

Lista 03 – Lei de Gauss

Sequência didática proposta para os exercícios:

5, 6, 11, 15, 18, 19, 21, 22, 25, 29, 30, 37, 40, 41, 43, 44 e 45 (Halliday)

7. Três placas não-condutoras infinitas, com densidades superficiais de carga uniformes σ , 2σ e 3σ , são dispostas de modo a ficarem paralelas como as duas placas da Fig. 24.17a. Qual a ordem das superfícies, da esquerda para a direita, se o campo elétrico \vec{E} produzido pelo arranjo possuir intensidade $E = 0$ em uma região e $E = 2\sigma/\epsilon_0$ em outra região?

8. Uma pequena bola carregada está localizada no interior da parte oca de uma casca esférica metálica de raio R . Neste caso, para três situações, as cargas resultantes sobre a bola e sobre a casca são, respectivamente: (1) $+4q$, 0; (2) $-6q$, $+10q$; (3) $+16q$, $-12q$. Ordene as situações de acordo com a carga sobre (a) a superfície interna da casca e (b) a superfície externa, com a mais positiva vindo antes.

9. Ordene as situações da Pergunta 8 de acordo com a intensidade do campo elétrico (a) em um ponto no meio da espessura da casca e (b) em um ponto a uma distância $2R$ do centro da casca, da maior para a menor.

10. A Fig. 24.24 mostra quatro esferas, cada uma com carga Q uniformemente distribuída em seu volume. (a) Ordene as esferas de acordo

com as suas densidades volumétricas de carga, com a maior primeiro. A figura também mostra um ponto P para cada esfera, todos eles à mesma distância do centro da esfera. (b) Ordene as esferas de acordo com a intensidade do campo elétrico que elas produzem no ponto P , da maior para a menor.

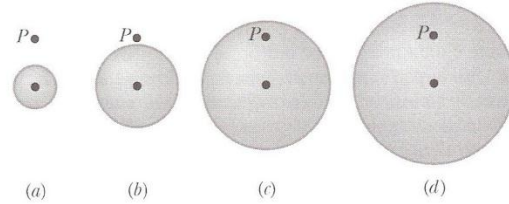


Fig. 24.24 Pergunta 10.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

SEÇÃO 24.2 Fluxo

1E. Água em um canal de irrigação com largura $w = 3,22$ m e profundidade $d = 1,04$ m escoam com uma velocidade de $0,207$ m/s. O fluxo de massa da água que escoam através de uma superfície imaginária é o produto da massa específica da água (1000 kg/m³) pelo seu fluxo volumétrico (vazão volumétrica) através dessa superfície. Determine o fluxo de massa que atravessa as seguintes superfícies imaginárias: (a) uma superfície com área wd , inteiramente na água, perpendicular ao escoamento; (b) uma superfície com área $3wd/2$, da qual uma área wd está dentro da água, perpendicular ao escoamento; (c) uma superfície de área $wd/2$, inteiramente na água, perpendicular ao escoamento; (d) uma superfície de área wd , metade dentro da água e metade fora, perpendicular ao escoamento; (e) uma superfície de área wd , inteiramente na água, cuja normal forma um ângulo de 34° com a direção de escoamento.

SEÇÃO 24.3 Fluxo de um Campo Elétrico

2E. A superfície quadrada mostrada na Fig. 24.25 mede $3,2$ mm em cada lado. Ela está imersa em um campo elétrico uniforme com intensidade $E = 1800$ N/C. As linhas de campo fazem um ângulo de 35° com uma normal à superfície, como mostrado. Tome essa normal como a direção “que aponta para fora”, como se a superfície fosse uma das faces de uma caixa. Calcule o fluxo elétrico através da superfície.

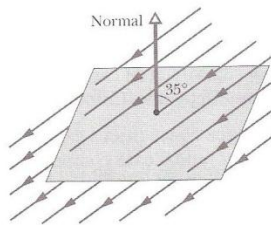


Fig. 24.25 Exercício 2.

3E. O cubo da Fig. 24.26 possui arestas com $1,40$ m de comprimento e está orientado como mostrado em uma região de campo elétrico uniforme. Determine o fluxo elétrico através da face direita se o campo elétrico, em newtons por coulomb, for dado por (a) $6,00\hat{i}$, (b) $-2,00\hat{j}$ e (c) $-3,00\hat{i} + 4,00\hat{k}$. (d) Qual o fluxo total através do cubo para cada um destes campos?

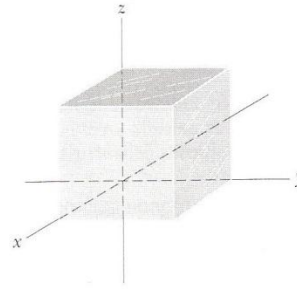


Fig. 24.26 Exercício 3 e Problemas 7 e 10.

SEÇÃO 24.4 A Lei de Gauss

4E. Você tem quatro cargas pontuais, $2q$, q , $-q$ e $-2q$. Se possível, descreva como você posicionaria uma superfície fechada que envolvesse pelo menos a carga $2q$ (e talvez outras cargas) de modo que o fluxo elétrico resultante através da superfície fosse (a) 0, (b) $+3q/\epsilon_0$ e (c) $-2q/\epsilon_0$.

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

6E. Na Fig. 24.27, uma rede de caçar borboletas está em um campo elétrico uniforme de intensidade E . O aro, um círculo de raio a , está alinhado perpendicularmente ao campo. Determine o fluxo elétrico que atravessa a rede.

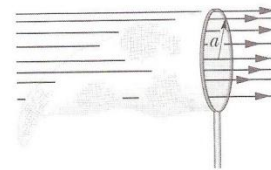


Fig. 24.27 Exercício 6.

7P. Determine o fluxo resultante através do cubo dado no Exercício 3 e Fig. 24.26 se o campo elétrico for dado por (a) $\vec{E} = 3,00y\hat{j}$ e

(b) $\vec{E} = -4,00y\hat{i} + (6,00 + 3,00y)\hat{j}$. E está expresso em newtons por coulomb, e y está em metros. (c) Em cada caso, qual a quantidade de carga envolta pelo cubo?

8P. Quando se liga um chuveiro em um banheiro fechado, o bater da água sobre a banheira vazia pode encher o ar do ambiente com íons carregados negativamente e produzir um campo elétrico no ar que pode chegar a 1000 N/C. Considere um banheiro que tenha dimensões de 2,5 m \times 3,0 m \times 2,0 m. Ao longo do teto, do piso e das quatro paredes, aproxime o campo elétrico no ar como se tivesse direção perpendicular à superfície e uma intensidade uniforme de 600 N/C. Considere também que essas superfícies formam uma superfície gaussiana fechada ao redor do ar do ambiente. Qual (a) a densidade volumétrica de carga ρ e (b) o número de cargas elementares em excesso e por metro cúbico no ar do banheiro?

9P. Observa-se experimentalmente que o campo elétrico em uma certa região da atmosfera da Terra está dirigido verticalmente para baixo. A uma altitude de 300 m o campo possui uma intensidade de 60,0 N/C; a uma altitude de 200 m, a intensidade é de 100 N/C. Determine a quantidade resultante de carga contida em um cubo de 100 m de aresta, com faces horizontais nas altitudes de 200 m e 300 m. Despreze a curvatura da Terra.

10P. Em cada ponto da superfície do cubo mostrado na Fig. 24.26, o campo elétrico está no sentido positivo do eixo y . O comprimento de cada aresta do cubo é de 3,0 m. Na superfície superior do cubo $\vec{E} = -34\hat{j}$ N/C, e na superfície inferior do cubo $\vec{E} = +20\hat{j}$ N/C. Determine a carga resultante contida no interior do cubo.

11P. Uma carga pontual q é colocada em um vértice de um cubo de aresta a . Qual o fluxo através de cada uma das faces do cubo? (Dica: Use a lei de Gauss e considerações de simetria.)

SEÇÃO 24.6 Um Condutor Carregado Isolado

12E. O campo elétrico imediatamente acima da superfície de um tambor carregado de uma fotocopiadora possui uma intensidade E de $2,3 \times 10^5$ N/C. Qual a densidade superficial de carga sobre o tambor, supondo que o tambor é um condutor?

13E. Uma esfera condutora uniformemente carregada de 1,2 m de diâmetro possui uma densidade superficial de carga de $8,1 \mu\text{C}/\text{m}^2$. (a) Determine a carga resultante sobre a esfera. (b) Qual o fluxo elétrico total que sai da superfície da esfera?

14E. Veículos espaciais viajando através dos cinturões de radiação da Terra podem interceptar um número significativo de elétrons. O acúmulo de carga resultante pode danificar componentes eletrônicos e interromper operações. Suponha que um satélite metálico esférico de 1,3 m de diâmetro acumule $2,4 \mu\text{C}$ de carga em uma rotação orbital. (a) Determine a densidade superficial de carga resultante. (b) Calcule a intensidade do campo elétrico em um ponto bem próximo fora da superfície do satélite, devido à carga superficial.

15P. Um condutor isolado de forma arbitrária possui uma carga resultante de $+10 \times 10^{-6}$ C. No interior do condutor existe uma cavidade dentro da qual está uma carga pontual $q = +3,0 \times 10^{-6}$ C. Qual a carga (a) sobre a parede da cavidade e (b) sobre a superfície externa do condutor?

SEÇÃO 24.7 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Cilíndrica

16E. (a) O tambor da máquina fotocopiadora do Exercício 12 tem um comprimento de 42 cm e um diâmetro de 12 cm. Qual a carga total sobre o tambor? (b) O fabricante deseja produzir uma versão de mesa da máquina. Isto requer uma redução do tamanho do tambor para um comprimento de 28 cm e um diâmetro de 8,0 cm. O campo elétrico na superfície do tambor deve permanecer inalterado. Qual deve ser a carga sobre este novo tambor?

17E. Uma linha de carga infinita produz um campo de $4,5 \times 10^4$ N/C a uma distância de 2,0 m. Calcule a densidade linear de carga.

18P. A Fig. 24.28 mostra uma seção de um longo tubo metálico de paredes finas e raio R , com uma carga por unidade de comprimento λ sobre a sua superfície. Deduza expressões para E em termos da distância r a partir do eixo do tubo, considerando tanto (a) $r > R$ e (b) $r < R$. Faça um gráfico dos seus resultados para a faixa que vai de $r = 0$ até $r = 5,0$ cm, supondo que $\lambda = 2,0 \times 10^{-8}$ C/m e $R = 3,0$ cm. (Dica: Use superfícies gaussianas cilíndricas, coaxiais com o tubo metálico.)

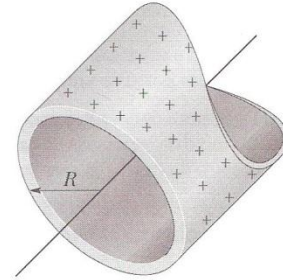


Fig. 24.28 Problema 18.

19P. Uma barra cilíndrica condutora muito longa de comprimento L com uma carga total $+q$ está envolta por uma casca cilíndrica condutora (também de comprimento L) com carga total $-2q$, como mostrado na Fig. 24.29. Use a lei de Gauss para determinar (a) o campo elétrico em pontos fora da casca condutora, (b) a distribuição de carga sobre a casca e (c) o campo elétrico na região entre a casca e a barra.

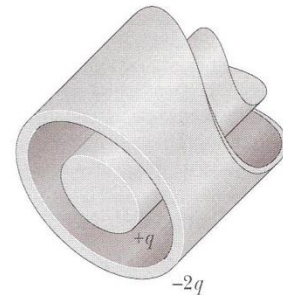


Fig. 24.29 Problema 19.

20P. Um fio reto longo possui carga negativa fixa com uma densidade linear de carga com intensidade $3,6$ nC/m. O fio será envolvido por um cilindro fino não-condutor com 1,5 cm de raio externo, coaxial com o fio. O cilindro deve ter uma carga positiva sobre a sua superfície externa com uma densidade superficial de carga σ de tal modo que o campo elétrico externo resultante seja nulo. Calcule o valor necessário para σ .

21P. Dois cilindros longos concêntricos carregados possuem raios de 3,0 e 6,0 cm. A carga por unidade de comprimento é $5,0 \times 10^{-6}$ C/m sobre o cilindro interno e $-7,0 \times 10^{-6}$ C/m sobre o cilindro externo. Determine o campo elétrico em (a) $r = 4,0$ cm e (b) $r = 8,0$ cm, onde r é a distância radial a partir do eixo central comum.

22P. Um longo cilindro sólido não-condutor de raio 4,0 cm possui uma densidade volumétrica de carga não-uniforme ρ que é função da distância radial r ao eixo do cilindro, dada por $\rho = Ar^2$, com $A = 2,5 \mu\text{C}/\text{m}^3$. Qual a intensidade do campo elétrico a uma distância radial de (a) 3,0 cm e (b) 5,0 cm do eixo do cilindro?

23P. A Fig. 24.30 mostra um contador Geiger, um aparelho usado para detectar radiação ionizante (radiação que causa a ionização de átomos). O contador é formado por um fio fino central carregado positivamente envolto por um cilindro condutor circular concêntrico com o fio e com

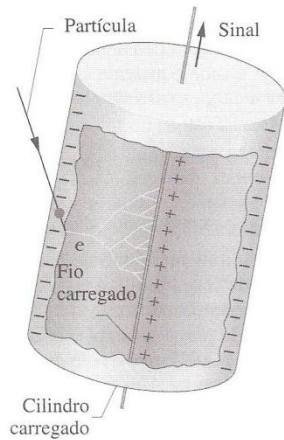


Fig. 24.30 Problema 23.

uma mesma carga negativa. Assim, um forte campo elétrico radial é criado dentro do cilindro. O cilindro contém um gás inerte à baixa pressão. Quando uma partícula de radiação entra no aparelho através da parede do cilindro, ela ioniza alguns átomos do gás. Os elétrons livres resultantes (identificados pela letra e) são atraídos para o fio positivo. Entretanto, o campo elétrico é tão intenso que, entre colisões com outros átomos de gás, os elétrons livres ganham energia suficiente para ionizarem estes átomos também. Mais elétrons livres são criados desse modo, e o processo se repete até que os elétrons alcancem o fio. A "avalanche" resultante de elétrons é coletada pelo fio, gerando um sinal que é usado para registrar a passagem da partícula original de radiação. Suponha que o raio do fio central seja de $25 \mu\text{m}$, o raio do cilindro $1,4 \text{ cm}$ e o comprimento do tubo de 16 cm . Se o campo elétrico na parede interna do cilindro for $2,9 \times 10^4 \text{ N/C}$, qual será a carga total positiva sobre o fio central?

24P. Uma carga com densidade linear uniforme de $2,0 \text{ nC/m}$ está distribuída ao longo de uma barra não-condutora fina e longa. A barra é coaxial com um longo cilindro condutor oco (raio interno = $5,0 \text{ cm}$, raio externo = 10 cm). A carga resultante sobre o condutor é nula. (a) Qual a intensidade do campo elétrico a 15 cm do eixo do cilindro? Qual a densidade superficial de carga sobre (b) a superfície interna e (c) a superfície externa do condutor?

25P. Uma carga está distribuída uniformemente através do volume de um cilindro infinitamente longo de raio R . (a) Mostre que, a uma distância r do eixo do cilindro (para $r < R$),

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

onde ρ é a densidade volumétrica de carga. (b) Escreva uma expressão para E quando $r > R$.

SEÇÃO 24.8 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Plana

26E. A Fig. 24.31 mostra seções transversais que passam por duas grandes placas não-condutoras paralelas com distribuições idênticas de carga positiva e com densidade superficial de carga σ . Qual é o



Fig. 24.31 Exercício 26.

campo elétrico \vec{E} em pontos (a) acima das placas, (b) entre elas e (c) abaixo delas?

27E. Uma placa metálica quadrada com comprimento de lado de $8,0 \text{ cm}$ e espessura desprezível possui uma carga total de $6,0 \times 10^{-6} \text{ C}$. (a) Estime a intensidade E do campo elétrico a uma distância bem próxima, mas fora da placa (digamos, a uma distância de $0,50 \text{ mm}$), supondo que a carga esteja uniformemente distribuída sobre as duas faces da placa. (b) Estime E a uma distância de 30 m (que é grande em relação ao tamanho da placa) supondo que a placa seja uma carga pontual.

28E. Uma grande superfície não-condutora plana possui uma densidade de carga uniforme σ . Um pequeno orifício circular de raio R foi feito no meio da superfície, como mostrado na Fig. 24.32. Ignore a distorção das linhas de campo ao redor de todas as bordas, e calcule o campo elétrico no ponto P , a uma distância z do centro do orifício ao longo do seu eixo. (Dica: Veja a Eq. 23.36 e use superposição.)

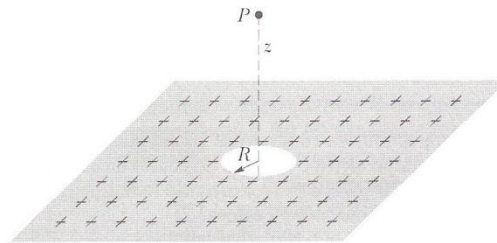


Fig. 24.32 Exercício 28.

29P. Na Fig. 24.33, uma pequena bola não-condutora de massa $m = 1,0 \text{ mg}$ e carga $q = 2,0 \times 10^{-8} \text{ C}$ (distribuída uniformemente pelo seu volume) está suspensa por um fio isolante que faz um ângulo $\theta = 30^\circ$ com uma placa não-condutora vertical uniformemente carregada (mostrada em corte transversal). Considerando a força gravitacional sobre a bola e supondo que a placa se estende por uma grande distância na vertical, e para dentro e para fora da página, calcule a densidade superficial de carga σ da placa.

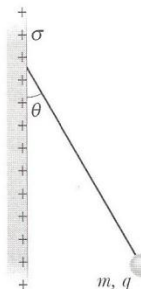


Fig. 24.33 Problema 29.

30P. Duas grandes placas metálicas finas estão paralelas e próximas uma da outra, como na Fig. 24.16c. Sobre as suas faces internas, as placas possuem densidade superficial de carga em excesso de sinais contrários com uma intensidade de $7,0 \times 10^{-22} \text{ C/m}^2$, com a placa carregada negativamente à esquerda. Quais a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico \vec{E} (a) à esquerda das placas, (b) à direita das placas e (c) entre as placas?

31P. Um elétron é lançado bem na direção do centro de uma grande placa metálica que possui carga negativa em excesso com uma densidade superficial de carga de $2,0 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$. Se a energia cinética ini-

cial do elétron for igual a 100 eV e se quisermos que o elétron pare (devido à repulsão eletrostática da placa) assim que ele atingir a placa, a que distância da placa ele deve ser lançado?

32P. Duas placas metálicas grandes de área igual a $1,0 \text{ m}^2$ estão uma em frente à outra. Elas estão separadas por uma distância de $5,0 \text{ cm}$ e possuem cargas iguais mas de sinais contrários sobre as suas superfícies internas. Se a intensidade E do campo elétrico entre as placas for de 55 N/C , qual a intensidade da carga sobre cada placa? Despreze os efeitos de borda.

33P*. Uma placa espessa plana de espessura d possui uma densidade volumétrica de carga uniforme ρ . Determine a intensidade do campo elétrico em todos os pontos do espaço (a) tanto dentro (b) quanto fora da placa, em termos de x , com a distância medida a partir do plano central da placa espessa.

SEÇÃO 24.9 Aplicando a Lei de Gauss: Simetria Esférica

34E. Uma carga pontual faz com que um fluxo elétrico de $-750 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ atravesse uma superfície gaussiana esférica de $10,0 \text{ cm}$ de raio, centrada na carga. (a) Se o raio da superfície gaussiana fosse dobrado, qual o fluxo que atravessaria a superfície? (b) Qual o valor da carga pontual?

35E. Uma esfera condutora com raio de 10 cm possui uma carga desconhecida. Se o campo elétrico a 15 cm do centro da esfera possuir intensidade de $3,0 \times 10^3 \text{ N/C}$ e estiver dirigido radialmente para o centro, qual a carga resultante sobre a esfera?

36E. Duas esferas concêntricas carregadas possuem raios de $10,0 \text{ cm}$ e de $15,0 \text{ cm}$. A carga sobre a esfera interna é de $4,00 \times 10^{-8} \text{ C}$, enquanto a carga sobre a esfera externa é de $2,00 \times 10^{-8} \text{ C}$. Determine o campo elétrico (a) em $r = 12,0 \text{ cm}$ e (b) em $r = 20,0 \text{ cm}$.

37E. Em um artigo de 1911, Ernest Rutherford disse: "A fim de se ter uma noção das forças necessárias para defletir uma partícula α de um grande ângulo, considere um átomo [como] contendo uma carga pontual positiva Ze no seu centro, cercada por uma distribuição de eletricidade negativa $-Ze$ uniformemente distribuída no interior de uma esfera de raio R . O campo elétrico $E \dots$ a uma distância r do centro para um ponto no interior do átomo [é]

$$E = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{r}{R^3} \right),$$

Verifique esta equação.

38E. A Eq. 24.11 ($E = \sigma/\epsilon_0$) fornece o campo elétrico em pontos próximos a uma superfície condutora carregada. Aplique esta equação a uma esfera condutora de raio r e carga q , e mostre que o campo elétrico fora da esfera é o mesmo que o campo de uma carga pontual localizada no centro da esfera.

39P. Um próton está em órbita em torno de uma esfera carregada de raio $r = 1,00 \text{ cm}$ com velocidade $v = 3,00 \times 10^5 \text{ m/s}$ e raio orbital ligeiramente maior do que r . Qual a carga sobre a esfera?

40P. Uma carga pontual $+q$ é colocada no centro de uma casca esférica condutora eletricamente neutra com raio interno a e raio externo b . Qual carga aparece sobre (a) a superfície interna da casca e (b) a superfície externa? Qual o campo elétrico resultante a uma distância r do centro da casca se (c) $r < a$, (d) $b > r > a$ e (e) $r > b$? Esboce linhas de campo para essas três regiões. Para $r > b$, qual o campo elétrico resultante (f) devido à carga pontual central mais a carga da superfície interna e (g) devido à carga da superfície externa? Uma carga pontual $-q$ é agora colocada fora da casca. Esta carga pontual modifica a distribuição de carga sobre (h) a superfície externa e (i) a superfície interna? Esboce as linhas de campo agora. (j) Existe uma força eletrostática sobre a segunda carga pontual? (k) Existe uma força eletrostática resultante sobre a primeira carga pontual? (l) Esta situação viola a terceira lei de Newton?

41P. Uma esfera sólida não-condutora de raio R possui uma distribuição de carga não-uniforme com densidade volumétrica de carga dada por $\rho = \rho_s r/R$, onde ρ_s é uma constante e r é a distância ao centro da esfera. Mostre (a) que a carga total sobre a esfera é $Q = \pi\rho_s R^3$ e (b) que

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^4} r^2$$

fornece a intensidade do campo elétrico dentro da esfera.

42P. Pode-se considerar que um átomo de hidrogênio tem um próton como um ponto central de carga positiva $+e$ e um elétron de carga negativa $-e$ que está distribuída em torno do próton com a densidade volumétrica de carga dada por $\rho = A \exp(-2r/a_0)$. Nesta equação, A é uma constante, $a_0 = 0,53 \times 10^{-10} \text{ m}$ é o raio de Bohr e r é a distância ao centro do átomo. (a) Determine A usando o fato de o hidrogênio ser eletricamente neutro. (b) Depois determine o campo elétrico produzido pelo átomo no raio de Bohr.

43P. Na Fig. 24.34, uma esfera, de raio a e carga $+q$ uniformemente distribuída por todo seu volume, é concêntrica com uma casca esférica condutora de raio interno b e raio externo c . Esta casca possui uma carga resultante de $-q$. Determine expressões para o campo elétrico, em função do raio r , (a) dentro da esfera ($r < a$), (b) entre a esfera e a casca ($a < r < b$), (c) no interior da casca ($b < r < c$) e (d) fora da casca ($r > c$). (e) Quais são as cargas nas superfícies interna e externa da casca?

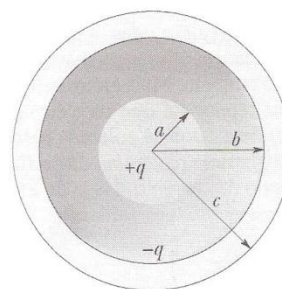


Fig. 24.34 Problema 43.

44P. A Fig. 24.35a mostra uma casca esférica de carga com densidade volumétrica de carga uniforme ρ . Construa o gráfico de E devido à casca para distâncias r ao centro da casca na faixa de zero a 30 cm . Suponha que $\rho = 1,0 \times 10^{-6} \text{ C/m}^3$, $a = 10 \text{ cm}$ e $b = 20 \text{ cm}$.

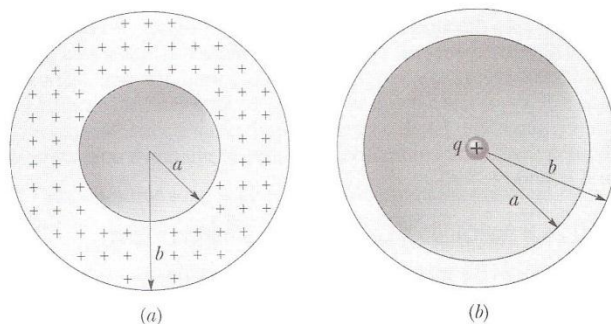


Fig. 24.35 Problemas 44 e 45.

45P. Na Fig. 24.35b, uma casca esférica não-condutora, de raio interno a e raio externo b , possui uma densidade volumétrica de carga positiva $\rho = A/r$ (dentro da sua espessura), onde A é uma constante e r é a distância ao centro da casca. Além disso, uma carga pontual positiva q é colocada nesse centro. Que valor A deveria ter para que o campo elé-

trico na casca ($a \leq r \leq b$) seja uniforme? (Dica: A constante A depende de a , mas não de b .)

46P*. Uma esfera não-condutora possui uma densidade volumétrica de carga uniforme ρ . Seja \vec{r} o vetor do centro da esfera até um ponto genérico P no interior da esfera. (a) Mostre que o campo elétrico em P é dado por $\vec{E} = \rho\vec{r}/3\epsilon_0$. (Observe que o resultado independe do raio da esfera.) (b) Uma cavidade esférica é escavada na esfera, como mostrado na Fig. 24.36. Usando conceitos de superposição, mostre que o campo elétrico em todos os pontos dentro da cavidade é uniforme e igual a $\vec{E} = \rho\vec{a}/3\epsilon_0$, onde \vec{a} é o vetor posição do centro da esfera até o centro da cavidade. (Observe que este resultado independe do raio da esfera e do raio da cavidade.)

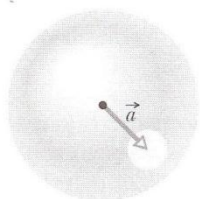


Fig. 24.36 Problema 46.

47P*. Uma distribuição volumétrica de carga com simetria esférica, mas não-uniforme, produz um campo elétrico de intensidade $E = Kr^4$, orientado radialmente do centro da esfera para fora. Nesta equação, r é a distância radial a partir desse centro e K é uma constante. Qual a densidade volumétrica ρ da distribuição de carga?

Problema Adicional

48. O mistério do granulado de chocolate. Explosões inflamadas por descargas eletrostáticas (centelhas) constituem um sério perigo em instalações que manuseiam grãos ou pó. Uma explosão deste tipo ocorreu com pó para granulado de chocolate em uma fábrica de biscoitos na década de 1970. Na fábrica, os empregados normalmente esvaziavam os sacos de pó de chocolate recém-entregues em uma caixa de carga a partir da qual ele era soprado através de tubos de PVC aterrados até um silo para armazenamento. Em algum lugar ao longo deste percurso ficaram atendidas duas condições para uma explosão: (1) A intensidade de um campo elétrico atingiu $3,0 \times 10^6$ N/C ou mais, de modo que podia ocorrer uma ruptura elétrica e conseqüentemente centelhamento. (2) A energia de uma centelha era de 150 mJ ou maior, de modo que ela podia inflamar o pó de maneira explosiva. Vamos verificar a primeira condição no escoamento de pó através dos tubos de PVC.

Suponha que uma corrente de pó para granulado de chocolate *negativamente* carregado seja bombeada através de um tubo cilíndrico de PVC com raio $R = 5,0$ cm. Suponha que o pó e a sua carga estejam uniformemente distribuídos por todo o tubo com uma densidade volumétrica de carga ρ . (a) Usando a lei de Gauss, determine uma expressão para a intensidade do campo elétrico \vec{E} no tubo em função da distância radial r ao centro do tubo. (b) A intensidade aumenta ou diminui com r ? (c) O campo elétrico \vec{E} está orientado radialmente para dentro ou para fora? (d) Supondo uma densidade volumétrica de carga ρ de intensidade $1,1 \times 10^{-3}$ C/m³ (que era típica na fábrica de biscoitos), determine a intensidade máxima do campo elétrico e onde ocorre esse campo máximo. (e) O centelhamento poderia acontecer e, em caso positivo, onde? (A estória continua com o Problema 57 no Cap. 25.)

Respostas

CAPÍTULO 24

PV 1. (a) $+EA$; (b) $-EA$; (c) 0; (d) 0 **2.** (a) 2; (b) 3; (c) 1 **3.** (a) igual; (b) igual; (c) igual **4.** (a) $+50e$; (b) $-150e$ **5.** 3 e 4 empatados, depois 2, 1 **P 1.** (a) $8 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$; (b) 0 **3.** (a) todas quatro; (b) nenhum deles (eles são iguais) **5.** (a) S_3, S_2, S_1 ; (b) as intensidades são todas iguais; (c) S_3, S_2, S_1 ; (d) são todos iguais (a zero) **7.** $2\sigma, \sigma, 3\sigma$; ou $3\sigma, \sigma, 2\sigma$ **9.** (a) são iguais ($E = 0$); (b) são iguais **EP 1.** (a) 693 kg/s ; (b) 693 kg/s ; (c) 347 kg/s ; (d) 347 kg/s ; (e) 575 kg/s **3.** (a) 0; (b) $-3,92 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$; (c) 0; (d) 0 para cada um dos campos **5.** $2,0 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **7.** (a) $8,23 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$; (b) $8,23 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$; (c) $72,8 \text{ pC}$ em cada caso **9.** $3,54 \text{ }\mu\text{C}$ **11.** 0 através de cada uma das três faces que se encontram no vértice onde está q . $q/24\epsilon_0$ através de cada uma das outras faces **13.** (a) $37 \text{ }\mu\text{C}$; (b) $4,1 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ **15.** (a) $-3,0 \times 10^{-6} \text{ C}$; (b) $+1,3 \times 10^{-5} \text{ C}$ **17.** $5,0 \text{ }\mu\text{C/m}$ **19.** (a) $E = q/2\pi\epsilon_0 Lr$, dirigido radialmente para dentro; (b) $-q$ tanto sobre a face interna quanto sobre a externa da superfície; (c) $E = q/2\pi\epsilon_0 Lr$, dirigido radialmente para fora **21.** (a) $2,3 \times 10^6 \text{ N/C}$, radial para fora; (b) $4,5 \times 10^5 \text{ N/C}$, radial para dentro **23.** $3,6 \text{ nC}$ **25.** (b) $\rho R^2/2\epsilon_0 r$ **27.** (a) $5,3 \times 10^7 \text{ N/C}$; (b) 60 N/C **29.** $5,0 \text{ nC/m}^2$ **31.** $0,44 \text{ mm}$ **33.** (a) $\rho x/\epsilon_0$; (b) $\rho d/2\epsilon_0$ **35.** $-7,5 \text{ nC}$ **39.** $-1,04 \text{ nC}$ **43.** (a) $E = (q/4\pi\epsilon_0 a^3)r$; (b) $E = q/4\pi\epsilon_0 r^2$; (c) 0; (d) 0; (e) interna, $-q$; externa, 0 **45.** $q/2\pi a^2$ **47.** $6K\epsilon_0 r^3$

6. $\Phi = -E\pi a^2$;

18. $r < R, E = 0$; $r > R, E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$;

22. $r < R, E = \frac{Ar^3}{4\epsilon_0}$; $r > R, E = \frac{AR^4}{4\epsilon_0 r}$;

30. $E = 0, E = 0, E = \sigma/\epsilon_0$;

37. No enunciado;

40. $r < a \text{ e } r > b, E = \frac{kq}{r^2}$; $b < r < a, E = 0$;

41. No enunciado;

44. Gráfico.