

Lista de Exercícios

Data da entrega: 26 de janeiro de 2012

Resnick, 8ª. Edição

Questões:

03; 07; 09; 11; 15; 19; 21; 27; 37; 49

na ordem do módulo do campo elétrico em qualquer ponto da superfície, começando pelo maior.

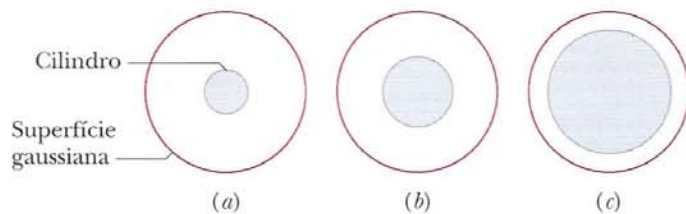


FIG. 23-22 Pergunta 4.

5 A Fig. 23-23 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 cargas 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 na ordem do módulo do campo elétrico no ponto central, começando pelo maior.

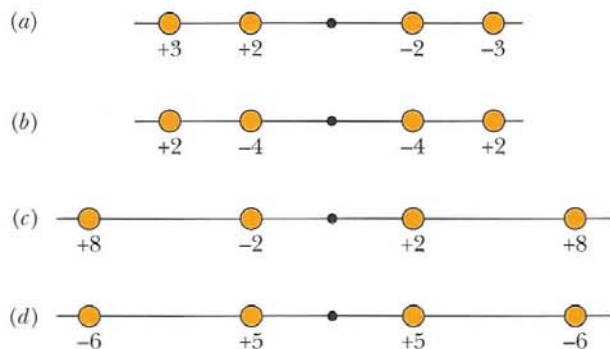


FIG. 23-23 Pergunta 5.

6 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 de acordo com a carga (a) da superfície interna da casca; (b) da superfície externa da casca, começando pela mais positiva.

7 Coloque as situações da Pergunta 6 em ordem de acordo com o módulo do campo elétrico (a) no centro da casca; (b) em um ponto a uma distância $2R$ do centro da casca, começando pelo maior.

8 Três placas infinitas não-condutoras, com densidades superficiais de cargas positivas σ , 2σ e 3σ , foram alinhadas paralela-

mente, como as duas barras da Fig. 23-17a. 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 $E = 2\sigma/\epsilon_0$ em outra região?

9 Na Fig. 23-24 um elétron é liberado entre duas placas infinitas não-condutoras horizontais, com densidades superficiais de cargas $\sigma_{(+)}$ e $\sigma_{(-)}$, como mostra a figura. O elétron é submetido às três situações mostradas na tabela a seguir, que envolvem as densidades superficiais de cargas e a distância entre as placas. Coloque as situações na ordem do módulo da aceleração do elétron, começando pelo maior.

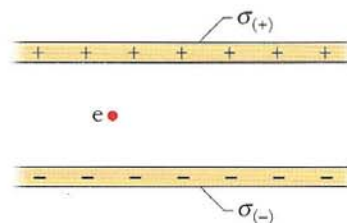


FIG. 23-24 Pergunta 9.

Situação	$\sigma_{(+)}$	$\sigma_{(-)}$	Distância
1	$+4\sigma$	-4σ	d
2	$+7\sigma$	$-\sigma$	$4d$
3	$+3\sigma$	-5σ	$9d$

10 A Fig. 23-25 mostra quatro esferas maciças, todas com uma carga Q distribuída uniformemente. (a) Coloque as esferas em ordem de acordo com a densidade volumétrica de cargas, começando pela maior. A figura mostra também um ponto P para cada esfera, todos à mesma distância do centro da esfera. (b) Coloque as esferas em ordem de acordo com o módulo do campo elétrico no ponto P , começando pelo maior.

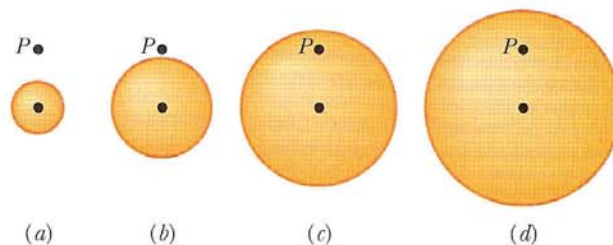


FIG. 23-25 Pergunta 10.

PROBLEMAS

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



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

seção 23-3 Fluxo de um Campo Elétrico

•1 A superfície quadrada da Fig. 23-26 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 nor-

mal, 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.

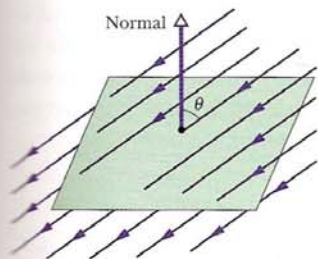


FIG. 23-26 Problema 1.

••2 Um campo elétrico dado por $\vec{E} = 4,0\hat{i} - 3,0(y^2 + 2,0)\hat{j}$ atravessa um cubo gaussiano com 2,0 m de aresta, posicionado da forma mostrada na Fig. 23-5. (E é dado em newtons por coulomb e x em metros.) Determine o fluxo elétrico (a) através da face superior; (b) através da face inferior; (c) através da face da esquerda; (d) através da face traseira. (e) Qual é o fluxo elétrico total através do cubo?

••3 O cubo da Fig. 23-27 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) $-2,00\hat{j}$; (c) $-3,00\hat{i} + 4,00\hat{k}$. (d) Qual é o fluxo total através do cubo nos três casos?

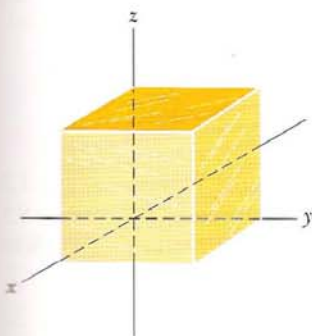


FIG. 23-27 Problemas 3, 4 e 11.

seção 23-4 Lei de Gauss

•4 Em todos os pontos da superfície do cubo da Fig. 23-27 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.

•5 Uma carga pontual de $1,8 \mu\text{C}$ está no centro de uma superfície gaussiana cúbica de 55 cm de aresta. Qual é o fluxo elétrico através da superfície?

•6 Na Fig. 23-28, uma rede para pegar borboletas está imersa em um campo elétrico uniforme de módulo $E = 3,0$ mN/C. O plano do aro da rede, uma circunferência de raio $a = 11$ cm, é mantido perpendicular à direção do campo. A rede é eletricamente neutra. Determine o fluxo elétrico através da rede.

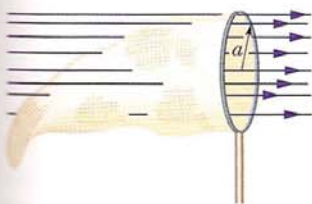


FIG. 23-28 Problema 6.

•7 Na Fig. 23-29 um próton se encontra a uma distância vertical $d/2$ 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 .)

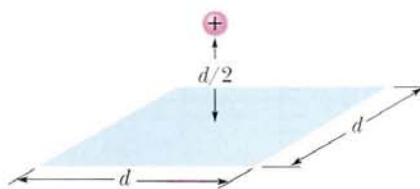


FIG. 23-29 Problema 7.

••8 A Fig. 23-30 mostra duas cascas esféricas não-condutoras mantidas fixas no lugar. A casca 1 possui uma densidade superficial de cargas uniforme de $+6,0 \mu\text{C}/\text{m}^2$ na superfície externa e um raio de 3,0 cm; a casca 2 possui uma densidade superficial de cargas uniforme de $+4,0 \mu\text{C}/\text{m}^2$ na superfície externa e raio de 2,0 cm; os centros das cascas estão separados por uma distância $L = 10$ cm. Em termos dos vetores unitários, qual é o campo elétrico no ponto $x = 2,0$ cm?

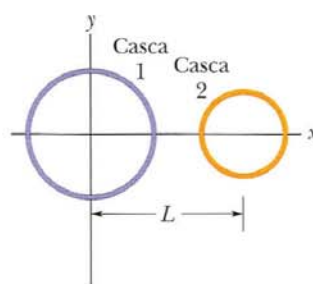


FIG. 23-30 Problema 8.

••9 Observa-se experimentalmente que o campo elétrico em uma certa 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 de 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.

••10 Quando um chuveiro é aberto em um banheiro fechado os respingos de água no piso do box podem encher o ar de íons negativos e produzir um campo elétrico no ar de até 1000 N/C. Considere um banheiro de dimensões $2,5 \text{ m} \times 3,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$. Suponha que no teto, no piso e nas quatro paredes o campo elétrico no ar é perpendicular à superfície e possui um módulo uniforme de 600 N/C. Suponha também que essas superfícies formam uma superfície gaussiana que envolve o ar do banheiro. Determine (a) a densidade volumétrica de cargas ρ e (b) o número de cargas elementares e em excesso por metro cúbico de ar.

••11 A Fig. 23-27 mostra uma superfície gaussiana com a forma de um cubo com 1,40 m de aresta. Determine (a) o fluxo Φ através da superfície; (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.

••12 Fluxo e cascas não-condutoras. Uma partícula carregada está suspensa no centro de duas cascas esféricas concêntricas que são muito finas e feitas de um material não-condutor. A Fig. 23-31a mostra uma seção reta do sistema, e a Fig. 23-31b 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 $\Phi_s = 5,0 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$. (a) Determine a carga da partícula central. (b) Determine a carga da casca A. (c) Determine a carga da casca B.

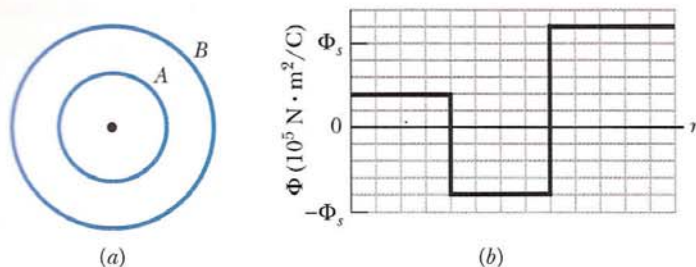


FIG. 23-31 Problema 12.

••13 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 através de (a) uma das faces do cubo que contém o vértice; (b) uma das outras faces do cubo.

••14 A Fig. 23-32 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?

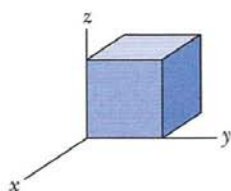


FIG. 23-32 Problema 14.

••15 A Fig. 23-33 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?

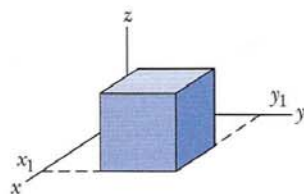


FIG. 23-33 Problema 15.

•••16 A superfície gaussiana em forma de paralelepípedo da Fig. 23-34 envolve uma carga de $+24,0\epsilon_0$ C e está imersa em um campo elétrico dado 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 constante. A face inferior está no plano xz ; a face superior está no plano horizontal que passa pelo ponto $y_2 = 1,00$ m. Para $x_1 = 1,00$ m, $x_2 = 4,00$ m, $z_1 = 1,00$ m e $z_2 = 3,00$ m, qual é o valor de b ?

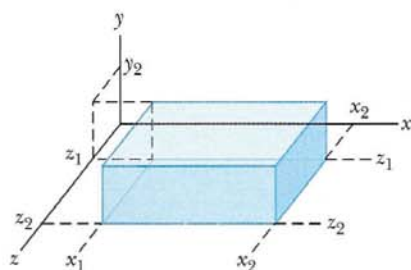


FIG. 23-34 Problema 16.

seção 23-6 Um Condutor Carregado

•17 Os veículos espaciais que atravessam os cinturões de radiação da Terra podem interceptar um número significativo de elétrons. O acúmulo de cargas 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 $2,4 \mu\text{C}$ de carga. (a) Determine a densidade superficial de cargas do satélite. (b) Calcule o módulo do campo elétrico nas vizinhanças do satélite devido à carga superficial.

•18 *Fluxo e cascas condutoras.* Uma partícula carregada é mantida no centro de duas cascas esféricas condutoras concêntricas, cuja seção reta aparece na Fig. 23-35a. A Fig. 23-35b 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 $\Phi_s = 5,0 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$. Determine (a) a carga da partícula central; (b) a carga da casca A; (c) a carga da casca B.

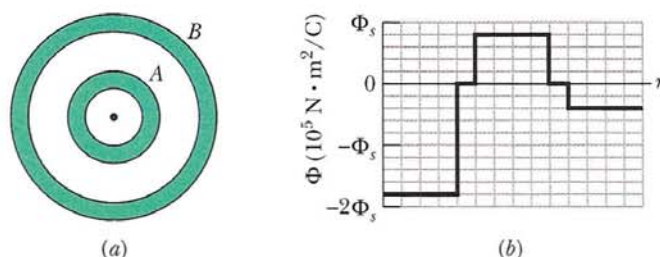


FIG. 23-35 Problema 18.

•19 Uma esfera condutora uniformemente carregada com 1,2 m de diâmetro possui uma densidade superficial de cargas de $8,1 \mu\text{C}/\text{m}^2$. (a) Determine a carga da esfera. (b) Determine o fluxo elétrico através da superfície da esfera.

•20 O campo elétrico nas vizinhanças do tambor carregado de uma fotocopiadora tem um módulo E de $2,3 \times 10^5 \text{ N/C}$. Qual é a densidade superficial de cargas, supondo que o tambor é feito de material condutor?

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

seção 23-7 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Cilíndrica

•22 A Fig. 23-36 mostra uma seção de um tubo longo de metal, de paredes finas, com um raio $R = 3,00 \text{ cm}$ e uma carga por unidade de comprimento $\lambda = 2,00 \times 10^{-8} \text{ C/m}$. Determine o módulo E do campo elétrico a uma distância radial (a) $r = R/2,00$; (b) $r = 2,00R$. (c) Faça um gráfico de E em função de r para $0 \leq r \leq 2,00R$.

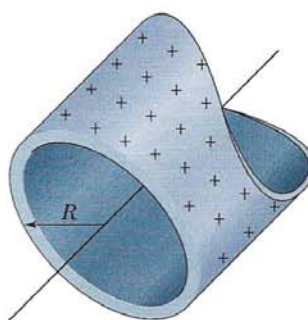


FIG. 23-36 Problema 22.

•23 Uma linha infinita de cargas produz um campo de módulo $4,5 \times 10^4 \text{ N/C}$ a uma distância de 2,0 m. Calcule a densidade linear de cargas.

•24 Um elétron é liberado a partir do repouso a uma distância perpendicular de 9,0 cm de uma barra não-condutora retilínea muito longa com uma densidade de cargas uniforme de $6,0 \mu\text{C}$ por metro. Qual é o módulo da aceleração inicial do elétron?

•25 (a) O tambor de uma fotocopiadora tem um comprimento de 42 cm e um diâmetro de 12 cm. O campo elétrico nas proximidades da superfície do tambor é de $2,3 \times 10^5 \text{ N/C}$. Qual é a carga total do tambor? (b) O fabricante deseja produzir uma versão compacta da máquina. Para isso é necessário reduzir o comprimento do tambor 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 tambor?

•26 Na Fig. 23-37 pequenas partes de duas linhas paralelas de cargas muito compridas são mostradas, fixas no lugar, separadas por uma distância $L = 8,0 \text{ cm}$. A densidade uniforme de cargas das linhas é $+6,0 \mu\text{C/m}$ para a linha 1 e $-2,0 \mu\text{C/m}$ para a linha 2. Em que ponto do eixo x o campo elétrico é zero?

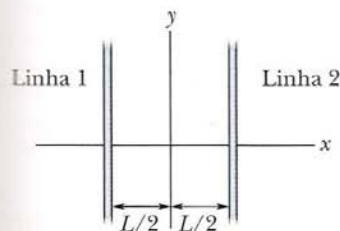


FIG. 23-37 Problema 26.

•27 A Fig. 23-38 é uma seção de uma barra condutora de raio $R_1 = 1,30 \text{ mm}$ e comprimento $L = 11,00 \text{ m}$ 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 $Q_1 = +3,40 \times 10^{-12} \text{ C}$; 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.

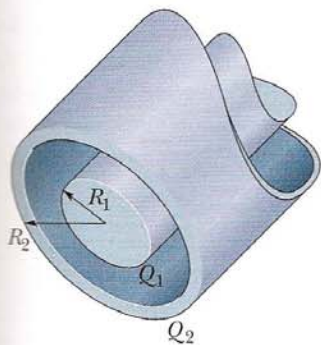
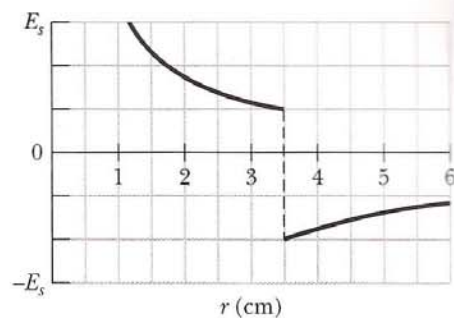


FIG. 23-38 Problema 27.

•28 A Fig. 23-39a mostra um cilindro fino, maciço, carregado e uma casca cilíndrica coaxial, também carregada. Os dois objetos são feitos de material não-condutor e possuem uma densidade superficial de cargas uniforme na superfície externa. A Fig. 23-39b 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 $E_s = 3,0 \times 10^3 \text{ N/C}$. Qual é a densidade linear de cargas da casca?



(a)



(b)

FIG. 23-39 Problema 28.

•29 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 $5,0 \times 10^{-6} \text{ C/m}$ para a casca interna e $-7,0 \times 10^{-6} \text{ C/m}$ na casca externa. Determine (a) o módulo E e (b) o sentido (para dentro ou para fora) do campo elétrico a uma distância radial $r = 4,0 \text{ cm}$. Determine (c) E e (d) o sentido para $r = 8,0 \text{ cm}$.

•30 Uma carga de densidade linear uniforme $2,0 \text{ nC/m}$ está distribuída ao longo de uma barra longa, fina, não-condutora. 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. Determine a densidade superficial de cargas (b) na superfície interna e (c) na superfície externa da casca.

•31 Um fio reto longo possui cargas negativas fixas com uma densidade linear de $3,6 \text{ nC/m}$. O fio é envolvido por uma casca coaxial cilíndrica, não-condutora, 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 .

•32 Um cilindro maciço, longo, não-condutor, com 4,0 cm de raio, possui uma densidade volumétrica de cargas não-uniforme ρ que é função da distância radial r a partir do eixo do cilindro: $\rho = Ar^2$. Para $A = 2,5 \mu\text{C/m}^5$, determine o módulo do campo elétrico (a) para $r = 3,0 \text{ cm}$; (b) para $r = 5,0 \text{ cm}$.

seção 23-8 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Planar

•33 A Fig. 23-40a mostra três placas de plástico de grande extensão, paralelas e uniformemente carregadas. A Fig. 23-40b mostra a componente x do campo elétrico em função de x . A escala do eixo vertical é definida por $E_s = 6,0 \times 10^5 \text{ N/C}$. Determine a razão entre a densidade de cargas na placa 3 e a densidade de cargas na placa 2.

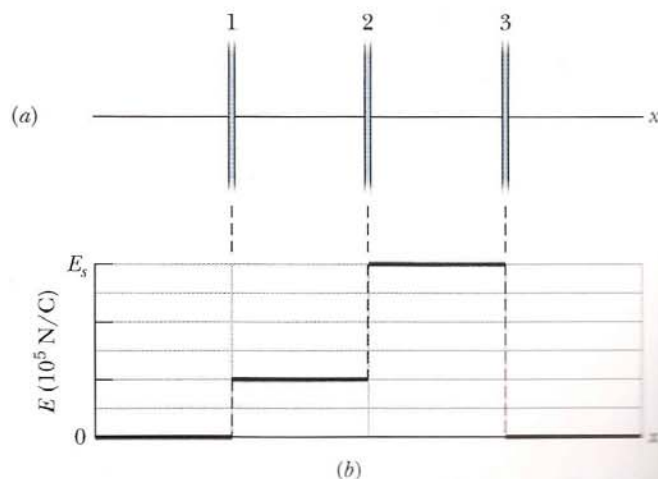


FIG. 23-40 Problema 33.

•34 A Fig. 23-41 mostra as seções retas de duas placas de grande extensão, paralelas, não-condutoras, positivamente carregadas, ambas com distribuição superficial de cargas $\sigma = 1,77 \times 10^{-22} \text{ C/m}^2$. Determine o campo elétrico \vec{E} , em termos dos vetores unitários, (a) acima das placas; (b) entre as placas; (c) abaixo das placas.

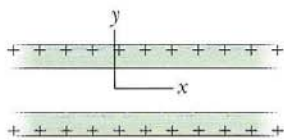


FIG. 23-41 Problema 34.

•35 Uma placa metálica quadrada de 8,0 cm de lado e espessura insignificante possui uma carga total de $6,0 \times 10^{-6} \text{ C}$. (a) Estime o 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 E a 30 m de distância (uma distância grande, em comparação com as dimensões da placa) supondo que a placa é uma carga pontual.

•36 Na Fig. 23-42 um pequeno furo circular de raio $R = 1,80 \text{ cm}$ foi aberto no meio de uma placa fina, infinita, não-condutora, com uma densidade superficial de cargas $\sigma = 4,50 \text{ pC/m}^2$. O eixo z , cuja origem está no centro do furo, é perpendicular à placa. Determine, em termos dos vetores unitários, o campo elétrico no ponto P , situado em $z = 2,56 \text{ cm}$. (Sugestão: Use a Eq. 22-26 e o princípio de superposição.)

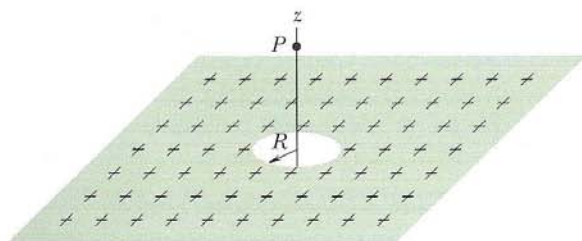


FIG. 23-42 Problema 36.

•37 Na Fig. 23-43 duas placas finas, de grande extensão, são mantidas paralelas e a uma pequena distância uma da outra. Nas faces internas as placas possuem densidades superficiais de cargas de sinais opostos e valor absoluto $7,00 \times 10^{-22} \text{ C/m}^2$. Em termos dos vetores unitários, determine o campo elétrico (a) à esquerda das placas; (b) à direita das placas; (c) entre as placas.

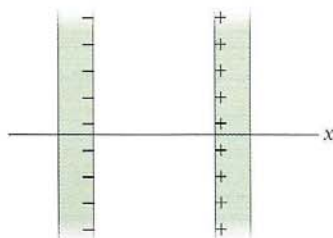


FIG. 23-43 Problema 37.

•38 Duas grandes placas de metal com $1,0 \text{ m}^2$ 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 módulo da carga em cada placa? Despreze o efeito de borda.

•39 Um elétron é arremessado na direção do centro de uma placa metálica que possui uma densidade superficial de cargas de $-2,0 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$. Se a energia cinética inicial do elétron é $1,60 \times 10^{-17} \text{ J}$ 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?

•40 Na Fig. 23-44a um elétron é arremessado verticalmente para cima, com uma velocidade $v_s = 2,0 \times 10^5 \text{ m/s}$, a partir das vizinhanças de placa de plástico uniformemente carregada. A placa é não-condutora e muito extensa. A Fig. 23-44b mostra a velocidade escalar v em função do tempo t até o elétron voltar ao ponto de partida. Qual é a densidade superficial de cargas da placa?

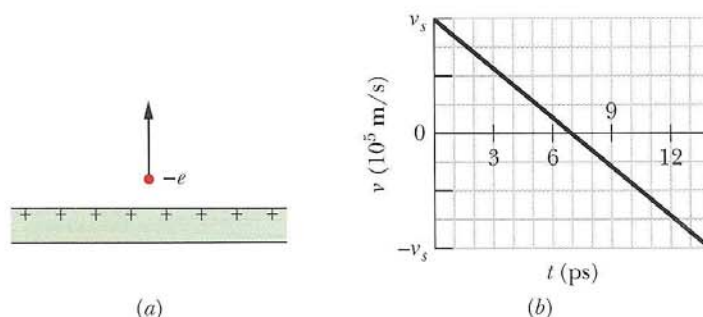


FIG. 23-44 Problema 40.

•41 Na Fig. 23-45 uma pequena esfera não-condutora de massa $m = 1,0 \text{ mg}$ e carga $q = 2,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ (distribuída uniformemente em todo o volume) está pendurada em um fio não-condutor que faz um ângulo $\theta = 30^\circ$ com uma placa vertical, não-condutora, uniformemente carregada (vista de perfil). Considerando a força gravitacional a que a esfera está submetida e supondo que a placa possui uma grande extensão, calcule a densidade superficial de cargas σ da placa.

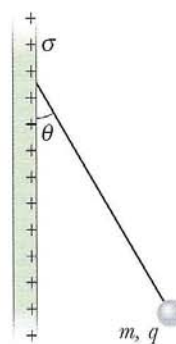


FIG. 23-45 Problema 41.

•42 A Fig. 23-46 mostra uma placa não-condutora muito extensa que possui uma densidade superficial de cargas uniforme $\sigma = -2,00 \text{ } \mu\text{C/m}^2$; a figura mostra também uma partícula de carga $Q = 6,00 \text{ } \mu\text{C}$, a uma distância d da placa. Ambas estão fixas no lugar. Se $d = 0,200 \text{ m}$, para que coordenada (a) positiva e (b) negativa sobre o eixo x (além do infinito) o campo elétrico total \vec{E}_{tot}

é zero? (c) Se $d = 0,800$ m, para que coordenada sobre o eixo x o campo \vec{E}_{tot} é 0?

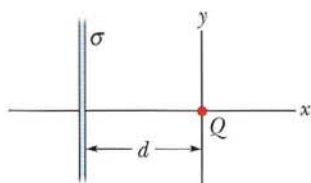


FIG. 23-46 Problema 42.

•••43 A Fig. 23-47 mostra uma seção reta de uma placa não-condutora muito extensa com uma espessura $d = 9,40$ mm e uma densidade volumétrica de cargas uniforme $\rho = 5,80$ fC/m³. 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; (d) em $x = 26,0$ mm.

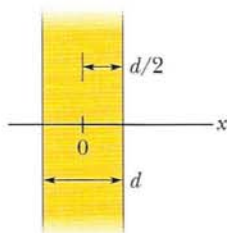


FIG. 23-47 Problema 43.

seção 23-9 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Esférica

•44 Uma carga pontual produz um fluxo elétrico de -750 N · m²/C através de uma superfície esférica gaussiana de $10,0$ cm de raio com centro na carga. (a) Se o raio da superfície gaussiana é multiplicado por dois, qual é o novo valor do fluxo? (b) Qual é o valor da carga pontual?

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

•46 A Fig. 23-48 mostra o módulo do campo elétrico do lado de dentro e do lado de fora de uma esfera com uma distribuição uniforme de cargas positivas em função da distância do centro da esfera. A escala do eixo vertical é definida por $E_s = 5,0 \times 10^7$ N/C. Qual é a carga da esfera?

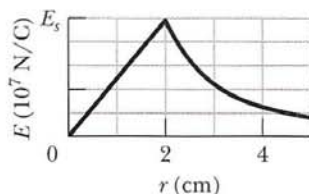


FIG. 23-48 Problema 46.

•47 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; (b) em $r = 20,0$ cm.

••48 A Fig. 23-49 mostra duas cascas esféricas não-condutoras mantidas fixas no lugar sobre o eixo x . A casca 1 possui uma densidade uniforme de cargas superficiais $+4,0$ μC/m² na superfície externa e um raio de $0,50$ cm, enquanto a casca 2 possui uma densidade uniforme de cargas superficiais $-2,0$ μC/m² 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) sobre o eixo x (além do infinito) onde o campo elétrico é zero.

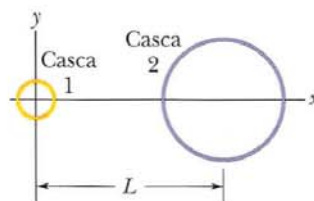


FIG. 23-49 Problema 48.

••49 Na Fig. 23-50 uma casca esférica não-condutora com um raio interno $a = 2,00$ cm e um raio externo $b = 2,40$ cm possui uma densidade volumétrica uniforme de cargas positivas $\rho = A/r$, onde 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?

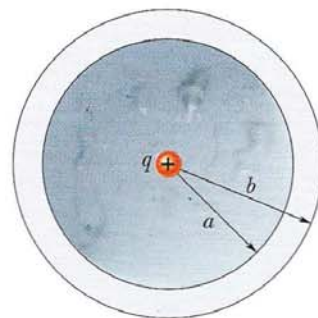


FIG. 23-50 Problema 49.

••50 A Fig. 23-51 mostra uma casca esférica com uma densidade volumétrica de cargas uniforme $\rho = 1,84$ nC/m³, 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 $r = b$; (f) em $r = 3,00b$.

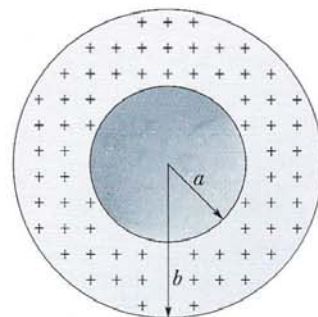


FIG. 23-51 Problema 50.

••51 Na Fig. 23-52 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 uma carga uniforme $q_1 = +5,00 \text{ fC}$ e a casca possui 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 $r = 2,30a$; (f) em $r = 3,50a$. Determine a carga (g) na superfície interna e (h) na superfície externa da casca.

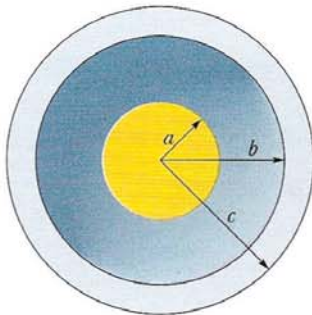


FIG. 23-52 Problema 51.

••52 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 $E_s = 10,0 \times 10^7 \text{ N/C}$. Estime o valor da carga da casca.

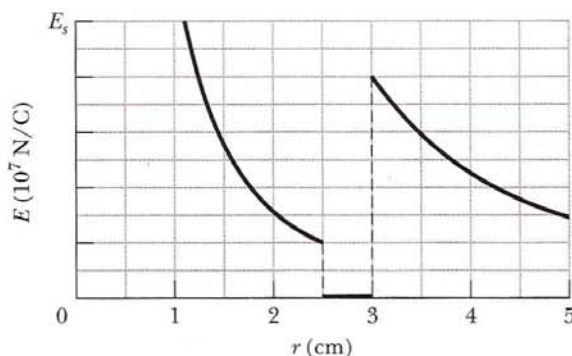


FIG. 23-53 Problema 52.

•••53 Uma distribuição de cargas não-uniforme, mas com simetria esférica, produz um campo elétrico de módulo $E = Kr^4$, onde 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 cargas ρ ?

•••54 A Fig. 23-54 mostra, em seção reta, duas esferas de raio R , com distribuições volumétricas uniformes de cargas. O ponto P está sobre a 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?

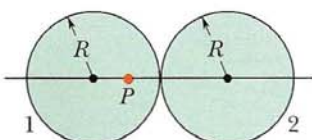


FIG. 23-54 Problema 54.

•••55 Uma esfera não-condutora de raio $R = 5,60 \text{ cm}$ possui uma distribuição de cargas não-uniforme $\rho = (14,1 \text{ pC/m}^3)r/R$,

onde r é a distância em relação ao centro da esfera. (a) Determine a carga da esfera. Determine o módulo E do campo elétrico (b) em $r = 0$; (c) em $r = R/2,00$; (d) em $r = R$. (e) Faça um gráfico de E em função de r .

Problemas Adicionais

56 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, na qual o material era transportado através de canos de plástico até o silo onde era armazenado. No meio desse percurso duas condições para que uma explosão ocorresse foram satisfeitas: (1) o módulo do campo elétrico ultrapassou $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$, 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 $R = 5,0 \text{ cm}$ 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 $\rho = 1,1 \times 10^{-3} \text{ C/m}^3$ (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? (Esta história continua no Problema 68 do Capítulo 24.)

57 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?

58 Uma esfera não-condutora com $5,0 \text{ cm}$ de raio possui uma densidade volumétrica uniforme de cargas $\rho = 3,2 \text{ } \mu\text{C/m}^3$. Determine o módulo do campo elétrico (a) a $3,5 \text{ cm}$ e (b) a $8,0 \text{ cm}$ do centro da esfera.

59 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 cargas (c) na superfície interna da casca; (d) na superfície externa da casca.

60 Uma esfera carregada de raio R possui uma densidade de cargas negativas 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 se encontra na superfície da esfera. Determine, em termos de R , a que distância da superfície está o ponto no qual o módulo da força é $0,50F_R$ quando o próton se encontra (a) em um prolongamento do túnel; (b) dentro do túnel.

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

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

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

64 O campo elétrico em uma certa região do espaço é dado por $\vec{E} = (x + 2)\hat{i} \text{ N/C}$, 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 $x = 2,0 \text{ m}$. (b) Determine a carga no interior do cilindro.

65 A Fig. 23-55 mostra uma vista de perfil de três placas não-condutoras de grande extensão com uma densidade uniforme de cargas. As densidades superficiais de cargas são $\sigma_1 = +2,00 \mu\text{C/m}^2$, $\sigma_2 = +4,00 \mu\text{C/m}^2$ e $\sigma_3 = -5,00 \mu\text{C/m}^2$; $L = 1,50 \text{ cm}$. Qual é o campo elétrico no ponto P em termos dos vetores unitários?

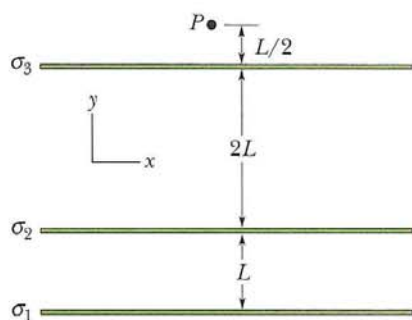


FIG. 23-55 Problema 65.

66 O fluxo de campo elétrico em cada face de um dado tem um valor absoluto, em unidades de $10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$, 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?

67 Uma superfície gaussiana em forma de hemisfério, de raio $R = 5,68 \text{ cm}$, está imersa em um campo elétrico uniforme de módulo $E = 2,50 \text{ N/C}$. Não existe nenhuma carga 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; (b) através da parte curva da superfície.

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

69 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 $a < r < b$; (c) para $r > b$. (d) Discuta o método que você usaria para determinar o modo como as cargas estão distribuídas nas superfícies internas e externas das cascas.

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

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

72 A Eq. 23-11 ($E = \sigma/\epsilon_0$) pode ser usada para calcular o campo elétrico em pontos situados nas vizinhanças de uma esfera condutora carregada. Aplique esta 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.

73 A Fig. 23-56 mostra um contador Geiger, um 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. Entretanto, 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 original de radiação. Suponha que o fio central tem um raio de $25 \mu\text{m}$ e o cilindro tem um raio interno de $1,4 \text{ cm}$ e um comprimento de 16 cm . Se o campo elétrico na superfície interna do cilindro é $2,9 \times 10^4 \text{ N/C}$, qual é a carga positiva do fio central?

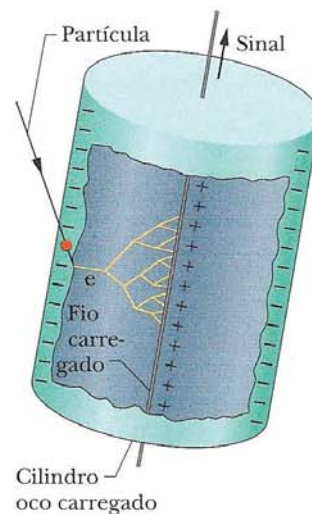


FIG. 23-56 Problema 73.

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

$$E = \frac{\rho r}{2\epsilon_0},$$

onde ρ é a densidade volumétrica de cargas. (b) Escreva uma expressão para E do lado de fora do cilindro.

75 A água em uma vala de irrigação de largura $w = 3,22 \text{ m}$ e profundidade $d = 1,04 \text{ m}$ corre com uma velocidade de $0,207 \text{ m/s}$. 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 wd , totalmente submersa, perpendicular à correnteza; (b) uma superfície de área $3wd/2$, da qual uma área wd está submersa, perpendicular à correnteza; (c) uma superfície de área $wd/2$, totalmente submersa, perpendicular à correnteza; (d) uma superfície de área wd , metade da qual está submersa, perpendicular à correnteza; (e) uma superfície de área wd , totalmente submersa, com a normal fazendo um ângulo de 34° com a direção da correnteza.

76 Um elétron livre é colocado entre duas placas paralelas de grande extensão, não-condutoras, mantidas na horizontal a 2,3 cm de distância uma da outra. Uma das placas possui uma carga positiva uniforme; a outra, uma carga negativa uniforme com o mesmo valor absoluto. A força exercida pelo campo elétrico \vec{E} sobre o elétron equilibra a força gravitacional. Determine (a) o módulo da densidade superficial de cargas das placas; (b) o sentido (para cima ou para baixo) do campo \vec{E} .

77 Uma esfera não-condutora tem uma densidade volumétrica de cargas 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 $\vec{E} = \rho\vec{r}/3\epsilon_0$. (Observe que este resultado não depende do raio da esfera.) (b) Uma cavidade esférica



FIG. 23-57 Problema 77.

é aberta na esfera, como mostra a Fig. 23-57. Usando o princípio da superposição, mostre que o campo elétrico no interior da cavidade é uniforme e é dado por $\vec{E} = \rho\vec{a}/3\epsilon_0$, onde \vec{a} é o vetor que liga o centro da esfera ao centro da cavidade. (Observe que este resultado não depende do raio da esfera e do raio da cavidade.)

78 Uma esfera com 6,00 cm de raio possui uma densidade de cargas 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; (b) 14,0 cm.

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

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

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

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