

Fig. 24-19 Questão 11.

13. No plano mediano de um dipolo elétrico, o campo elétrico é paralelo ou antiparalelo ao momento de dipolo elétrico \mathbf{p} ?

14. (a) Dois dipolos elétricos idênticos estão localizados em uma linha reta, como nos mostra a Fig. 24-20a. Qual a direção e o sentido da força eletrostática sobre cada dipolo devida à presença do outro? (b) Suponha que os dipolos estejam agora dispostos como mostra a Fig. 24-20b. Qual a direção e o sentido da força sobre cada dipolo?

15. Que dificuldades matemáticas seriam encontradas no cálculo do campo elétrico de um anel (ou de um disco) carregado em pontos que não estivessem sobre o eixo?

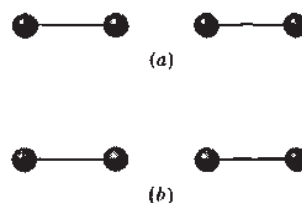


Fig. 24-20 Questão 14.

16. A Fig. 24-3 mostra que E tem o mesmo valor para todos os pontos na frente de uma chapa infinita uniformemente carregada, não importando quão distantes estejam da chapa. Isto é razoável? Poder-se-ia pensar que o campo seria mais intenso perto da chapa, por causa da proximidade das cargas.

17. Inverte-se um dipolo elétrico num campo elétrico uniforme. De que modo o trabalho realizado depende da orientação inicial do dipolo em relação ao campo?

18. Para quais orientações de um dipolo elétrico, num campo elétrico uniforme, a energia potencial do dipolo é (a) máxima e (b) mínima?

19. Um dipolo elétrico é colocado num campo elétrico não-uniforme. Existe uma força resultante atuando sobre ele?

20. Um dipolo elétrico é colocado em repouso num campo elétrico uniforme, como na Fig. 24-17a, sendo a seguir liberado. Discuta seu movimento.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Seção 24-3 Linhas do Campo Elétrico

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 ?

2E. Esboce qualitativamente as linhas do campo elétrico para duas cargas puntiformes, $+q$ e $-2q$, bem próximas uma da outra.



Fig. 24-21 Exercício 1.

3E. Três cargas puntiformes estão dispostas num triângulo equilátero, como mostra a Fig. 24-22. Esboce as linhas de força devidas às cargas $+Q$ e $-Q$, e a partir delas determine a direção e o sentido da força que atua sobre $+q$ por causa da presença das outras duas cargas. (Sugestão: Veja a Fig. 24-5.)

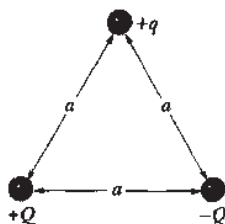


Fig. 24-22 Exercício 3.

4E. Esboce qualitativamente as linhas do campo elétrico entre duas cascas esféricas concêntricas e condutoras e também fora delas, sabendo que a casca interna tem uma carga positiva q_1 e a casca externa uma carga negativa $-q_2$. Considere os casos $q_1 > q_2$, $q_1 = q_2$ e $q_1 < q_2$.

5E. Esboce qualitativamente as linhas do campo elétrico para um disco circular fino, de raio R , uniformemente carregado. (Sugestão: Considere como casos limites pontos muito próximos ao disco, onde o campo elétrico é perpendicular à superfície, e pontos muito afastados do disco, onde o campo elétrico é igual ao de uma carga puntiforme.)

6P. Três longas linhas de carga, de sinais iguais, módulos iguais e densidades lineares de carga iguais, estão dispostas perpendicularmente ao plano da página, como mostra a Fig. 24-23. Esboce as linhas do campo elétrico neste plano.

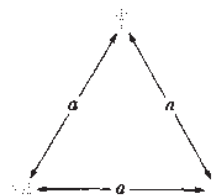


Fig. 24-23 Problema 6.

Seção 24-4 O Campo Elétrico Criado por uma Carga Puntiforme

7E. Qual deve ser o módulo de uma carga puntiforme escolhida de modo a criar um campo elétrico de $1,00 \text{ N/C}$ em pontos a $1,00 \text{ m}$ de distância?

8E. Na Fig. 24-24, as cargas estão localizadas nos vértices de um triângulo equilátero. Para que valor de Q (sinal e módulo) o campo elétrico resultante se anula no ponto C , o centro do triângulo?

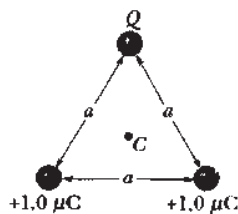


Fig. 24-24 Exercício 8.

9E. Qual é o módulo de uma carga puntiforme cujo campo elétrico, a uma distância de 50 cm, tem módulo igual a 2,0 N/C?

10E. Duas cargas puntiformes de módulos $Q_1 = 2,0 \times 10^{-7} \text{ C}$ e $Q_2 = 8,5 \times 10^{-8} \text{ C}$ estão separadas por uma distância de 12 cm. (a) Qual o módulo do campo elétrico que cada uma cria no local onde está a outra? (b) Qual o módulo da força que atua sobre cada uma delas?

11E. Duas cargas iguais mas de sinais opostos (de módulo $2,0 \times 10^{-7} \text{ C}$) são mantidas a uma distância de 15 cm uma da outra. (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido de \mathbf{E} no ponto situado a meia distância entre as cargas? (b) Qual o módulo, a direção e o sentido da força que atuaria sobre um elétron colocado nesse ponto?

12E. Um átomo de plutônio 239 tem um raio nuclear de 6,64 fm e o número atômico $Z = 94$. Supondo que a carga positiva do núcleo está uniformemente distribuída, quais são o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico, criado por essa carga, na superfície do núcleo?

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?

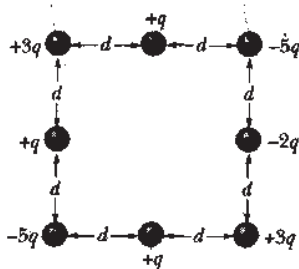


Fig. 24-25 Exercício 13.

14P. Na Fig. 24-26, duas cargas puntiformes, $q_1 = +1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ e $q_2 = +3,0 \times 10^{-6} \text{ C}$, estão separadas por uma distância $d = 10 \text{ cm}$. 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 \mathbf{E} apontar para a direita e negativo quando \mathbf{E} apontar para a esquerda.

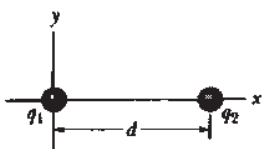


Fig. 24-26 Problema 14.

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.

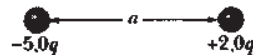


Fig. 24-27 Problema 15.

16P. Na Fig. 24-28, as cargas $+1,0q$ e $-2,0q$ estão fixas a uma distância d uma da outra. (a) Determine \mathbf{E} nos pontos A, B e C. (b) Esboce as linhas do campo elétrico.

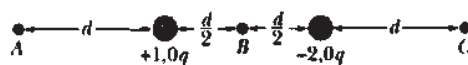


Fig. 24-28 Problema 16.

17P. Duas cargas $q_1 = 2,1 \times 10^{-8} \text{ C}$ e $q_2 = -4,0q_1$ estão fixas a uma distância de 50 cm uma da outra. Determine, ao longo da linha reta que passa pelas duas cargas, o ponto onde o campo elétrico é zero.

18P. Na Fig. 24-29, qual o campo elétrico no ponto P criado pelas quatro cargas mostradas?

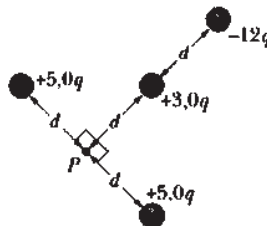


Fig. 24-29 Problema 18.

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 um outro elétron colocado nesse ponto?

21P. Determine o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P da Fig. 24-30.

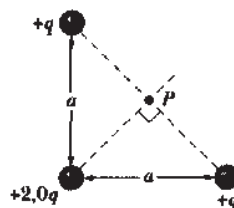


Fig. 24-30 Problema 21.

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 $a = 5,0 \text{ cm}$?

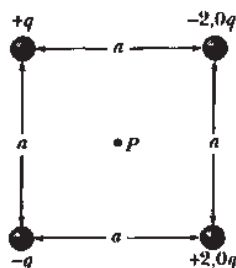


Fig. 24-31 Problema 22.

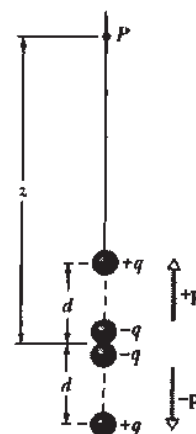


Fig. 24-33 Problema 27.

Seção 24-5 O Campo Elétrico Criado por um Dipolo Elétrico

23E. Determine o momento de dipolo elétrico do dipolo constituído por um elétron e um próton separados por uma distância de $4,30 \text{ nm}$.

24E. Determine o módulo da força devida a um dipolo elétrico, de momento de dipolo $3,6 \times 10^{-29} \text{ C}\cdot\text{m}$, sobre um elétron distante 25 nm ao longo do eixo do dipolo.

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

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

26P. Determine o campo elétrico (módulo, direção e sentido) devido a um dipolo elétrico em um ponto localizado a uma distância $r \gg d$ sobre a mediatriz do segmento que une as cargas (Fig. 24-32). Expresse sua resposta em termos do momento de dipolo \mathbf{p} .

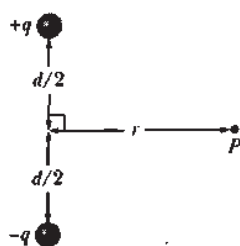


Fig. 24-32 Problema 26.

27P*. *Quadrupolo elétrico.* A Fig. 24-33 mostra um quadrupolo elétrico. Ele consiste em dois dipolos cujos momentos de dipolo têm módulos iguais mas sentidos opostos. Mostre que o valor de E sobre o eixo do quadrupolo, em pontos que distam z do seu centro (suponha $z \gg d$), é dado por

$$E = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 z^4},$$

onde $Q (= 2qd^2)$ é o *momento de quadrupolo* da distribuição de carga.

Seção 24-6 O Campo Elétrico Criado por uma Linha de Carga

28E. Faça um gráfico quantitativo do campo elétrico ao longo do eixo central de um anel, de diâmetro $6,0 \text{ cm}$, carregado uniformemente com uma carga total de $1,0 \times 10^{-8} \text{ C}$.

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

30P. Um elétron tem seu movimento restrito ao eixo central do anel de carga de raio R discutido na Seção 24-6. Mostre que a força eletrostática exercida sobre o elétron pode fazê-lo oscilar através do centro do anel com uma frequência angular de

$$\omega = \sqrt{\frac{eq}{4\pi\epsilon_0 m R^3}},$$

onde q é a carga do anel e m é a massa do elétron

31P. Na Fig. 24-34, duas barras finas de plástico, uma de carga $+q$ e a outra de carga $-q$, formam um círculo de raio R num plano xy . Um eixo x passa pelos pontos que unem as duas barras e a carga em cada uma delas está uniformemente distribuída. Qual o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico \mathbf{E} criado no centro do círculo?

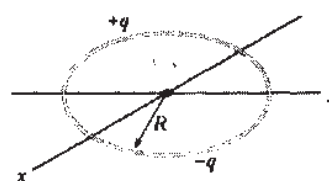


Fig. 24-34 Problema 31.

32P. Uma 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 \mathbf{E} em P , o centro do semicírculo.

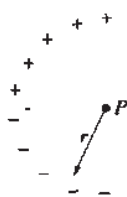


Fig. 24-35 Problema 32.

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

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

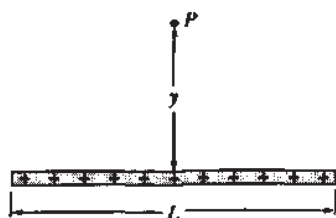


Fig. 24-36 Problema 33.

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.

Seção 24-7 O Campo Elétrico Criado por um Disco Carregado

36E. Mostre que a Eq. 24-27, para o campo elétrico de um disco carregado, em pontos sobre seu eixo, se reduz ao campo de uma carga puntiforme para $z \gg R$.

37P. (a) Que carga total q o disco, no Exemplo 24-6 (Fig. 24-12), deve possuir, para que o campo elétrico no centro de sua superfície tenha exatamente o valor para o qual o ar sofre ruptura elétrica, produzindo faíscas? (Veja a Tabela 24-1.) (b) Suponha que cada átomo na superfície do disco ocupe uma área de seção transversal efetiva igual a $0,015 \text{ nm}^2$. Quantos átomos se encontram na superfície do disco? (c) A carga obtida no item (a) resulta de alguns dos átomos da superfície que têm um elétron em excesso. Que fração dos átomos da superfície deve estar, então, carregada?

38P. A que distância, ao longo do eixo central de um disco de plástico de raio R , uniformemente carregado, o módulo do campo elétrico é igual à metade do seu valor no centro da superfície do disco?

Seção 24-8 Carga Puntiforme num Campo Elétrico

39E. Um elétron é liberado a partir do repouso num campo elétrico uniforme de módulo $2,00 \times 10^4 \text{ N/C}$. Calcular a aceleração do elétron. (Ignore a gravidade.)

40E. Um elétron é acelerado, na direção leste, a $1,80 \times 10^9 \text{ m/s}^2$ por um campo elétrico. Determine o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico.

41E. O ar úmido sofre ruptura elétrica (suas moléculas tornam-se ionizadas) num campo elétrico de $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$. Nesse campo, qual é o módulo da força eletrostática que atua sobre (a) um elétron e (b) um íon em que falta um elétron?

42E. Uma partícula α , núcleo de um átomo de hélio, tem uma massa de $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e uma carga de $+2e$. Quais são o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico que equilibraria seu peso?

43E. Um conjunto de nuvens carregadas produz um campo elétrico no ar próximo à superfície da Terra. Uma partícula de carga $-2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$, colocada neste campo, fica sujeita a uma força eletrostática de $3,0 \times 10^{-6} \text{ N}$ apontando para baixo. (a) Qual é o módulo do campo elétrico? (b) Qual o módulo, a direção e o sentido da força eletrostática exercida sobre um próton colocado neste campo? (c) Qual a força gravitacional sobre o próton? (d) Qual a razão entre a força eletrostática e a força gravitacional, nesse caso?

44E. Um campo elétrico E , de intensidade média aproximadamente igual a 150 N/C , aponta para baixo na atmosfera nas proximidades da superfície da Terra. Desejamos fazer “flutuar” nesse campo uma esfera de enxofre pesando $4,4 \text{ N}$, carregando-a. (a) Que carga (módulo e sinal) precisaria ter a esfera? (b) Por que essa experiência não é realizável na prática?

45E. (a) Qual é a aceleração de um elétron num campo elétrico uniforme de $1,40 \times 10^6 \text{ N/C}$? (b) Quanto tempo levaria o elétron, partindo do repouso, para atingir um décimo da velocidade escalar da luz? (c) Que distância ele percorreria nesse tempo? (Use a mecânica newtoniana.)

46E. Uma arma de defesa que está sendo considerada pela Iniciativa de Defesa Estratégica (Guerra nas Estrelas) emprega feixes de partículas. Por exemplo, um feixe de prótons, atingindo um míssil inimigo, poderia inutilizá-lo. Tais feixes podem ser produzidos em “canhões” usando campos elétricos para acelerar as partículas carregadas. (a) Que aceleração experimentalmente um próton se o campo elétrico no canhão fosse de $2,00 \times 10^4 \text{ N/C}$? (b) Que velocidade o próton atingiria se o campo atuasse por uma distância de $1,00 \text{ m}$?

47E. Um elétron com uma velocidade escalar de $5,00 \times 10^6$ 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, e (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?

48E. Uma gota esférica de água com $1,20 \mu\text{m}$ de diâmetro, está suspensa no ar calmo por ação de um campo elétrico de módulo $E = 462$ N/C, apontando verticalmente para baixo. (a) Qual é o peso da gota? (b) Quantos elétrons em excesso ela possui?

49E. Na experiência de Millikan, uma gota de raio $1,64 \mu\text{m}$ e densidade de $0,851$ g/cm³ fica suspensa na câmara inferior quando o campo elétrico aplicado tem módulo igual a $1,92 \times 10^5$ N/C e aponta verticalmente para baixo. Determine a carga da gota em termos de e .

50P. Em uma de suas experiências, Millikan observou para a carga de uma mesma gota, em instantes diferentes, os seguintes valores:

$$6,563 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 13,13 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 19,71 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$8,204 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 16,48 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 22,89 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$11,50 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 18,08 \times 10^{-19} \text{ C} \quad 26,13 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Que valor para a carga elementar e pode ser deduzido desses dados?

51P. Um objeto tendo uma massa de $10,0$ g e uma carga de $+8,00 \times 10^{-5}$ C é colocado num campo elétrico \mathbf{E} com $E_x = 3,00 \times 10^3$ N/C, $E_y = -600$ N/C e $E_z = 0$. (a) 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 \mathbf{E} ?

53P. Em um certo instante os componentes da velocidade de um elétron que se move entre duas placas carregadas e paralelas são $v_x = 1,5 \times 10^5$ m/s e $v_y = 3,0 \times 10^5$ m/s. Sabendo-se que o campo elétrico entre as placas é dado por $\mathbf{E} = (120 \text{ N/C})\mathbf{j}$, (a) qual a aceleração do elétron? (b) Qual será a velocidade do elétron após sua coordenada x ter variado em $2,0$ cm?

54P. Duas grandes placas de cobre, paralelas, estão separadas por $5,0$ cm e entre elas existe um campo elétrico uniforme como é mostrado na Fig. 24-39. Um elétron é liberado da placa negativa ao mesmo tempo que um próton é liberado da placa positiva. Despreze a força que existe entre as partículas e determine a distância de cada uma delas até a placa positiva no momento em que elas passam uma pela outra. (Não é preciso conhecer o módulo do campo elétrico para resolver o problema. Isso lhe causa alguma surpresa?)

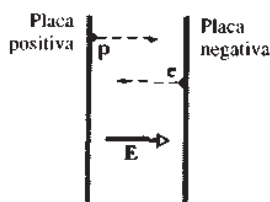


Fig. 24-39 Problema 54.

55P. A Fig. 24-40 mostra a região entre duas grandes placas horizontais e um pêndulo pendurado na placa superior. O pêndulo consiste em uma pequena esfera isolante, de massa m e carga $+q$, e um fio isolante de comprimento l . Qual será o período do pêndulo se um campo elétrico uniforme \mathbf{E} for estabelecido entre as placas da seguinte maneira: (a) carregando-se a placa superior negativamente e a placa inferior positivamente e (b) o contrário de (a)? Nos dois casos, o campo aponta diretamente de uma placa para a outra.

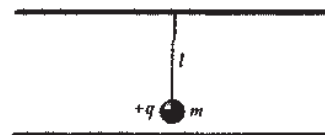


Fig. 24-40 Problema 55.

56P. Na Fig. 24-41, um campo elétrico \mathbf{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?

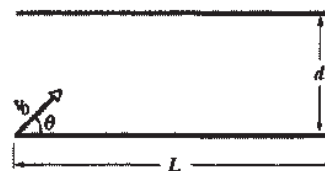


Fig. 24-41 Problema 56.

Seção 24-9 Um Dipolo num Campo Elétrico

57E. Um dipolo elétrico constituído de cargas de módulo $1,50$ nC separadas por $6,20 \mu\text{m}$ se encontra num campo elétrico de intensidade $1,100$ N/C. (a) Qual o módulo do momento de dipolo elétrico? (b) Qual a diferença de energia potencial correspondente às orientações do dipolo paralela e antiparalela ao campo?

58E. Um dipolo elétrico é constituído de cargas $+2e$ e $-2e$ separadas por $0,78$ nm. Ele está num campo elétrico de intensidade $3,4 \times 10^6$ N/C. Calcular o módulo do torque sobre o dipolo quando o dipolo está (a) paralelo, (b) perpendicular e (c) oposto ao campo elétrico.

59P. Determine o trabalho necessário para inverter um dipolo elétrico num campo elétrico uniforme \mathbf{E} , em termos do módulo p do momento de dipolo, do módulo E do campo e do ângulo inicial θ_i entre \mathbf{p} e \mathbf{E} .

60P. Determine a frequência de oscilação de um dipolo elétrico, de momento de dipolo p e momento de inércia I , para pequenas amplitudes de oscilação, em torno de sua posição de equilíbrio, num campo elétrico uniforme de módulo E .