ C/m. Determine o módulo E do campo elétrico a uma distância radial (a) $r = R/2{,}00$ e (b) $r = 2{,}00R$. (c) Faça um gráfico de E em função de r para $0 \leq r \leq 2{,}00R$.

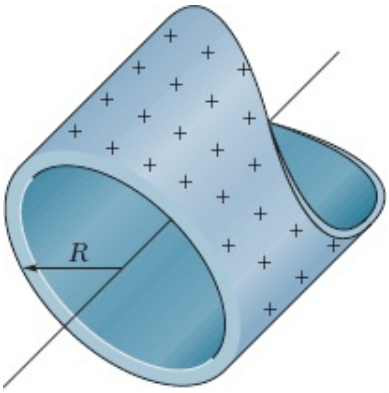


Figura 23-40 Problema 24.

·25 Uma linha infinita de carga produz um campo de módulo $4,5 \times 10^4$ N/C a uma distância de 2,0 m. Calcule a densidade linear de carga.

··26 A Fig. 23-41*a* mostra um cilindro fino, maciço, carregado, e uma casca cilíndrica coaxial, também carregada. Os dois objetos são feitos de material isolante e possuem uma densidade superficial de carga uniforme na superfície externa. A Fig. 23-41*b* mostra a componente radial E do campo elétrico em função da distância radial r a partir do eixo comum. A escala do eixo vertical é definida por $E_s = 3,0 \times 10^3$ N/C. Qual é a densidade linear de carga da casca?

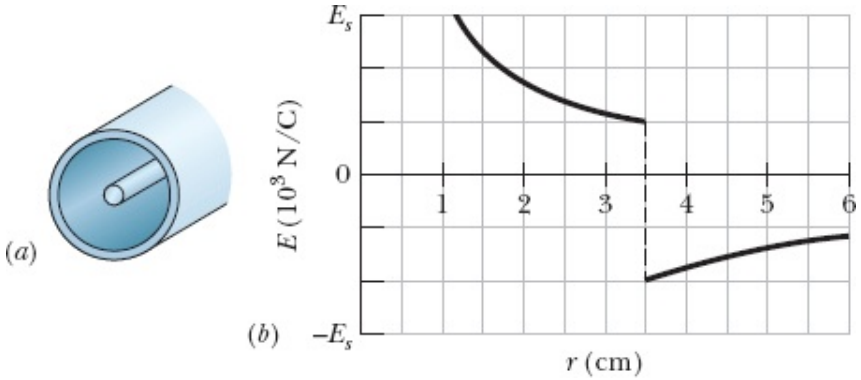


Figura 23-41 Problema 26.

··27 Um fio reto longo possui cargas negativas fixas com uma densidade linear de 3,6 nC/m. O fio é envolvido por uma casca coaxial cilíndrica, isolante, de paredes finas, com 1,5 cm de raio. A casca possui uma carga positiva na superfície externa, com uma densidade superficial σ, que anula o campo elétrico do lado de fora da casca. Determine o valor de σ.

··28 Uma carga de densidade linear uniforme 2,0 nC/m está distribuída ao longo de uma barra longa, fina, isolante. A barra está envolvida por uma casca longa, cilíndrica, coaxial, condutora (raio interno: 5,0 cm; raio externo: 10 cm). A carga da casca é zero. (a) Determine o módulo do campo elétrico a 15 cm de distância do eixo da casca. (b) Determine a densidade superficial de carga na superfície interna e (c) na superfície externa da casca.

··29 A Fig. 23-42 é uma seção de uma barra condutora de raio $R_1 = 1,30$ mm e comprimento $L = 11,00$

m no interior de uma casca coaxial, de paredes finas, de raio $R_2 = 10{,}0R_1$ e mesmo comprimento L. A carga da barra é $Q_1 = +3{,}40 \times 10^{-12}$ C; a carga da casca é $Q_2 = -2{,}00Q_1$. Determine (a) o módulo E e (b) a direção (para dentro ou para fora) do campo elétrico a uma distância radial $r = 2{,}00R_2$. Determine (c) E e (d) a direção do campo elétrico para $r = 5{,}00R_1$. Determine a carga (e) na superfície interna e (f) na superfície externa da casca.

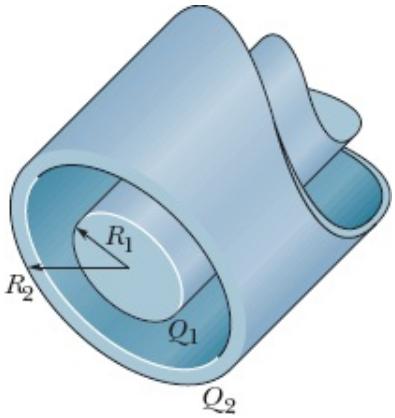


Figura 23-42 Problema 29.

··30 A Fig. 23-43 mostra pequenas partes de duas linhas de carga paralelas, muito compridas, separadas por uma distância $L = 8{,}0$ cm. A densidade uniforme de carga das linhas é +6,0 μC/m para a linha 1 e –2,0 μC/m para a linha 2. Em que ponto do eixo x o campo elétrico é zero?

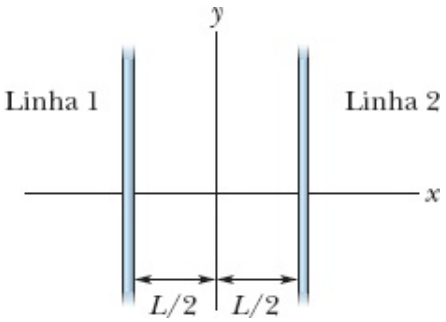


Figura 23-43 Problema 30.

··31 Duas cascas cilíndricas longas, carregadas, coaxiais, de paredes finas, têm 3,0 e 6,0 m de raio. A carga por unidade de comprimento é $5{,}0 \times 10^{-6}$ C/m na casca interna e $-7{,}0 \times 10^{-6}$ C/m na casca externa. Determine (a) o módulo E e (b) o sentido (para dentro ou para fora) do campo elétrico a uma distância radial $r = 4{,}0$ cm. Determine (c) o módulo E e (d) o sentido do campo elétrico para $r = 8{,}0$ cm.

···32 Um cilindro maciço, longo, isolante, com 4,0 cm de raio, possui uma densidade volumétrica de carga não uniforme ρ que é uma função da distância radial r a partir do eixo do cilindro: $\rho = Ar^2$. Se $A = 2{,}5$ μC/m^5, determine o módulo do campo elétrico (a) para $r = 3{,}0$ cm e (b) para $r = 5{,}0$ cm.

Módulo 23-5 Aplicações da Lei de Gauss: Simetria Planar

·33 Na Fig. 23-44, duas placas finas, condutoras, de grande extensão, são mantidas paralelas a uma

pequena distância uma da outra. Nas faces internas, as placas têm densidades superficiais de carga de sinais opostos e valor absoluto $7{,}00 \times 10^{-22}$ C/m^2. Determine o campo elétrico, na notação dos vetores unitários, (a) à esquerda das placas, (b) à direita das placas e (c) entre as placas.

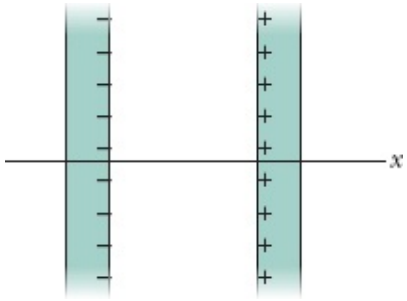


Figura 23-44 Problema 33.

·34 Na Fig. 23-45, um pequeno furo circular de raio $R = 1{,}80$ cm foi aberto no meio de uma placa fina, infinita, isolante, com uma densidade superficial de carga $\sigma = 4{,}50$ pC/m^2. O eixo z, cuja origem está no centro do furo, é perpendicular à placa. Determine, na notação dos vetores unitários, o campo elétrico no ponto P, situado em $z = 2{,}56$ cm. (*Sugestão*: Use a Eq. 22-26 e o princípio de superposição.)

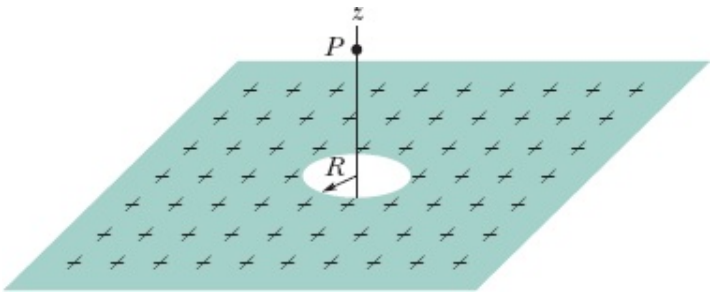


Figura 23-45 Problema 34.

·35 A Fig. 23-46*a* mostra três placas de plástico de grande extensão, paralelas e uniformemente carregadas. A Fig. 23-46*b* mostra a componente x do campo elétrico em função de x. A escala do eixo vertical é definida por $E_s = 6{,}0 \times 10^5$ N/C. Determine a razão entre a densidade de carga na placa 3 e a densidade de carga na placa 2.

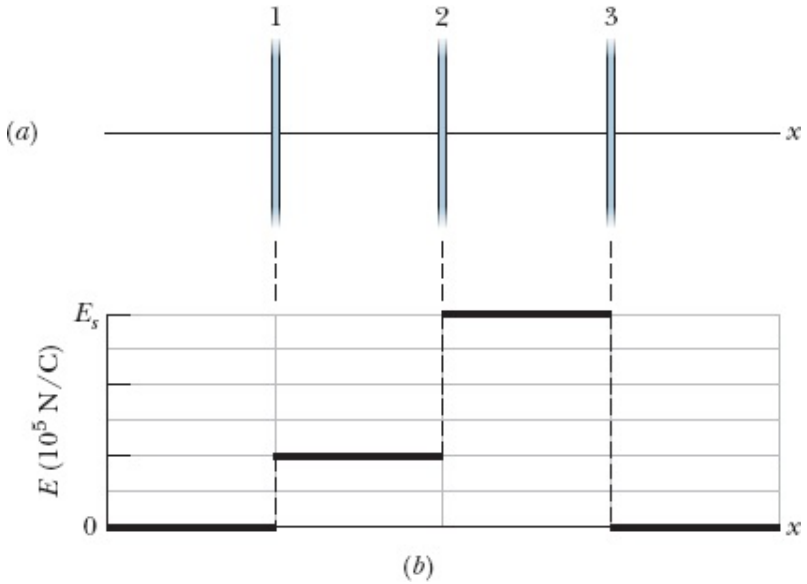


Figura 23-46 Problema 35.

·36 A Fig. 23-47 mostra as seções retas de duas placas de grande extensão, paralelas, isolantes, positivamente carregadas, ambas com uma distribuição superficial de carga $\sigma = 1{,}77 \times 10^{-22}$ C/m^2. Determine o campo elétrico $\vec{E}$, na notação dos vetores unitários, (a) acima das placas, (b) entre as placas e (c) abaixo das placas.

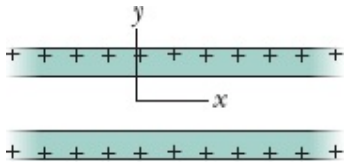


Figura 23-47 Problema 36.

·37 Uma placa metálica quadrada, de 8,0 cm de lado e espessura insignificante, possui uma carga total de $6{,}0 \times 10^{-6}$ C. (a) Estime o valor do módulo E do campo elétrico perto do centro da placa (a 0,50 mm do centro, por exemplo) supondo que a carga está distribuída uniformemente pelas duas faces da placa. (b) Estime o valor de E a 30 m de distância (uma distância grande, em comparação com as dimensões da placa) supondo que a placa é uma carga pontual.

··38 Na Fig. 23-48*a*, um elétron é arremessado verticalmente para cima, com uma velocidade $v_s = 2{,}0 \times 10^5$ m/s, a partir das vizinhanças de uma placa uniformemente carregada. A placa é isolante e muito extensa. A Fig. 23-48*b* mostra a velocidade escalar v em função do tempo t até o elétron voltar ao ponto de partida. Qual é a densidade superficial de carga da placa?

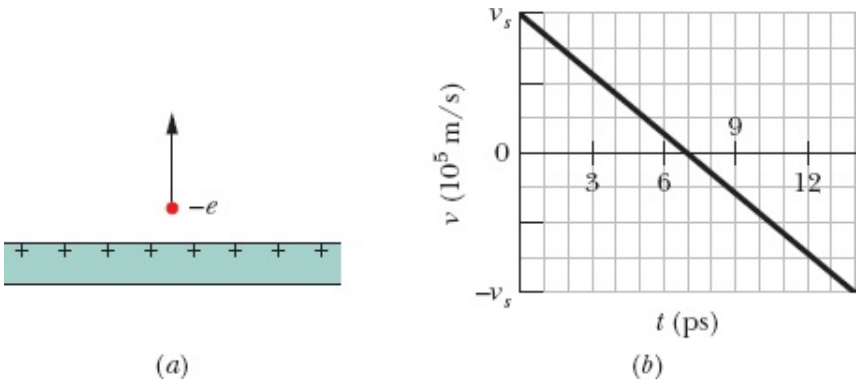


Figura 23-48 Problema 38.

··39 Na Fig. 23-49, uma pequena esfera isolante, de massa m = 1,0 mg e carga q = 2,0 × 10^{-8} C (distribuída uniformemente em todo o volume), está pendurada em um fio isolante que faz um ângulo θ = 30° com uma placa vertical, isolante, uniformemente carregada (vista em seção reta). Considerando a força gravitacional a que a esfera está submetida e supondo que a placa possui uma grande extensão, calcule a densidade superficial de carga σ da placa.

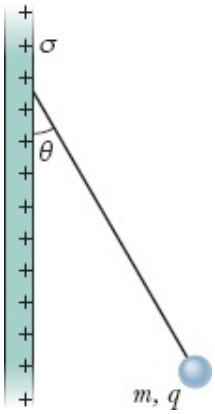


Figura 23-49 Problema 39.

··40 A Fig. 23-50 mostra uma placa isolante, muito extensa, que possui uma densidade superficial de carga uniforme σ = –2,00 μC/m^2; a figura mostra também uma partícula de carga Q = 6,00 μC, a uma distância d da placa. Ambas estão fixas no lugar. Se d = 0,200 m, para qual coordenada (a) positiva e (b) negativa do eixo x (além do infinito) o campo elétrico total $\vec{E}_{tot}$ é zero? (c) Se d = 0,800 m, para qual coordenada do eixo x o campo $\vec{E}_{tot}$ é zero?

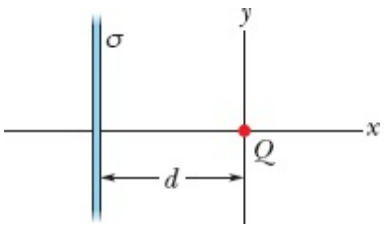


Figura 23-50 Problema 40.

··41 Um elétron é arremessado na direção do centro de uma placa metálica que possui uma densidade

superficial de carga de $-2{,}0 \times 10^{-6}$ C/m^2. Se a energia cinética inicial do elétron é $1{,}60 \times 10^{-17}$ J e o movimento do elétron muda de sentido (devido à repulsão eletrostática da placa) a uma distância insignificante da placa, de que distância da placa o elétron foi arremessado?

··42 Duas grandes placas de metal com 1,0 m^2 de área são mantidas paralelas a 5,0 cm de distância e possuem cargas de mesmo valor absoluto e sinais opostos nas superfícies internas. Se o módulo E do campo elétrico entre as placas é 55 N/C, qual é o valor absoluto da carga em cada placa? Despreze o efeito de borda.

···43 A Fig. 23-51 mostra uma seção reta de uma placa isolante, muito extensa, com uma espessura d = 9,40 mm e uma densidade volumétrica de carga uniforme ρ = 5,80 fC/m^3. A origem do eixo x está no centro da placa. Determine o módulo do campo elétrico (a) em x = 0, (b) em x = 2,00 mm, (c) em x = 4,70 mm e (d) em x = 26,0 mm.

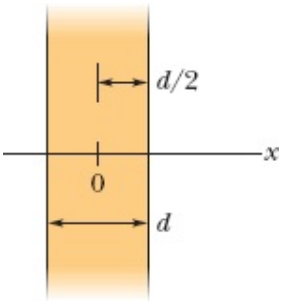


Figura 23-51 Problema 43.

Módulo 23-6 Aplicações da Lei de Gauss: Simetria Esférica

·44 A Fig. 23-52 mostra o módulo do campo elétrico do lado de dentro e do lado de fora de uma esfera com uma distribuição uniforme de carga positiva em função da distância do centro da esfera. A escala do eixo vertical é definida por E_s = 5,0 × 10^7 N/C. Qual é a carga da esfera?

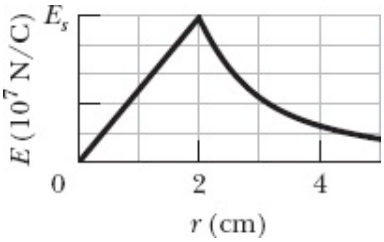


Figura 23-52 Problema 44.

·45 Duas cascas esféricas concêntricas carregadas têm raios de 10,0 cm e 15,0 cm. A carga da casca menor é $4{,}00 \times 10^{-8}$ C e a da casca maior é $2{,}00 \times 10^{-8}$ C. Determine o campo elétrico (a) em r = 12,0 cm e (b) em r = 20,0 cm.

·46 Uma esfera isolante, carregada, de raio R, possui uma densidade de carga negativa uniforme, exceto por um túnel estreito que atravessa totalmente a esfera, passando pelo centro. Um próton pode ser

colocado em qualquer ponto do túnel ou de um prolongamento do túnel. Seja F_R o módulo da força eletrostática a que é submetido o próton quando está na superfície da esfera. Determine, em termos de R, a que distância da superfície fica o ponto no qual o módulo da força é $0{,}50F_R$ quando o próton se encontra (a) em um prolongamento do túnel e (b) dentro do túnel.

·47 Uma esfera condutora com 10 cm de raio tem uma carga desconhecida. Se o módulo do campo elétrico a 15 cm do centro da esfera é $3{,}0 \times 10^3$ N/C e o campo aponta para o centro da esfera, qual é a carga da esfera?

··48 Uma partícula carregada é mantida fixa no centro de uma casca esférica. A Fig. 23-53 mostra o módulo E do campo elétrico em função da distância radial r. A escala do eixo vertical é definida por $E_s = 10{,}0 \times 10^7$ N/C. Estime o valor da carga da casca.

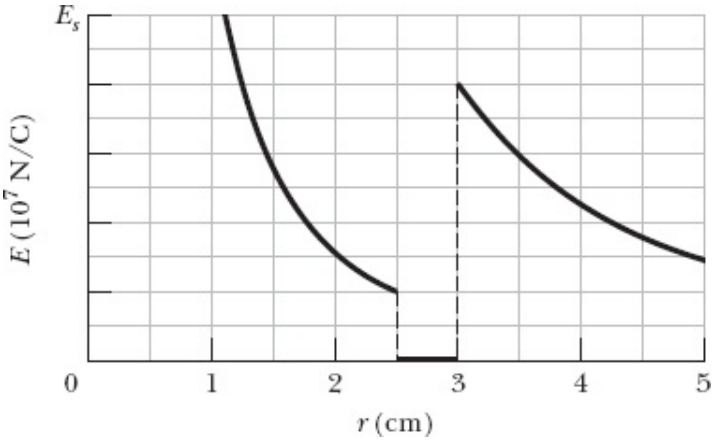


Figura 23-53 Problema 48.

··49 Na Fig. 23-54, uma esfera maciça, de raio $a = 2{,}00$ cm, é concêntrica com uma casca esférica condutora de raio interno $b = 2{,}00a$ e raio externo $c = 2{,}40a$. A esfera possui carga uniforme $q_1 = +5{,}00$ fC, e a casca, uma carga $q_2 = -q_1$. Determine o módulo do campo elétrico (a) em $r = 0$, (b) em $r = a/2{,}00$, (c) em $r = a$, (d) em $r = 1{,}50a$, (e) em $r = 2{,}30a$ e (f) em $r = 3{,}50a$. Determine a carga (g) na superfície interna e (h) na superfície externa da casca.

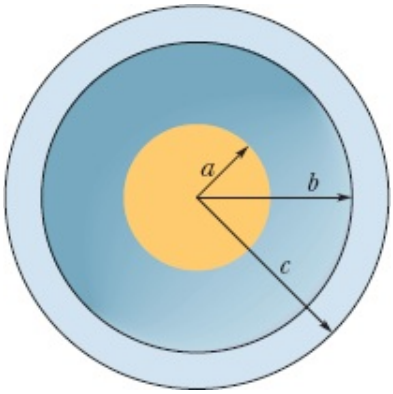


Figura 23-54 Problema 49.

··50 A Fig. 23-55 mostra duas cascas esféricas isolantes mantidas fixas no lugar no eixo x. A casca 1

possui uma densidade superficial de carga uniforme +4,0 μC/m^2 na superfície externa e um raio de 0,50 cm, enquanto a casca 2 possui uma densidade superficial de carga uniforme –2,0μC/m^2 na superfície externa e um raio de 2,00 cm; a distância entre os centros é L = 6,0 cm. Determine o(s) ponto(s) do eixo x (além do infinito) em que o campo elétrico é zero.

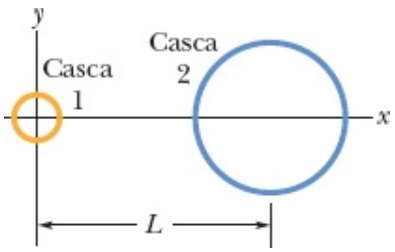


Figura 23-55 Problema 50.

··51 Na Fig. 23-56, uma casca esférica, isolante, com um raio interno a = 2,00 cm e um raio externo b = 2,40 cm, possui uma densidade volumétrica uniforme de carga positiva $\rho = A/r$, em que A é uma constante e r é a distância em relação ao centro da casca. Além disso, uma pequena esfera de carga q = 45,0 fC está situada no centro da casca. Qual deve ser o valor de A para que o campo elétrico no interior da casca ($a \leq r \leq b$) seja uniforme?

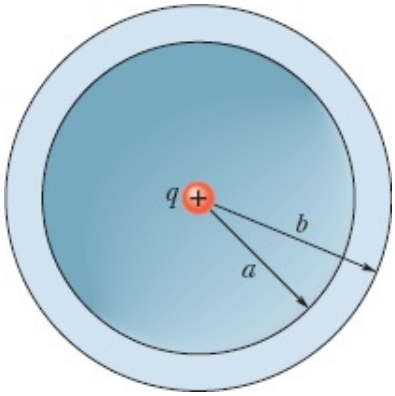


Figura 23-56 Problema 51.

··52 A Fig. 23-57 mostra uma casca esférica com uma densidade volumétrica de carga uniforme ρ = 1,84 nC/m^3, raio interno a = 10,0 cm e raio externo $b = 2{,}00a$. Determine o módulo do campo elétrico (a) em r = 0, (b) em $r = a/2{,}00$, (c) em $r = a$, (d) em $r = 1{,}50a$, (e) em $r = b$ e (f) em $r = 3{,}00b$.

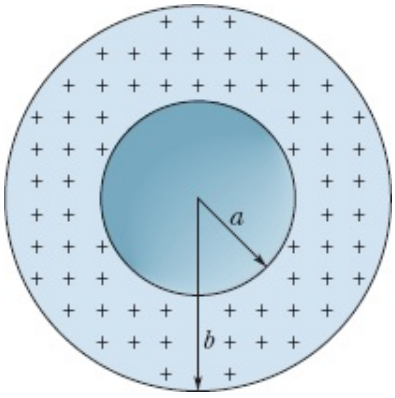


Figura 23-57 Problema 52.

···53 Uma esfera isolante, de raio R = 5,60 cm, possui uma distribuição de carga não uniforme $\rho = (14{,}1\ \text{pC/m}^3)r/R$, em que r é a distância do centro da esfera. (a) Determine a carga da esfera. (b) Determine o módulo E do campo elétrico em $r = 0$, (c) em $r = R/2{,}00$ e (d) em $r = R$. (e) Faça um gráfico de E em função de r.

···54 A Fig. 23-58 mostra, em seção reta, duas esferas de raio R, com distribuições volumétricas uniformes de carga. O ponto P está na reta que liga os centros das esferas, a uma distância $R/2{,}00$ do centro da esfera 1. Se o campo elétrico no ponto P é zero, qual é a razão q_2/q_1 entre a carga da esfera 2 e a carga da esfera 1?

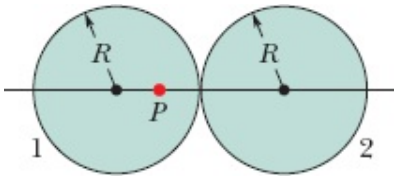


Figura 23-58 Problema 54.

···55 Uma distribuição de carga não uniforme, de simetria esférica, produz um campo elétrico de módulo $E = Kr^4$, em que K é uma constante e r é a distância do centro da esfera. O campo aponta para longe do centro da esfera. Qual é a distribuição volumétrica de carga ρ?

Problemas Adicionais

56 O campo elétrico em uma região do espaço é dado por $\vec{E} = (x + 2)\hat{i}$ N/C, com x em metros. Considere uma superfície gaussiana cilíndrica, de raio 20 cm, coaxial com o eixo x. Uma das bases do cilindro está em $x = 0$. (a) Determine o valor absoluto do fluxo elétrico através da outra base do cilindro, situada em $x = 2{,}0$ m. (b) Determine a carga no interior do cilindro.

57 Uma esfera metálica, de espessura insignificante, tem um raio de 25,0 cm e uma carga de $2{,}00 \times 10^{-7}$ C. Determine o valor de E (a) no interior da esfera, (b) junto à superfície da esfera e (c) a 3,00 m de distância do centro da esfera.

58 Uma placa infinita de espessura insignificante, situada no plano xy, possui uma densidade superficial de carga uniforme $\rho = 8{,}0\ \text{nC/m}^2$. Determine o fluxo elétrico através de uma esfera gaussiana com centro na origem e 5,0 cm de raio.

59 Uma placa infinita que ocupa o espaço entre os planos $x = -5{,}0$ cm e $x = +5{,}0$ cm tem uma densidade volumétrica de carga uniforme $\rho = 1{,}2\ \text{nC/m}^3$. Determine o módulo do campo elétrico (a) no plano $x = 4{,}0$ cm; (b) no plano $x = 6{,}0$ cm.

60 *O mistério do chocolate em pó.* Explosões provocadas por descargas elétricas (centelhas) constituem um sério perigo nas indústrias que lidam com pós muito finos. Uma dessas explosões

aconteceu em uma fábrica de biscoitos na década de 1970. Os operários costumavam esvaziar os sacos de chocolate em pó que chegavam à fábrica em uma bandeja, da qual o material era transportado por canos de plástico até o silo onde era armazenado. No meio do percurso, duas condições para que uma explosão ocorresse foram satisfeitas: (1) o módulo do campo elétrico ultrapassou $3{,}0 \times 10^6$ N/C, produzindo uma ruptura dielétrica do ar; (2) a energia da centelha resultante ultrapassou 150 mJ, fazendo com que o pó explodisse. Vamos discutir a primeira condição.

Suponha que um pó carregado *negativamente* esteja passando por um cano cilíndrico, de plástico, de raio $R = 5{,}0$ cm, e que as cargas associadas ao pó estejam distribuídas uniformemente com uma densidade volumétrica ρ. (a) Usando a lei de Gauss, escreva uma expressão para o módulo do campo elétrico $\vec{E}$ no interior do cano em função da distância r do eixo do cano. (b) O valor de E aumenta ou diminui quando r aumenta? (c) O campo $\vec{E}$ aponta para o eixo do cilindro ou para longe do eixo? (d) Para $\rho = 1{,}1 \times 10^{-3}$ C/m^3 (um valor típico), determine o valor máximo de E e a que distância do eixo do cano esse campo máximo ocorre. (e) O campo pode produzir uma centelha? Onde? (A história continua no Problema 70 do Capítulo 24.)

61 Uma casca esférica, metálica, de raio a e espessura insignificante, possui uma carga q_a. Uma segunda casca, concêntrica com a primeira, possui um raio $b > a$ e uma carga q_b. Determine o campo elétrico em pontos situados a uma distância r do centro das cascas (a) para $r < a$, (b) para $a < r < b$, e (c) para $r > b$. (d) Explique o raciocínio que você usou para determinar o modo como as cargas estão distribuídas nas superfícies internas e externas das cascas.

62 Uma carga pontual $q = 1{,}0 \times 10^{-7}$ C é colocada no centro de uma cavidade esférica, com 3,0 cm de raio, aberta em um bloco de metal. Use a lei de Gauss para determinar o campo elétrico (a) a 1,5 cm de distância do centro da cavidade e (b) no interior do bloco de metal.

63 Um próton, de velocidade $v = 3{,}00 \times 10^5$ m/s, gira em órbita em torno de uma esfera carregada, de raio $r = 1{,}00$ cm. Qual é a carga da esfera?

64 A Eq. 23-11 ($E = \sigma/\varepsilon_0$) pode ser usada para calcular o campo elétrico em pontos da vizinhança de uma esfera condutora carregada. Aplique a equação a uma esfera condutora, de raio r e carga q, e mostre que o campo elétrico do lado de fora da esfera é igual ao campo produzido por uma carga pontual situada no centro da esfera.

65 Uma carga Q está distribuída uniformemente em uma esfera de raio R. (a) Que fração da carga está contida em uma esfera de raio $r = R/2{,}00$? (b) Qual é a razão entre o módulo do campo elétrico no ponto $r = R/2{,}00$ e o campo elétrico na superfície da esfera?

66 Uma carga pontual produz um fluxo elétrico de -750 N · m^2/C através de uma superfície esférica gaussiana, de 10,0 cm de raio, com centro na carga. (a) Se o raio da superfície gaussiana for multiplicado por dois, qual será o novo valor do fluxo? (b) Qual é o valor da carga pontual?

67 O campo elétrico no ponto P, a uma pequena distância da superfície externa de uma casca esférica metálica com 10 cm de raio interno e 20 cm de raio externo, tem um módulo de 450 N/C e aponta para

longe do centro. Quando uma carga pontual desconhecida Q é colocada no centro da casca, o sentido do campo permanece o mesmo e o módulo diminui para 180 N/C. (a) Determine a carga da casca. (b) Determine o valor da carga Q. Depois que a carga Q é colocada, determine a densidade superficial de carga (c) na superfície interna da casca e (d) na superfície externa da casca.

68 O fluxo de campo elétrico em cada face de um dado tem um valor absoluto, em unidades de 10^3 N · m^2/C, igual ao número N de pontos da face ($1 \leq N \leq 6$). O fluxo é para dentro se N for ímpar e para fora se N for par. Qual é a carga no interior do dado?

69 A Fig. 23-59 mostra uma vista em seção reta de três placas isolantes de grande extensão com uma densidade uniforme de carga. As densidades superficiais de carga são $\sigma_1 = +2{,}00\ \mu C/m^2$, $\sigma_2 = +4{,}00\ \mu C/m^2$ e $\sigma_3 = -5{,}00\ \mu C/m^2$; $L = 1{,}50$ cm. Qual é o campo elétrico no ponto P na notação dos vetores unitários?

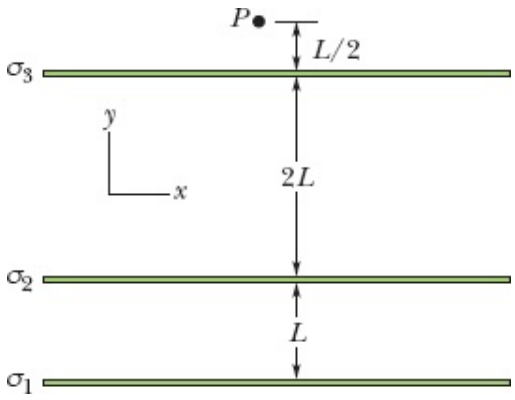


Figura 23-59 Problema 69.

70 Uma esfera isolante com 5,0 cm de raio tem uma densidade volumétrica uniforme de carga $\rho = 3{,}2\ \mu C/m^3$. Determine o módulo do campo elétrico (a) a 3,5 cm e (b) a 8,0 cm do centro da esfera.

71 Uma superfície gaussiana de forma hemisférica, com raio $R = 5{,}68$ cm, está imersa em um campo elétrico uniforme de módulo $E = 2{,}50$ N/C. Não existem cargas no interior da superfície. Na base (plana) da superfície, o campo é perpendicular à superfície e aponta para o interior da superfície. Determine o fluxo (a) através da base e (b) através da parte curva da superfície.

72 Qual é a carga total envolvida pelo cubo gaussiano do Problema 2?

73 Uma esfera isolante tem uma densidade volumétrica de carga uniforme ρ. Seja $\vec{r}$ o vetor que liga o centro da esfera a um ponto genérico P no interior da esfera. (a) Mostre que o campo elétrico no ponto P é dado por $\vec{E} = \rho\vec{r}/3\varepsilon_0$.(Note que o resultado não depende do raio da esfera.) (b) Uma cavidade esférica é aberta na esfera, como mostra a Fig. 23-60. Usando o princípio da superposição, mostre que o campo elétrico no interior da cavidade é uniforme e é dado por $\vec{E} = \rho\vec{a}/3\varepsilon_0$, em que $\vec{a}$ é o vetor que liga o centro da esfera ao centro da cavidade.

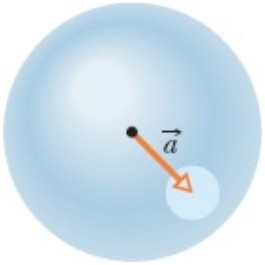


Figura 23-60 Problema 73.

74 Uma esfera com 6,00 cm de raio possui uma densidade de carga uniforme de 500 nC/m^3. Considere uma superfície gaussiana cúbica concêntrica com a esfera. Determine o fluxo elétrico através da superfície cúbica se a aresta do cubo for (a) 4,00 cm e (b) 14,0 cm.

75 A Fig. 23-61 mostra um contador Geiger, aparelho usado para detectar radiação ionizante (radiação com energia suficiente para ionizar átomos). O contador é formado por um fio central positivamente carregado e um cilindro circular oco, coaxial, condutor, com uma carga negativa de mesmo valor absoluto. As cargas criam um campo elétrico radial de alta intensidade entre o cilindro, que contém um gás inerte rarefeito, e o fio. Uma partícula de radiação que penetra no aparelho através da parede do cilindro ioniza alguns átomos do gás, produzindo elétrons livres, que são acelerados na direção do fio positivo. O campo elétrico é tão intenso que, no percurso, os elétrons adquirem energia suficiente para ionizar outros átomos do gás através de colisões, criando, assim, outros elétrons livres. O processo se repete até os elétrons chegarem ao fio. A "avalanche" de elétrons resultante é recolhida pelo fio, gerando um sinal que é usado para assinalar a passagem da partícula de radiação. Suponha que o fio central tenha um raio de 25 μm e o cilindro tenha um raio interno de 1,4 cm e um comprimento de 16 cm. Se o campo elétrico na superfície interna do cilindro é $2{,}9 \times 10^4$ N/C, qual é a carga positiva do fio central?

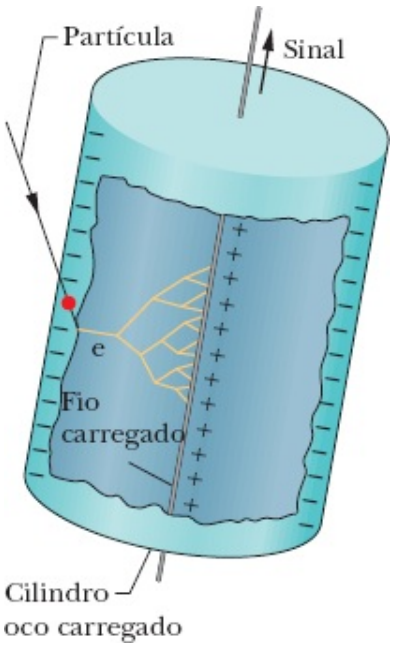


Figura 23-61 Problema 75.

76 Um cilindro muito longo, de raio R, possui uma distribuição volumétrica de carga uniforme. (a) Mostre que, a uma distância $r < R$ do eixo do cilindro,

$$E = \frac{\rho r}{2\varepsilon_0},$$

em que ρ é a densidade volumétrica de carga. (b) Escreva uma expressão para E do lado de fora do cilindro.

77 Uma casca condutora esférica tem uma carga de $-14\ \mu$C na superfície externa e uma partícula carregada na cavidade interna. Se a carga total da casca é $-10\ \mu$C, determine a carga (a) da superfície interna da casca e (b) da partícula.

78 Uma carga de 6,00 pC está distribuída uniformemente em uma esfera de raio $r = 4{,}00$ cm. Determine o módulo do campo elétrico (a) a 6,00 cm do centro da esfera e (b) a 3,00 cm do centro da esfera.

79 A água em uma vala de irrigação, de largura $l = 3{,}22$ m e profundidade $p = 1{,}04$ m, corre com uma velocidade de 0,207 m/s. O *fluxo mássico* da água através de uma superfície imaginária é o produto da massa específica da água (1000 kg/m^3) pelo fluxo volumétrico através da superfície. Determine o fluxo mássico através das seguintes superfícies imaginárias: (a) uma superfície de área lp, totalmente submersa, perpendicular à correnteza; (b) uma superfície de área $3lp/2$, da qual uma área lp está submersa, perpendicular à correnteza; (c) uma superfície de área $lp/2$, totalmente submersa, perpendicular à correnteza; (d) uma superfície de área lp, metade da qual está submersa, perpendicular à correnteza; (e) uma superfície de área lp, totalmente submersa, com a normal fazendo um ângulo de 34° com a direção da correnteza.

80 Uma placa infinita, de espessura insignificante, situada no plano xy, tem uma densidade superficial de carga uniforme $\rho = 8{,}00$ nC/m^2; uma placa semelhante, situada no plano $z = 2{,}00$, tem uma densidade superficial de carga uniforme $\rho = 3{,}00$ nC/m^2. Determine o módulo do campo elétrico (a) no plano $z = 1{,}00$ e (b) no plano $z = 3{,}00$ m.

81 Uma esfera isolante tem uma densidade de carga uniforme. Determine, em termos do raio R da esfera, a que distância do centro o módulo do campo elétrico é igual a 1/4 do valor máximo (a) do lado de dentro da esfera e (b) do lado de fora da esfera.