

LISTA COMPLETA PROVA 01

CAPÍTULO 23

05E. Duas partículas igualmente carregadas, mantidas a uma distância de $3,2 \times 10^{-3}$ m uma da outra, são largadas a partir do repouso. O módulo da aceleração inicial da primeira partícula é de $7,0 \text{ m/s}^2$ e o da segunda é de $9,0 \text{ m/s}^2$. Sabendo-se que a massa da primeira partícula vale $6,3 \times 10^{-7}$ Kg, quais são (a) a massa da segunda partícula e (b) o módulo da carga comum?

06E. A Fig. 23-12a mostra duas cargas, q_1 e q_2 , mantidas a uma distância fixa d uma da outra. (a) Qual é o módulo da força eletrostática que atua sobre q_1 ? Suponha $q_1 = q_2 = 20,0 \mu\text{C}$ e $d = 1,50$ m. (b) Uma terceira carga $q_3 = 20,0 \mu\text{C}$ é trazida e colocada na posição mostrada na Fig. 23-12b. Qual é a agora o módulo da força eletrostática que atua sobre q_1 ?

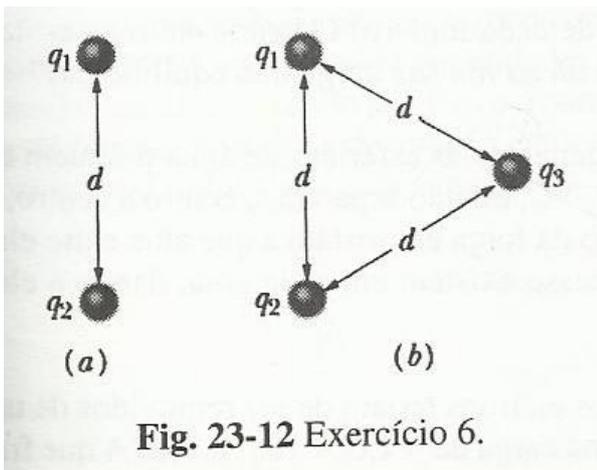


Fig. 23-12 Exercício 6.

07E. Duas esferas condutoras idênticas e isoladas, 1 e 2, possuem quantidades iguais de carga e estão separadas por uma distância grande comparada com seus diâmetros (Fig. 23-13a). A força eletrostática que atua sobre a esfera 2 devida à esfera 1 é \mathbf{F} . Suponha agora que uma terceira idêntica 3, dotada de um suporte isolante e inicialmente descarregada, toque primeiro a esfera 1 (Fig.23-13b), depois a esfera 2 (Fig.23-13c) e em seguida, seja afastada (Fig. 23-13d). Em termos de \mathbf{F} , qual é a força eletrostática \mathbf{F}' que atua agora sobre a esfera 2?

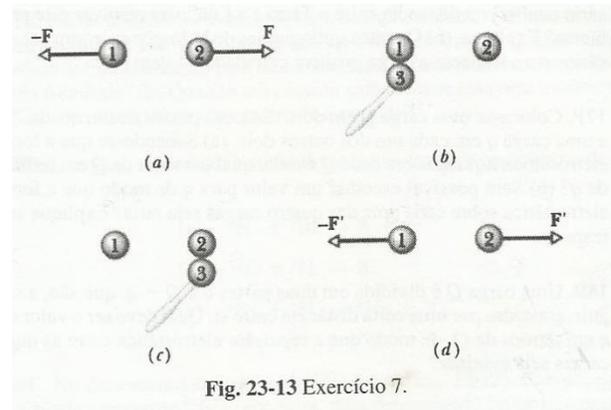


Fig. 23-13 Exercício 7.

10P. Na Fig. 23-15, quais são os componentes horizontal e vertical da força eletrostática resultante que atua sobre a carga no vértice inferior esquerdo do quadrado, sendo $q = 1,0 \times 10^{-7} \text{ C}$ e $a = 5,0$ cm?

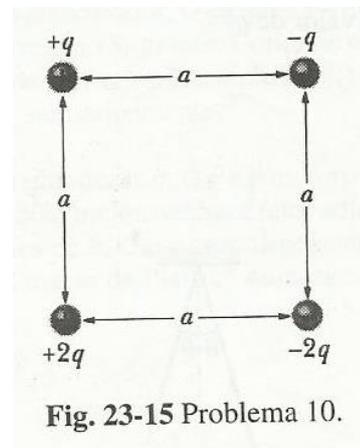


Fig. 23-15 Problema 10.

13P. Duas cargas fixas de $+ 1,0 \mu\text{C}$ e $-3,0 \mu\text{C}$ estão separadas por uma distância de 10 cm. Onde podemos localizar uma terceira carga de modo que a força eletrostática líquida sobre ela seja nula?

15P. Duas cargas puntiformes livres $+q$ e $+4q$ estão a uma distância L uma da outra. Uma terceira carga é colocada de tal modo que todo o sistema fica em equilíbrio. (a) Determine a posição, o módulo e o sinal da terceira carga. (b) Mostre que o equilíbrio do sistema é instável.

17P. Coloca-se uma carga Q em dois vértices opostos de um quadrado, e uma carga q em cada um dos outros dois. (a) Sabendo-se que a força eletrostática líquida sobre cada Q é nula, qual é o valor de Q em termos de q ? (b) Será possível escolher um valor para q de modo que a força eletrostática sobre cada uma das quatro cargas seja nula? Explique sua resposta.

18P. Uma carga Q é dividida em duas partes q e $Q - q$, que são, a seguir, afastadas por uma certa distância entre si. Qual deve ser o valor de q em termos Q , de modo que a repulsão eletrostática entre as duas cargas seja máxima?

19P. Duas pequenas bolas condutoras idênticas, de massa m e carga q , estão suspensas por fios não-condutores de comprimento L , como mostra a Fig. 23-16. Suponha θ tão pequeno que $\tan \theta$ possa ser substituída por $\sin \theta$ com erro desprezível. (a) Mostre que, no equilíbrio.

$$x = \left(\frac{q^2 L}{2\pi\epsilon_0 m g} \right)^{1/3}$$

Onde x é a separação entre as bolas. (b) Sendo $L = 120$ cm, $m = 10$ g e $x = 5,0$ cm, qual é o valor de q ?

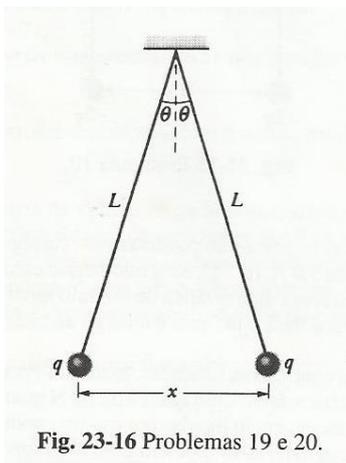


Fig. 23-16 Problemas 19 e 20.

21P. A Fig. 23-17 mostra uma longa barra não condutora, de massa desprezível e comprimento L , presa por um pino no seu centro e equilibrada com um peso W a uma distância x de sua extremidade esquerda. Nas extremidades esquerda e direita da barra, são colocadas pequenas esferas condutoras com cargas positivas q e $2q$, respectivamente. A uma distância h diretamente abaixo de cada uma dessas cargas está fixada uma esfera com carga positiva Q . (a) Determine a distância x quando a barra está horizontal e equilibrada. (b) Que valor deveria ter h para que a barra não exercesse nenhuma força sobre o mancal na situação horizontal e equilibrada?

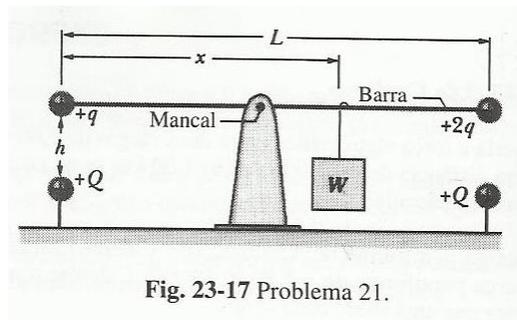


Fig. 23-17 Problema 21.

CAPÍTULO 24

1E. Na Fig. 24-21, o espaçamento entre as linhas do campo elétrico à esquerda é o dobro do espaçamento entre as linhas à direita: (a) Sabendo-se que o módulo do campo em A é de 40 N/C, que força atua sobre um próton em A ? (b) Qual é o módulo do campo em B ?

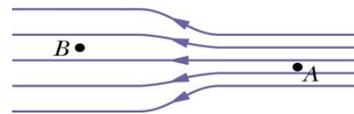


Fig. 24-21 Problema 1.

13E. Na Fig. 24-25, quatro cargas estão localizadas nos vértices de um quadrado e mais quatro cargas se encontram nos pontos médios dos lados do quadrado. A distância entre cargas adjacentes sobre o perímetro do quadrado é d . Qual o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no centro do quadrado?

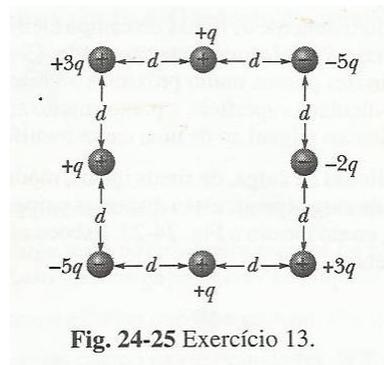


Fig. 24-25 Exercício 13.

14P. Na Fig. 24-26, duas cargas puntiformes, $q_1 = +1,0 \times 10^{-6}$ C e $q_2 = +3,0 \times 10^{-6}$ C, estão separadas por uma distância $d = 10$ cm. Faça o gráfico do campo elétrico resultante $E(x)$ em função de x , tomando valores positivos e negativos de x . Considere E positivo quando o vetor E apontar para a direita e negativo quando E apontar para a esquerda.

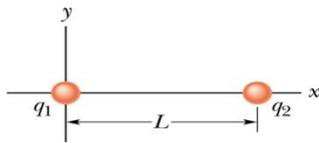


Fig. 24-26 Problema 14.

15P. (a) Na Fig. 24-27, localize o ponto (ou os pontos) onde o campo elétrico resultante é nulo. (b) Esboce, qualitativamente, as linhas do campo elétrico.

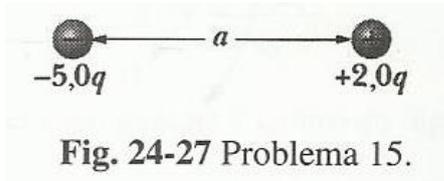


Fig. 24-27 Problema 15.

18P. Na Fig. 24-29, qual o campo elétrico no ponto P criado pelas quatro cargas mostradas? $q_1 = q_2 = +5,0q$

$q_3 = +3,0q$ e $q_4 = -12q$.

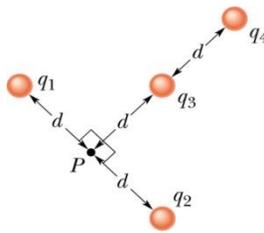


Fig. 24-29 Problema 18.

19P. A face de um relógio tem cargas puntiformes negativas $-q, -2q, -3q, \dots, -12q$ fixadas nas posições dos numerais correspondentes. Os ponteiros do relógio não perturbam o campo resultante devido às cargas puntiformes. A que horas o ponteiro das horas aponta na mesma direção que o vetor campo elétrico no centro do mostrador? (Sugestão: Considere cargas diametralmente opostas.)

20P. Um elétron está localizado em cada um dos vértices de um triângulo equilátero, que tem 20 cm de lado. (a) Qual o campo elétrico no ponto médio de um dos lados? (b) Que força atuaria sobre outro elétron colocado nesse ponto?

22P. Qual o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no centro do quadrado da Fig. 24-31, sabendo que $q = 1,0 \times 10^{-8}\text{ C}$ e $a = 5,0\text{ cm}$?

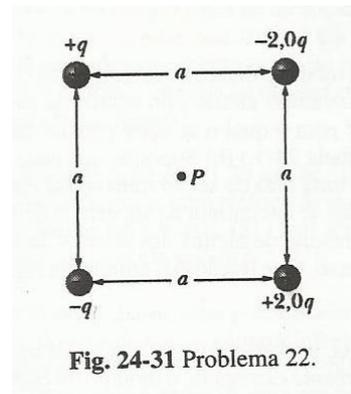


Fig. 24-31 Problema 22.

25E. Na Fig. 24-8, suponha que as duas cargas sejam positivas. Mostre que E no ponto P , nessa figura, considerando $z \gg d$, é dado por

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{z^2}.$$

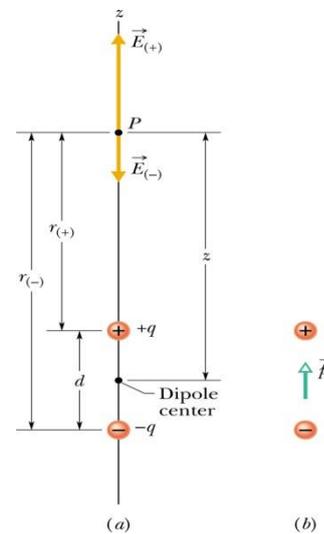


Figura 24-8

29P. A que distância ao longo do eixo central de um anel de raio R , carregado uniformemente, o módulo do campo elétrico é máximo?

32P. Um barra fina de vidro é encurvada na forma de um semicírculo de raio r . Uma carga $+Q$ está uniformemente distribuída ao longo da metade superior e uma carga $-Q$, está uniformemente distribuída ao longo da metade inferior, como mostra a Fig. 24-35. Determine o campo elétrico E em P , o centro do semicírculo.

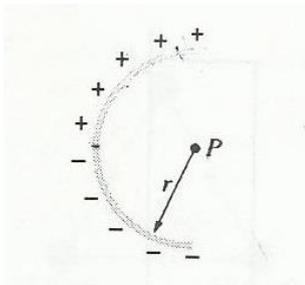


Fig. 24-35 Problema 32.

33P. Uma barra fina, não-condutora, de comprimento finito L , tem uma carga q uniformemente distribuída ao longo dela. Mostre que o módulo E do campo elétrico no ponto P sobre a mediatriz da barra (Fig. 24-36) é dado por

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 y} \frac{1}{(L^2 + 4y^2)^{1/2}}$$

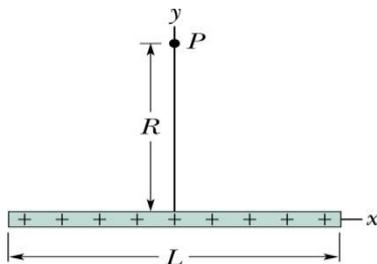


Fig. 24-36 Problema 33.

34P. Na Fig. 24-37, uma barra não-condutora, de comprimento L , tem uma carga $-q$ uniformemente distribuída ao longo de seu comprimento. (a) Qual a densidade linear de carga da barra? (b) Qual o campo elétrico no ponto P a uma distância a da extremidade da barra? (c) Se o ponto P estivesse a uma distância muito grande da barra comparada com L , ela se comportaria como uma carga puntiforme. Mostre que a sua resposta para o item (b) se reduz ao campo elétrico de uma carga puntiforme para $a \gg L$.

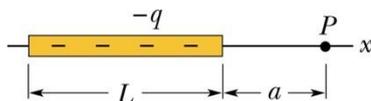


Fig. 24-37 Problema 34.

35P*. Na Fig. 24-38, uma barra não-condutora “semi-infinita” possui uma carga por unidade de comprimento, de valor constante λ . Mostre que o campo elétrico no ponto P faz um ângulo de 45° com a barra e que este resultado é independente da distância R .

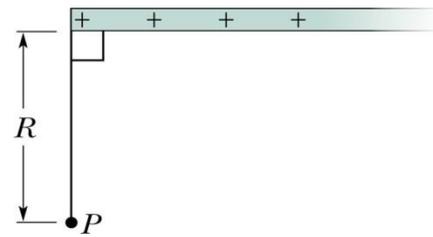


Fig. 24-38 Problema 35.

36E. Mostre que a equação abaixo, para campo elétrico de um disco carregado, em pontos sobre seu eixo, se reduz ao campo de uma carga puntiforme para $z \gg R$.

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right)$$

47E. Um elétron com uma velocidade escalar de $5,00 \times 10^8$ cm/s entra num campo elétrico de módulo $1,00 \times 10^3$ N/C, movendo-se paralelamente ao campo no sentido que retarda seu movimento. (a) Que distância o elétron percorrerá no campo antes de alcançar (momentaneamente) o repouso. (b) Quanto tempo isso levará? (c) Se, em vez disso, a região do campo se estendesse somente por 8,00 mm (distância muito pequena para parar o elétron), que fração da energia cinética inicial do elétron seria perdida nessa região?

51P. Um objeto tendo massa de 10,0 g e uma carga de $+8,00 \times 10^{-5}$ C é colocado num campo elétrico E e com $E_x = 3,00 \times 10^3$ N/C, $E_y = -600$ N/C e $E_z = 0$. Quais são o módulo, a direção e o sentido da força sobre o objeto? (b) Se o objeto for abandonado a partir do repouso na origem, quais serão as suas coordenadas após 3,00 s?

52P. Existe um campo elétrico uniforme na região entre duas placas com cargas de sinais opostos. Um elétron é liberado, a partir do repouso na superfície da placa carregada negativamente e atinge a superfície da placa oposta, a 2,0 cm de distância, após $1,5 \times 10^{-8}$ s. (a) Qual é a velocidade escalar do elétron ao atingir a segunda placa? (b) Qual é o módulo do campo elétrico E ?

56P. Na Fig. 24-41, um campo elétrico E , de módulo $2,00 \times 10^3$ N/C, apontando para cima, é

estabelecido entre duas placas horizontais, carregando-se a placa inferior positivamente e a placa superior negativamente. As placas têm comprimento $L = 10,0$ cm e separação $d = 2,00$ cm. Um elétron é, então, lançado entre as placas a partir da extremidade esquerda da placa inferior. A velocidade inicial v_0 do elétron faz um ângulo $\theta = 45^\circ$ com a placa inferior e tem um módulo de $6,00 \times 10^6$ m/s. (a) Atingirá o elétron uma das placas? (b) Sendo assim, qual delas e a que distância horizontal da extremidade esquerda?

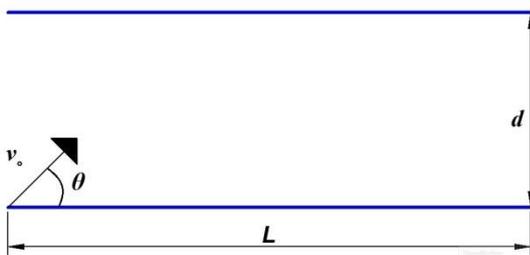


Fig. 24-41 Problema 56

CAPÍTULO 25

2E. A superfície quadrada (figura abaixo) 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.

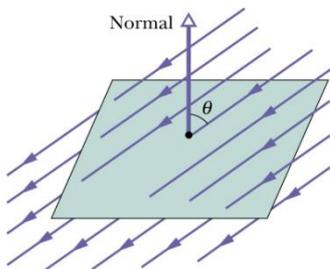


Fig. 25-24 Problema 2.

5E. Quatro cargas, $2q$, q , $-q$ e $-2q$, estão dispostas nos vértices de um quadrado, como mostra a figura abaixo. 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) $-2q/\epsilon_0$.

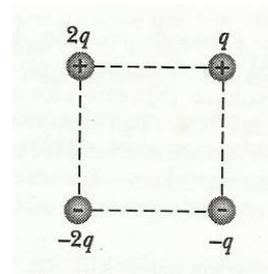


Fig. 25-26 Exercício 5.

6E. A carga de um condutor neutro é separada pela aproximação de uma barra carregada positivamente, como mostra a figura abaixo. 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.

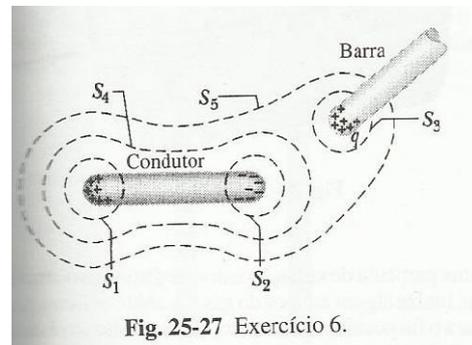


Fig. 25-27 Exercício 6.

7E. Uma carga puntiforme 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 unidade 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?

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.

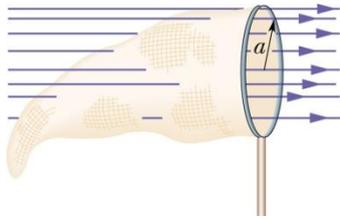


Fig. 25-29 Problema 10.

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 N/C e uma 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 da Fig. 25-25 se o campo elétrico é dado por (a) $E = 3,00 y \mathbf{j}$ e (b) $E = -4,00 \mathbf{i} + (6,00 + 3,00 y) \mathbf{j}$. E é dado em newtons por coulomb e y em metros. (c) Em cada caso, qual é a quantidade de carga dentro do cubo?

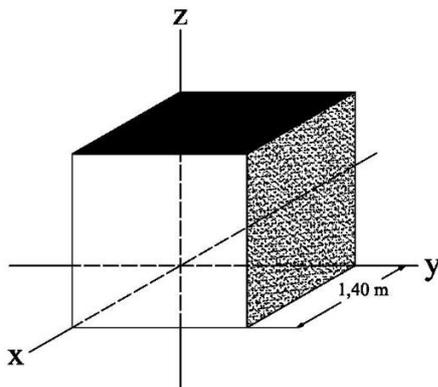


Fig. 25-25 Problema 12.

13P. Uma carga puntiforme 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.)

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 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 $\lambda = 2,0 \times 10^{-8} \text{C/m}$ e $R = 3,0$ cm. (Sugestão: Use superfícies gaussianas cilíndricas, coaxiais com o tubo metálico.)

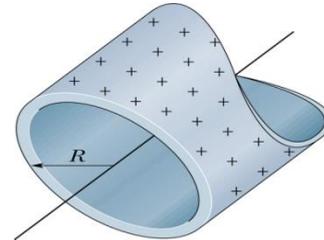


Fig. 25-30 Problema 23.

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 $a < r < b$.

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

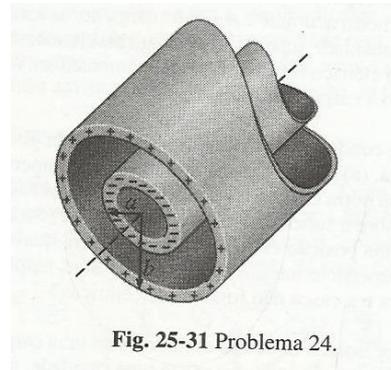


Fig. 25-31 Problema 24.

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.

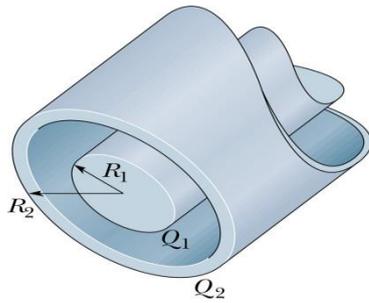


Fig. 25-33 Problema 27.

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 $r > R$.

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)

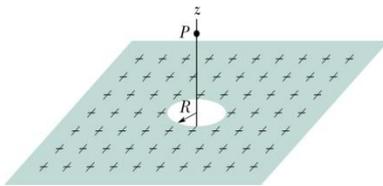


Fig. 25-35 Problema 33.

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.

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 internas e externas da casca?

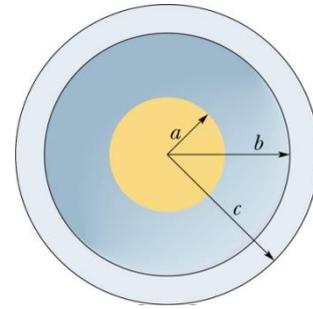


Fig. 25-38 Problema 48.

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 $\rho = \frac{A}{r}$, 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 .)

Respostas

Capítulo 23

5. (a) $4,9 \times 10^{-7} \text{Kg}$. (b) $7,1 \times 10^{-11} \text{C}$. **6.** (a) $|F_{12}| = 1,6 \text{ N}$ (b) $|F_{123}| = 2,8 \text{ N}$ **7.** $3/8 \text{ F}$ **10.** $F_x = 1,7 \times 10^{-1} \text{ N}$ $F_y = 4,7 \times 10^{-2} \text{ N}$ **13.** 14 cm da carga positiva. **15.** (a) Uma carga de $-4q/9$ deve ser localizada sobre o segmento de reta que une as duas cargas positivas a uma distância $L/3$ da carga $+q$. **17.** (a) $Q = -2\sqrt{2}q$. (b) Não. **18.** $q = Q/2$ **19.** (b) $\pm 2,4 \times 10^{-8} \text{C}$. **21.** (a) $\frac{L}{2} \left(1 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{Wh^2} \right)$

Capítulo 24

1. (a) $6,4 \times 10^{-18} \text{N}$. (b) 20N/C . **13.** $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3q}{d^2}$ apontando diretamente para a carga $-2q$. **15.** (a) $1,7a$ à direita da carga $+2q$. **18.** $E_p = 0 \text{ N/C}$ **19.** $9:30$ **20.** (a) $E_p = 4,8 \times$

10^{-8} N/C (b) $F = 7,7 \times 10^{-27} \text{ N}$ 22. $E = 1,0 \times 10^5 \text{ N/C}$
 No centro do quadrado, tem direção vertical, no sentido positivo do eixo y. 29. $R/\sqrt{2}$. 32. $E = Q/(\pi^2 \epsilon_0 r^2)$ 34. (a) $\lambda = q/L$ (b) $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0(L+a)a}$ (c) $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$ 47. (a) 7,12 cm. (b) 28,5ns. (c) 11,2%. 51. (a) 0,245 N, 11,3° no sentido horário a partir do eixo +x. (b) $x = 108 \text{ m}$; $y = -21,6 \text{ m}$. 52. (a) $v = 2,7 \times 10^6 \text{ m/s}$ (b) $|E| = 1,0 \times 10^3 \text{ N/C}$ 56. (a) O elétron atingirá a placa superior (b) $x = 1,60 \text{ cm}$

Capítulo 25

2. $\varphi = -1,5 \times 10^{-2} \text{ Nm}^2/\text{C}$ (entrando) 5. (a) Envolve 2q e -2q, ou envolve todas as quatro cargas. (b) Envolve 2q e q. (c) Impossível. 6. $\varphi_1 = +q/\epsilon_0$, $\varphi_2 = -q/\epsilon_0$, $\varphi_3 = +q/\epsilon_0$, $\varphi_4 = 0$, $\varphi_5 = +q/\epsilon_0$ 7. $2,0 \times 10^5 \text{ Nm}^2/\text{C}$. 8. $q = +2,66 \times 10^{-8} \text{ C}$ 10. $\varphi = 2\pi a^2 E$ 11. 3,54 μC . 12. (a) $\varphi = 8,23 \text{ Nm}^2/\text{C}$ (b) $\varphi = 8,20 \text{ Nm}^2/\text{C}$ (c) $q_a = 7,28 \times 10^{-11} \text{ C}$ $q_b = 7,26 \times 10^{-11} \text{ C}$ 13. Através de cada uma das três faces que se encontram em q: zero; através de cada uma das outras três faces: $q/24\epsilon_0$. 23. $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$. 24. ($r < a$) $E = 0$ ($a < r < b$) $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$ 27. (a) $E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 Lr}$; radialmente para dentro. (b) -q tanto na superfície interna como na externa. (c) $E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 Lr}$, radialmente para fora 30. (b) $E = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0 r}$ 33. $E = \frac{s}{2\epsilon_0 \sqrt{z^2 + R^2}}$ 44. ($r < a$) $E = 0$ ($a < r < b$) $E = \frac{q_a}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ ($r > b$) $E = \frac{q_a + q_b}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ 48. (a) $E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}$ (b) $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ (c) $E = 0$ (d) $E = 0$ (e) interna: +, externa: - 53. $q/2\pi a^2$

Formulário:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad \rho = \frac{q}{V} \quad \sigma = \frac{q}{A} \quad \lambda = \frac{q}{l} \quad K = \frac{mv^2}{2}$$

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{enc} \quad \Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad \vec{F} = q_0 \vec{E} \quad s = s_0 + vt \quad s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$$

$$v = v_0 + at \quad \vec{F} = m\vec{a} \quad \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \quad m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (x+a)^n = x^n + nx^{n-1}a + \left(\frac{n(n-1)}{2!}\right)x^{n-2}a^2 + \dots$$

$$\int \sin x \, dx = -\cos x \quad \int \cos x \, dx = \sin x \quad q = ne \quad \mu = 10^{-6} \quad p = 10^{-12} \quad f = 10^{-15} \quad 1fC = 10^{-15} C$$

$$\int \frac{x^2 dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{-x}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) \quad \int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2 \sqrt{x^2 + a^2}}$$