Potencial Produzido por uma Distribuição Contínua de Carga No caso de uma distribuição contínua de carga, a Eq. 24-27 se torna

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r}, \tag{24-32}$$

em que a integral é calculada para toda a distribuição.

Cálculo de $\vec{E}$ a Partir de *V* A componente de $\vec{E}$ em qualquer direção é o negativo da taxa de variação do potencial com a distância na direção considerada:

$$E_s = -\frac{\partial V}{\partial s}. \tag{24-40}$$

As componentes *x*, *y* e *z* de $\vec{E}$ são dadas por

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}. \tag{24-41}$$

Se $\vec{E}$ é uniforme, a Eq. 24-40 se reduz a

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s}, \tag{24-42}$$

em que *s* é a direção perpendicular às superfícies equipotenciais.

Energia Potencial Elétrica de um Sistema de Partículas Carregadas A energia potencial elétrica de um sistema de partículas carregadas é igual ao trabalho necessário para montar o sistema com as cargas inicialmente em repouso e a uma distância infinita umas das outras. Para duas cargas separadas por uma distância *r*,

$$U = W = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}. \tag{24-46}$$

Potencial de um Condutor Carregado Em equilíbrio, toda a carga em excesso de um condutor está concentrada na superfície externa do condutor. A carga se distribui de tal forma que (1) o potencial é o mesmo em todos os pontos do condutor; (2) o campo elétrico é zero em todos os pontos do condutor, mesmo na presença de um campo elétrico externo; (3) o campo elétrico em todos os pontos da superfície é perpendicular à superfície.

Perguntas

1 Na Fig. 24-24, oito partículas formam um quadrado, com uma distância *d* entre as partículas vizinhas. Qual é o potencial *P* no centro do quadrado se o potencial é zero no infinito?

2 A Fig. 24-25 mostra três conjuntos de superfícies equipotenciais vistas de perfil; os três conjuntos

cobrem uma região do espaço com as mesmas dimensões. (a) Coloque os conjuntos na ordem decrescente do módulo do campo elétrico existente na região. (b) Em que conjunto o campo elétrico aponta para baixo?

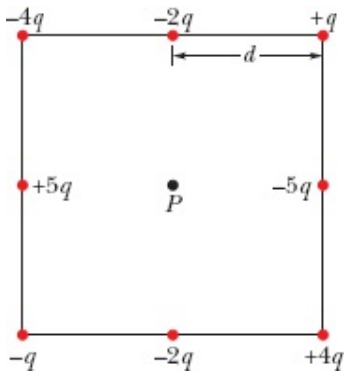


Figura 24-24 Pergunta 1.

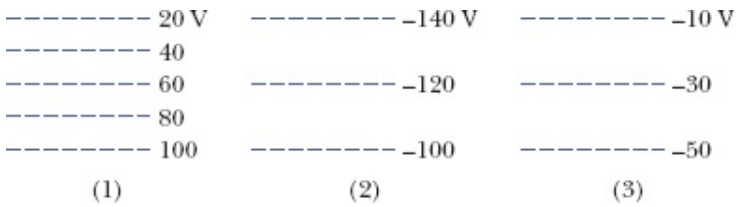


Figura 24-25 Pergunta 2.

3 A Fig. 24-26 mostra quatro pares de partículas carregadas. Para cada par, faça $V = 0$ no infinito e considere V_{tot} em pontos do eixo x. Para que pares existe um ponto no qual $V_{tot} = 0$ (a) entre as partículas e (b) à direita das partículas? (c) Nos pontos dos itens (a) e (b) $\vec{E}_{tot}$ também é zero? (d) Para cada par, existem pontos fora do eixo x (além de pontos no infinito) para os quais $V_{tot} = 0$?

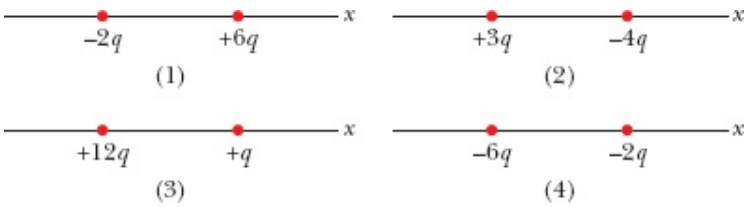


Figura 24-26 Perguntas 3 e 9.

4 A Fig. 24-27 mostra o potencial elétrico V em função de x. (a) Coloque as cinco regiões na ordem decrescente do valor absoluto da componente x do campo elétrico. Qual é o sentido do campo elétrico (b) na região 2 e (c) na região 4?

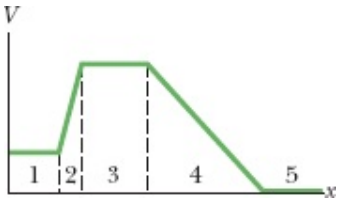


Figura 24-27 Pergunta 4.

5 A Fig. 24-28 mostra três trajetórias ao longo das quais podemos deslocar a esfera *A*, positivamente carregada, aproximando-a da esfera *B*, também positivamente carregada, que é mantida fixa no lugar. (a) O potencial da esfera *A* é maior ou menor após o deslocamento? O trabalho realizado (b) pela força usada para deslocar a esfera *A* e (c) pelo campo elétrico produzido pela esfera *B* é positivo, negativo ou nulo? (d) Coloque as trajetórias na ordem decrescente do trabalho realizado pela força do item (b).

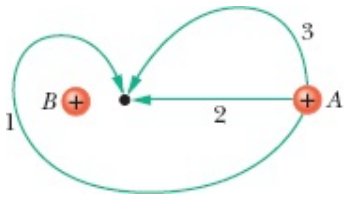


Figura 24-28 Pergunta 5.

6 A Fig. 24-29 mostra quatro arranjos de partículas carregadas, todas à mesma distância da origem. Ordene os arranjos de acordo com o potencial na origem, começando pelo mais positivo. Tome o potencial como zero no infinito.

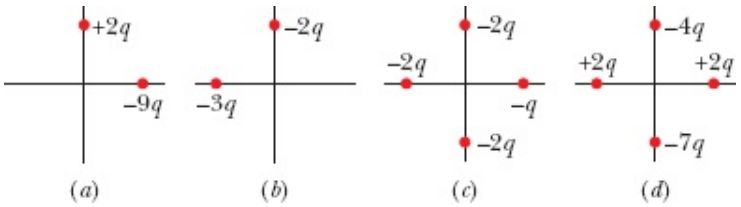


Figura 24-29 Pergunta 6.

7 A Fig. 24-30 mostra um conjunto de três partículas carregadas. Se a partícula de carga $+q$ é deslocada por uma força externa do ponto *A* para o ponto *D*, determine se as grandezas a seguir são positivas, negativas ou nulas: (a) a variação da energia potencial elétrica, (b) o trabalho realizado pela força eletrostática sobre a partícula que foi deslocada e (c) o trabalho realizado pela força externa. (d) Quais seriam as respostas dos itens (a), (b) e (c) se a partícula fosse deslocada do ponto *B* para o ponto *C*?

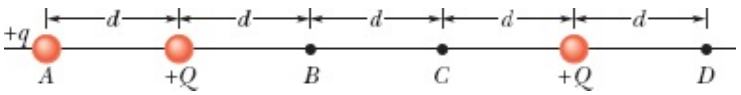


Figura 24-30 Perguntas 7 e 8.

8 Na situação da Pergunta 7, determine se o trabalho realizado pela força externa será positivo, negativo ou nulo se a partícula for deslocada (a) de *A* para *B*, (b) de *B* para *C* e (c) de *B* para *D*. (d) Coloque os deslocamentos na ordem decrescente do trabalho realizado pela força externa.

9 A Fig. 24-26 mostra quatro pares de partículas carregadas com a mesma separação. (a) Ordene os pares de acordo com a energia potencial elétrica, começando pela maior (mais positiva). (b) Para cada

par, se a distância entre as partículas aumenta, a energia potencial do par aumenta ou diminui?

10 (a) Na Fig. 24-31*a*, qual é o potencial no ponto *P* devido à carga *Q* situada a uma distância *R* de *P*? Considere $V = 0$ no infinito. (b) Na Fig. 24-31*b*, a mesma carga *Q* foi distribuída uniformemente em um arco de circunferência de raio *R* e ângulo central 40°. Qual é o potencial no ponto *P*, o centro de curvatura do arco? (c) Na Fig. 24-31*c*, a mesma carga *Q* foi distribuída uniformemente em uma circunferência de raio *R*. Qual é o potencial no ponto *P*, o centro da circunferência? (d) Coloque as três situações na ordem decrescente do módulo do campo elétrico no ponto *P*.

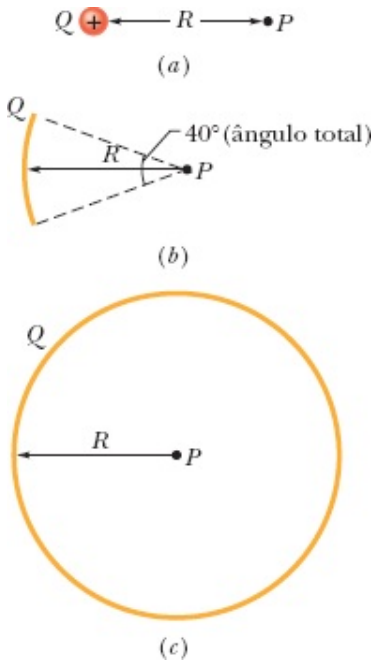


Figura 24-31 Pergunta 10.

11 A Fig. 24-32 mostra uma barra fina, com uma distribuição de carga uniforme, e três pontos situados à mesma distância *d* da barra. Coloque os pontos na ordem decrescente do módulo do potencial elétrico produzido pela barra em cada ponto.

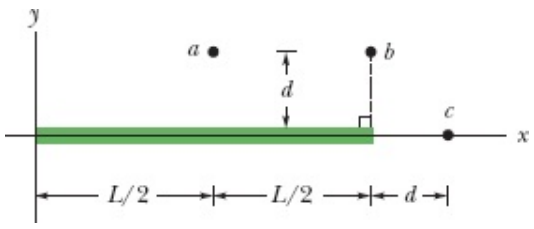


Figura 24-32 Pergunta 11.

12 Na Fig. 24-33, uma partícula é liberada com velocidade zero no ponto *A* e acelerada por um campo elétrico na direção do ponto *B*. A diferença de potencial entre os pontos *A* e *B* é 100 V. Qual dos pontos deve estar a um ponto de maior potencial se a partícula for (a) um elétron, (b) um próton e (c) uma partícula alfa (um núcleo com dois prótons e dois nêutrons)? (d) Coloque as partículas na ordem decrescente na energia cinética que possuem ao atingirem o ponto *B*.

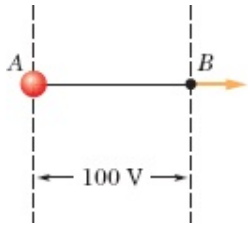


Figura 24-33 Pergunta 12.

Problemas

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

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

Módulo 24-1 Potencial Elétrico

·1 Uma bateria de automóvel, de 12 V, pode fazer passar uma carga de 84 A· h (ampères-horas) por um circuito, de um terminal para o outro da bateria. (a) A quantos coulombs corresponde essa quantidade de carga? (*Sugestão*: Veja a Eq. 21-3.) (b) Se toda a carga sofre uma variação de potencial elétrico de 12 V, qual é a energia envolvida?

·2 A diferença de potencial elétrico entre a terra e uma nuvem de tempestade é $1{,}2 \times 10^9$ V. Qual é o módulo da variação da energia potencial elétrica de um elétron que se desloca da nuvem para a terra? Expresse a resposta em elétrons-volts.

·3 Suponha que, em um relâmpago, a diferença de potencial entre uma nuvem e a terra é $1{,}0 \times 10^9$ V e a carga transferida pelo relâmpago é 30 C. (a) Qual é a variação da energia da carga transferida? (b) Se toda a energia liberada pelo relâmpago pudesse ser usada para acelerar um carro de 1000 kg, qual seria a velocidade final do carro?

Módulo 24-2 Superfícies Equipotenciais e o Campo Elétrico

·4 Duas placas paralelas condutoras, de grande extensão, estão separadas por uma distância de 12 cm e possuem densidades superficiais de cargas de mesmo valor absoluto e sinais opostos nas faces internas. Uma força eletrostática de $3{,}9 \times 10^{-15}$ N age sobre um elétron colocado na região entre as duas placas. (Despreze o efeito de borda.) (a) Determine o campo elétrico na posição do elétron. (b) Determine a diferença de potencial entre as placas.

·5 Uma placa infinita isolante possui uma densidade superficial de carga $\sigma = 0{,}10\ \mu C/m^2$ em uma das faces. Qual é a distância entre duas superfícies equipotenciais cujos potenciais diferem de 50 V?

·6 Na Fig. 24-34, quando um elétron se desloca de A para B ao longo de uma linha de campo elétrico, o campo elétrico realiza um trabalho de $3{,}94 \times 10^{-19}$ J. Qual é a diferença de potencial elétrico (a) $V_B - V_A$,

(b) $V_C - V_A$ e (c) $V_C - V_B$?

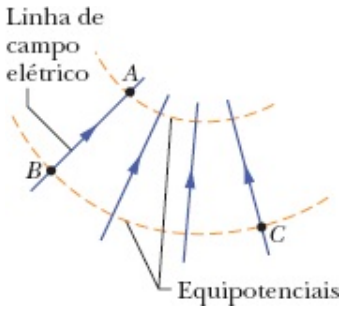


Figura 24-34 Problema 6.

··7 O campo elétrico em uma região do espaço tem componentes $E_y = E_z = 0$ e $E_x = (4{,}00\ \text{N/C})x$. O ponto A está no eixo y, em $y = 3{,}00$ m, e o ponto B está no eixo x, em $x = 4{,}00$ m. Qual é a diferença de potencial $V_B - V_A$?

··8 A Fig. 24-35 mostra um gráfico da componente x do campo elétrico em função de x em certa região do espaço. A escala do eixo vertical é definida por $E_{xs} = 20{,}0$ N/C. As componentes y e z do campo elétrico são nulas em toda a região. Se o potencial elétrico na origem é 10 V, (a) qual é o potencial elétrico em $x = 2{,}0$ m? (b) Qual é o maior valor positivo do potencial elétrico em pontos do eixo x para os quais $0 \le x \le 6{,}0$ m? (c) Para qual valor de x o potencial elétrico é zero?

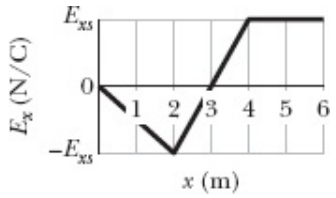


Figura 24-35 Problema 8.

··9 Uma placa isolante infinita possui uma densidade superficial de carga $\sigma = +5{,}80\ \text{pC/m}^2$. (a) Qual é o trabalho realizado pelo campo elétrico produzido pela placa se uma partícula de carga $q = +1{,}60 \times 10^{-19}$ C é deslocada da superfície da placa para um ponto P situado a uma distância $d = 3{,}56$ cm da superfície da placa? (b) Se o potencial elétrico V é definido como zero na superfície da placa, qual é o valor de V no ponto P?

···10 Dois planos infinitos, isolantes, uniformemente carregados, são paralelos ao plano yz e estão posicionados em $x = -50$ cm e $x = +50$ cm. As densidades de carga dos planos são $-50\ \text{nC/m}^2$ e $+25\ \text{nC/m}^2$, respectivamente. Qual é o valor absoluto da diferença de potencial entre a origem e o ponto do eixo x em $x = +80$ cm? (*Sugestão*: Use a lei da Gauss.)

···11 Uma esfera isolante tem raio $R = 2{,}31$ cm e carga uniformemente distribuída $q = +3{,}50$ fC. Considere o potencial elétrico no centro da esfera como $V_0 = 0$. Determine o valor de V para uma distância radial (a) $r = 1{,}45$ cm e (b) $r = R$. (*Sugestão*: Veja o Módulo 23-6.)

Módulo 24-3 Potencial Produzido por uma Partícula Carregada

·12 Quando um ônibus espacial atravessa a ionosfera da Terra, formada por gases rarefeitos e ionizados, o potencial da nave varia de aproximadamente −1,0 V a cada revolução. Supondo que o ônibus espacial é uma esfera com 10 m de raio, estime a carga elétrica recolhida a cada revolução.

·13 Determine (a) a carga e (b) a densidade superficial de cargas de uma esfera condutora de 0,15 m de raio cujo potencial é 200 V (considerando $V = 0$ no infinito).

·14 Considere uma partícula com carga $q = 1{,}0\ \mu C$, o ponto A a uma distância $d_1 = 2{,}0$ m da partícula e o ponto B a uma distância $d_2 = 1{,}0$ m da partícula. (a) Se A e B estão diametralmente opostos, como na Fig. 24-36*a*, qual é a diferença de potencial elétrico $V_A - V_B$? (b) Qual é a diferença de potencial elétrico se A e B estão localizados como na Fig. 24-36*b*?

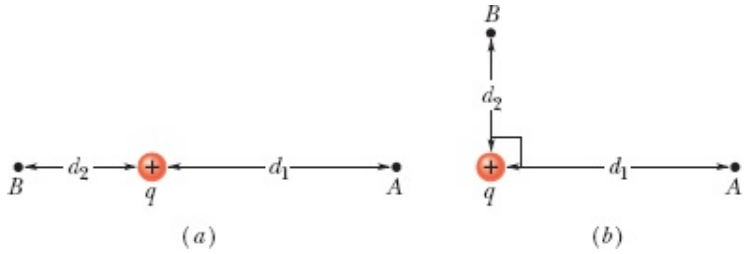


Figura 24-36 Problema 14.

··15 Uma gota d'água esférica com uma carga de 30 pC tem um potencial de 500 V na superfície (com $V = 0$ no infinito). (a) Qual é o raio da gota? (b) Se duas gotas de mesma carga e mesmo raio se combinam para formar uma gota esférica, qual é o potencial na superfície da nova gota?

··16 A Fig. 24-37 mostra um arranjo retangular de partículas carregadas mantidas fixas no lugar, com $a = 39{,}0$ cm e as cargas indicadas como múltiplos inteiros de $q_1 = 3{,}40$ pC e $q_2 = 6{,}00$ pC. Com $V = 0$ no infinito, qual é o potencial elétrico no centro do retângulo? (*Sugestão*: Examinando o problema com atenção, é possível reduzir consideravelmente os cálculos.)

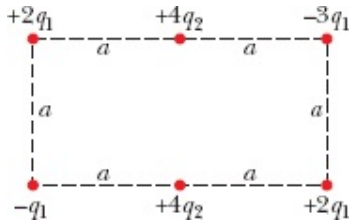


Figura 24-37 Problema 16.

··17 Qual é o potencial elétrico produzido pelas quatro partículas da Fig. 24-38 no ponto P, se $V = 0$ no infinito, $q = 5{,}00$ fC e $d = 4{,}00$ cm?

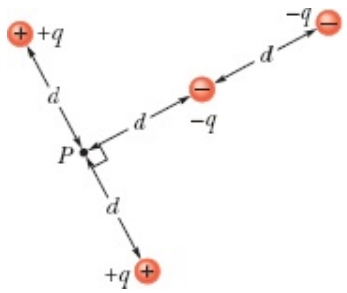


Figura 24-38 Problema 17.

··18 A Fig. 24-39*a* mostra duas partículas carregadas. A partícula 1, de carga q_1, é mantida fixa no lugar a uma distância d da origem. A partícula 2, de carga q_2, pode ser deslocada ao longo do eixo x. A Fig. 24-39*b* mostra o potencial elétrico V na origem em função da coordenada x da partícula 2. A escala do eixo x é definida por x_s = 16,0 cm. O gráfico tende assintoticamente para $V = 5{,}76 \times 10^{-7}$ V quando $x \rightarrow \infty$. Qual é o valor de q_2 em termos de e?

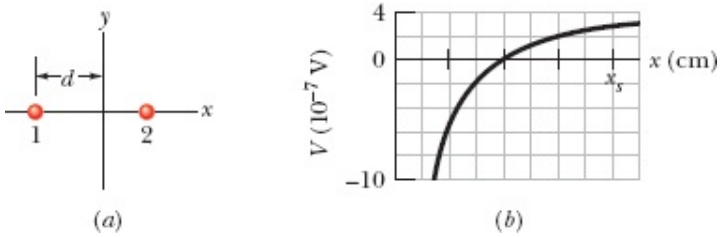


Figura 24-39 Problema 18.

··19 Na Fig. 24-40, partículas de cargas $q_1 = +5e$ e $q_2 = -15e$ são mantidas fixas no lugar, separadas por uma distância d = 24,0 cm. Considerando $V = 0$ no infinito, determine o valor de x (a) positivo e (b) negativo para o qual o potencial elétrico do eixo x é zero.

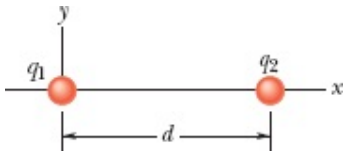


Figura 24-40 Problemas 19 e 20.

··20 Na Fig. 24-40, duas partículas, de cargas q_1 e q_2, estão separadas por uma distância d. O campo elétrico produzido em conjunto pelas duas partículas é zero em $x = d/4$. Com $V = 0$ no infinito, determine, em termos de d, o(s) ponto(s) do eixo x (além do infinito) em que o potencial elétrico é zero.

Módulo 24-4 Potencial Produzido por um Dipolo Elétrico

·21 A molécula de amoníaco (NH_3) possui um dipolo elétrico permanente de 1,47 D, em que 1 D = 1 debye = $3{,}34 \times 10^{-30}$ C · m. Calcule o potencial elétrico produzido por uma molécula de amoníaco em um ponto do eixo do dipolo a uma distância de 52,0 nm. (Considere $V = 0$ no infinito.)

··22 Na Fig. 24-41*a*, uma partícula de carga $+e$ está inicialmente no ponto z = 20 nm do eixo de um

dipolo elétrico, do lado positivo do dipolo. (A origem do eixo z é o centro do dipolo.) A partícula é deslocada em uma trajetória circular em torno do centro do dipolo até a coordenada $z = -20$ nm. A Fig. 24-41*b* mostra o trabalho W_a realizado pela força responsável pelo deslocamento da partícula em função do ângulo θ, o qual define a localização da partícula. A escala do eixo vertical é definida por $W_{as} = 4{,}0 \times 10^{-30}$ J. Qual é o módulo do momento dipolar?

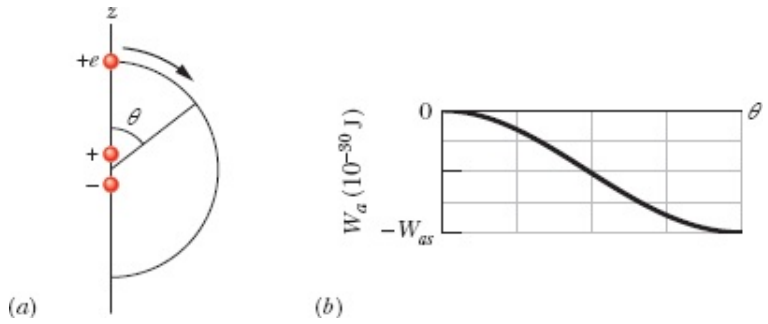


Figura 24-41 Problema 22.

Módulo 24-5 Potencial Produzido por uma Distribuição Contínua de Carga

·23 (a) A Fig. 24-42*a* mostra uma barra isolante, de comprimento $L = 6{,}00$ cm e densidade linear de carga positiva uniforme $\lambda = +3{,}68$ pC/m. Considere $V = 0$ no infinito. Qual é o valor de V no ponto P situado a uma distância $d = 8{,}00$ cm acima do ponto médio da barra? (b) A Fig. 24-42*b* mostra uma barra igual à do item (a), exceto pelo fato de que a metade da direita está carregada negativamente; o valor absoluto da densidade linear de carga continua sendo 3,68 pC/m em toda a barra. Com $V = 0$ no infinito, qual é o valor de V no ponto P?

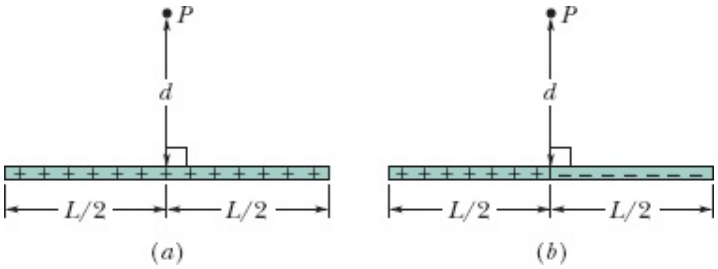


Figura 24-42 Problema 23.

·24 Na Fig. 24-43, uma barra de plástico com uma carga uniformemente distribuída $Q = -25{,}6$ pC tem a forma de um arco de circunferência de raio $R = 3{,}71$ cm e ângulo central $\phi = 120°$. Com $V = 0$ no infinito, qual é o potencial elétrico no ponto P, o centro de curvatura da barra?

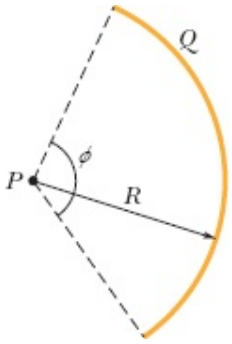


Figura 24-43 Problema 24.

·25 Uma barra de plástico tem a forma de uma circunferência de raio $R = 8{,}20$ cm. A barra possui uma carga $Q_1 = +4{,}20$ pC uniformemente distribuída ao longo de um quarto de circunferência e uma carga $Q_2 = -6Q_1$ distribuída uniformemente ao longo do resto da circunferência (Fig. 24-44). Com $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico (a) no centro C da circunferência e (b) no ponto P, que está no eixo central da circunferência a uma distância $D = 6{,}71$ cm do centro.

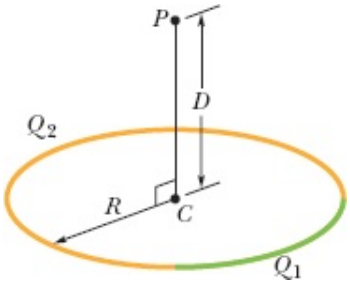


Figura 24-44 Problema 25.

··26 A Fig. 24-45 mostra uma barra fina com uma densidade de carga uniforme de 2,00 μC/m. Determine o potencial elétrico no ponto P, se $d = D = L/4{,}00$. Suponha que o potencial é zero no infinito.

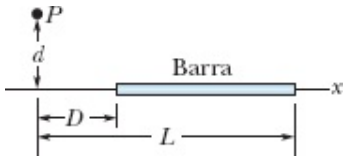


Figura 24-45 Problema 26.

··27 Na Fig. 24-46, três barras finas, de plástico, têm a forma de quadrantes de circunferência com o mesmo centro de curvatura, situado na origem. As cargas uniformes das barras são $Q_1 = +30$ nC, $Q_2 = +3{,}0Q_1$ e $Q_3 = -8{,}0Q_1$. Determine o potencial elétrico na origem.

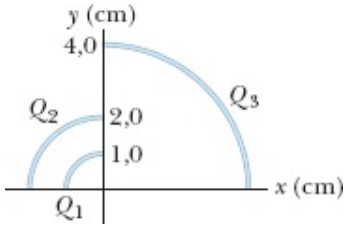


Figura 24-46 Problema 27.

··28 A Fig. 24-47 mostra uma barra fina, de plástico, que coincide com o eixo x. A barra tem um comprimento L = 12,0 cm e uma carga positiva uniforme Q = 56,1 fC uniformemente distribuída. Com V = 0 no infinito, determine o potencial elétrico no ponto P_1 do eixo x, a uma distância d = 2,50 cm de uma das extremidades da barra.

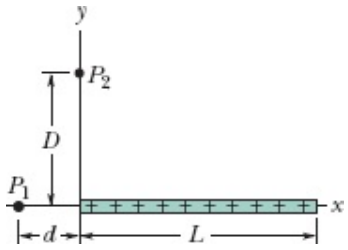


Figura 24-47 Problemas 28, 33, 38 e 40.

··29 Na Fig. 24-48, determine o potencial elétrico produzido na origem por um arco de circunferência de carga Q_1 = +7,21 pC e duas partículas de cargas $Q_2 = 4{,}00Q_1$ e $Q_3 = -2{,}00Q_1$. O centro de curvatura do arco está na origem, o raio do arco é R = 2,00 m, e o ângulo indicado é θ = 20,0°.

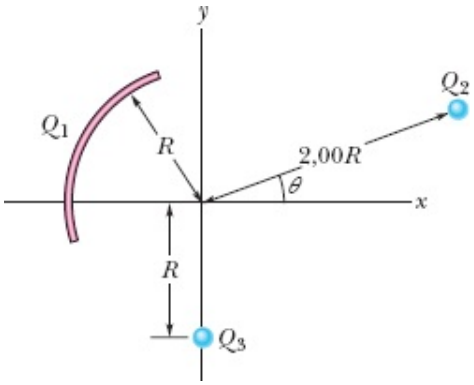


Figura 24-48 Problema 29.

··30 O rosto sorridente da Fig. 24-49 é formado por três elementos:

1. uma barra fina com carga de −3,0 μC e a forma de uma circunferência completa com 6,0 cm de raio;
2. uma segunda barra fina com carga de 2,0 μC e a forma de um arco de circunferência com 4,0 cm de raio, concêntrico com o primeiro elemento, que subtende um ângulo de 90°;
3. um dipolo elétrico cujo momento dipolar é perpendicular a um diâmetro da circunferência e cujo módulo é $1{,}28 \times 10^{-21}$ C · m.

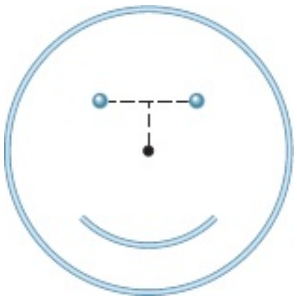


Figura 24-49 Problema 30.

Determine o potencial elétrico no centro da circunferência.

··31 Um disco de plástico, de raio $R = 64{,}0$ cm, é carregado na face superior com uma densidade superficial de cargas uniforme $= 7{,}73$ fC/m^2; em seguida, três quadrantes do disco são removidos. A Fig. 24-50 mostra o quadrante remanescente. Com $V = 0$ no infinito, qual é o potencial produzido pelo quadrante remanescente no ponto P, que está no eixo central do disco original a uma distância $D = 25{,}9$ cm do centro do disco?

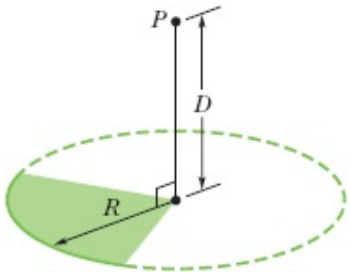


Figura 24-50 Problema 31.

···32 Uma distribuição linear de carga não uniforme dada por $\lambda = bx$, em que b é uma constante, está situada no eixo x, entre $x = 0$ e $x = 0{,}20$ m. Se $b = 20$ nC/m^2 e $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico (a) na origem e (b) no ponto $y = 0{,}15$ m do eixo y.

···33 A barra fina, de plástico, que aparece na Fig. 24-47 tem um comprimento $L = 12{,}0$ cm e uma densidade linear de carga não uniforme $\lambda = cx$, em que $c = 28{,}9$ pC/m^2. Com $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico no ponto P_1 do eixo x, a uma distância $d = 3{,}00$ cm de uma das extremidades.

Módulo 24-6 Cálculo do Campo Elétrico a Partir do Potencial

·34 Duas placas metálicas paralelas, de grande extensão, são mantidas a uma distância de 1,5 cm e possuem cargas de mesmo valor absoluto e sinais opostos nas superfícies internas. Considere o potencial da placa negativa como zero. Se o potencial a meio caminho entre as placas é +5,0 V, qual é o campo elétrico na região entre as placas?

·35 O potencial elétrico no plano xy é dado por $V = (2{,}0\ \text{V/m}^2)x^2 - (3{,}0\ \text{V/m}^2)y^2$. Qual é o campo elétrico no ponto (3,0 m; 2,0 m) na notação dos vetores unitários?

·36 O potencial elétrico V no espaço entre duas placas paralelas, 1 e 2, é dado (em volts) por $V =$

$1500x^2$, em que x (em metros) é a distância da placa 1. Para x = 1,3 cm, (a) determine o módulo do campo elétrico. (b) O campo elétrico aponta para a placa 1 ou no sentido oposto?

··37 Qual é o módulo do campo elétrico no ponto $(3{,}00\hat{i} - 2{,}00\hat{j} + 4{,}00\hat{k})$ m se o potencial elétrico é dado por $V = 2{,}00xyz^2$, em que V está em volts e x, y e z estão em metros?

··38 A Fig. 24-47 mostra uma barra fina de plástico, de comprimento L = 13,5 cm e carga de 43,6 fC uniformemente distribuída. (a) Determine uma expressão para o potencial elétrico no ponto P_1 em função da distância d. (b) Substitua d pela variável x e escreva uma expressão para o módulo da componente E_x do campo elétrico no ponto P_1. (c) Qual é o sentido de E_x em relação ao sentido positivo do eixo x? (d) Qual é o valor de E_x no ponto P_1 para $x = d$ = 6,20 cm? (e) Determine o valor de E_y no ponto P_1 a partir da simetria da Fig. 24-47.

··39 Um elétron é colocado no plano xy, onde o potencial elétrico varia com x e y de acordo com os gráficos da Fig. 24-51 (o potencial não depende de z). A escala do eixo vertical é definida por V_s = 500 V. Qual é a força a que é submetido o elétron, na notação dos vetores unitários?

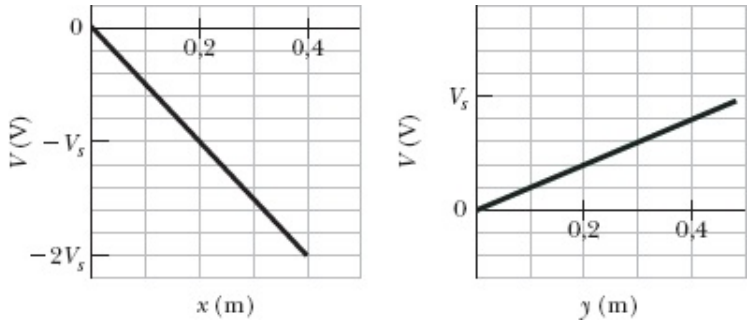


Figura 24-51 Problema 39.

···40 A barra fina de plástico da Fig. 24-47 tem comprimento L = 10,0 cm e uma densidade linear de carga não uniforme $\lambda = cx$, em que c = 49,9 pC/m. (a) Com $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico no ponto P_2, situado no eixo y, em $y = D$ = 3,56 cm. (b) Determine a componente do campo elétrico E_y no ponto P_2. (c) Por que a componente E_x do campo em P_2 não pode ser calculada usando o resultado do item (a)?

Módulo 24-7 Energia Potencial Elétrica de um Sistema de Partículas Carregadas

·41 Uma partícula de carga +7,5 μC é liberada a partir do repouso no ponto x = 60 cm. A partícula começa a se mover devido à presença de uma carga Q que é mantida fixa na origem. Qual é a energia cinética da partícula após se deslocar 40 cm (a) se Q = +20 μC e (b) se Q = −20 μC?

·42 (a) Qual é a energia potencial elétrica de dois elétrons separados por uma distância de 2,00 nm? (b) Se a distância diminui, a energia potencial aumenta ou diminui?

·43 Qual é o trabalho necessário para montar o arranjo da Fig. 24-52, se q = 2,30 pC, a = 64,0 cm e as partículas estão inicialmente em repouso e infinitamente afastadas umas das outras?

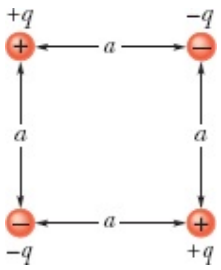


Figura 24-52 Problema 43.

·44 Na Fig. 24-53, sete partículas carregadas são mantidas fixas no lugar para formar um quadrado com 4,0 cm de lado. Qual é o trabalho necessário para deslocar para o centro do quadrado uma partícula de carga +6*e* inicialmente em repouso a uma distância infinita?

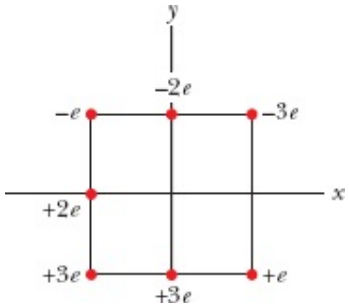


Figura 24-53 Problema 44.

··45 Uma partícula, de carga q, é mantida fixa no ponto P, e uma segunda partícula, de massa m, com a mesma carga q, é mantida inicialmente a uma distância r_1 de P. A segunda partícula é liberada. Determine a velocidade da segunda partícula quando ela se encontra a uma distância r_2 do ponto P. Considere que q = 3,1 μC, m = 20 mg, r_1 = 0,90 mm e r_2 = 2,5 mm.

··46 Uma carga de −9,0 nC está distribuída uniformemente em um anel fino de plástico situado no plano yz, com o centro do anel na origem. Uma carga pontual de −6,0 pC está situada no ponto x = 3,0 m do eixo x. Se o raio do anel é 1,5 m, qual deve ser o trabalho realizado por uma força externa sobre a carga pontual para deslocá-la até a origem?

··47 Qual é a *velocidade de escape* de um elétron inicialmente em repouso na superfície de uma esfera com 1,0 cm de raio e uma carga uniformemente distribuída de $1,6 \times 10^{-15}$ C? Em outras palavras, que velocidade inicial um elétron deve ter para chegar a uma distância infinita da esfera com energia cinética zero?

··48 Uma casca fina, esférica, condutora de raio R é montada em um suporte isolado e carregada até atingir um potencial de −125 V. Em seguida, um elétron é disparado na direção do centro da casca a partir do ponto P, situado a uma distância r do centro da casca ($r >> R$). Qual deve ser a velocidade inicial v_0 do elétron para que chegue a uma distância insignificante da casca antes de parar e inverter o movimento?

··49 Dois elétrons são mantidos fixos, separados por uma distância de 2,0 cm. Outro elétron é

arremessado a partir do infinito, e para no ponto médio entre os dois elétrons. Determine a velocidade inicial do terceiro elétron.

··50 Na Fig. 24-54, determine o trabalho necessário para deslocar uma partícula de carga $Q = +16e$, inicialmente em repouso, ao longo da reta tracejada, do infinito até o ponto indicado, nas proximidades de duas partículas fixas, de cargas $q_1 = +4e$ e $q_2 = -q_1/2$. Suponha que $d = 1{,}40$ cm, $\theta_1 = 43^\circ$ e $\theta_2 = 60^\circ$.

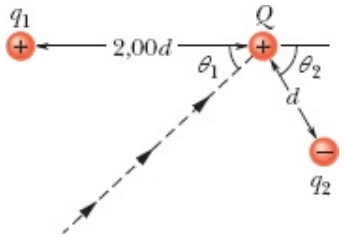


Figura 24-54 Problema 50.

··51 No retângulo da Fig. 24-55, os comprimentos dos lados são 5,0 cm e 15 cm, $q_1 = -5{,}0\ \mu$C e $q_2 = +2{,}0\ \mu$C. Com $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico (a) no vértice A e (b) no vértice B. (c) Determine o trabalho necessário para deslocar uma carga $q_3 = +3{,}0\ \mu$C de B para A ao longo da diagonal do retângulo. (d) Esse trabalho faz a energia potencial elétrica do sistema de três partículas aumentar ou diminuir? O trabalho será maior, menor ou igual, se a carga q_3 for deslocada ao longo de uma trajetória (e) no interior do retângulo, mas que não coincide com a diagonal, e (f) do lado de fora do retângulo?



Figura 24-55 Problema 51.

··52 A Fig. 24-56*a* mostra um elétron que se move ao longo do eixo de um dipolo elétrico em direção ao lado negativo do dipolo. O dipolo é mantido fixo no lugar. O elétron estava inicialmente a uma distância muito grande do dipolo, com uma energia cinética de 100 eV. A Fig. 24-56*b* mostra a energia cinética K do elétron em função da distância r em relação ao centro do dipolo. A escala do eixo horizontal é definida por $r_s = 0{,}10$ m. Qual é o módulo do momento dipolar?

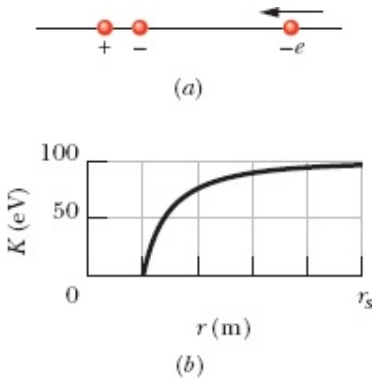


Figura 24-56 Problema 52.

··53 Duas pequenas esferas metálicas A e B, de massas $m_A = 5{,}00$ g e $m_B = 10{,}0$ g, possuem a mesma carga positiva $q = 5{,}00\ \mu$C. As esferas estão ligadas por um fio isolante, de massa desprezível e comprimento $d = 1{,}00$ m, muito maior que os raios das esferas. (a) Qual é a energia potencial elétrica do sistema? (b) Suponha que o fio seja cortado. Qual é a aceleração de cada esfera nesse instante? (c) Qual é a velocidade de cada esfera, muito tempo depois de o fio ter sido cortado?

··54 Um pósitron (de carga $+e$, massa igual à do elétron) está se movendo a uma velocidade de $1{,}0 \times 10^7$ m/s no sentido positivo do eixo x quando, em $x = 0$, encontra um campo elétrico paralelo ao eixo x. A Fig. 24-57 mostra o potencial elétrico V associado ao campo. A escala do eixo vertical é definida por $V_s = 500{,}0$ V. (a) O pósitron emerge da região em que existe o campo em $x = 0$ (o que significa que o movimento se inverte) ou em $x = 0{,}50$ m (o que significa que o movimento não se inverte)? (b) Com que velocidade o pósitron emerge da região?

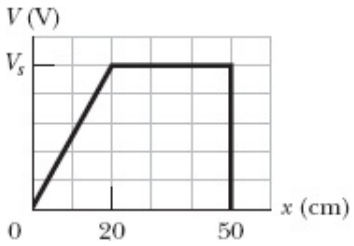


Figura 24-57 Problema 54.

··55 Um elétron é lançado com uma velocidade inicial de $3{,}2 \times 10^5$ m/s em direção a um próton mantido fixo no lugar. Se o elétron se encontra inicialmente a uma grande distância do próton, a que distância do próton a velocidade instantânea do elétron é duas vezes maior que o valor inicial?

··56 A Fig. 24-58*a* mostra três partículas no eixo x. A partícula 1 (com uma carga de $+5{,}0\ \mu$C) e a partícula 2 (com uma carga de $+3{,}0\ \mu$C) são mantidas fixas no lugar, separadas por uma distância $d = 4{,}0$ cm. A partícula 3 pode ser deslocada ao longo do eixo x, à direita da partícula 2. A Fig. 24-58*b* mostra a energia potencial elétrica U do sistema de três partículas em função da coordenada x da partícula 3. A escala do eixo vertical é definida por $U_s = 5{,}0$ J. Qual é a carga da partícula 3?

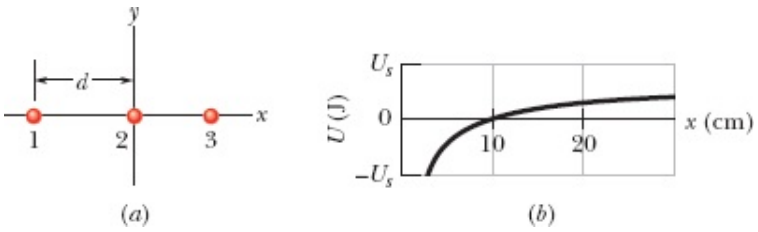


Figura 24-58 Problema 56.

··57 Duas cargas, de $50\ \mu$C, são mantidas fixas no eixo x nos pontos $x = -3{,}0$ m e $x = 3{,}0$ m. Uma partícula de carga $q = -15\ \mu$C é liberada a partir do repouso em um ponto situado no semieixo y positivo.

Devido à simetria da situação, a partícula se move ao longo do eixo y e possui uma energia cinética de 1,2 J ao passar pelo ponto $x = 0$, $y = 4{,}0$ m. (a) Qual é a energia cinética da partícula ao passar pela origem? (b) Para qual valor negativo de y a partícula inverte o movimento?

··58 *Um próton em um poço de potencial.* A Fig. 24-59 mostra o potencial elétrico V ao longo de um eixo x. A escala do eixo vertical é definida por $V_s = 10{,}0$ V. Um próton é liberado no ponto $x = 3{,}5$ cm com uma energia cinética inicial de 4,00 eV. (a) Um próton que está se movendo inicialmente no sentido negativo do eixo x chega a um ponto de retorno (se a resposta for afirmativa, determine a coordenada x do ponto) ou escapa da região mostrada no gráfico (se a resposta for afirmativa, determine a velocidade no ponto $x = 0$)? (b) Um próton que está se movendo inicialmente no sentido positivo do eixo x chega a um ponto de retorno (se a resposta for afirmativa, determine a coordenada x do ponto) ou escapa da região mostrada no gráfico (se a resposta for afirmativa, determine a velocidade no ponto $x = 6{,}0$ cm)? Determine (c) o módulo F e (d) a orientação (sentido positivo ou negativo do eixo x) da força elétrica a que o próton está submetido quando se encontra ligeiramente à esquerda do ponto $x = 3{,}0$ cm. Determine (e) o módulo F e (f) a orientação da força elétrica quando o próton se encontra ligeiramente à direita do ponto $x = 5{,}0$ cm.

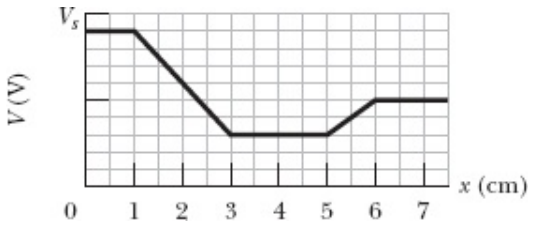


Figura 24-59 Problema 58.

··59 Na Fig. 24-60, uma partícula carregada (um elétron ou um próton) está se movendo para a direita entre duas placas paralelas carregadas separadas por uma distância $d = 2{,}00$ mm. Os potenciais das placas são $V_1 = -70{,}0$ V e $V_2 = -50{,}0$ V. A partícula partiu da placa da esquerda com uma velocidade inicial de 90,0 km/s, mas a velocidade está diminuindo. (a) A partícula é um elétron ou um próton? (b) Qual é a velocidade da partícula ao chegar à placa 2?

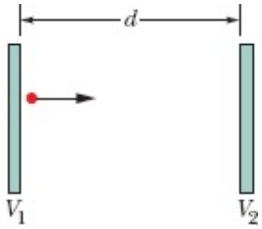


Figura 24-60 Problema 59.

··60 Na Fig. 24-61*a*, um elétron é deslocado a partir de uma distância infinita para um ponto situado a uma distância $R = 8{,}00$ cm de uma pequena esfera carregada. O trabalho necessário para executar o deslocamento é $W = 2{,}16 \times 10^{-13}$ J. (a) Qual é a carga Q da esfera? Na Fig. 24-61*b*, a esfera foi cortada

em pedaços, e os pedaços foram espalhados de tal forma que cargas iguais ocupam as posições das horas no mostrador circular de um relógio de raio $R = 8{,}00$ cm. O elétron é deslocado a partir de uma distância infinita até o centro do mostrador. (b) Qual é a variação da energia potencial elétrica do sistema com a adição do elétron ao sistema de 12 partículas carregadas?

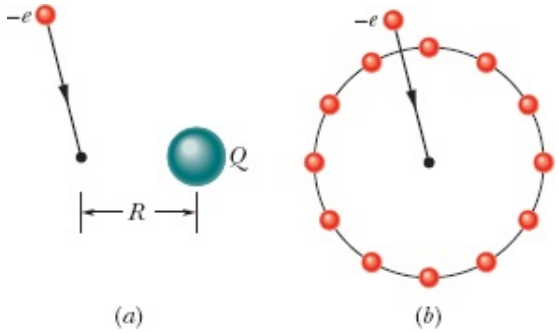


Figura 24-61 Problema 60.

···61 Suponha que N elétrons possam ser colocados em duas configurações diferentes. Na configuração 1, todos os elétrons estão distribuídos uniformemente ao longo de um anel circular estreito, de raio R. Na configuração 2, $N - 1$ elétrons estão distribuídos uniformemente ao longo do anel e o elétron restante é colocado no centro do anel. (a) Qual é o menor valor de N para o qual a segunda configuração possui menor energia que a primeira? (b) Para esse valor de N, considere um dos elétrons do anel, e_0. Quantos elétrons do anel estão mais próximos de e_0 que o elétron central?

Módulo 24-8 Potencial de um Condutor Carregado

·62 A esfera 1, de raio R_1, possui uma carga positiva q. A esfera 2, de raio $2{,}00R_1$, está muito afastada da esfera 1 e inicialmente descarregada. Quando as esferas são ligadas por um fio suficientemente fino para que a carga que contém possa ser desprezada, (a) o potencial V_1 da esfera 1 se torna maior, menor ou igual ao potencial V_2 da esfera 2? (b) Que fração da carga q permanece na esfera 1? (c) Que fração da carga q é transferida para a esfera 2? (d) Qual é a razão σ_1/σ_2 entre as cargas das duas esferas?

·63 Os centros de duas esferas metálicas, ambas com 3,0 cm de raio, estão separados por uma distância de 2,0 m. A esfera 1 possui uma carga de $+1{,}0 \times 10^{-8}$ C e a esfera 2 possui uma carga de $-3{,}0 \times 10^{-8}$ C. Suponha que a distância entre as esferas seja suficiente para que se possa supor que a carga das esferas está uniformemente distribuída (ou seja, suponha que as esferas não se afetam mutuamente). Com $V = 0$ no infinito, determine (a) o potencial no ponto a meio caminho entre os centros das esferas, (b) o potencial na superfície da esfera 1 e (c) o potencial na superfície da esfera 2.

·64 Uma esfera oca, de metal, possui um potencial de +400 V em relação à terra (definida como $V = 0$) e uma carga de 5×10^{-9} C. Determine o potencial elétrico no centro da esfera.

·65 Qual é a carga em excesso de uma esfera condutora de raio $r = 0{,}15$ m se o potencial da esfera é 1500 V e $V = 0$ no infinito?

··66 Duas cascas condutoras concêntricas têm raios $R_1 = 0{,}500$ m e $R_2 = 1{,}00$ m, cargas uniformes $q_1 = +2{,}00\ \mu C$ e $q_2 = +1{,}00\ \mu C$ e espessura insignificante. Determine o módulo do campo elétrico E a uma distância do centro de curvatura das cascas (a) $r = 4{,}00$, (b) $r = 0{,}700$ m e (c) $r = 0{,}200$ m. Com $V = 0$ no infinito, determine V para (d) $r = 4{,}00$ m, (e) $r = 1{,}00$ m, (f) $r = 0{,}700$ m, (g) $r = 0{,}500$ m, (h) $r = 0{,}200$ m, e (i) $r = 0$. (j) Plote $E(r)$ e $V(r)$.

··67 Uma esfera metálica com 15 cm de raio possui uma carga de $3{,}0 \times 10^{-8}$ C. (a) Qual é o campo elétrico na superfície da esfera? (b) Se $V = 0$ no infinito, qual é o potencial elétrico na superfície da esfera? (c) A que distância da superfície da esfera o potencial é 500 V menor que na superfície da esfera?

Problemas Adicionais

68 As cargas e coordenadas de duas cargas pontuais situadas no plano xy são $q_1 = +3{,}00 \times 10^{-6}$ C, $x = +3{,}50$ cm, $y = +0{,}500$ cm e $q_2 = -4{,}00 \times 10^{-6}$ C, $x = -2{,}00$ cm, $y = +1{,}50$ cm. Qual é o trabalho necessário para colocar as cargas nas posições especificadas, supondo que a distância inicial entre elas é infinita?

69 Um cilindro condutor longo tem 2,0 cm de raio. O campo elétrico na superfície do cilindro é 160 N/C, orientado radialmente para longe do eixo. Sejam A, B e C pontos situados, respectivamente, a 1,0 cm, 2,0 cm e 5,0 cm de distância do eixo do cilindro. Determine (a) o módulo do campo elétrico no ponto C, (b) a diferença de potencial $V_B - V_C$ e (c) a diferença de potencial $V_A - V_B$.

70 *O mistério do chocolate em pó*. Essa história começa no Problema 60 do Capítulo 23. (a) A partir da resposta do item (a) do citado problema, determine uma expressão para o potencial elétrico em função da distância r do eixo do cano. (O potencial é zero na parede do cano, que está ligado à terra.) (b) Para uma densidade volumétrica de carga típica, $\rho = -1{,}1 \times 10^{-3}$ C/m^3, qual é a diferença de potencial elétrico entre o eixo do cano e a parede interna? (A história continua no Problema 60 do Capítulo 25.)

71 A partir de Eq. 24-30, escreva uma expressão para o campo elétrico produzido por um dipolo em um ponto do eixo do dipolo.

72 O módulo E de um campo elétrico varia com a distância r, segundo a equação $E = A/r^4$, em que A é uma constante em volts-metros cúbicos. Em termos de A, qual é o valor absoluto da diferença de potencial elétrico entre os pontos $r = 2{,}00$ m e $r = 3{,}00$ m?

73 (a) Se uma esfera condutora com 10 cm de raio tem uma carga de $4{,}0\ \mu C$ e se $V = 0$ no infinito, qual é o potencial na superfície da esfera? (b) Esta situação é possível, dado que o ar em torno da esfera sofre ruptura dielétrica quando o campo ultrapassa 3,0 MV/m?

74 Três partículas, de cargas $q_1 = +10\ \mu C$, $q_2 = -20\ \mu C$ e $q_3 = +30\ \mu C$, são posicionadas nos vértices de um triângulo isósceles, como mostra a Fig. 24-62. Se $a = 10$ cm e $b = 6{,}0$ cm, determine qual deve ser o trabalho realizado por um agente externo (a) para trocar as posições de q_1 e q_3 e (b) para trocar as posições de q_1 e q_2.

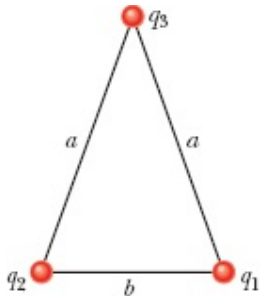


Figura 24-62 Problema 74.

75 Um campo elétrico de aproximadamente 100 V/m é frequentemente observado nas vizinhanças da superfície terrestre. Se esse campo existisse na Terra inteira, qual seria o potencial elétrico de um ponto da superfície? (Considere $V = 0$ no infinito.)

76 Uma esfera gaussiana com 4,00 cm de raio envolve uma esfera com 1,00 cm de raio que contém uma distribuição uniforme de cargas. As duas esferas são concêntricas e o fluxo elétrico através da superfície da esfera gaussiana é $+5{,}60 \times 10^4$ N · m^2/C. Qual é o potencial elétrico a 12,0 cm do centro das esferas?

77 Em uma experiência de Millikan com gotas de óleo (Módulo 22-6), um campo elétrico uniforme de $1{,}92 \times 10^5$ N/C é mantido na região entre duas placas separadas por uma distância de 1,50 cm. Calcule a diferença de potencial entre as placas.

78 A Fig. 24-63 mostra três arcos de circunferência isolantes, de raio $R = 8{,}50$ cm. As cargas dos arcos são $q_1 = 4{,}52$ pC, $q_2 = -2{,}00q_1$ e $q_3 = +3{,}00q_1$. Com $V = 0$ no infinito, qual é o potencial elétrico dos arcos no centro de curvatura comum?

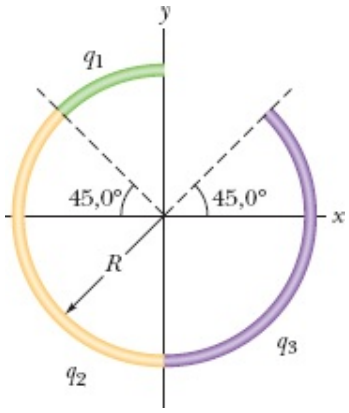


Figura 24-63 Problema 78.

79 Um elétron é liberado, a partir do repouso, no eixo de um dipolo elétrico, mantido fixo no lugar, cuja carga é e e cuja distância entre as cargas é $d = 20$ pm. O ponto em que o elétron é liberado fica no lado positivo do dipolo, a uma distância de $7{,}0d$ do centro do dipolo. Qual é a velocidade do elétron ao chegar a uma distância de $5{,}0d$ do centro do dipolo?

80 A Fig. 24-64 mostra um anel com um raio externo $R = 13{,}0$ cm, um raio interno $r = 0{,}200R$ e uma densidade superficial de cargas uniforme $\sigma = 6{,}20$ pC/m^2. Com $V = 0$ no infinito, determine o potencial

elétrico no ponto P, situado no eixo central do anel a uma distância $z = 2{,}00R$ do centro do anel.

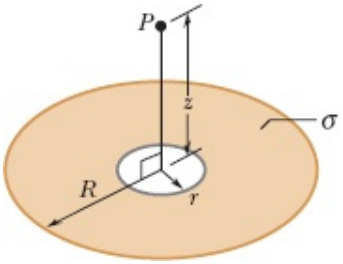


Figura 24-64 Problema 80.

81 *Um elétron em um poço de potencial*. A Fig. 24-65 mostra o potencial elétrico V ao longo do eixo x. A escala do eixo vertical é definida por $V_s = 8{,}0$ V. Um elétron é liberado no ponto $x = 4{,}5$ cm com uma energia inicial de 3,00 eV. (a) Um elétron que está se movendo inicialmente no sentido negativo do eixo x chega a um ponto de retorno (se a resposta for afirmativa, determine a coordenada x do ponto) ou escapa da região mostrada no gráfico (se a resposta for afirmativa, determine a velocidade no ponto $x = 0$)? (b) Um elétron que está se movendo inicialmente no sentido positivo do eixo x chega a um ponto de retorno (se a resposta for afirmativa, determine a coordenada x do ponto) ou escapa da região mostrada no gráfico (se a resposta for afirmativa, determine a velocidade no ponto $x = 7{,}0$ cm)? Determine (c) o módulo F e (d) a orientação (sentido positivo ou negativo do eixo x) da força elétrica a que o elétron está submetido quando se encontra ligeiramente à esquerda do ponto $x = 4{,}0$ cm. Determine (e) o módulo F e (f) a orientação da força elétrica quando o elétron se encontra ligeiramente à direita do ponto $x = 5{,}0$ cm.



Figura 24-65 Problema 81.

82 (a) Se a Terra tivesse uma densidade superficial de carga de 1,0 elétron/m^2 (uma hipótese pouco realista), qual seria o potencial da superfície terrestre? (Tome $V = 0$ no infinito.) Determine (b) o módulo e (c) o sentido (para cima ou para baixo) do campo elétrico nas vizinhanças da superfície terrestre.

83 Na Fig. 24-66, o ponto P está a uma distância $d_1 = 4{,}00$ m da partícula 1 ($q_1 = -2e$) e à distância $d_2 = 2{,}00$ m da partícula 2 ($q_2 = +2e$); as duas partículas são mantidas fixas no lugar. (a) Com $V = 0$ no infinito, qual é o valor de V no ponto P? Se uma partícula de carga $q_3 = +2e$ é deslocada do infinito até o ponto P, (b) qual é o trabalho realizado? (c) Qual é a energia potencial do sistema de três partículas?

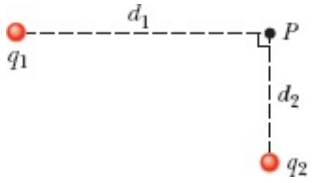


Figura 24-66 Problema 83.

84 Uma esfera condutora com 3,0 cm de raio possui uma carga de 30 nC distribuída uniformemente na superfície. Sejam A um ponto situado a 1,0 cm do centro da esfera, S um ponto da superfície da esfera e B um ponto situado a 5,0 cm do centro da esfera. (a) Qual é a diferença de potencial $V_S - V_B$? (b) Qual é a diferença de potencial $V_A - V_B$?

85 Na Fig. 24-67, uma partícula de carga $+2e$ é deslocada do infinito até o eixo x. Qual é o trabalho realizado? A distância D é 4,00 m.

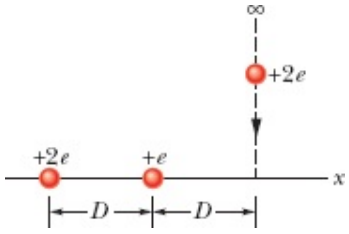


Figura 24-67 Problema 85.

86 A Fig. 24-68 mostra um hemisfério com uma carga de 4,00 μC distribuída uniformemente por todo o volume. A parte plana do hemisfério coincide com o plano xy. O ponto P está situado no plano xy, a uma distância de 15 cm do centro do hemisfério. Qual é o potencial elétrico do ponto P?

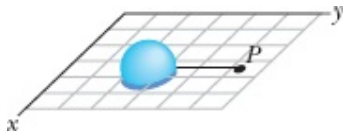


Figura 24-68 Problema 86.

87 Três cargas de +0,12 C formam um triângulo equilátero com 1,7 m de lado. Usando uma energia fornecida à taxa de 0,83 kW, quantos dias são necessários para deslocar uma das cargas para o ponto médio do segmento de reta que liga as outras duas cargas?

88 Duas cargas q = +2,0 μC são mantidas fixas a uma distância d = 2,0 cm uma da outra (Fig. 24-69). (a) Com V = 0 no infinito, qual é o potencial elétrico no ponto C? (b) Qual é o trabalho necessário para deslocar uma terceira carga q = +2,0 μC do infinito até o ponto C? (c) Qual é a energia potencial U da nova configuração?

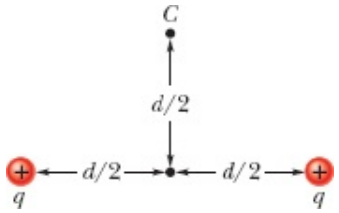


Figura 24-69 Problema 88.

89 Dois elétrons são mantidos fixos no lugar, separados por uma distância de 2,00 μm. Qual é o trabalho necessário para deslocar um terceiro elétron do infinito até a posição em que forma um triângulo equilátero com os outros dois elétrons?

90 Uma partícula, de carga positiva Q, é mantida fixa no ponto P. Uma segunda partícula, de massa m e carga negativa $-q$, se move com velocidade constante em uma circunferência de raio r_1 e centro em P. Escreva uma expressão para o trabalho W que deve ser executado por um agente externo sobre a segunda partícula para que o raio da circunferência aumente para r_2.

91 Duas superfícies planas condutoras carregadas estão separadas por uma distância d = 1,00 e produzem uma diferença de potencial ΔV = 625 V. Um elétron é lançado de uma das placas em direção à outra, perpendicularmente às duas superfícies. Qual é a velocidade inicial do elétron se ele chega à segunda superfície com velocidade zero?

92 Na Fig. 24-70, o ponto P está no centro do retângulo. Com $V = 0$ no infinito, q_1 = 5,00 fC, q_2 = 2,00 fC, q_3 = 3,00 fC e d = 2,54 cm, qual é o potencial elétrico no ponto P?

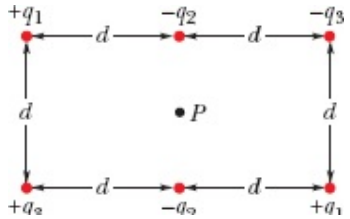


Figura 24-70 Problema 92.

93 Um anel circular fino situado no plano xy e com centro na origem possui uma carga de +16,0 μC distribuída uniformemente. O raio do anel é 3,00 cm. Se o ponto A está na origem e o ponto B está no eixo z em z = 4,00 cm, qual é a diferença de potencial $V_B - V_A$?

94 Considere uma partícula com carga $q = 1{,}50 \times 10^{-8}$ C e tome $V = 0$ no infinito. (a) Quais são a forma e as dimensões de uma superfície equipotencial com um potencial de 30,0 V produzido exclusivamente pela carga q? (b) As superfícies cujos potenciais diferem de um valor constante (1,0 V, por exemplo) são igualmente espaçadas?

95 Uma casca esférica de carga Q e densidade volumétrica de cargas uniforme ρ é limitada pelas superfícies $r = r_1$ e $r = r_2$, com $r_2 > r_1$. Tomando $V = 0$ no infinito, determine o potencial elétrico V em função da distância r em relação ao centro da casca, considerando as regiões (a) $r > r_2$; (b) $r_2 > r > r_1$; (c) $r < r_1$. (d) As soluções são compatíveis para $r = r_2$ e $r = r_1$? (*Sugestão*: Veja o Módulo 23-6.)

96 Uma carga q está distribuída uniformemente em um volume esférico de raio R. Tome $V = 0$ no infinito. Determine (a) o potencial V para $r < R$ e (b) a diferença de potencial entre o ponto $r = R$ e o ponto $r = 0$.

97 Uma esfera de cobre com 1,0 cm de raio é revestida com uma fina camada de níquel. Alguns átomos de níquel são radioativos e se desintegram emitindo elétrons. Metade desses elétrons penetra na esfera de

cobre, depositando uma energia de 100 keV cada um. Os outros elétrons escapam, levando com eles uma carga $-e$. O revestimento de níquel tem uma atividade de $3{,}70 \times 10^8$ decaimentos por segundo. A esfera está pendurada por um fio isolante e está isolada do ambiente. (a) Quanto tempo o potencial da esfera leva para atingir 1000 V? (b) Quanto tempo a temperatura da esfera leva para aumentar de 5,0 K devido à energia depositada pelos elétrons? A capacidade térmica da esfera é 14 J/K.

98 Na Fig. 24-71, uma casca esférica de metal com carga $q = 5{,}00\ \mu C$ e raio $r = 3{,}00$ cm está no centro de outra casca esférica de metal com carga $Q = 15{,}0\ \mu C$ e raio $R = 6{,}00$ cm. (a) Qual é a diferença de potencial entre as esferas? Se as esferas forem ligadas por um fio condutor, qual será a carga (b) na casca menor e (c) na casca maior?

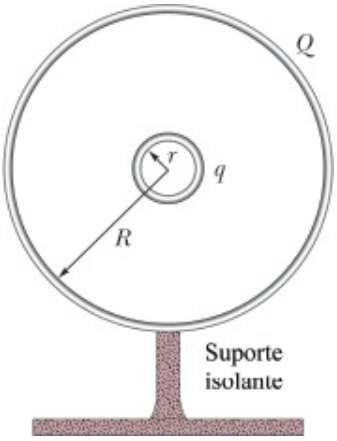


Figura 24-71 Problema 98.

99 (a) Use a Eq. 24-32 para mostrar que o potencial elétrico em um ponto do eixo central de um anel fino de carga q e raio R, situado a uma distância z do centro do anel, é dado por

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\sqrt{z^2 + R^2}}.$$

(b) A partir desse resultado, escreva uma expressão para o valor do campo E em pontos do eixo do anel; compare o resultado com o que foi obtido por integração no Módulo 22-4.

100 Uma partícula alfa (que possui dois prótons) está rumando diretamente para o centro de um núcleo que contém 92 prótons. A partícula alfa possui uma energia cinética inicial de 0,48 pJ. Qual é a menor distância centro a centro a que a partícula alfa consegue chegar do núcleo, supondo que o núcleo seja mantido fixo no lugar?

101 No modelo dos quarks das partículas subatômicas, um próton é formado por três quarks: dois quarks "up", com uma carga de $+2e/3$ cada um, e um quark "down", com uma carga de $-e/3$. Suponha que os três quarks estejam equidistantes no interior do próton. Tome a distância entre os quarks como $1{,}32 \times 10^{-15}$ m e calcule a energia potencial elétrica do sistema (a) apenas para os dois quarks up e (b) para os três quarks.

102 Uma esfera de metal com 16,0 cm de raio possui uma carga de $1{,}50 \times 10^{-8}$ C. Com $V = 0$ no

infinito, qual é o potencial elétrico na superfície da esfera?

103 Na Fig. 24-72, duas partículas com cargas q_1 e q_2 são mantidas fixas no eixo x. Se uma terceira partícula, com carga de +6,0 μC, é deslocada para o ponto P a partir de uma distância infinita, a energia potencial elétrica do sistema de três partículas é igual à energia potencial elétrica do sistema de duas partículas original. Qual é o valor da razão q_1/q_2?

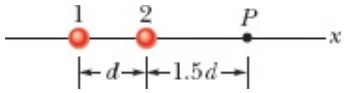


Figura 24-72 Problema 103.