

fatos experimentais que refutam essa assertiva? E se fosse proposta a raiz quadrada  $\sqrt{q_1 q_2}$ ?

16. O quantum de carga é igual a  $1,60 \times 10^{-19}$  C. Existirá, também, um único quantum correspondente para a massa?
17. Um núcleo de  $U^{238}$  separa-se em dois fragmentos iguais. São os dois núcleos assim produzidos provavelmente estáveis ou radioativos?
18. No decaimento



qual é a carga da partícula  $\Lambda$ ? Veja o Ap. F.

19. Verifique que os processos de decaimento de partículas elementares, indicados no Ap. F são consistentes com a conservação da carga.
20. Que significa dizer que uma grandeza física é (a) quantizada ou (b) conservada? Dê alguns exemplos.

SEÇÃO 26-4

1. A força eletrostática entre dois íons iguais, separados por uma distância de  $5,0 \times 10^{-10}$  m, é de  $3,7 \times 10^9$  N. (a) Qual é a carga em cada íon? (b) Quantos elétrons estão faltando em cada íon?  
Resposta: (a)  $3,2 \times 10^{-19}$  C. (b) Dois.
- \* 2. Duas cargas fixas, de  $+1,0 \times 10^{-6}$  C e  $-3,0 \times 10^{-6}$  C, estão afastadas de 10 cm. (a) Onde é que se pode localizar uma terceira carga, de modo que não atue sobre ela força alguma? (b) O equilíbrio dessa terceira carga será estável ou instável?
3. A carga total de duas pequenas esferas positivamente carregadas é de  $5,0 \times 10^{-5}$  C. Como está a carga distribuída entre as duas esferas, sabendo-se que a força de repulsão entre elas, quando separadas de 2,0 m, é de 1,0 N?  
Resposta:  $1,2 \times 10^{-5}$  C e  $3,8 \times 10^{-5}$  C.
- \* 4. Duas cargas positivas iguais estão separadas por uma distância  $2a$ . Uma carga de prova puntiforme é colocada num plano equidistante das duas primeiras, perpendicular ao segmento de reta que as une. (a) Calcule o raio  $r$  da circunferência de simetria nesse plano, para os pontos da qual a força na carga de prova é máxima. (b) Qual a direção e o sentido desta força, supondo-se uma carga de prova positiva?
5. Uma certa carga  $Q$  deve ser dividida em duas:  $q$  e  $Q - q$ . Qual a relação entre  $Q$  e  $q$ , para que a repulsão Coulombiana entre as duas partes seja máxima?  
Resposta:  $q = \frac{1}{2}Q$ .
6. Qual deve ser a distância entre dois prótons para que a força elétrica repulsiva que neles atua seja igual a seus próprios pesos na superfície da Terra? A massa de um próton é igual a  $1,7 \times 10^{-27}$  kg.
7. Duas cargas positivas iguais,  $Q$ , estão fixas e separadas por uma distância  $2a$ . A força sobre uma pequena carga teste positiva,  $q$ , a meio caminho entre as duas, é nula. Deslocando-se a carga teste de uma pequena distância, seja (a) em direção a uma das cargas fixas, ou (b) perpendicularmente à reta que une essas cargas, determine a direção da força sobre  $q$ . O equilíbrio será estável ou instável, em cada um dos casos?  
Resposta: (a) Em direção à posição original; estável (b) Para longe da posição original; instável.
- \* 8. Duas cargas livres puntiformes  $+q$  e  $+4q$  estão separadas por uma distância  $l$ . Uma terceira carga é colocada de tal modo que o sistema formado pelas três cargas fica em equilíbrio. Determinar a posição, o módulo e o sinal da terceira carga. O equilíbrio é estável?
- \* 9. Duas bolas iguais, de massa  $m$  e carga  $q$ , estão penduradas por fios de seda de comprimento  $l$ , como mostra a Fig. 26-8. Admita que o ângulo  $\theta$  é tão pequeno que a  $\text{tg } \theta$  possa ser substituída por  $\text{sen } \theta$  sem erro apreciável. Mostre que, dentro dessa aproximação, teremos,

$$x = \left( \frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg} \right)^{1/3}$$

onde  $x$  é a separação entre as duas bolas. Se  $l = 120$  cm,  $m = 10$  g e  $x = 5,0$  cm, qual o valor de  $q$ ?

Resposta:  $2,4 \times 10^{-8}$  C.

**problemas**

Observe que no men  
nos pode ficar.

derivada deve ser igual  
a zero  
 $r = \frac{Q\sqrt{2}}{2}$

l3, cuidado pois  
o sistema deve  
em equilíbrio

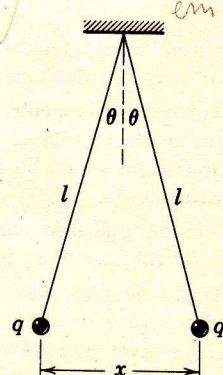


figura 26-8  
Problemas 9, 10, 11

10. Suponha que cada bola do Probl. 3 esteja perdendo carga à razão de  $1,0 \times 10^{-9}$  C/s, sendo essa perda suficientemente lenta para que, em cada momento, as bolas estejam separadas pela distância de equilíbrio, correspondente ao valor instantâneo da carga. Qual o valor inicial da velocidade relativa ( $dx/dt$ ) de aproximação das bolas?

11. Se as bolas da Fig. 26-8 forem condutoras, o que acontecerá após uma delas ser descarregada? Achar a nova separação de equilíbrio.

Resposta: (a) Elas tocam-se e repelem-se. (b) 3,1 cm.

12. As cargas e as coordenadas de duas partículas carregadas, mantidas fixas no plano  $x-y$ , são:  $q_1 = +3,0 \times 10^{-6}$  C,  $x = 3,5$  cm,  $y = 0,50$  cm, e  $q_2 = -4,0 \times 10^{-6}$  C,  $x = -2,0$  cm,  $y = 1,5$  cm. (a) Determine o módulo e a direção da força sobre  $q_2$ . (b) Onde colocará você uma terceira carga  $q_3 = +4,0 \times 10^{-6}$  C, tal que a força total sobre  $q_2$  é nula?

13. Duas esferas condutoras idênticas, carregadas com cargas de sinais contrários, atraem-se com uma força de 0,108 N, quando separadas de 0,500 m. As esferas são ligadas por um fio condutor, que é, então, removido, passando deste modo a se repelirem com uma força de 0,036 N. Quais eram os valores iniciais das cargas sobre as esferas?

Resposta:  $\pm 1,0 \times 10^{-6}$  C;  $\mp 3,0 \times 10^{-6}$  C.

14. Dois estudantes de Engenharia (João com 90 kg e Maria com 45 kg) encontram-se afastados 30 m. Consideremos que o desbalanceamento entre as suas cargas positivas e negativas seja de 0,01%, um dos estudantes sendo positivo e o outro negativo. Faça uma estimativa da força eletrostática atrativa entre eles. (Sugestão: Substitua os estudantes por esferas equivalentes de água.)

15. Duas partículas com cargas iguais e afastadas de  $3,2 \times 10^{-3}$  m são largadas a partir do repouso. A aceleração da primeira partícula é medida como sendo de  $7,0$  m/s<sup>2</sup> e a da segunda como sendo de  $9,0$  m/s<sup>2</sup>. Sendo a massa da primeira partícula de  $6,3 \times 10^{-7}$  kg, quais são (a) a massa da segunda partícula e (b) a carga comum a ambas?

Resposta: (a)  $4,9 \times 10^{-7}$  kg. (b)  $7,1 \times 10^{-11}$  C.

16. (a) Quantos elétrons teriam de ser removidos da moeda do Exemplo 1 para deixá-la com uma carga de  $+10^{-7}$  C? (b) A que fração dos elétrons da moeda corresponde essa carga?

17. (a) Qual o valor da carga positiva que teria de ser colocada igualmente na Terra e na Lua, de modo a neutralizar a atração gravitacional? (b) Será necessário conhecer a distância da Terra à Lua para resolver este problema? (c) Quantos quilogramas de hidrogênio serão necessários para fornecer a carga calculada em (a)?

Resposta: (a)  $5,7 \times 10^{13}$  C. (b) Não. (c) 630 toneladas.

18. Calcule, aproximadamente, o número de Coulombs de cargas positivas existente num copo d'água.

19. O fluxo médio (para toda superfície terrestre) dos prótons dos raios cósmicos que penetram nas camadas superiores da atmosfera é de 0,15 prótons por centímetro quadrado por segundo. Qual o valor da corrente total que a Terra recebe sob a forma de prótons dos raios cósmicos? O raio da Terra é de  $6,4 \times 10^6$  m.

Resposta: 0,12 A.

20. Três partículas carregadas estão dispostas ao longo de uma reta e separadas por uma distância  $d$ , como está indicado na Fig. 26-9. As cargas  $q_1$  e  $q_2$  são mantidas fixas. Supondo que  $q_3$  esteja livre, mas que, de fato, se mantenha estacionária, qual é a relação entre  $q_1$  e  $q_2$ ?

21. Três pequenas bolas, cada qual com a massa de 10 g, estão suspensas de um mesmo ponto por três fios de seda de 1,0 m de comprimento. As bolas têm cargas idênticas e estão situadas nos vértices de um triângulo equilátero de 0,1 m de lado. Qual o valor da carga de cada bola? Resposta:  $6,0 \times 10^{-8}$  C.

22. Três cargas puntiformes de  $+4,0 \times 10^{-6}$  C estão afixadas nos vértices de um triângulo equilátero de lado igual a 10 cm. Qual é a força (módulo e direção) atuando sobre cada uma dessas cargas?

23. Coloca-se uma carga  $Q$  em dois dos vértices opostos de um quadrado, e uma carga  $q$  em cada um dos demais. (a) Qual a relação entre  $Q$  e  $q$  para que a força resultante nas cargas  $Q$  seja nula? (b) Será possível escolher um valor de  $q$  de modo que a resultante seja nula sobre qualquer carga?

Resposta: (a)  $Q = -2\sqrt{2}q$ . (b) Não.

24. Qual é a força resultante que age sobre a carga do vértice inferior esquerdo



figura 26-9  
Problema 20

→ a carga q3 não é em função do tempo  
 $q(t) = q - 10^{-9}t$ , isto é,  
a  $t=0$  é o problema 9

do quadrado da Fig. 26-10? Suponha que  $q = 1,0 \times 10^{-7} \text{ C}$  e  $a = 5,0 \text{ cm}$ . As cargas estão fixas.

25. Um cubo de aresta  $a$  tem uma carga puntiforme  $q$  colocada em cada vértice. (a) Mostre que o módulo da força resultante sobre cada carga é

$$F = \frac{0,261 q^2}{\epsilon_0 a^2}$$

- (b) Qual a direção de  $F$  em relação às arestas do cubo?  
 Resposta: (b) Ao longo de uma das diagonais do cubo e dirigida para fora do cubo.

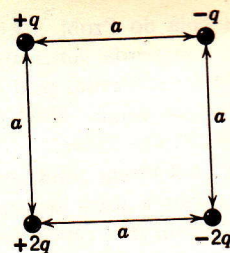


figura 26-10  
 Problema 24

26. A Fig. 26-11 mostra uma barra longa, isolante, sem massa, de comprimento  $l$ , presa por um pino no centro e balanceada com um peso  $W$ , a uma distância  $x$  da sua extremidade esquerda. Nas extremidades esquerda e direita da barra estão presas cargas positivas  $q$  e  $2q$ , respectivamente. A uma distância  $h$ , diretamente abaixo de cada uma dessas cargas encontra-se afixada uma carga positiva  $Q$ . (a) Determine a distância  $x$  para a posição do peso, quando a barra está balanceada. (b) Qual deve ser o valor de  $h$  para que a barra não exerça uma força vertical sobre o suporte, na situação balanceada? Despreze a interação entre as cargas nas extremidades opostas da barra.

$\rightarrow \frac{kqQ + Wl}{2W}$

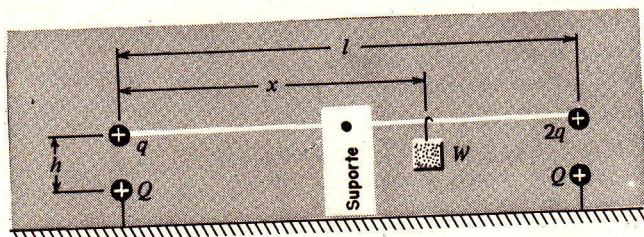


figura 26-11  
 Problema 26

SEÇÃO 26-7

27. Um elétron é lançado com uma velocidade inicial de  $3,24 \times 10^5 \text{ m/s}$  diretamente contra um próton que está em repouso. Se o elétron estiver inicialmente a uma distância grande do próton, qual será seu afastamento do próton quando sua velocidade for igual a duas vezes o valor inicial? (Sugestão: Usar o teorema do trabalho-energia.)  
 Resposta:  $1,6 \times 10^{-9} \text{ m}$ .
28. No decaimento radioativo do  $U^{238}$  (veja a Eq. 26-5) há um instante em que o centro da partícula  $\alpha$  emitida está a  $9 \times 10^{-15} \text{ m}$  do centro do núcleo resultante de  $Th^{234}$ . Nesse instante, (a) qual a força que age sobre a partícula  $\alpha$ ? (b) Qual a aceleração desta?