

Figura 9 Problema 3.

3. En el trayecto de retorno de un rayo típico (véase la figura 9) fluye una corriente de  $2.5 \times 10^4$  A durante  $20 \mu\text{s}$ . ¿Cuánta carga se transfiere en este proceso?
4. Dos partículas igualmente cargadas, separadas por una distancia de 3.20 mm, se liberan del reposo. Se observa que la aceleración inicial de la primera partícula es de  $7.22 \text{ m/s}^2$  y que la de la segunda es de  $9.16 \text{ m/s}^2$ . La masa de la primera partícula es de  $6.31 \times 10^{-7} \text{ kg}$ . Determine (a) la masa de la segunda partícula y (b) la magnitud de la carga común.
5. La figura 10a muestra dos cargas,  $q_1$  y  $q_2$ , separadas por una distancia fija  $d$ . (a) Encuentre el valor de la fuerza eléctrica que actúa sobre  $q_1$ . Suponga que  $q_1 = q_2 = 21.3 \mu\text{C}$  y  $d = 1.52 \text{ m}$ . (b) Una tercera carga  $q_3 = 21.3 \mu\text{C}$  se introduce y se coloca como se muestra en la figura 10b. Calcule la intensidad de la fuerza eléctrica  $q_1$  ahora.

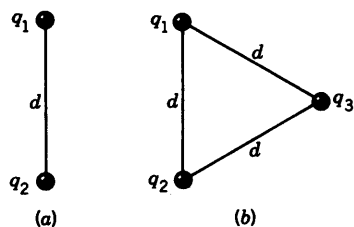


Figura 10 Problema 5.

6. Dos esferas conductoras idénticas, ① y ②, portan cantidades iguales de carga y están fijas a una distancia muy grande en comparación con sus diámetros. Se repelen entre sí con una fuerza eléctrica de 88 mN. Supóngase, ahora, que una tercera esfera idéntica ③, la cual tiene un mango aislante y que inicialmente no está cargada, se toca primero con la esfera ①, luego con la esfera ②, y finalmente se retira. Halle la fuerza entre las esferas ① y ② ahora. Véase la figura 11.

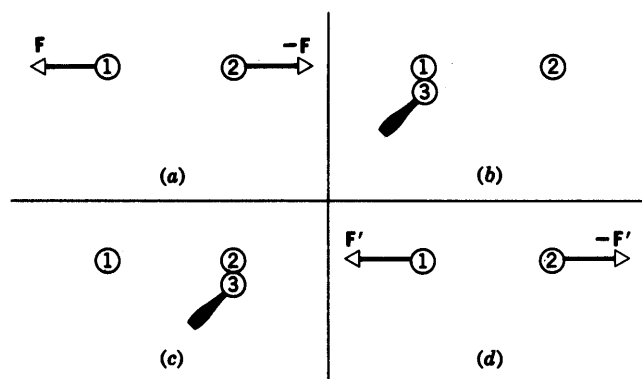


Figura 11 Problema 6.

7. Tres partículas cargadas se encuentran en una línea recta y están separadas por una distancia  $d$  como se muestra en la figura 12. Las cargas  $q_1$  y  $q_2$  se mantienen fijas. La carga  $q_3$ , la cual puede moverse libremente, está en equilibrio bajo la acción de las fuerzas eléctricas. Halle  $q_1$  en términos de  $q_2$ .

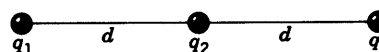


Figura 12 Problema 7.

8. En la figura 13, determine las componentes (a) horizontal y (b) vertical de la fuerza eléctrica resultante sobre la carga de la esquina inferior izquierda del cuadrado. Suponga que  $q = 1.13 \mu\text{C}$  y  $a = 15.2 \text{ cm}$ . Las cargas están en reposo.

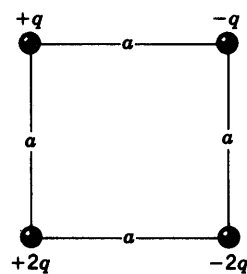


Figura 13 Problema 8.

9. Dos cargas positivas de  $4.18 \mu\text{C}$  cada una, y una carga negativa, de  $-6.36 \mu\text{C}$ , están fijas en los vértices de un triángulo equilátero de 13.0 cm de lado. Calcule la fuerza eléctrica sobre la carga negativa.
10. Cada una de dos pequeñas esferas está cargada positivamente, siendo la carga total de  $52.6 \mu\text{C}$ . Cada esfera repele a la otra con una fuerza de 1.19 N cuando las esferas están separadas 1.94 m. Calcule la carga sobre cada esfera.

11. Dos esferas conductoras idénticas, que tienen cargas de signo opuesto, se atraen entre sí con una fuerza de 0.108 N cuando están separadas por 50.0 cm. Las esferas se conectan súbitamente con un alambre conductor delgado, que luego se retira, y después las esferas se repelen entre sí con una fuerza de 0.0360 N. ¿Cuáles eran las cargas iniciales de las esferas?
12. Dos cargas fijas, de  $+1.07 \mu\text{C}$  y  $-3.28 \mu\text{C}$ , tienen una separación de 61.8 cm. ¿Dónde puede estar una tercera carga de modo que no actúe sobre ella ninguna carga neta?
13. Dos cargas puntuales libres  $+q$  y  $+4q$  están separadas por una distancia  $L$ . Se coloca una tercera carga de modo que todo el sistema esté en equilibrio. (a) Halle el signo, la magnitud, y la ubicación de la tercera carga. (b) Demuestre que el equilibrio es inestable.
14. Una carga  $Q$  está fija en cada uno de dos vértices opuestos de un cuadrado. Otra carga  $q$  está situada en cada uno de los otros dos vértices. (a) Si la fuerza eléctrica resultante sobre  $Q$  es cero, ¿cómo se relacionan  $Q$  y  $q$ ? (b) ¿Podría elegirse a  $q$  de modo que la fuerza eléctrica resultante sobre cada carga sea cero? Explique su respuesta.
15. Cierta carga  $Q$  va a dividirse en dos partes  $(Q - q)$  y  $q$ . ¿Cuál es la relación de  $Q$  a  $q$  si las dos partes, separadas por una distancia dada, han de tener una repulsión Coulomb máxima?
16. Dos diminutas bolas semejantes de masa  $m$  están colgando de hilos de seda de longitud  $L$  y portan cargas iguales  $q$  como en la figura 14. Suponga que  $\theta$  es tan pequeño que tan  $\theta$  puede ser reemplazado por su igual aproximado,  $\sin \theta$ . (a) Para esta aproximación demuestre que, para el equilibrio,

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

en donde  $x$  es la separación entre las bolas. (b) Si  $L = 122$  cm,  $m = 11.2$  g, y  $x = 4.70$  cm, ¿cuál es el valor de  $q$ ?

17. Si las bolas de la figura 14 son conductoras, (a) ¿qué les sucede después de que una se ha descargado? Explique la respuesta. (b) Halle la nueva separación de equilibrio.
18. En el problema 16, suponga que cada bola está perdiendo carga a razón de 1.20 nC/s. ¿Con qué velocidad relativa

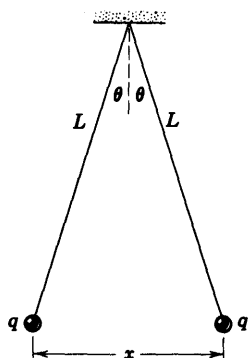


Figura 14 Problemas 16, 17 y 18.

instantánea ( $= dx/dt$ ) se acercan entre sí las bolas inicialmente?

19. Dos cargas puntuales positivas iguales  $q$  se mantienen separadas por una distancia fija  $2a$ . Una carga puntual de prueba se localiza en un plano que es normal a la línea que une a estas cargas y a la mitad entre ellas. Determine el radio  $R$  del círculo en este plano para el cual la fuerza sobre la partícula de prueba tiene un valor máximo. Véase la figura 15.

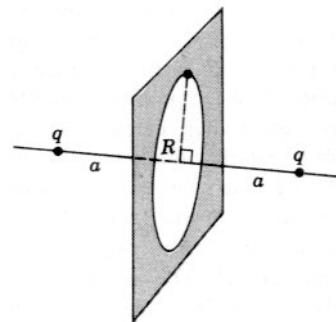


Figura 15 Problema 19.

20. Tres pequeñas bolas, cada una de 13.3 g de masa, están suspendidas separadamente a partir de un punto común por hilos de seda, cada uno de 1.17 m de longitud. Las bolas están cargadas idénticamente y penden de los vértices de un triángulo equilátero de 15.3 cm de lado. Encuentre la carga de cada bola.
21. Un cubo de arista  $a$  porta una carga puntual  $q$  en cada esquina. Demuestre que la fuerza eléctrica resultante sobre cualquiera de las cargas está dada por

$$F = \frac{0.262q^2}{\epsilon_0 a^2},$$

dirigida a lo largo de la diagonal del cubo hacia afuera del mismo.

22. Dos cargas positivas  $+Q$  se mantienen fijas a una distancia  $d$  de separación. Una partícula de carga negativa  $-q$  y masa  $m$  se sitúa en el centro entre ellas y luego, tras un pequeño desplazamiento perpendicular a la línea que las une, se deja en libertad. Demuestre que la partícula describe un movimiento armónico simple de periodo  $(\epsilon_0 m \pi^3 d^3 / qQ)^{1/2}$ .
23. Calcule el periodo de oscilación de una partícula de carga positiva  $+q$  desplazada del punto medio y a lo largo de la línea que une a las cargas en el problema 22.

### Sección 27-5 La carga está cuantizada

24. Halle la carga total en coulombs de 75.0 kg de electrones.
25. En un cristal de sal, un átomo de sodio transfiere uno de sus electrones a un átomo vecino de cloro, formando un enlace iónico. El ion positivo de sodio y el ion negativo de cloro resultantes se atraen entre sí a causa de la fuerza

4. En un campo eléctrico uniforme cerca de la superficie de la Tierra, una partícula que tiene una carga de  $-2.0 \times 10^{-9}$  C recibe la acción de una fuerza eléctrica hacia abajo de  $3.0 \times 10^{-6}$  N. (a) Halle la magnitud del campo eléctrico. (b) ¿Cuáles son la magnitud y la dirección de la fuerza eléctrica ejercida sobre un protón situado en este campo? (c) ¿Cuál es la razón de la fuerza eléctrica a la fuerza gravitatoria en este caso?

### Sección 28-3 El campo eléctrico de las cargas puntuales

5. ¿Cuál es la magnitud de una carga puntual elegida de tal modo que el campo eléctrico alejado a una distancia de 75.0 cm tenga una magnitud de 2.30 N/C?
6. Calcule el momento dipolar de un electrón y un protón con una separación de 4.30 nm.
7. Calcule la magnitud del campo eléctrico, debido a un dipolo eléctrico de un momento dipolar de  $3.56 \times 10^{-29}$  C · m, en un punto a 25.4 nm de distancia a lo largo del eje bisector.
8. Halle el campo eléctrico en el centro del cuadrado de la figura 21. Suponga que  $q = 11.8$  nC y  $a = 5.20$  cm.

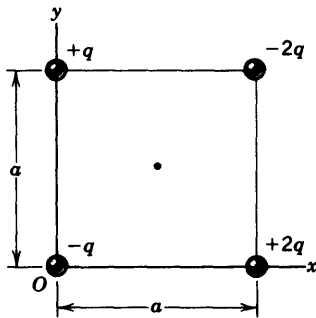


Figura 21 Problema 8.

9. La carátula de un reloj tiene cargas puntuales negativas  $-q, -2q, -3q, \dots, -12q$  fijadas en las posiciones de los números correspondientes. Las manecillas del reloj no perturban al campo. ¿En qué momento la manecilla de las horas apunta en la misma dirección que el campo eléctrico en el centro de la carátula? (Sugerencia: Considere cargas diametralmente opuestas.)
10. En la figura 4, suponga que ambas cargas son positivas. Demuestre que  $E$  en el punto  $P$  de la figura, y suponiendo que  $x \gg d$ , está dado por

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

11. En la figura 4, considere un punto a una distancia  $z$  desde el centro de un dipolo a lo largo de su eje. (a) Demuestre que, para valores grandes de  $z$ , el campo eléctrico está dado por

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{z^3}.$$

(Compare con el campo en un punto de la bisectriz perpendicular.) (b) ¿Cuál es la dirección de  $E$ ?

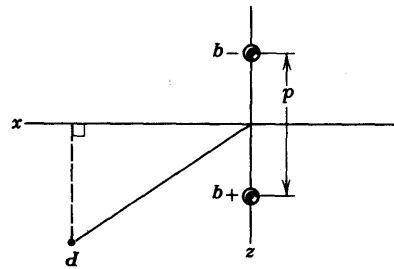


Figura 22 Problema 12

12. Demuestre que las componentes de  $E$  debidas a un dipolo están dadas, en puntos distantes, por

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3pxz}{(x^2 + z^2)^{5/2}}, \quad E_z = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p(2z^2 - x^2)}{(x^2 + z^2)^{5/2}},$$

donde  $x$  y  $z$  son las coordenadas del punto  $P$  en la figura 22. Demuestre que este resultado general abarca los resultados especiales de la ecuación 10 y del problema 11.

13. Un tipo de cuadrupolo eléctrico está formado por cuatro cargas colocadas en los vértices de un cuadrado de lado  $2a$ . El punto  $P$  se encuentra a una distancia  $x$  del centro del cuadrupolo en una línea paralela a dos lados del cuadrado como se muestra en la figura 23. Para  $x \gg a$ , demuestre que el campo eléctrico en  $P$  está dado, aproximadamente, por

$$E = \frac{3(2qa^2)}{2\pi\epsilon_0 x^4}.$$

(Sugerencia: Considere al cuadrupolo como dos dipolos.)

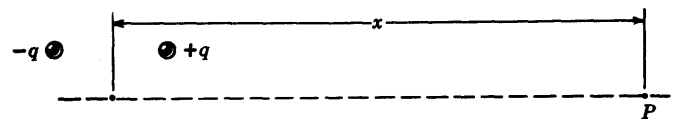


Figura 23 Problema 13.

14. La figura 24 muestra un tipo de cuadrupolo eléctrico. Éste consta de dos dipolos y sus efectos en puntos externos no se cancelan totalmente. Demuestre que el valor de  $E$  en el eje del cuadrupolo para puntos a una distancia  $z$  del centro (supóngase que  $z \gg d$ ) está dado por

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

donde  $Q (= 2qd^2)$  se llama *momento cuadrupolar* de la distribución de cargas.

15. Considere el anillo de carga de la sección 28-5. Suponga que la carga  $q$  no esté distribuida uniformemente en el anillo, sino que la carga  $q_1$  está distribuida uniformemente en la semicircunferencia y que la carga  $q_2$  está distribuida uniformemente en la otra mitad. Sea  $q_1 + q_2 = q$ . (a) Halle

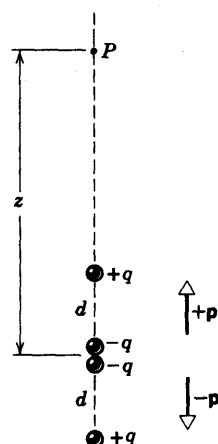


Figura 24 Problema 14.

la componente del campo eléctrico en cualquier punto del eje dirigido a lo largo del eje y compare con el caso uniforme. (b) Halle la componente del campo eléctrico en cualquier punto del eje perpendicular al eje y compare con el caso uniforme.

#### Sección 28-4 Líneas de fuerza

16. La figura 25 muestra las líneas de campo de un campo eléctrico; el espaciamiento de las líneas, perpendicularmente a la página, es el mismo en cualquier parte. (a) Si la magnitud del campo en A es de 40 N/C, ¿qué fuerza experimenta un electrón en ese punto? (b) ¿Cuál es la magnitud del campo en B?

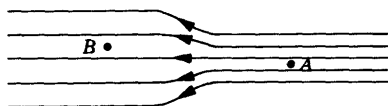


Figura 25 Problema 16.

17. Dibuje cualitativamente las líneas de fuerza asociadas con un disco delgado, circular, cargado uniformemente, de radio  $R$ . (Sugerencia: Considere como casos limitantes a puntos muy cercanos al disco, en donde el campo eléctrico es perpendicular a la superficie, y puntos muy alejados de él, en donde el campo eléctrico es como si se tuviera una carga puntual.)
18. Dibuje cualitativamente las líneas de fuerza asociadas con dos cargas puntuales separadas  $+q$  y  $-2q$ .
19. Tres cargas están dispuestas en un triángulo equilátero como se muestra en la figura 26. Considere las líneas de fuerza debidas a  $+Q$  y  $-Q$ , y a partir de ellas identifique la dirección de la fuerza que actúa sobre  $+q$  debido a la presencia de las otras dos cargas. (Sugerencia: Véase la figura 8.)
20. (a) En la figura 27, encuentre el punto (o los puntos) en donde el campo eléctrico es cero. (b) Dibuje cualitativamente las líneas de fuerza.

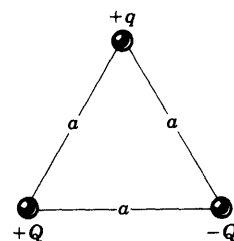


Figura 26 Problema 19.

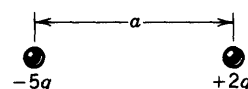


Figura 27 Problema 20.

21. Dos cargas puntuales están fijas y separadas por una distancia  $d$  (Fig. 28). Trace  $E(x)$ , suponiendo que  $x = 0$  en la carga de la izquierda. Considere valores de  $x$  tanto positivos como negativos. Grafique  $E$  como positivo si  $E$  apunta hacia la derecha y negativo si  $E$  apunta hacia la izquierda. Suponga que  $q = +1.0 \times 10^{-6}$  C,  $q_2 = +3.0 \times 10^{-6}$  C, y  $d = 10$  cm.

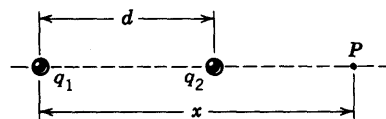


Figura 28 Problema 21.

22. Las cargas  $+q$  y  $-2q$  están fijas y separadas una distancia  $d$  como en la figura 29. (a) Encuentre  $E$  en los puntos A, B y C. (b) Dibuje aproximadamente las líneas del campo eléctrico.

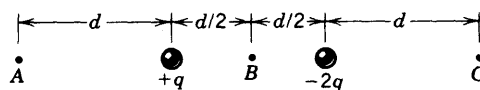


Figura 29 Problema 22.

23. Suponga que el exponente en la ley de Coulomb no sea 2 sino  $n$ . Demuestre que para  $n \neq 2$  es imposible construir líneas que tengan las propiedades enunciadas para las líneas de fuerza en la sección 28-4. Para simplificar, considere una carga puntual aislada.

#### Sección 28-5 El campo eléctrico de las distribuciones de carga continua

24. Demuestre que la ecuación 27, para el campo eléctrico de un disco cargado en puntos sobre su eje, se reduce al campo de una carga puntual para  $z \gg R$ .
25. ¿A qué distancia a lo largo del eje de un disco cargado de radio  $R$  es la intensidad del campo eléctrico igual a un medio del valor del campo en la superficie del disco en el centro?

26. ¿A qué distancia a lo largo del eje de un anillo cargado de radio  $R$  es máxima la intensidad del campo eléctrico axial?
27. (a) ¿Qué carga total  $q$  debe contener un disco de 2.50 cm de radio para que el campo eléctrico en la superficie del disco en su centro iguale al valor al cual el aire se descompone eléctricamente, produciendo chispas? Véase la tabla 1. (b) Suponga que cada átomo en la superficie tenga un área de sección transversal efectiva de  $0.015 \text{ nm}^2$ . ¿Cuántos átomos están en la superficie del disco? (c) La carga en (a) resulta de alguno de los átomos de la superficie que portan un electrón en exceso. ¿Qué fracción de los átomos de la superficie deben estar cargados así?
28. Escriba la ecuación 27 en una forma que sea válida para una  $z$  tanto negativa como positiva. (Sugerencia: Al realizar la integral de la ecuación 26, se obtiene la cantidad  $z/\sqrt{z^2 + R^2}$ . ¿Cuál es el valor de esta cantidad para  $z < 0$ ?)
29. Abajo se dan los valores medidos del campo eléctrico  $E$  a una distancia  $z$  a lo largo del eje de un disco de plástico cargado:

$z$ (cm)	$E$ ( $10^7 \text{ N/C}$ )
0	2.043
1	1.732
2	1.442
3	1.187
4	0.972
5	0.797

Calcule (a) el radio del disco y (b) la carga sobre él.

30. Una varilla de vidrio está doblada en un semicírculo de radio  $r$ . Una carga  $+q$  está uniformemente distribuida a lo largo de la mitad superior, y una carga  $-q$  está uniformemente distribuida a lo largo de la mitad inferior, como se muestra en la figura 30. Determine el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  en  $P$ , el centro del semicírculo.

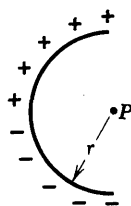


Figura 30 Problema 30.

31. Una varilla no conductora de longitud finita  $L$  contiene una carga total  $q$ , distribuida uniformemente a lo largo de ella. Demuestre que  $E$  en el punto  $P$  sobre la bisectriz perpendicular en la figura 31 está dado por

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 y} \frac{1}{(L^2 + 4y^2)^{3/2}}.$$

32. Una barra aislante de longitud  $L$  tiene carga  $-q$  distribuida uniformemente a lo largo de su longitud, como se muestra en la figura 32. (a) ¿Cuál es la densidad de carga lineal de la barra? (b) Calcule el campo eléctrico en el punto  $P$  a una distancia  $a$  del extremo de la barra. (c) Si  $P$  estuviese

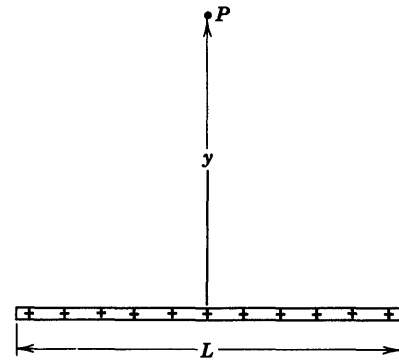


Figura 31 Problema 31.

muy lejos de la barra en comparación con  $L$ , la barra podría considerarse como una carga puntual. Demuestre que la respuesta de (b) se reduce al campo eléctrico de una carga puntual para  $a \gg L$ .

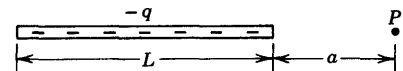


Figura 32 Problema 32.

33. Dibuje cualitativamente las líneas de fuerza asociadas con tres líneas de carga largas y paralelas, en un plano perpendicular. Suponga que las intersecciones de las líneas de carga con tal plano forman un triángulo equilátero (Fig. 33) y que cada línea de carga tiene la misma densidad de carga lineal  $\lambda$ .

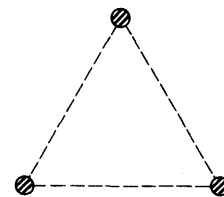


Figura 33 Problema 33.

34. Una barra aislante "semiinfinita" (Fig. 34) tiene una carga constante por unidad de longitud igual a  $\lambda$ . Demuestre que el campo eléctrico en el punto  $P$  forma un ángulo de  $45^\circ$  con la barra y que este resultado es independiente de la distancia  $R$ .
35. Una copa hemisférica no conductora de radio interior  $R$  tiene una carga total  $q$  distribuida uniformemente sobre su superficie interior. Determine el campo eléctrico en el centro de curvatura. (Sugerencia: Considere a la copa como una pila de anillos.)

#### Sección 28-6 Una carga puntual en un campo eléctrico

36. Un arma de defensa considerada para la Iniciativa de Defensa Estratégica (Star Wars) usa haces de partículas.



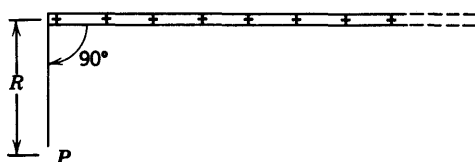


Figura 34 Problema 34.

Por ejemplo, un haz de protones que choque con un proyectil dirigido (misil) enemigo podría volverlo inocuo. Tales haces pueden producirse en "cañones" que emplean campos eléctricos para acelerar a las partículas cargadas. (a) ¿Qué aceleración experimentaría un protón si el campo eléctrico fuera de  $2.16 \times 10^4$  N/C? (b) ¿Qué velocidad adquiriría el protón si el campo actuara sobre una distancia de 1.22 cm?

37. Un electrón que se mueve con una velocidad de  $4.86 \times 10^6$  m/s se dispara en forma paralela a un campo eléctrico de 1030 N/C de intensidad dispuesto de tal modo que retarde su movimiento. (a) ¿Qué distancia recorrerá el electrón en el campo antes de llegar (momentáneamente) al reposo y (b) cuánto tiempo transcurriría? (c) Si el campo eléctrico termina abruptamente después de 7.88 mm, ¿qué fracción de su energía cinética inicial perderá el electrón al atravesarlo?
38. En una región situada entre dos placas cargadas opuestamente existe un campo eléctrico uniforme. Un electrón se suelta desde el reposo de la superficie de la placa cargada negativamente y golpea la superficie de la placa opuesta, situada a 1.95 cm, 14.7 ns más tarde. (a) ¿Cuál es la velocidad del electrón al golpear la segunda placa? (b) ¿Cuál es la magnitud del campo eléctrico?
39. Dos cargas iguales y opuestas de  $1.88 \times 10^{-7}$  C de magnitud se mantienen separadas por 15.2 cm. (a) ¿Cuáles son la magnitud y la dirección de  $E$  en el punto medio entre las cargas? (b) ¿Qué fuerza (magnitud y dirección) actuaría sobre un electrón situado allí?
40. Dos cargas puntuales de magnitudes  $q_1 = 2.16 \mu\text{C}$  y  $q_2 = 85.3 \text{ nC}$  están separadas por 11.7 cm. (a) Calcule la magnitud del campo eléctrico que cada una produce en el sitio donde está la otra. (b) Determine la magnitud de la fuerza sobre cada carga.
41. En el experimento de Millikan, una gota de  $1.64 \mu\text{m}$  de radio y  $0.851 \text{ g/cm}^3$  de densidad se encuentra en equilibrio cuando se aplica un campo eléctrico de  $1.92 \times 10^5$  N/C. Determine la carga en la gota, en términos de  $e$ .
42. Dos grandes placas de cobre paralelas están separadas por 5.00 cm y tienen un campo eléctrico uniforme entre ellas como se muestra en la figura 35. De la placa negativa se suelta un electrón, al mismo tiempo que, de la placa positiva, se suelta un protón. Desprecie la fuerza de las partículas entre sí y calcule sus distancias respecto a la placa positiva cuando se cruzan. ¿No le sorprende que no necesite conocer el campo eléctrico para resolver este problema?
43. En uno de los primeros experimentos (1911), Millikan observó que aparecían, entre otras, las siguientes cargas medidas en tiempos diferentes en una misma gota:

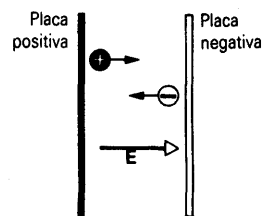


Figura 35 Problema 42.

$6.563 \times 10^{-19} \text{ C}$	$13.13 \times 10^{-19} \text{ C}$	$19.71 \times 10^{-19} \text{ C}$
$8.204 \times 10^{-19} \text{ C}$	$16.48 \times 10^{-19} \text{ C}$	$22.89 \times 10^{-19} \text{ C}$
$11.50 \times 10^{-19} \text{ C}$	$18.08 \times 10^{-19} \text{ C}$	$26.13 \times 10^{-19} \text{ C}$

¿Qué valor puede deducirse de estos datos para el cuanto de carga  $e$ ?

44. Un campo vertical uniforme  $E$  está establecido en el espacio entre dos placas paralelas grandes. Dentro del campo se encuentra suspendida, de un hilo de longitud  $L$ , una pequeña esfera conductora de masa  $m$ . Encuentre el periodo de este péndulo cuando a la esfera se le proporciona una carga  $+q$  si la placa inferior (a) está cargada positivamente y (b) está cargada negativamente?
45. En el problema muestra 6, determine la desviación total de la gota de tinta al golpear el papel a 6.8 mm del extremo de las placas desviadoras (deflectoras); véase la figura 14.
46. Un electrón está limitado a moverse a lo largo del eje del anillo de carga, como se vio en la sección 28-5. Demuestre que el electrón puede realizar oscilaciones pequeñas, cuando pasa por el centro del anillo, con una frecuencia dada de

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

47. Un electrón es proyectado como en la figura 36 con una velocidad de  $v_0 = 5.83 \times 10^6$  m/s y a un ángulo de  $\theta = 39.0^\circ$ ;  $E = 1870$  N/C (dirigido hacia arriba),  $d = 1.97$  cm, y  $L = 6.20$  cm. ¿Golpeará el electrón a cualquiera de las placas? Si golpea a una placa, ¿a cuál de ellas golpeará y a qué distancia del extremo izquierdo?

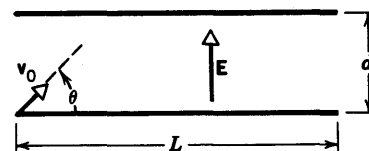


Figura 36 Problema 47.

### Sección 28-7 Un dipolo en un campo eléctrico

48. Un dipolo eléctrico, que consta de cargas de  $1.48 \text{ nC}$  de magnitud separadas por  $6.23 \mu\text{m}$  se encuentra dentro de un campo eléctrico de  $1100 \text{ N/C}$  de intensidad. (a) ¿Cuál es la magnitud del momento dipolar eléctrico? (b) ¿Cuál es la diferencia de la energía potencial correspondiente a las orientaciones dipolares paralela y antiparalela al campo?

a través de la base plana. (Use la normal apuntando hacia afuera.)

### Sección 29-3 La ley de Gauss

4. La carga en un conductor aislado originalmente descargado se separa al sostener una barra cargada positivamente muy cerca de él, como se muestra en la figura 23. Calcule el flujo para las cinco superficies gaussianas mostradas. Suponga que la carga negativa inducida sobre el conductor es igual a la carga positiva  $q$  sobre la barra.

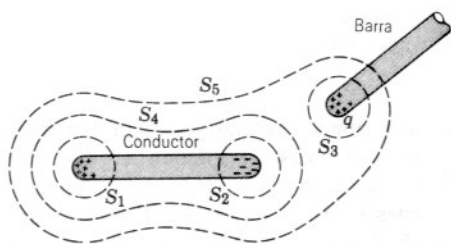


Figura 23 Problema 4.

5. Una carga puntual de  $1.84 \mu\text{C}$  está en el centro de una superficie gaussiana cúbica de  $55 \text{ cm}$  de arista. Halle  $\Phi_E$  a través de la superficie.
6. El flujo eléctrico neto a través de cada cara de un dado tiene una magnitud en unidades de  $10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$  igual al número  $N$  de puntos en la cara (del 1 al 6). El flujo es hacia adentro para  $N$  impar y hacia afuera para  $N$  par. ¿Cuál es la carga neta dentro del dado?
7. Una carga puntual  $+q$  está a una distancia  $d/2$  de una superficie cuadrada de lado  $d$  y está directamente arriba del centro del cuadrado como se muestra en la figura 24. Halle el flujo eléctrico a través del cuadrado. (Sugerencia: Considere el cuadrado como una cara de un cubo con arista  $d$ .)

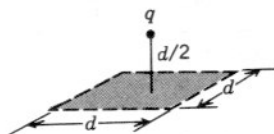


Figura 24 Problema 7.

8. Una red para cazar mariposas está en un campo eléctrico  $E$  uniforme como se muestra en la figura 25. El aro, un círculo de radio  $a$ , está alineado perpendicularmente al campo. Halle el flujo eléctrico a través de la red, respecto a la normal hacia afuera.
9. Experimentalmente se determina que el campo eléctrico en cierta región de la atmósfera de la Tierra está dirigido verticalmente hacia abajo. A una altitud de  $300 \text{ m}$  el campo es de  $58 \text{ N/C}$  y a una altitud de  $200 \text{ m}$  es de  $110 \text{ N/C}$ . Calcule la cantidad neta de carga contenida en un cubo de  $100 \text{ m}$  de arista ubicado a una altitud entre  $200$  y  $300 \text{ m}$ . Desprecie la curvatura de la Tierra.

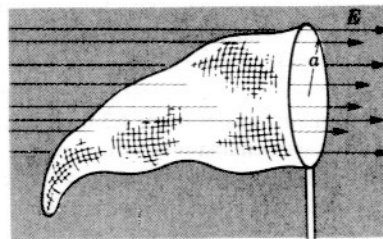


Figura 25 Problema 8.

10. Encuentre el flujo neto a través del cubo del problema 2 y la figura 22 si el campo eléctrico está dado en unidades del SI por (a)  $E = 3y\mathbf{j}$  y (b)  $E = -4\mathbf{i} + (6 + 3y)\mathbf{j}$ . (c) En cada caso, ¿cuánta carga hay dentro del cubo?
11. La "ley de Gauss para la gravitación" es

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

donde  $m$  es la masa encerrada y  $G$  es la constante universal de la gravitación. Deduzca la ley de la gravitación de Newton para esto. ¿Qué significa el signo menos?

12. Una carga puntual  $q$  está situada en una esquina de un cubo de arista  $a$ . ¿Cuál es el flujo a través de cada una de las caras del cubo? (Sugerencia: Utilice la ley de Gauss y los argumentos de simetría.)
13. Las componentes del campo eléctrico en la figura 26 son  $E_x = bx^{1/2}$ ,  $E_y = E_z = 0$ , donde  $b = 8830 \text{ N/C} \cdot \text{m}^{1/2}$ . Calcule (a) el flujo  $\Phi_E$  a través del cubo y (b) la carga dentro del cubo. Suponga que  $a = 13.0 \text{ cm}$ .

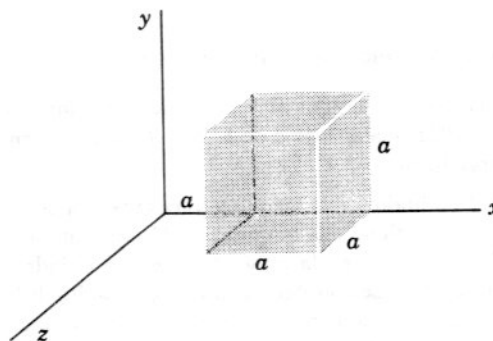


Figura 26 Problema 13.

### Sección 29-4 Un conductor cargado aislado

14. Una esfera conductora uniformemente cargada de  $1.22 \text{ m}$  de radio tiene una densidad de carga superficial de  $8.13 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . (a) Halle la carga en la esfera. (b) ¿Cuál es el flujo eléctrico total que sale de la superficie de la esfera? (c) Calcule el campo eléctrico en la superficie de la esfera.
15. Los vehículos espaciales que viajan a través de los cinturones de radiación de la Tierra chocan con electrones

atrapados. Puesto que en el espacio no existe un suelo, la carga resultante acumulada puede resultar significativa y dañar a los componentes electrónicos, generando averías en los circuitos de control y otras anomalías operativas. Un satélite metálico esférico de 1.3 m de diámetro acumula  $2.4 \mu\text{C}$  de carga en una revolución orbital. (a) Determine la densidad de carga superficial. (b) Calcule el campo eléctrico resultante inmediatamente afuera de la superficie del satélite.

16. La ecuación 11 ( $E = \sigma/\epsilon_0$ ) da el campo eléctrico en los puntos cercanos a una superficie conductora cargada. Aplique esta ecuación a una esfera conductora de radio  $r$ , que contenga una carga  $q$  en su superficie, y demuestre que el campo eléctrico afuera de la esfera es el mismo que el campo de una carga puntual en la posición del centro de la esfera.
17. Una esfera conductora que contiene una carga  $Q$  está rodeada por un cascarón conductor. (a) ¿Cuál es la carga neta en la superficie interna del cascarón? (b) Se coloca otra carga  $q$  afuera del cascarón; ¿cuál es ahora la carga neta en la superficie interior del cascarón? (c) Si  $q$  se mueve a una posición entre el cascarón y la esfera, ¿cuál es la carga neta en la superficie interna del cascarón? (d) ¿Son sus respuestas válidas si la esfera y el cascarón no son concéntricos?
18. Un conductor aislado de forma arbitraria contiene una carga neta de  $+10 \mu\text{C}$ . Dentro del conductor hay una cavidad hueca en la cual hay una carga puntual  $q = +3.0 \mu\text{C}$ . ¿Cuál es la carga (a) en la pared de la cavidad y (b) en la superficie externa del conductor?
19. Una placa de metal de 8.0 cm de lado tiene una carga total de  $6.0 \mu\text{C}$ . (a) Usando la aproximación de la placa infinita, calcule el campo eléctrico a 0.50 mm arriba de la superficie de la placa, cerca del centro de la misma. (b) Estime el campo a una distancia de 30 m.

### Sección 29-5 Aplicaciones de la ley de Gauss

20. Una línea de carga infinita produce un campo de  $4.52 \times 10^4 \text{ N/C}$  a una distancia de 1.96 m. Calcule la densidad de carga lineal.
21. (a) El cilindro de la máquina fotocopidora del problema muestra 3 tiene una longitud de 42 cm y un diámetro de 12 cm. ¿Cuál es la carga total en el cilindro? (b) El fabricante desea producir una versión portátil de la máquina. Esto requiere reducir el tamaño del cilindro a una longitud de 28 cm y un diámetro de 8 cm. El campo eléctrico en la superficie del cilindro debe permanecer inalterado. ¿Cuál debe ser la carga en este nuevo cilindro?
22. Dos láminas no conductoras largas y delgadas de carga positiva están una frente a la otra como en la figura 27. ¿Cuál es  $E$  en los puntos (a) a la izquierda de las láminas, (b) entre ellas y (c) a la derecha de las láminas? Suponga la misma densidad superficial de carga  $\sigma$  para cada lámina. Considere únicamente los puntos que no estén cerca de los extremos cuya distancia a partir de las láminas es pequeña comparada con las dimensiones de la lámina. (Sugerencia: Véase el problema muestra 6.)

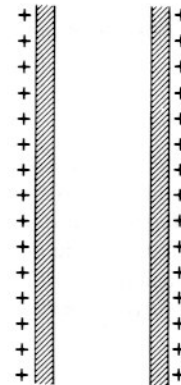


Figura 27 Problema 22.

23. Dos placas metálicas grandes están una frente a la otra como en la figura 28 y contienen cargas con densidad superficial de carga  $+\sigma$  y  $-\sigma$ , respectivamente, sobre sus superficies internas. Determine  $E$  en los puntos (a) a la izquierda de las láminas, (b) entre ellas, y (c) a la derecha de las láminas. Considere sólo los puntos no cercanos a los extremos cuyas distancias a partir de las láminas son pequeñas comparadas con las dimensiones de la lámina. (Sugerencia: Véase el problema muestra 6.)

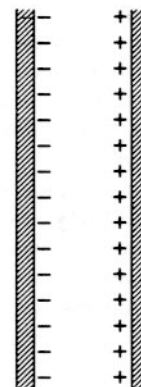


Figura 28 Problema 23.

24. Un electrón permanece estacionario en un campo eléctrico dirigido hacia abajo en el campo gravitatorio de la Tierra. Si el campo eléctrico se debe a la carga sobre dos placas conductoras paralelas y grandes, cargadas opuestamente y separadas por 2.3 cm, ¿cuál es la densidad superficial de carga, supuesta como uniforme, sobre las placas?
25. Una esfera pequeña cuya masa  $m$  es de 1.12 mg contiene una carga  $q = 19.7 \text{ nC}$ . Cuelga en el campo gravitatorio de la Tierra de un hilo de seda que forma un ángulo  $\theta = 27.4^\circ$  con una lámina grande no conductora y uniformemente cargada como en la figura 29. Calcule la densidad de carga uniforme  $\sigma$  para la lámina.
26. Dos esferas huecas cargadas, delgadas y concéntricas, tienen radios de 10.0 cm y 15.0 cm. La carga en la esfera interna es de  $40.6 \text{ nC}$  y la de la esfera externa de  $19.3 \text{ nC}$ .



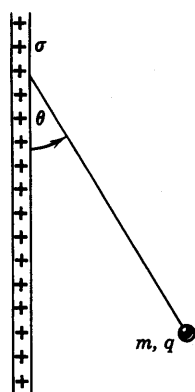


Figura 29 Problema 25.

- Halle el campo eléctrico (a) en  $r = 12.0$  cm, (b) en  $r = 22.0$  cm y (c) en  $r = 8.18$  cm del centro de las esferas.
27. Un alambre delgado, recto y muy largo, tiene  $-3.60$  nC/m de carga negativa fija. El alambre se rodeará de un cilindro uniforme de carga positiva, de  $1.50$  cm de radio, coaxial con el alambre. La densidad volumétrica de carga  $\rho$  del cilindro se escoge de modo que el campo eléctrico neto afuera del cilindro sea cero. Calcule la densidad de carga  $\rho$  positiva requerida.
28. La figura 30 muestra una carga  $+q$  dispuesta como una esfera conductora uniforme de radio  $a$  y situada en el centro de una esfera hueca conductora de radio interior  $b$  y radio exterior  $c$ . La esfera hueca exterior contiene una carga de  $-q$ . Halle  $E(r)$  en las ubicaciones (a) dentro de la esfera ( $r < a$ ), (b) entre la esfera sólida y la hueca ( $a < r < b$ ), (c) dentro de la esfera hueca ( $b < r < c$ ), y (d) afuera de la esfera hueca ( $r > c$ ). (e) ¿Cuáles cargas aparecen en las superficies interna y externa de la esfera hueca?

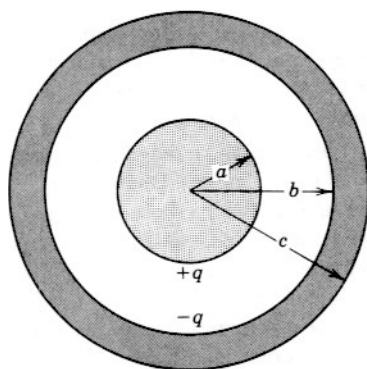


Figura 30 Problema 28.

29. Un cilindro conductor muy largo (de longitud  $L$ ) conteniendo una carga total  $+q$  está rodeado por un tubo cilíndrico (también de longitud  $L$ ) con una carga total  $-2q$ , como se muestra en sección transversal de la figura 31. Use la ley de Gauss para hallar (a) el campo eléctrico en los puntos afuera del tubo conductor, (b) la distribución

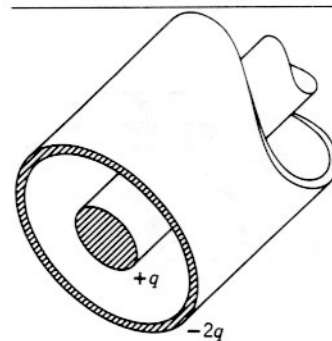


Figura 31 Problema 29.

de la carga en el tubo conductor y (c) el campo eléctrico en la región comprendida entre el tubo y el cilindro.

30. La figura 32 muestra una carga puntual  $q = 126$  nC en el centro de una cavidad esférica de  $3.66$  cm de radio en un trozo de metal. Use la ley de Gauss para hallar el campo eléctrico (a) en el punto  $P_1$ , en un punto medio entre el centro y la superficie, y (b) en el punto  $P_2$ .

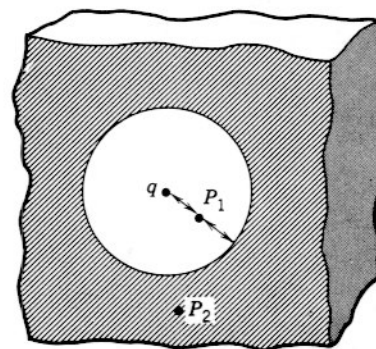


Figura 32 Problema 30.

31. Un protón gira con una velocidad de  $v = 294$  km/s justo afuera de una esfera cargada de radio  $r = 1.13$  cm. Determine la carga en la esfera.
32. Una superficie no conductora, grande y plana, tiene una densidad uniforme de carga  $\sigma$ . En el centro de la lámina se ha hecho un pequeño orificio circular de radio  $R$ , como se muestra en la figura 33. Haga caso omiso de las líneas de campo curvas alrededor de todos los bordes y calcule el campo eléctrico en el punto  $P$ , a una distancia  $z$  del centro del orificio a lo largo de su eje. (Sugerencia: Véase la ecuación 27 del capítulo 28 y aplique el principio de superposición.)
33. La figura 34 muestra la sección a través de un tubo metálico de pared delgada de radio  $R$ , que contiene una carga  $\lambda$  por unidad de longitud en su superficie. Deduzca expresiones de  $E$  para varias distancias  $r$  del eje del tubo, considerando tanto (a)  $r > R$  como (b)  $r < R$ . (c) Dibuje los resultados para la zona entre  $r = 0$  y  $r = 5.0$  cm, suponiendo que  $\lambda = 2.0 \times 10^{-8}$  C/m y  $R = 3.0$  cm. (Sugerencia: Utilice las superficies gaussianas cilíndricas, coaxiales con el tubo de metal.)