

13. Um condutor grande, oco e isolado está carregado positivamente. Uma pequena bola metálica com carga negativa de mesmo módulo, suspensa por um fio, é introduzida no condutor através de uma pequena abertura existente no seu topo. A bola é conduzida a tocar na superfície interna do condutor, sendo, a seguir, retirada. Qual é, na sequência, a carga sobre (a) a superfície interna do condutor, (b) a superfície externa do condutor e (c) a bola?

14. Podemos deduzir, a partir dos argumentos apresentados na Seção 25-7, que os elétrons da fiação elétrica de uma casa se deslocam ao longo das superfícies dos fios quando a corrente está passando? Caso contrário, por que não?

15. De acordo com a lei de Gauss, como se aplicou na Seção 25-7, é necessário que todos os elétrons de condução num condutor isolado estejam sobre sua superfície?

16. Suponha que se tenha uma superfície gaussiana na forma de uma rosca e que ela envolva uma única carga puntiforme. A lei de Gauss é válida? Se não for, explique o porquê. Se a resposta for afirmativa, existe simetria suficiente para aplicarmos a lei de Gauss com sucesso?

17. Uma carga puntiforme positiva q é colocada no centro de uma esfera metálica oca. Que cargas aparecem sobre (a) a superfície interna e

(b) a superfície externa da esfera? (c) Se aproximarmos da esfera um objeto metálico (descarregado), suas respostas aos itens (a) e (b) serão alteradas? Tal aproximação vai alterar a distribuição da carga sobre a esfera?

18. Explique por que a simetria da Fig. 25-13 nos restringe à consideração de que E só tem componentes radiais.

19. Na Seção 25-9, a carga total sobre uma barra infinita é infinita. Por que E também não é infinito? Afinal, de acordo com a lei de Gauss, se q for infinito, E também o será.

20. Explique por que a simetria da Fig. 25-16 nos restringe à consideração de que E só tem componentes perpendiculares à chapa? Por que, por exemplo, E não poderia ter componentes paralelos à chapa?

21. O campo criado por uma chapa infinita uniformemente carregada tem a mesma intensidade em todos os pontos, não importando quão distantes eles estejam da chapa. Explique como isto pode ocorrer contrariando a lei de Coulomb do inverso do quadrado.

22. Explique por que a simetria esférica da Fig. 25-7 nos restringe à consideração de que E só tem componentes radiais.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Seção 25-3 Fluxo

1E. Num canal de irrigação, de largura $w = 3,22$ m e profundidade $d = 1,04$ m, a água flui com uma velocidade escalar de $0,207$ m/s. O fluxo de massa da água escoando através de uma superfície imaginária é o produto entre a densidade da água (1.000 kg/m³) e seu fluxo de volume através daquela superfície. Determine o fluxo de massa através das seguintes superfícies imaginárias: (a) uma superfície de área wd , inteiramente na água, perpendicular ao fluxo; (b) uma superfície com área $3wd/2$, da qual wd está na água, perpendicular ao fluxo; (c) uma superfície de área $wd/2$, inteiramente na água, perpendicular ao fluxo; (d) uma superfície de área wd , metade na água e metade fora, perpendicular ao fluxo; (e) uma superfície de área wd , inteiramente na água, com sua normal fazendo um ângulo de 34° com a direção do fluxo.

Seção 25-4 Fluxo do Campo Elétrico

2E. A superfície quadrada na Fig. 25-24 tem $3,2$ mm de lado. Ela está imersa num campo elétrico uniforme com $E = 1.800$ N/C. As linhas do campo fazem um ângulo de 35° com a normal "apontando para fora", como é mostrado. Calcular o fluxo através da superfície.

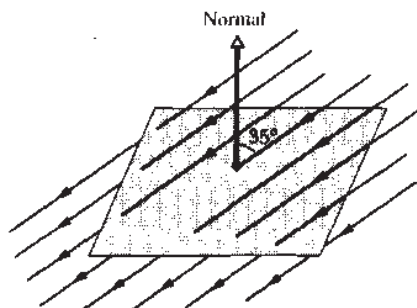


Fig. 25-24 Exercício 2.

3E. Um cubo com $1,40$ m de aresta está orientado, como é mostrado na Fig. 25-25, numa região de campo elétrico uniforme. Determine o fluxo elétrico através da face direita se o campo elétrico, em newtons por

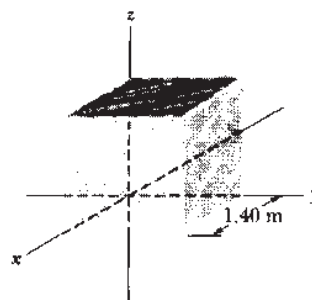


Fig. 25-25 Exercício 3 e Problema 12.

coulomb, for dado por (a) $6,00\mathbf{i}$, (b) $-2,00\mathbf{j}$ e (c) $-3,00\mathbf{i} + 4,00\mathbf{k}$. (d) Qual é o fluxo total através do cubo para cada um dos campos?

4P. Calcule Φ através (a) da base plana e (b) da superfície curvada de um hemisfério de raio R . O campo E é uniforme e perpendicular à base plana do hemisfério e as linhas do campo entram através da base plana.

Seção 25-5 Lei de Gauss

5E. Quatro cargas, $2q$, q , $-q$ e $-2q$, estão dispostas nos vértices de um quadrado, como mostra a Fig. 25-26. Descreva, se possível, uma superfície fechada que envolva a carga $2q$ e através da qual o fluxo líquido seja (a) 0 , (b) $+3q/\epsilon_0$ e (c) $-2q/\epsilon_0$.

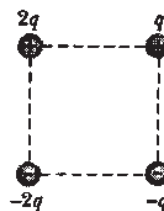


Fig. 25-26 Exercício 5.

6E. A carga de um condutor neutro é separada pela aproximação de uma barra carregada positivamente, como mostra a Fig. 25-27. Qual é o fluxo através de cada uma das cinco superfícies gaussianas mostradas em seção transversal? Suponha que as cargas envolvidas por S_1 , S_2 e S_3 sejam iguais em módulo.

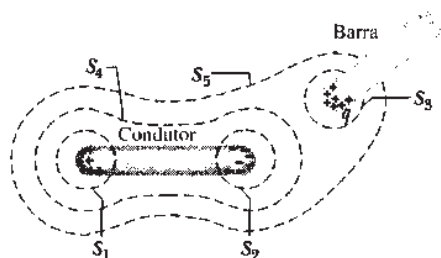


Fig. 25-27 Exercício 6.

7E. Uma carga pontiforme de $1,8 \mu\text{C}$ está no centro de uma superfície gaussiana cúbica com 55 cm de aresta. Qual é o fluxo elétrico líquido através da superfície?

8E. O fluxo elétrico líquido através de cada face de um dado tem um módulo em unidades de $10^3 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ que é exatamente igual ao número de pontos sobre a face (1 até 6). O fluxo é para dentro em relação às faces de numeração ímpar e para fora em relação às de numeração par. Qual é a carga líquida dentro do dado?

9E. Na Fig. 25-28, uma carga pontiforme $+q$ está a uma distância $d/2$ diretamente acima do centro de um quadrado de lado d . Qual é o fluxo elétrico através do quadrado? (Sugestão: Pense no quadrado como uma das faces de um cubo de aresta d .)

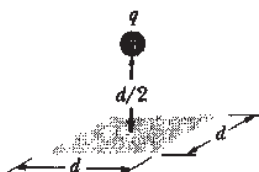


Fig. 25-28 Exercício 9.

10E. Uma rede de caçar borboletas está num campo elétrico uniforme, como mostra a Fig. 25-29. A borda da rede, um círculo de raio a , está colocada perpendicularmente ao campo. Determine o fluxo elétrico através da rede.

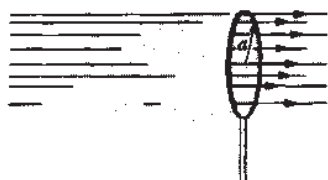


Fig. 25-29 Exercício 10.

11P. Determinou-se, experimentalmente, que o campo elétrico numa certa região da atmosfera terrestre, está dirigido verticalmente para baixo. Numa altitude de 300 m, o campo tem módulo de $60,0 \text{ N/C}$; e numa altitude de 200 m, 100 N/C . Determine a carga líquida contida num cubo

de 100 m de aresta, com as faces horizontais nas altitudes de 200 e 300 m. Despreze a curvatura da Terra.

12P. Determine o fluxo líquido através do cubo do Exercício 3 e Fig. 25-25 se o campo elétrico for dado por (a) $\mathbf{E} = 3,00 y\mathbf{j}$ e (b) $\mathbf{E} = -4,00i + (6,00 + 3,00 y)\mathbf{j}$. E é dado em newtons por coulomb, e y em metros. (c) Em cada caso, qual é a quantidade de carga dentro do cubo?

13P. Uma carga pontiforme q está colocada num dos vértices de um cubo de aresta a . Qual é o fluxo através de cada uma das faces do cubo? (Sugestão: Use a lei de Gauss e argumentos de simetria.)

14P. "A lei de Gauss para a gravitação" é

$$\frac{1}{4\pi G} \Phi_g = \frac{1}{4\pi G} \oint \mathbf{g} \cdot d\mathbf{A} = -m,$$

na qual Φ_g é o fluxo do campo gravitacional \mathbf{g} através de uma superfície gaussiana que envolve a massa m . O campo \mathbf{g} é definido como a aceleração de partícula teste sobre a qual a massa m exerce uma força gravitacional. Deduza a lei da gravitação de Newton a partir dela. Qual é o significado do sinal "menos"?

Seção 25-7 Um Condutor Carregado Isolado

15E. O campo elétrico imediatamente acima, da superfície de um tambor carregado de uma máquina de fotocópias, tem um módulo E de $2,3 \times 10^5 \text{ N/C}$. Qual é a densidade superficial de carga sobre o tambor, sendo ele um condutor?

16E. 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 sobre a esfera. (b) Qual é o fluxo elétrico total que está saindo da superfície da esfera?

17E. Veículos espaciais, viajando através dos "cinturões de radiação" da Terra, podem interceptar um número significativo de elétrons. A carga resultante acumulada pode danificar componentes eletrônicos e interromper operações. Suponha que um satélite metálico de forma esférica com 1,3 m de diâmetro acumule $2,4 \mu\text{C}$ de carga numa rotação orbital. (a) Determine a densidade superficial de carga resultante. (b) Calcule o módulo do campo elétrico resultante, imediatamente fora da superfície do satélite, devido à carga superficial.

18E. Uma esfera condutora com carga Q é envolvida por uma casca esférica condutora. (a) Qual é a carga líquida sobre a superfície interna da casca? (b) Uma outra carga q é colocada fora da casca. Qual é então a carga líquida sobre a superfície interna da casca? (c) Se a carga q for deslocada para uma posição entre a casca e a esfera, qual será a carga líquida sobre a superfície interna da casca? (d) Suas respostas seriam válidas se a esfera e a casca não fossem concêntricas?

19P. Um condutor isolado de forma arbitrária tem uma carga líquida de $+10 \times 10^{-6} \text{ C}$. Dentro do condutor existe uma cavidade, no interior da qual está uma carga pontiforme $q = +3,0 \times 10^{-6} \text{ C}$. Qual é a carga (a) sobre a parede da cavidade e (b) sobre a superfície externa do condutor?

20P. Um condutor de forma irregular possui em seu interior uma cavidade também irregular. Uma carga q é colocada sobre o condutor, mas não há carga dentro da cavidade. Mostre que não há carga líquida sobre a parede da cavidade.

Seção 25-9 Lei de Gauss: Simetria Cilíndrica

21E. Uma linha infinita de carga produz um campo de $4,5 \times 10^3 \text{ N/C}$ a uma distância de 2,0 m. Calcule a densidade linear de carga.

22E. (a) O tambor da máquina de fotocópias do Exercício 15 tem um comprimento de 42 cm e um diâmetro de 12 cm. Qual é a carga total

sobre o tambor? (b) O fabricante da máquina deseja produzir um modelo menor. Tal fato requer a redução do tamanho do tambor para 28 cm de comprimento e 8,0 cm de diâmetro. O campo elétrico na superfície do tambor deve permanecer inalterado. Qual deve ser a carga sobre este novo tambor?

23P. A Fig. 25-30 mostra uma seção através de um tubo longo metálico, cujas paredes são finas. O tubo tem um raio R e uma carga por unidade de comprimento λ sobre a sua superfície. Obtenha expressões para E em função da distância r ao eixo do tubo, considerando: (a) $r > R$ e (b) $r < R$. Faça um gráfico de seus resultados na faixa de $r = 0$ até $r = 5,0$ cm, supondo que $\lambda = 2,0 \times 10^{-8}$ C/m e $R = 3,0$ cm. (Sugestão: Use superfícies gaussianas cilíndricas, coaxiais com o tubo metálico.)

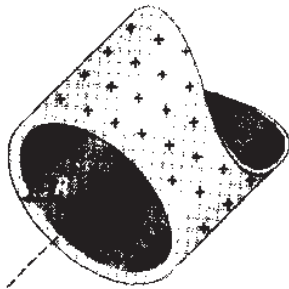


Fig. 25-30 Problema 23.

24P. A Fig. 25-31 mostra uma seção através de dois longos e finos cilindros concêntricos de raios a e b com $a < b$. Os cilindros possuem cargas iguais e opostas por unidade de comprimento λ . Usando a lei de Gauss, prove que (a) $E = 0$ para $r < a$ e (b) entre os cilindros, isto é, para $a < r < b$,

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}.$$

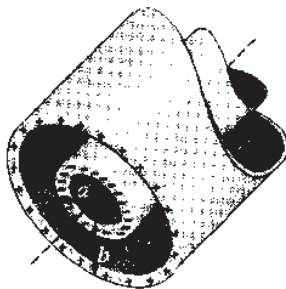


Fig. 25-31 Problema 24.

25P. Um fio reto longo tem uma carga negativa fixa com uma densidade linear de carga de módulo 3,6 nC/m. O fio é envolvido por um cilindro não-condutor, fino, de raio externo 1,5 cm, co-axial com o fio. O cilindro carregado positivamente sobre sua superfície externa deve ter uma densidade superficial de carga σ de um valor tal que o campo elétrico resultante fora do cilindro seja zero. Determine o valor necessário de σ .

26P. A Fig. 25-32 mostra um contador Geiger, dispositivo usado para detectar radiação ionizante (radiação que causa a ionização de átomos). O contador consiste em um fio central, fino, carregado positivamente, circundado por um cilindro condutor circular concêntrico, com uma carga igual negativa. Desse modo, um forte campo elétrico radial é criado no interior do cilindro. O cilindro contém um gás inerte a baixa pressão.

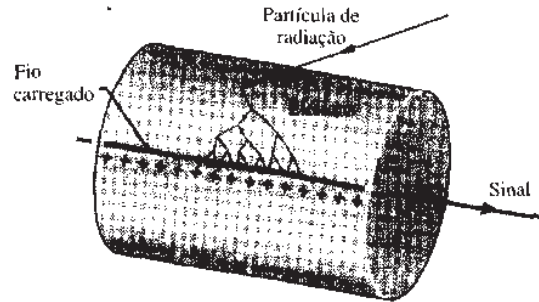


Fig. 25-32 Problema 26.

Quando uma partícula de radiação entra no dispositivo através da parede do cilindro, ioniza alguns átomos do gás. Os elétrons livres resultantes são atraídos para o fio positivo. Entretanto, o campo elétrico é tão intenso que, entre as colisões com outros átomos do gás, os elétrons livres ganham energia suficiente para ionizá-los também. Criam-se, assim, mais elétrons livres, processo que se repete até os elétrons alcançarem o fio. A "avalanche" de elétrons é coletada pelo fio, gerando um sinal usado para registrar a passagem da partícula de radiação. Suponha que o raio do fio central seja de 25 μ m; o raio do cilindro, 1,4 cm; o comprimento do tubo, 16 cm. Se o campo elétrico na parede interna do cilindro for de $2,9 \times 10^4$ N/C, qual será a carga total positiva sobre o fio central?

27P. Uma barra cilíndrica condutora, muito longa, de comprimento L , com uma carga total $+q$, é circundada por uma casca cilíndrica condutora (também de comprimento L), com carga total $-2q$, como é mostrado em seção transversal na Fig. 25-33. 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 condutora e (c) o campo elétrico na região entre a casca e a barra.

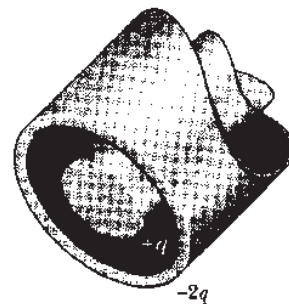


Fig. 25-33 Problema 27.

28P. Dois cilindros carregados, longos e concêntricos, têm raios de 3,0 cm e 6,0 cm. A carga por unidade de comprimento sobre o cilindro interno é $5,0 \times 10^{-6}$ C/m, e sobre o cilindro externo é de $-7,0 \times 10^{-6}$ C/m. Determine o campo elétrico em (a) $r = 4,0$ cm e (b) $r = 8,0$ cm, onde r é a distância radial ao eixo central dos cilindros.

29P. Um pósitron, de carga $1,60 \times 10^{-19}$ C, descreve uma trajetória circular de raio r , entre os dois cilindros concêntricos do Problema 24. Qual deve ser a sua energia cinética K em elétrons-volts? Suponha que $a = 2,0$ cm, $b = 3,0$ cm, e $\lambda = 30$ nC/m.

30P. Uma carga está uniformemente distribuída através do volume de um cilindro infinitamente longo de raio R . (a) Mostre que E a uma distância r do eixo do cilindro ($r < R$) é dado por

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

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

Seção 25-10 Lei de Gauss: Simetria Plana

31E. A Fig. 25-34 mostra duas chapas não-condutoras, grandes e paralelas, com distribuições idênticas de carga positiva. Qual é o valor de E para pontos (a) à esquerda das chapas, (b) entre elas e (c) à direita delas?

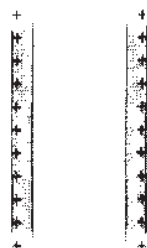


Fig. 25-34 Exercício 31.

32E. Uma placa metálica quadrada de 8,0 cm de lado e espessura desprezível tem uma carga total de $6,0 \times 10^{-6}$ C. (a) Estime o módulo E do campo elétrico imediatamente fora do centro da placa (a uma distância, digamos, de 0,50 mm), supondo que a carga esteja uniformemente distribuída sobre as duas faces da placa. (b) Estime E a uma distância de 30 m (relativamente grande, comparada ao tamanho da placa), supondo que a placa seja uma carga pontiforme.

33E. Uma superfície plana grande, não-condutora, tem uma densidade de carga uniforme σ . Um pequeno furo circular de raio R está situado bem no meio da chapa, como mostra a Fig. 25-35. Despreze a distorção das linhas do campo ao redor das bordas, e calcule o campo elétrico no ponto P , a uma distância z do centro do furo, ao longo de seu eixo. (Sugestão: Veja a Eq. 24-27 e use o princípio da superposição.)

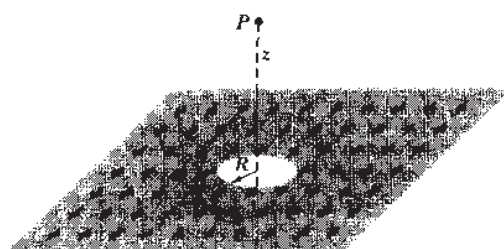


Fig. 25-35 Exercício 33.

34P. Na Fig. 25-36, uma pequena bola, não-condutora, de massa $m = 1,0$ mg e carga $q = 2,0 \times 10^{-8}$ C uniformemente distribuída, está suspensa de um fio isolante que faz um ângulo $\theta = 30^\circ$ com uma chapa não-condutora, vertical, uniformemente carregada. Considerando o peso da bola e supondo a chapa extensa, calcule a densidade superficial de carga σ da chapa.

35P. Um elétron é projetado diretamente sobre o centro de uma grande placa metálica, carregada negativamente com uma densidade superficial de carga de módulo $2,0 \times 10^{-6}$ C/m². Sabendo-se que a energia cinética inicial do elétron é de 100 eV e que ele para (devido à repulsão eletrostática) imediatamente antes de alcançar a placa, a que distância da placa ele foi lançado?

36P. Duas extensas placas metálicas, estão paralelas e próximas uma da outra, como mostra a Fig. 25-37. Sobre suas faces internas, as placas

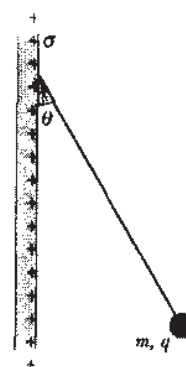


Fig. 25-36 Problema 34.

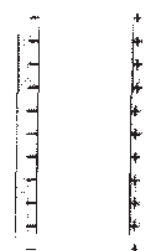


Fig. 25-37 Problema 36.

têm densidades superficiais de carga de sinais opostos e de módulo $7,0 \times 10^{-22}$ C/m². Qual é o valor de E para pontos (a) à esquerda das placas, (b) à direita delas e (c) entre as mesmas?

37P. Duas extensas placas metálicas de área 1,0 m² estão dispostas paralelamente uma à outra. Elas estão separadas pela distância de 5,0 cm e possuem cargas iguais, mas de sinais opostos sobre suas faces internas. Sabendo-se que E entre as placas é de 55 N/C, qual o módulo das cargas sobre as placas? Despreze o efeito de bordas.

38P. Numa experiência de laboratório, o peso de um elétron é equilibrado pela força exercida sobre ele por um campo elétrico. Sabendo-se que o campo elétrico é criado por duas placas não-condutoras, extensas e paralelas, carregadas com cargas de mesmo módulo e sinais opostos, e separadas pela distância de 2,3 cm, (a) qual é o módulo da densidade superficial de carga, suposta constante sobre as placas, e (b) em que direção aponta o campo?

39P.* Uma chapa plana, de espessura d , tem uma densidade volumétrica de carga constante ρ . Determine o módulo do campo elétrico em todos os pontos do espaço, tanto (a) dentro como (b) fora da chapa, em termos de λ , a distância medida a partir do plano central da chapa.

Seção 25-11 Lei de Gauss: Simetria Esférica

40E. Uma esfera condutora de 10 cm de raio possui uma carga de valor desconhecido. Sabendo-se que o campo elétrico a distância de 15 cm do centro da esfera tem módulo igual a $3,0 \times 10^3$ N/C e aponta radialmente para dentro, qual é a carga líquida sobre a esfera?

41E. Uma carga pontiforme produz um fluxo elétrico de -750 N·m²/C através de uma superfície gaussiana esférica de 10 cm de raio centrada na carga. (a) Se o raio da superfície gaussiana fosse dobrado, qual seria o fluxo através da superfície? (b) Qual é o valor da carga pontiforme?

42E. Uma esfera metálica de parede fina tem um raio de 25 cm e uma carga de $2,0 \times 10^{-7}$ C. Determine E para um ponto (a) dentro da esfera, (b) imediatamente fora da esfera e (c) a 3,0 m do centro da esfera.

43E. Duas esferas concêntricas carregadas têm raios de 10,0 cm e 15,0 cm. A carga sobre a esfera interna é de $4,00 \times 10^{-8}$ C e sobre a esfera externa é de $2,00 \times 10^{-8}$ C. Determine o campo elétrico (a) em $r = 12,0$ cm e (b) em $r = 20,0$ cm.

44E. Uma casca fina esférica metálica de raio a tem uma carga q_a . Concêntrica com ela está uma outra casca fina, esférica, metálica de raio b (onde $b > a$) e carga q_b . Determine o campo elétrico em pontos radiais r onde (a) $r < a$, (b) $a < r < b$ e (c) $r > b$. (d) Discuta o critério que poderia ser usado para determinar a forma como as cargas estão distribuídas pelas superfícies interna e externa das cascas.

45E. Num trabalho escrito em 1911, Ernest Rutherford disse: "Para se ter alguma idéia das forças necessárias para desviar uma partícula α através de um grande ângulo, considere um átomo contendo uma carga puntiforme positiva Ze no seu centro e circundada por uma distribuição de eletricidade negativa, $-Ze$, uniformemente distribuída dentro de uma esfera de raio R . O campo elétrico E ... a uma distância r do centro para um ponto dentro do átomo é

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

Verifique esta equação.

46E. A Eq. 25-12 ($E = \sigma/\epsilon_0$) nos dá o campo elétrico para pontos próximos de uma superfície condutora carregada. Aplique-a a uma esfera condutora de raio r e carga q , e mostre que o campo elétrico fora da esfera é idêntico ao campo de uma carga puntiforme situada no centro da esfera.

47P. Uma casca esférica, fina e descarregada, tem uma carga puntiforme q em seu centro. Deduza expressões para o campo elétrico (a) no interior da casca e (b) fora da casca, usando a lei de Gauss. (c) A casca tem alguma influência sobre o campo criado por q ? (d) A presença da carga q tem alguma influência sobre a distribuição de carga da casca? (e) Se uma segunda carga puntiforme for colocada do lado de fora da casca, ela sofrerá a ação de alguma força? (f) A carga interna sofre ação de alguma força? (g) Existe alguma contradição com a terceira lei de Newton? Justifique sua resposta.

48P. A Fig. 25-38 mostra uma esfera, de raio a e carga $+q$ uniformemente distribuída através de seu volume, concêntrica com uma casca esférica condutora de raio interno b e raio externo c . A casca tem uma carga líquida 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 sobre as superfícies interna e externa da casca?

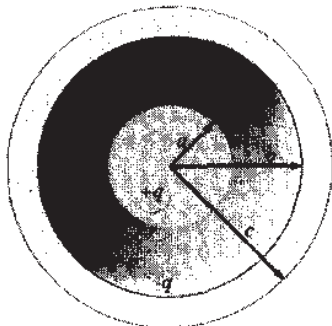


Fig. 25-38 Problema 48.

49P. A Fig. 25-39 mostra uma casca esférica com densidade volumétrica de carga constante ρ . Faça um gráfico mostrando a variação de E com

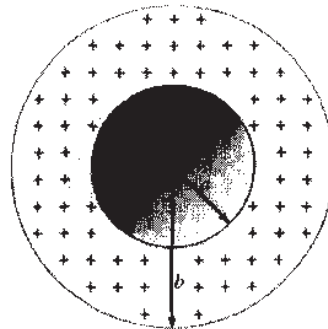


Fig. 25-39 Problema 49.

a distância r ao centro da casca desde zero até 30 cm. Suponha que $\rho = 1,0 \times 10^{-6}$ C/m³, $a = 10$ cm e $b = 20$ cm.

50P. A Fig. 25-40 mostra uma carga puntiforme $q = 4,0 \times 10^{-7}$ C, no centro de uma cavidade esférica de raio 3,0 cm existente numa peça de metal. Use a lei de Gauss para determinar o campo elétrico (a) no ponto P_1 , a meia distância entre o centro e a superfície da cavidade e (b) no ponto P_2 .

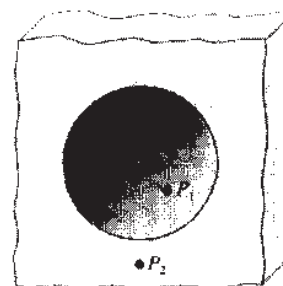


Fig. 25-40 Problema 50.

51P. Um próton descreve um movimento circular com velocidade escalar $v = 3,00 \times 10^5$ m/s ao redor e imediatamente fora de uma esfera carregada de raio $r = 1,00$ cm. Qual é a carga sobre a esfera?

52P. Uma esfera maciça, não-condutora, de raio R , tem uma distribuição de carga não-uniforme de densidade volumétrica dada por $\rho = \rho_0 r/R$, onde ρ_0 é uma constante e r é a distância ao centro da esfera. Mostre que (a) a carga total da esfera é $Q = \pi\rho_0 R^3$ e (b) o campo elétrico dentro da esfera tem módulo dado por

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

53P. Na Fig. 25-41, uma casca esférica não-condutora, com raio interno a e raio externo b , tem uma densidade volumétrica de carga $\rho = A/r$, onde A é uma constante e r é a distância ao centro da casca. Além disso, uma carga puntiforme q está localizada no centro. Qual deve ser o valor de A para que o campo elétrico na casca ($a \leq r \leq b$) tenha módulo constante? (Sugestão: A depende de a mas não de b .)

54P*. Uma esfera não-condutora tem uma densidade volumétrica de carga ρ . Seja \mathbf{r} o vetor que vai do centro da esfera até um ponto genérico P dentro da esfera. (a) Mostre que o campo elétrico em P é dado por $\mathbf{E} = \rho\mathbf{r}/3\epsilon_0$. (Note que o resultado é independente do raio da esfera.) (b) Uma cavidade esférica é aberta na esfera como nos mostra a Fig. 25-42.

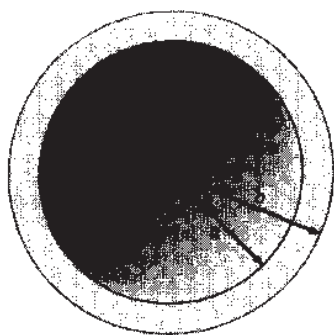


Fig. 25-41 Problema 53.

Usando conceitos de superposição, mostre que o campo elétrico em todos os pontos dentro da cavidade é $\mathbf{E} = \rho a/3\epsilon_0$ (campo uniforme), onde a é o vetor posição apontando do centro da esfera para o centro da cavidade. (Note que o resultado é independente dos raios da esfera e da cavidade.)

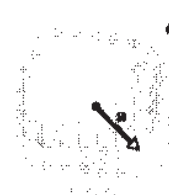


Fig. 25-42 Problema 54.

55P*. Mostre que o equilíbrio estável é impossível se as únicas forças atuantes forem forças eletrostáticas. (*Sugestão*) Suponha que uma carga $+q$ fique em equilíbrio estável ao ser colocada num certo ponto P num campo elétrico \mathbf{E} . Desenhe uma superfície gaussiana esférica em torno de P , imagine como \mathbf{E} deve estar apontando sobre esta superfície, e aplique a lei de Gauss para mostrar que a suposição leva a uma contradição.) Esse resultado é conhecido como teorema de Earnshaw.

PROBLEMAS ADICIONAIS

56. Uma distribuição de carga esfericamente simétrica, não-uniforme, produz um campo elétrico de módulo $E = Kr^4$, orientado radialmente para fora da esfera. Na expressão, r é a distância ao centro da esfera. Qual é a densidade volumétrica de carga da distribuição?

57. Um átomo de hidrogênio pode ser considerado possuidor de um próton central de carga (puntiforme) positiva e e um elétron de carga negativa $-e$, distribuída ao redor do próton de acordo com a densidade volumétrica de carga $\rho = A \exp(-2r/a_0)$. Nesta expressão, A é uma constante, $a_0 = 0,53 \times 10^{-10}$ m é o raio de Bohr e r é a distância ao centro do átomo. (a) Usando o fato de que o hidrogênio é eletricamente neutro, determine A . (b) A seguir, determine o campo elétrico produzido pelo átomo a uma distância igual ao raio de Bohr.

58. Num modelo antigo do átomo de hidrogênio, a carga $+e$ do próton está uniformemente distribuída sobre uma esfera de raio a_0 , tendo em seu centro o elétron de carga $-e$ e massa m . (a) Se o elétron fosse deslocado do centro até uma distância $r \leq a_0$, qual seria a força eletrostática sobre ele nessa posição? (b) Qual seria a frequência angular de oscilação do elétron, em torno do centro do átomo, ao ser liberado naquela posição?

59. Quando uma esfera metálica, eletricamente neutra, de raio a , está imersa num campo elétrico uniforme de módulo E , encontra-se que a densidade superficial de carga induzida sobre a esfera é $\sigma = 3\epsilon_0 E \cos \theta$, onde θ é o ângulo entre a direção de \mathbf{E} e o raio até P (Fig. 25-43). Mostre, integrando σ na superfície da esfera, que o fluxo elétrico total originando e terminando sobre a esfera é nulo.

60. Uma carga $+q$ colocada a uma distância a de um plano condutor infinito, induz carga sobre o plano com uma densidade superficial $\sigma = -qa/(2\pi r^3)$, onde r é a distância da carga $+q$ até um ponto sobre o plano (veja a Fig. 25-44). Quais são (a) o módulo E do campo elétrico normal ao plano, tendo em vista carga induzida e (b) a carga total induzida sobre o plano?

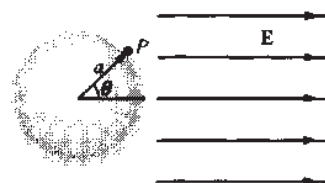


Fig. 25-43 Problema 59.

61. (a) Para a situação do Problema 60, qual é a força eletrostática entre a carga $+q$ e a carga induzida sobre o plano condutor? Ela é atrativa ou repulsiva? (b) Que carga, colocada na posição simétrica à da carga $+q$, em relação ao plano, proporcionará a mesma força?

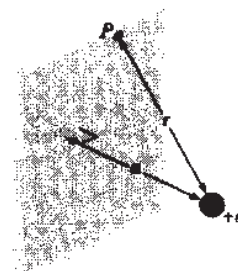


Fig. 25-44 Problema 60.