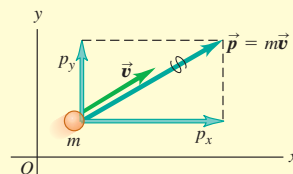


# CAPÍTULO 8 RESUMEN

**El momento lineal de una partícula:** El momento lineal  $\vec{p}$  de una partícula es una cantidad vectorial igual al producto de la masa  $m$  de la partícula y su velocidad  $\vec{v}$ . La segunda ley de Newton dice que la fuerza neta que actúa sobre una partícula es igual a la tasa de cambio del momento lineal de la partícula.

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (8.2)$$

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (8.4)$$

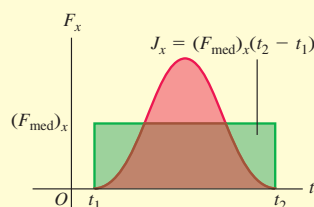


**Impulso y momento lineal:** Si una fuerza neta constante  $\Sigma \vec{F}$  actúa sobre una partícula durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$  de  $t_1$  a  $t_2$ , el impulso  $\vec{J}$  de la fuerza neta es el producto de la fuerza neta y el intervalo de tiempo. Si  $\Sigma \vec{F}$  varía con el tiempo,  $\vec{J}$  es la integral de la fuerza neta en el intervalo de tiempo. En cualquier caso, el cambio en el momento lineal de una partícula durante un intervalo de tiempo es igual al impulso de la fuerza neta que actúa sobre tal partícula durante ese intervalo. El momento lineal de una partícula es igual al impulso que la aceleró desde el reposo hasta su rapidez actual. (Véanse los ejemplos 8.1 a 8.3.)

$$\vec{J} = \Sigma \vec{F}(t_2 - t_1) = \Sigma \vec{F} \Delta t \quad (8.5)$$

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \Sigma \vec{F} dt \quad (8.7)$$

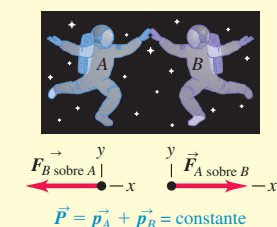
$$\vec{J} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (8.6)$$



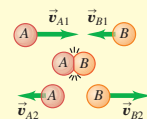
**Conservación del momento lineal:** Una fuerza interna es una fuerza ejercida por una parte de un sistema sobre otra. Una fuerza externa es una fuerza ejercida sobre cualquier parte del sistema por algún elemento externo al sistema. Si la fuerza externa neta que actúa sobre un sistema es cero, el momento lineal total  $\vec{P}$  (la suma vectorial de los momentos lineales de las partículas individuales que constituyen el sistema) es constante, esto es, se conserva. Cada componente del momento lineal total se conserva individualmente. (Véanse los ejemplos 8.4 a 8.6.)

$$\vec{P} = \vec{p}_A + \vec{p}_B + \dots = m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B + \dots \quad (8.14)$$

Si  $\Sigma \vec{F} = \mathbf{0}$ , entonces  $\vec{P} = \text{constante}$ .



**Choques:** En todo tipo de choques, los momentos lineales totales inicial y final son iguales. En un choque elástico entre dos cuerpos, las energías cinéticas totales inicial y final también son iguales y las velocidades relativas inicial y final tienen la misma magnitud. En un choque inelástico entre dos cuerpos, la energía cinética total final es menor que la inicial. Si los dos cuerpos tienen la misma velocidad final, el choque es totalmente inelástico. (Véanse los ejemplos 8.7 a 8.12.)

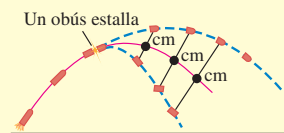


**Centro de masa:** El vector de posición del centro de masa de un sistema de partículas,  $\vec{r}_{cm}$ , es un promedio ponderado de las posiciones  $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots$  de las partículas. El momento lineal total  $\vec{P}$  de un sistema es igual a su masa total  $M$  multiplicada por la velocidad  $\vec{v}_{cm}$  de su centro de masa. El centro de masa de un sistema se mueve como si toda la masa  $M$  estuviera concentrada en ese punto. Si la fuerza externa neta que actúa sobre el sistema es cero, la velocidad del centro de masa  $\vec{v}_{cm}$  es constante. Si la fuerza externa neta no es cero, el centro de masa se acelera como si fuera una partícula de masa  $M$  sobre la que actúa la misma fuerza externa neta. (Véanse los ejemplos 8.13 y 8.14.)

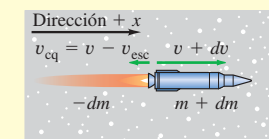
$$\vec{r}_{cm} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\Sigma m_i \vec{r}_i}{\Sigma m_i} \quad (8.29)$$

$$\vec{P} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots = M \vec{v}_{cm} \quad (8.32)$$

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = M \vec{a}_{cm} \quad (8.34)$$



**Propulsión de un cohete:** En la propulsión de cohetes, la masa de un cohete cambia al quemarse el combustible y ser expulsado de la nave. El análisis del movimiento del cohete debe incluir el momento lineal que se lleva el combustible quemado, así como la del cohete mismo. (Véanse los ejemplos 8.15 y 8.16.)



## Términos clave

momento lineal (momentum), 248  
 impulso, 249  
 teorema del impulso y el momento lineal, 249  
 fuerza interna, 253  
 fuerza externa, 253

sistema aislado, 253  
 momento lineal total, 253  
 principio de conservación del momento lineal, 254  
 choque elástico, 258

choque inelástico, 258  
 choque totalmente inelástico, 258  
 centro de masa, 266

## Respuesta a la pregunta de inicio de capítulo ?

Los dos jugadores tienen la misma magnitud de momento lineal  $p = mv$  (el producto de la masa y la rapidez), pero el jugador ligero tiene dos veces más energía cinética  $K = \frac{1}{2}mv^2$ . Por lo tanto, el jugador ligero puede efectuar dos veces más trabajo sobre usted (y causar dos veces más daños) en el proceso de detenerse (véase la sección 8.1).

## Respuestas a las preguntas de Evalué su comprensión

**8.1 Respuesta: v), i) y ii) (empate en segundo lugar), iii) y iv) (empate en tercer lugar)** Usamos dos interpretaciones del impulso de la fuerza neta: 1) la fuerza neta multiplicada por el tiempo durante el que actúa la fuerza neta, y 2) el cambio en el momento lineal de la partícula sobre el que actúa la fuerza neta. Nuestra elección de la interpretación depende de qué información se nos dé. Tomamos la dirección  $+x$  hacia el este. i) La fuerza no se conoce, así que usamos la interpretación 2:  $J_x = mv_{2x} - mv_{1x} = (1000 \text{ kg})(0) - (1000 \text{ kg})(25 \text{ m/s}) = -25,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , por lo que la magnitud del impulso es  $25,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 25,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ . ii) Por la misma razón que en i), usamos la interpretación 2:  $J_x = mv_{2x} - mv_{1x} = (1000 \text{ kg})(0) - (1000 \text{ kg})(25 \text{ m/s}) = -25,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , y la magnitud del impulso, una vez más, es  $25,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 25,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ . iii) La velocidad final no se conoce, así que usamos la interpretación 1:  $J_x = (\sum F_x)_{\text{med}}(t_2 - t_1) = (2000 \text{ N})(10 \text{ s}) = 20,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ , por lo que la magnitud del impulso es  $20,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ . iv) Por la misma razón que en iii), empleamos la interpretación 1:  $J_x = (\sum F_x)_{\text{med}}(t_2 - t_1) = (-2000 \text{ N})(10 \text{ s}) = -20,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ , por lo que la magnitud del impulso es  $20,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ . v. La fuerza no se conoce, así que usamos la interpretación 2:  $J_x = mv_{2x} - mv_{1x} = (1000 \text{ kg})(-25 \text{ m/s}) - (1000 \text{ kg})(25 \text{ m/s}) = -50,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , y la magnitud del impulso es  $50,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 50,000 \text{ N} \cdot \text{s}$ .

**8.2 Respuestas: a)  $v_{C2x} > 0$ ,  $v_{C2y} > 0$ , b) pieza C** No hay fuerzas horizontales externas, así que las componentes  $x$  y  $y$  del momento lineal total del sistema se conservan. Las dos componentes son cero antes de soltarse el resorte, así que también después deberán ser cero. Por lo tanto,

$$P_x = 0 = m_A v_{A2x} + m_B v_{B2x} + m_C v_{C2x}$$

$$P_y = 0 = m_A v_{A2y} + m_B v_{B2y} + m_C v_{C2y}$$

Nos dicen que  $m_A = m_B = m_C$ ,  $v_{A2x} < 0$ ,  $v_{A2y} = 0$ ,  $v_{B2x} = 0$ , y  $v_{B2y} < 0$ . Podemos resolver las ecuaciones anteriores para demostrar que  $v_{C2x} = -v_{A2x} > 0$  y  $v_{C2y} = -v_{B2y} > 0$ , por lo que las componentes de velocidad de la pieza C son positivas. La pieza C tiene una rapidez  $\sqrt{v_{C2x}^2 + v_{C2y}^2} = \sqrt{v_{A2x}^2 + v_{B2y}^2}$ , que es mayor que la rapidez de cualquiera de las piezas A o B.

**8.3 Respuestas: a) inelástico, b) elástico, c) totalmente inelástico** En cada caso, la energía potencial gravitacional se convierte en energía cinética conforme la pelota cae, y el choque es entre la pelota y el suelo. En a) toda la energía inicial se convierte a energía potencial gravitacional, así que no se pierde energía cinética en el rebote y el choque es elástico. En b) hay menos energía potencial gravitacional al final que al principio, por lo que algo de energía cinética se pierde en el rebote. Por lo tanto, el choque es inelástico. En c) la pelota pierde toda la energía cinética que tiene para dar, la pelota queda pegada al suelo, y el choque es totalmente inelástico.

**8.4 Respuesta: peores** Después del choque con una molécula de agua inicialmente en reposo, la rapidez del neutrón es  $|(m_n - m_w)/(m_n + m_w)| = |(1.0 \text{ u} - 18 \text{ u})/(1.0 \text{ u} + 18 \text{ u})| = \frac{17}{19}$  de su rapidez inicial, y su energía cinética es  $(\frac{17}{19})^2 = 0.80$  del valor inicial. Por lo tanto, una molécula de agua no es tan buen moderador como un átomo de carbono, cuyos valores son  $\frac{11}{13}$  y  $(\frac{11}{13})^2 = 0.72$ .

**8.5 Respuesta: no** Si la gravedad es la única fuerza que actúa sobre el sistema de dos fragmentos, el centro de masa seguirá la trayectoria parabólica de un objeto que cae libremente. Sin embargo, una vez que el fragmento toca tierra, el suelo ejerce una fuerza normal sobre ese fragmento. Por lo tanto, la fuerza neta sobre el sistema cambia, y la trayectoria del centro de masa cambia en respuesta a ello.

**8.6 Respuestas: a) creciente, b) decreciente** Por las ecuaciones (8.37) y (8.38), el empuje  $F$  es igual a  $m dv/dt$ , donde  $m$  es la masa del cohete y  $dv/dt$  es su aceleración. Como  $m$  disminuye con el tiempo, si el empuje  $F$  es constante, la aceleración deberá aumentar con el tiempo (la misma fuerza actúa sobre una masa menor); si la aceleración  $dv/dt$  es constante, el empuje deberá disminuir con el tiempo (se requiere una fuerza menor para acelerar una masa más pequeña).

## PROBLEMAS

Para las tareas asignadas por el profesor, visite [www.masteringphysics.com](http://www.masteringphysics.com)



### Preguntas para discusión

**P8.1.** Al partir leños con martillo y cuña, ¿es más efectivo un martillo pesado que uno ligero? ¿Por qué?

**P8.2.** Suponga que usted atrapa una pelota de béisbol y después alguien le ofrece la opción de atrapar una bola de boliche con el mismo momento lineal o bien con la misma energía cinética que la pelota. ¿Qué elegiría? ¿Por qué?

**P8.3.** Al caer la lluvia, ¿qué pasa con su momento lineal al golpear el suelo? ¿Es válida su respuesta para la famosa manzana de Newton?

**P8.4.** Un auto tiene la misma energía cinética si viaja al sur a 30 m/s que si lo hace al noroeste a 30 m/s. ¿Su momento lineal es el mismo en ambos casos? Explique.

**P8.5.** Un camión acelera en una autopista. Un marco de referencia inercial está fijo al suelo con su origen en un poste. Otro marco está fi-

jo a un auto de policía que viaja en la autopista con velocidad constante. ¿El momento lineal del camión es el mismo en ambos marcos? Explique. ¿La tasa de cambio del momento lineal del camión es el mismo en los dos marcos? Explique.

**P8.6.** Si un camión grande y pesado choca con un auto, es más probable que se lesionen los ocupantes del auto que el conductor del camión. ¿Por qué?

**P8.7.** Una mujer parada en una capa de hielo horizontal sin fricción lanza una roca grande con rapidez  $v_0$  y ángulo  $\alpha$  sobre la horizontal. Considere el sistema formado por ella y la roca. ¿Se conserva el momento lineal del sistema? ¿Por qué? ¿Se conserva cualquier componente del momento lineal del sistema? ¿Por qué?

**P8.8.** En el ejemplo 8.7 (sección 8.3), donde los deslizadores de la figura 8.15 quedan pegados después de chocar, el choque es inelástico, ya que  $K_2 < K_1$ . En el ejemplo 8.5 (sección 8.2), ¿es inelástico el choque? Explique.

**P8.9.** En un choque totalmente inelástico entre dos objetos que se pegan después del choque, ¿es posible que la energía cinética final del sistema sea cero? De ser así, cite un ejemplo. En tal caso, ¿qué momento lineal inicial debe tener el sistema? ¿Es cero la energía cinética inicial del sistema? Explique.

**P8.10.** Puesto que la energía cinética de una partícula está dada por  $K = \frac{1}{2}mv^2$  y su momento lineal por  $\vec{p} = m\vec{v}$ , es fácil demostrar que  $K = p^2/2m$ . ¿Cómo es posible entonces tener un suceso durante el cual el momento lineal total del sistema sea constante pero la energía cinética total cambie?

**P8.11.** En los ejemplos 8.10 a 8.12 (sección 8.4), verifique que el vector de velocidad relativa de los dos cuerpos tiene la misma magnitud antes y después del choque. En cada caso, ¿qué sucede con la dirección de ese vector?

**P8.12.** Si un vidrio cae al piso, es más probable que se rompa si el piso es de concreto que si es de madera. ¿Por qué? (Remítase a la figura 8.3b.)

**P8.13.** En la figura 8.22b, la energía cinética de la pelota de ping-pong es mayor después de su interacción con la bola de boliche que antes. ¿De dónde proviene la energía adicional? Describa el suceso en términos de la conservación de energía.

**P8.14.** Se dispara una ametralladora hacia una placa de acero. ¿La fuerza media que actúa sobre la placa por los impactos es mayor si las balas rebotan o si se aplastan y pegan a la placa? Explique.

**P8.15.** Una fuerza neta de 4 N actúa durante 0.25 s sobre un objeto en reposo y le imprime una rapidez final de 5 m/s. ¿Cómo podría una fuerza de 2 N producir esa rapidez final?

**P8.16.** Una fuerza neta cuya componente  $x$  es  $\Sigma F_x$  actúa sobre un objeto desde el tiempo  $t_1$  hasta el tiempo  $t_2$ . La componente  $x$  del momento lineal del objeto es el mismo en ambos instantes, pero  $\Sigma F_x$  no siempre es cero en ese lapso. ¿Qué puede decir usted acerca de la gráfica de  $\Sigma F_x$  contra  $t$ ?

**P8.17.** Un tenista golpea la pelota con la raqueta. Considere el sistema de la bola y la raqueta. ¿El momento lineal total del sistema es el mismo justo antes y justo después del golpe? ¿El momento lineal total justo después del golpe es el mismo que 2 s después, cuando la bola está en el punto más alto de su trayectoria? Explique cualquier diferencia entre ambos casos.

**P8.18.** En el ejemplo 8.4 (sección 8.2), considere el sistema del rifle y la bala. ¿Qué rapidez tiene el centro de masa del sistema después del disparo? Explique.

**P8.19.** Se deja caer un huevo desde una azotea hasta la acera. Al caer el huevo, ¿qué pasa con el momento lineal del sistema formado por el huevo y la Tierra?

**P8.20.** Una mujer está parada en el centro de un lago congelado perfectamente liso y sin fricción. Puede ponerse en movimiento aventando cosas, pero suponga que no tiene nada que lanzar. ¿Puede llegar a la orilla sin lanzar nada?

**P8.21.** En un entorno con gravedad cero, ¿puede una nave impulsada por cohetes alcanzar una rapidez mayor que la rapidez relativa con que se expulsa el combustible quemado?

**P8.22.** Cuando un objeto se rompe en dos (por ejemplo, mediante explosión o desintegración radiactiva), el fragmento más ligero adquiere más energía cinética que el más pesado. Esto es una consecuencia de la conservación del momento lineal, pero, ¿puede explicarla también empleando las leyes de Newton del movimiento?

**P8.23.** Una manzana cae de un árbol sin experimentar resistencia del aire. Conforme cae, ¿cuál de los siguientes enunciados acerca de ella es verdadero? a) Sólo su momento lineal se conserva; b) sólo su energía mecánica se conserva; c) tanto su momento lineal como su energía mecánica se conservan; d) su energía cinética se conserva.

**P8.24.** Dos trozos de arcilla chocan y quedan pegados. Durante el choque, ¿cuál de los siguientes enunciados es verdadero? a) Sólo el momento lineal de la arcilla se conserva; b) sólo la energía mecánica de la arcilla se conserva; c) tanto el momento lineal como la energía mecánica de la arcilla se conservan; d) la energía cinética de la arcilla se conserva.

**P8.25.** Dos canicas se presionan entre sí mediante un ligero resorte ideal entre ellas, sin que estén unidas al resorte de ninguna forma. Luego se les libera sobre una mesa horizontal sin fricción y pronto se mueven libremente del resorte. Conforme las canicas se alejan entre sí, ¿cuál de los siguientes enunciados acerca de ellas es verdadero? a) Sólo el momento lineal de las canicas se conserva; b) sólo la energía mecánica de las canicas se conserva; c) tanto el momento lineal como la energía mecánica de las canicas se conservan; d) la energía cinética de las canicas se conserva.

**P8.26.** Una vagoneta muy pesada choca de frente con un auto compacto muy ligero. ¿Cuál de los siguientes enunciados acerca del choque es correcto? a) La cantidad de energía cinética que pierde la vagoneta es igual a la cantidad de energía cinética que gana el auto compacto; b) el momento lineal que pierde la vagoneta es igual al momento lineal que gana el auto compacto; c) el auto compacto experimenta una fuerza considerablemente mayor durante el choque que la vagoneta; d) ambos vehículos pierden la misma cantidad de energía cinética.

## Ejercicios

### Sección 8.1 Momento lineal e impulso

**8.1.** a) ¿Qué magnitud tiene el momento lineal de un camión de 10,000 kg que viaja con rapidez de 12.0 m/s? b) ¿Con qué rapidez tendría que viajar una vagoneta de 2000 kg para tener i) el mismo momento lineal? ii) ¿la misma energía cinética?

**8.2.** En el ejemplo conceptual 8.1 (sección 8.1), demuestre que el velero de hielo con masa  $2m$  tiene  $\sqrt{2}$  veces más momento lineal en la meta que el de masa  $m$ .

**8.3.** a) Demuestre que la energía cinética  $K$  y la magnitud del momento lineal  $p$  de una partícula de masa  $m$  están relacionadas por la expresión  $K = p^2/2m$ . b) Un cardenal (*Richmondia cardinalis*) de 0.040 kg y una pelota de béisbol de 0.145 kg tienen la misma energía cinética. ¿Cuál tiene mayor magnitud de momento lineal? ¿Cuál es la razón entre las magnitudes del momento lineal del cardenal y de la pelota? c) Un hombre de 700 N y una mujer de 450 N tienen el mismo momento lineal. ¿Quién tiene mayor energía cinética? ¿Cuál es la razón entre las energías cinéticas del hombre y de la mujer?

**8.4.** En una competencia varonil de pista y campo, la bala tiene una masa de 7.30 kg y se lanza con una rapidez de 15.0 m/s a  $40.0^\circ$  por encima de la horizontal ubicada sobre la pierna izquierda extendida de un hombre. ¿Cuáles son las componentes iniciales horizontal y vertical del momento lineal de esa bala?

**8.5.** Un defensor de línea de fútbol americano de 110 kg va corriendo hacia la derecha a 2.75 m/s, mientras otro defensor de línea de 125 kg corre directamente hacia el primero a 2.60 m/s. ¿Cuáles son a) la

magnitud y dirección del momento lineal neto de estos dos deportistas, *b*) su energía cinética total?

**8.6.** Dos vehículos se aproximan a una intersección. Uno es una camioneta *pickup* que viaja a 14.0 m/s con dirección este-oeste (la dirección  $-x$ ), y el otro es un auto sedan de 1500 kg que va de sur a norte (la dirección  $+y$  a 23.0 m/s). *a*) Determine las componentes  $x$  y  $y$  del momento lineal neto de este sistema. *b*) ¿Cuáles son la magnitud y dirección del momento lineal neto?

**8.7. Fuerza de un golpe de golf.** Una pelota de golf de 0.0450 kg en reposo adquiere una rapidez de 25.0 m/s al ser golpeada por un palo. Si el tiempo de contacto es de 2.00 ms, ¿qué fuerza media actúa sobre la pelota? ¿Es significativo el efecto del peso de la pelota durante el tiempo de contacto? ¿Por qué?

**8.8. Fuerza de un batazo.** Una pelota de béisbol tiene masa de 0.145 kg. *a*) Si se lanza con una velocidad de 45.0 m/s y después de batearla su velocidad es de 55.0 m/s en la dirección opuesta, ¿qué magnitud tienen el cambio de momento lineal de la bola y el impulso aplicado a ella con el bate? *b*) Si la pelota está en contacto con el bate durante 2.00 ms, calcule la magnitud de la fuerza media aplicada por el bate.

**8.9.** Un disco de hockey de 0.160 kg se mueve en una superficie cubierta de hielo horizontal y sin fricción. En  $t = 0$ , su velocidad es de 3.00 m/s a la derecha. *a*) Calcule la velocidad (magnitud y dirección) del disco después de que se aplica una fuerza de 25.0 N hacia la derecha durante 0.050 s. *b*) Si, en vez de ello, se aplica una fuerza de 12.0 N dirigida a la izquierda, entre  $t = 0$  y  $t = 0.050$  s, ¿cuál es la velocidad final del disco?

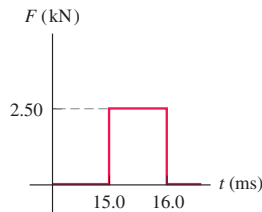
**8.10.** Un motor del sistema de maniobras orbitales (OMS) del transbordador espacial ejerce una fuerza de  $(26,700 \text{ N})\hat{j}$  durante 3.90 s, expulsando una masa insignificante de combustible en comparación con la masa de 95,000 kg de la nave. *a*) ¿Qué impulso tiene la fuerza en el lapso de 3.90 s? *b*) ¿Cómo cambia el momento lineal de la nave por este impulso? *c*) ¿Y su velocidad? *d*) ¿Por qué no podemos calcular el cambio resultante de la energía cinética del transbordador?

**8.11.** En el tiempo  $t = 0$ , un cohete de 2150 kg en el espacio exterior enciende un motor que ejerce una fuerza creciente sobre él en la dirección  $+x$ . Esta fuerza obedece la ecuación  $F_x = At^2$  (donde  $t$  es el tiempo) y tiene una magnitud de 781.25 N cuando  $t = 1.25$  s. *a*) Calcule el valor en el SI de la constante  $A$ , incluyendo sus unidades. *b*) ¿Qué impulso ejerce el motor sobre el cohete durante el lapso de 1.50 s que comienza 2.00 s después de encender el motor? *c*) ¿Cuánto cambia la velocidad del cohete durante ese lapso?

**8.12.** Un bate golpea una pelota de 0.145 kg. Justo antes del impacto, la bola viaja horizontalmente hacia la derecha a 50.0 m/s, y pierde contacto con el bate viajando hacia la izquierda a 65.0 m/s con un ángulo de  $30^\circ$  por arriba de la horizontal. Si la pelota y el bate están en contacto durante 1.75 ms, calcule las componentes horizontal y vertical de la fuerza media que actúa sobre la pelota.

**8.13.** Una piedra de 2.00 kg se desliza hacia la derecha por una superficie horizontal sin fricción a 5.00 m/s, cuando de repente es golpeada por un objeto que ejerce una gran fuerza horizontal sobre ella por un breve lapso. La gráfica en la figura 8.34 indica la magnitud de esa fuerza como función del tiempo. *a*) ¿Qué impulso ejerce esa fuerza sobre la piedra?

Figura 8.34 Ejercicio 8.13.



*b*) Calcule la magnitud y dirección de la velocidad de la piedra inmediatamente después de que la fuerza deja de actuar si esa fuerza actúa i) hacia la derecha o ii) hacia la izquierda.

**Sección 8.2 Conservación del momento lineal**

**8.14.** Un astronauta de 68.5 kg está haciendo una reparación en el espacio en la estación espacial en órbita. El astronauta tira una herra-

mienta de 2.25 kg con una rapidez de 3.20 m/s en relación con la estación espacial. ¿Con qué rapidez y dirección comenzará el astronauta a moverse?

**8.15. Propulsión animal.** Los calamares y pulpos se impulsan a sí mismos expeliendo agua. Para hacer esto, guardan agua en una cavidad y luego contraen repentinamente esa cavidad para forzar la salida del agua a través de una abertura. Un calamar de 6.50 kg (incluyendo el agua en la cavidad) está en reposo, cuando de pronto ve un peligroso depredador. *a*) Si el calamar tiene 1.75 kg de agua en su cavidad, ¿con qué rapidez debe expeler esa agua para alcanzar una rapidez de 2.50 m/s y escapar así del depredador? Desprecie cualquier efecto de arrastre del agua circundante. *b*) ¿Cuánta energía cinética genera el calamar con esta maniobra?

**8.16.** Suponga que usted está de pie en una plancha de hielo que cubre el estacionamiento del estadio de fútbol americano de Buffalo; la fricción entre sus pies y el hielo es insignificante. Un amigo le lanza un balón de fútbol americano de 0.400 kg que viaja horizontalmente a 10.0 m/s. La masa de usted es de 70.0 kg. *a*) Si atrapa el balón, ¿con qué rapidez se moverán usted y el balón después? *b*) Si el balón lo golpea en el pecho y rebota moviéndose horizontalmente a 8.0 m/s en la dirección opuesta, ¿qué rapidez tendrá usted después del choque?

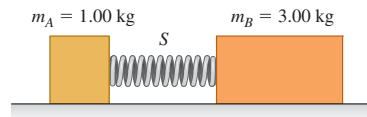
**8.17.** En una mesa de aire horizontal sin fricción, el disco *A* (con masa de 0.250 kg) se mueve hacia el *B* (con masa de 0.350 kg) que está en reposo. Después del choque, *A* se mueve a 0.120 m/s a la izquierda, y *B* lo hace a 0.650 m/s a la derecha. *a*) ¿Qué rapidez tenía *A* antes del choque? *b*) Calcule el cambio de energía cinética total del sistema durante el choque.

**8.18.** Cuando los automóviles están equipados con parachoques flexibles, rebotan durante los choques a baja rapidez, provocando daños menores. En un accidente de este tipo, un auto de 1750 kg viaja hacia la derecha a 1.50 m/s y choca con un auto de 1450 kg que va hacia la izquierda a 1.10 m/s. Las mediciones indican que la rapidez del auto más pesado inmediatamente después del choque era de 0.250 m/s en su dirección original. Podemos ignorar la fricción de la carretera durante el choque. *a*) ¿Cuál era la rapidez del auto más ligero inmediatamente después del choque? *b*) Calcule el cambio en la energía cinética combinada del sistema de los dos vehículos durante este choque.

**8.19.** Los gases en expansión que salen por el cañón de un rifle también contribuyen al retroceso. Una bala de calibre .30 tiene una masa de 0.00720 kg y una rapidez de 601 m/s relativa al cañón del rifle, cuya masa es de 2.80 kg. El rifle, sostenido sin firmeza, retrocede a 1.85 m/s en relación con el suelo. Calcule el momento lineal de los gases al salir del cañón, en un sistema de coordenadas fijo al suelo.

**8.20.** El bloque *A* de la figura 8.35 tiene una masa de 1.00 kg, y el *B*, de 3.00 kg. *A* y *B* se juntan a la fuerza, comprimiendo un resorte *S* entre ellos; luego, el sistema se suelta del reposo en una superficie plana sin fricción. El resorte, de masa despreciable, está suelto y cae a la superficie después de extenderse. El bloque *B* adquiere una rapidez de 1.20 m/s. *a*) ¿Qué rapidez final tiene *A*? *b*) ¿Cuánta energía potencial se almacenó en el resorte comprimido?

Figura 8.35 Ejercicio 8.20.



**8.21.** Un cazador que se encuentra sobre un estanque congelado y sin fricción utiliza un rifle que dispara balas de 4.20 g a 965 m/s. La masa del cazador (incluyendo su rifle) es de 72.5 kg; el hombre sostiene con

fuerza el arma después de disparar. Calcule la velocidad de retroceso del cazador si dispara el rifle *a*) horizontalmente y *b*) a  $56.0^\circ$  por encima de la horizontal.

**8.22.** Un núcleo atómico súbitamente se fisiona (se divide) en dos. El fragmento *A*, de masa  $m_A$ , viaja hacia la izquierda con una rapidez  $v_A$ . El fragmento *B*, de masa  $m_B$ , viaja hacia la derecha con una rapidez  $v_B$ . *a*) Con base en la conservación del momento lineal, despeje  $v_B$  en términos de  $m_A$ ,  $m_B$  y  $v_A$ . *b*) Utilice los resultados del inciso *a*) para demostrar que  $K_A/K_B = m_B/m_A$ , donde  $K_A$  y  $K_B$  son las energías cinéticas de los dos fragmentos.

**8.23.** El núcleo de  $^{214}\text{Po}$  decae radiactivamente emitiendo una partícula alfa (masa  $6.65 \times 10^{-27}$  kg) con una energía cinética  $1.23 \times 10^{-12}$  J, medida en el marco de referencia del laboratorio. Suponiendo que el núcleo estaba inicialmente en reposo en este marco, calcule la velocidad de retroceso del núcleo que queda después del decaimiento.

**8.24.** Usted está de pie sobre una gran plancha de hielo sin fricción, sosteniendo una gran roca. Para salir del hielo, usted avienta la roca de manera que ésta adquiere una velocidad relativa a la Tierra de 12.0 m/s, a  $35.0^\circ$  por arriba de la horizontal. Si su masa es de 70.0 kg y la masa de la roca es de 15.0 kg, ¿qué rapidez tiene usted después de lanzar la roca? (Véase la pregunta para análisis P8.7.)

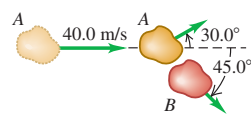
**8.25.** Dos patinadores, Daniel (65.0 kg) y Rebeca (45.0 kg) están practicando. Daniel se detiene para atar su aguja y es golpeado por Rebeca, quien se desplazaba a 13.0 m/s antes de chocar con él. Después del choque, Rebeca se mueve a 8.00 m/s con un ángulo de  $53.1^\circ$  respecto a su dirección original. La superficie de patinaje es horizontal y no tiene fricción. *a*) Calcule la magnitud y dirección de la velocidad de Daniel después del choque. *b*) ¿Cuál es el cambio en la energía cinética total de los dos patinadores como resultado del choque?

**8.26.** Un astronauta en el espacio no puede utilizar una báscula o balanza para pesar los objetos porque no hay gravedad. Pero cuenta con dispositivos para medir la distancia y el tiempo de manera exacta. El astronauta sabe que su masa es de 78.4 kg, pero no está seguro de la masa de un enorme tanque de gas en el interior del cohete sin aire. Cuando el tanque se aproxima a él a 3.50 m/s, empuja su cuerpo contra éste, lo que disminuye la rapidez del tanque a 1.20 m/s (pero no invierte su dirección) y le da al astronauta una rapidez de 2.40 m/s. ¿Cuál es la masa del tanque?

**8.27. Masa cambiante.** Un vagón abierto de 24,000 kg viaja sin fricción ni impulso sobre una vía horizontal. Está lloviendo muy fuerte, y la lluvia cae verticalmente. El vagón originalmente está vacío y tiene una rapidez de 4.00 m/s. ¿Qué rapidez tiene después de acumular 3000 kg de agua de lluvia?

**8.28. Choque de asteroides.** Dos asteroides de igual masa pertenecientes al cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter chocan de refilón. El asteroide *A*, que inicialmente viajaba a 40.0 m/s, se desvía  $30.0^\circ$  con respecto a su dirección original, mientras que el asteroide *B* viaja a  $45.0^\circ$  con respecto a la dirección original de *A* (figura 8.36). *a*) Calcule la rapidez de cada asteroide después del choque. *b*) ¿Qué fracción de la energía cinética original del asteroide *A* se disipa durante el choque?

Figura 8.36 Ejercicio 8.28.



### Sección 8.3 Conservación del momento lineal y choques

**8.29.** Un pez de 15.0 kg, que nada a 1.10 m/s, de repente engulle un pez de 4.50 kg que estaba estacionario. Desprecie los efectos de arrastre del agua. *a*) Calcule la rapidez del pez grande inmediatamente después de haberse comido al pequeño. *b*) ¿Cuánta energía mecánica se disipó durante esta comida?

**8.30.** Dos amorosas nutrias se acercan una a la otra deslizándose por una superficie horizontal lodosa (y sin fricción). Una de ellas, con masa de 7.50 kg, se desliza hacia la izquierda a 5.00 m/s, mientras que la otra, con masa de 5.75 kg se desliza hacia la derecha a 6.00 m/s. Las

nutrias quedan unidas después de chocar. *a*) Calcule la magnitud y dirección de la velocidad de estas nutrias después del choque. *b*) ¿Cuánta energía mecánica se disipa durante este juego?

**8.31. Misión de profundo impacto.** En julio de 2005, en la misión “Impacto Profundo” de la NASA, una sonda de 372 kg, que se desplazaba a 37,000 km/h, chocó directamente contra la superficie del cometa Tempel 1. La rapidez original del cometa en ese momento era de 40,000 km/h y su masa se estimó en el intervalo de  $(0.10\text{-}2.5) \times 10^{14}$  kg. Utilice el menor valor de la masa estimada. *a*) ¿Qué cambio en la velocidad del cometa produjo el choque? ¿Será perceptible ese cambio? *b*) Suponga que este cometa fuera a chocar contra la Tierra para fusionarse con ella. ¿En cuánto cambiaría la velocidad de nuestro planeta? ¿Sería apreciable ese cambio? (La masa de la Tierra es de  $5.97 \times 10^{24}$  kg.)

**8.32.** Un auto deportivo de 1050 kg se desplaza hacia el oeste a 15.0 m/s por una carretera horizontal cuando choca con un camión de 6320 kg, que viaja hacia el este por el mismo camino a 10.0 m/s. Los dos vehículos quedan pegados después del choque. *a*) ¿Qué velocidad (magnitud y dirección) tendrán los dos vehículos inmediatamente después del choque? *b*) ¿Qué rapidez debe llevar el camión para que ambos vehículos se detengan por el choque? *c*) Encuentre el cambio de energía cinética del sistema de los dos vehículos en las situaciones del inciso *a*) y *b*). ¿En cuál situación tiene mayor magnitud el cambio de energía cinética?

**8.33.** En un campo de fútbol americano muy lodoso, un apoyador de 110 kg taclea a un corredor de 85 kg. Justo antes del choque, el apoyador resbala con una velocidad de 8.8 m/s hacia el norte, y el corredor lo hace con una velocidad de 7.2 m/s hacia el este. ¿Con qué velocidad (magnitud y dirección) se mueven juntos los dos jugadores inmediatamente después del choque?

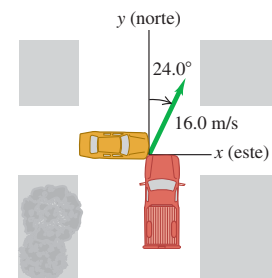
**8.34.** Dos patinadores chocan y quedan agarrados sobre una pista de hielo sin fricción. Uno de ellos, cuya masa es de 70.0 kg, se movía hacia la derecha a 2.00 m/s, mientras que el otro, cuya masa es de 65.0 kg, se movía hacia la izquierda a 2.50 m/s. ¿Cuáles son la magnitud y dirección de la velocidad de estos patinadores inmediatamente después de que chocan?

**8.35.** Dos automóviles, uno compacto con masa de 1200 kg y otro un “devorador de gasolina” de 3000 kg, chocan de frente a velocidades típicas de autopista. *a*) ¿Cuál experimenta un cambio de mayor magnitud en su momento lineal? ¿Cuál experimenta un mayor cambio de velocidad? *b*) Si el auto más grande cambia su velocidad en  $\Delta v$ , calcule el cambio en la velocidad del auto pequeño en términos de  $\Delta v$ . *c*) ¿Los ocupantes de cuál auto esperarían que sufran lesiones más graves? Explique.

**8.36. Defensa de las aves.** Para proteger a sus crías en el nido, los halcones peregrinos vuelan tras las aves de rapiña (como los cuervos) con gran rapidez. En uno de tales episodios, un halcón de 600 kg que vuela a 20.0 m/s choca con un cuervo de 1.50 kg que vuela a 9.0 m/s. El halcón choca con el cuervo en ángulo recto con respecto a su trayectoria original y rebota a 5.0 m/s. (Estas cifras son estimaciones del autor, quien presenció este ataque en el norte de Nuevo México.) *a*) ¿En qué ángulo cambió el halcón la dirección del vuelo del cuervo? *b*) ¿Cuál era la rapidez del cuervo inmediatamente después del choque?

**8.37.** En el cruce de la Avenida Texas y el Paseo Universitario, un auto subcompacto amarillo de 950 kg que viaja al este por el Paseo choca con una camioneta pickup color rojo de 1900 kg que viaja al norte por la Avenida Texas y se pasó el alto de un semáforo (figura 8.37). Los dos vehículos quedan pegados después del choque, y se deslizan a 16.0 m/s en dirección  $24.0^\circ$  al este del norte. Calcule la rapidez de cada vehícu-

Figura 8.37 Ejercicio 8.37.





lo antes del choque. El choque tiene lugar durante una tormenta; las fuerzas de fricción entre los vehículos y el pavimento húmedo son despreciables.

**8.38.** Una bala de 5.00 g se dispara horizontalmente a un bloque de madera de 1.20 kg que descansa en una superficie horizontal. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque y la superficie es de 0.20. La bala queda incrustada en el bloque, que se desliza 0.230 m por la superficie antes de detenerse. ¿Qué rapidez tenía inicialmente la bala?

**8.39. Péndulo balístico.** Una bala de rifle de 12.0 g se dispara a 380 m/s contra un péndulo balístico de 6.00 kg suspendido de un cordón de 70.0 cm de longitud (véase el ejemplo 8.8, sección 8.3). Calcule *a*) la distancia vertical que sube el péndulo, *b*) la energía cinética inicial de la bala y *c*) la energía cinética de la bala y el péndulo inmediatamente después de que la bala se incrusta en el péndulo.

**8.40.** Usted y sus amigos efectúan experimentos de física en un estanque helado que sirve como superficie horizontal sin fricción. Samuel, de 80.0 kg, recibe un empujón y se desliza hacia el este. Abigail, de 50.0 kg, recibe también un empujón y se desliza hacia el norte. Los dos chocan. Después del choque, Samuel se mueve a 37.0° al norte del este con rapidez de 6.00 m/s, y Abigail, a 23.0° al sur del este con rapidez de 9.00 m/s. *a*) ¿Qué rapidez tenía cada uno antes del choque? *b*) ¿Cuánto disminuyó la energía cinética total de las dos personas durante el choque?

### Sección 8.4 Choques elásticos

**8.41.** Los bloques *A* (masa 2.00 kg) y *B* (masa 10.00 kg) se mueven en una superficie horizontal sin fricción. En un principio, el bloque *B* está en reposo y el *A* se mueve hacia él a 2.00 m/s. Los bloques están equipados con protectores de resorte ideal, como en el ejemplo 8.10. El choque es de frente, así que todos los movimientos antes y después del choque están en una línea recta. *a*) Calcule la energía máxima almacenada en los protectores de resorte y la velocidad de cada bloque en ese momento. *b*) Calcule la velocidad de cada bloque una vez que se han separado.

**8.42.** Un deslizador de 0.150 kg se mueve a la derecha a 0.80 m/s en un riel de aire horizontal sin fricción y choca de frente con un deslizador de 0.300 kg que se mueve a la izquierda a 2.20 m/s. Calcule la velocidad final (magnitud y dirección) de cada deslizador si el choque es elástico.

**8.43.** Una canica de 10.0 g se desliza a la izquierda a 0.400 m/s sobre una acera horizontal de Nueva York cubierta de hielo y sin fricción, y tiene un choque elástico de frente con una canica de 30.0 g que se desliza a la derecha a 0.200 m/s (figura 8.38). *a*) Determine la velocidad (magnitud y dirección) de cada canica después del choque. (Puesto que el choque es de frente, los movimientos son en una línea.) *b*) Calcule el *cambio en el momento lineal* (es decir, el momento lineal después del choque menos el momento lineal antes del choque) para cada canica. Compare los valores obtenidos. *c*) Calcule el *cambio de energía* cinética (es decir, la energía cinética después del choque menos la energía cinética antes del choque) para cada canica. Compare los valores obtenidos.

**8.44.** Detalle el cálculo de  $\alpha$  y  $\beta$  en el ejemplo 8.12 (sección 8.4).

**8.45. Moderadores.** Los reactores nucleares canadienses usan moderadores de *agua pesada* en los que se dan choques elásticos entre neutrones y deuterones de masa 2.0 u (véase el ejemplo 8.11 en la sección 8.4). *a*) ¿Qué rapidez tiene un neutrón, expresada como fracción de su rapidez original, después de un choque elástico de frente con un

deuterón inicialmente en reposo? *b*) ¿Qué energía cinética tiene, expresada como fracción de su energía cinética original? *c*) ¿Cuántos choques sucesivos como éste reducirán la rapidez de un neutrón a 1/59,000 de su valor original?

**8.46.** Imagine que controla un acelerador de partículas que envía un haz de protones (masa *m*) a  $1.50 \times 10^7$  m/s contra un objetivo gaseoso de un elemento desconocido. El detector indica que algunos protones rebotan en la misma línea después de chocar con uno de los núcleos del elemento desconocido. Todos esos protones tienen una rapidez de  $1.20 \times 10^7$  m/s. Suponga que la rapidez inicial del núcleo objetivo es despreciable y que el choque es elástico. *a*) Calcule la masa del núcleo del elemento desconocido. Exprese su respuesta en términos de la masa *m* del protón. *b*) ¿Qué rapidez tiene el núcleo desconocido inmediatamente después de semejante choque?

### Sección 8.5 Centro de masa

**8.47.** Tres bloques de chocolate de forma rara tienen las siguientes masas y coordenadas del centro de masa: 1) 0.300 kg (0.200 m, 0.300 m); 2) 0.400 kg (0.100 m, -0.400 m); 3) 0.200 kg (-0.300 m, 0.600 m). Determine las coordenadas del centro de masa del sistema formado por los tres bloques.

**8.48.** Calcule la posición del centro de masa del sistema formado por el Sol y Júpiter. (Como Júpiter tiene mayor masa que el resto de los planetas juntos, se obtendrá básicamente la posición del centro de masa del Sistema Solar.) ¿El centro de masa está dentro o fuera del Sol? Use los datos del Apéndice F.

**8.49. Plutón y Caronte.** El diámetro de Plutón mide aproximadamente 2370 km, y el diámetro de su satélite Caronte mide 1250 km. Aunque la distancia varía, sus centros a menudo están separados unos 19,700 km. Suponiendo que tanto Plutón como Caronte tienen la misma composición y, por consiguiente, la misma densidad media, determine la ubicación del centro de masa de este sistema en relación con el centro de Plutón.

**8.50.** Una camioneta de 1200 kg avanza en una autopista recta a 12.0 m/s. Otro auto, de masa 1800 kg y rapidez 20.0 m/s, tiene su centro de masa 40.0 m adelante del centro de masa de la camioneta (figura 8.39). *a*) Determine la posición del centro de masa del sistema formado por los dos vehículos. *b*) Calcule la magnitud del momento lineal total del sistema, a partir de los datos anteriores. *c*) Calcule la rapidez del centro de masa del sistema. *d*) Calcule el momento lineal total del sistema, usando la rapidez del centro de masa. Compare su resultado con el inciso *b*).

Figura 8.38 Ejercicio 8.43.

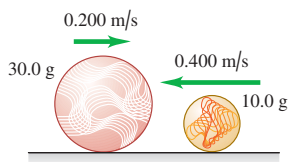


Figura 8.39 Ejercicio 8.50.

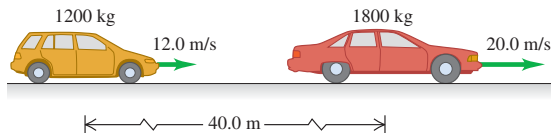
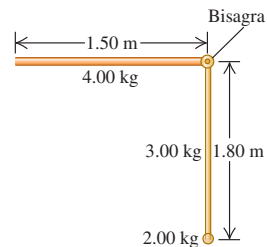


Figura 8.40 Ejercicio 8.51.

**8.51.** Una parte de una máquina consiste en una barra delgada y uniforme de 4.00 kg y 1.50 m de longitud, unida en forma perpendicular mediante una bisagra a una barra vertical similar cuya masa es de 3.00 kg y que mide 1.80 m de longitud. La barra más larga tiene una bola pequeña pero densa de 2.00 kg unida a uno de sus extremos (figura 8.40). ¿Qué distancia se mueve horizontal y verticalmente el centro de masa de la primera parte si la barra vertical se mueve alrededor del pivote en sentido antihorario 90° para formar una parte completa horizontal?



**8.52.** En un instante dado, el centro de masa de un sistema de dos partículas está sobre el eje  $x$  en  $x = 2.0$  m y tiene una velocidad de  $(5.0 \text{ m/s})\hat{i}$ . Una partícula está en el origen. La otra tiene masa de  $0.10$  kg y está en reposo en el eje  $x$  en  $x = 8.0$  m. *a)* ¿Qué masa tiene la partícula que está en el origen? *b)* Calcule el momento lineal total del sistema. *c)* ¿Qué velocidad tiene la partícula que está en el origen?

**8.53.** En el ejemplo 8.14 (sección 8.5), Ramón tira de la cuerda para adquirir una rapidez de  $0.70$  m/s. ¿Qué rapidez adquiere Santiago?

**8.54.** Un sistema consta de dos partículas. En  $t = 0$  una partícula está en el origen; la otra, cuya masa es de  $0.50$  kg, está en el eje  $y$  en  $y = 6.0$  m. En  $t = 0$  el centro de masa del sistema está en el eje  $y$  en  $y = 2.4$  m. La velocidad del centro de la masa está dada por  $(0.75 \text{ m/s}^3)t^2\hat{i}$ . *a)* Calcule la masa total del sistema. *b)* Calcule la aceleración del centro de la masa en cualquier instante  $t$ . *c)* Calcule la fuerza externa neta que actúa sobre el sistema en  $t = 3.0$  s.

**8.55.** El momento lineal de un modelo de avión controlado por radio está dada por  $[(-0.75 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^3)t^2 + (3.0 \text{ kg}\cdot\text{m/s})]\hat{i} + (0.25 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2)t\hat{j}$ . Determine las componentes  $x$ ,  $y$  y  $z$  de la fuerza neta que actúa sobre el avión.

**\*Sección 8.6 Propulsión a reacción**

**\*8.56.** Un cohete pequeño quema  $0.0500$  kg de combustible cada segundo, expulsándolo como gas con una velocidad de  $1600$  m/s relativa al cohete. *a)* ¿Qué empuje tiene el cohete? *b)* ¿Funcionaría el cohete en el espacio exterior donde no hay atmósfera? En tal caso, ¿cómo se podría guiar? ¿Se le podría frenar?

**\*8.57.** Un astronauta de  $70$  kg flota en el espacio en una unidad de maniobras tripulada (MMU, por las siglas de *manned maneuvering unit*) de  $110$  kg y sufre una aceleración de  $0.029 \text{ m/s}^2$  al disparar uno de sus impulsores. *a)* Si la rapidez del gas  $\text{N}_2$  que escapa, relativa al astronauta, es de  $490$  m/s, ¿cuánto gas se gasta en  $5.0$  s? *b)* ¿Qué empuje tiene el impulsor?

**\*8.58.** Un cohete se enciende en el espacio profundo, donde la gravedad es despreciable. Si su masa inicial es de  $6000$  kg y expulsa gas con velocidad relativa de  $2000$  m/s, ¿cuánto gas deberá expulsar en el primer segundo para adquirir una aceleración inicial de  $25.0 \text{ m/s}^2$ ?

**\*8.59.** Un cohete se enciende en el espacio profundo, donde la gravedad es despreciable, y en el primer segundo expulsa  $\frac{1}{100}$  de su masa como gas de escape, adquiriendo una aceleración de  $15.0 \text{ m/s}^2$ . ¿Qué rapidez relativa al cohete tiene el gas?

**\*8.60.** Un modelo de motor a reacción C6-5 tiene un impulso de  $10.0 \text{ N}\cdot\text{s}$  durante  $1.70$  s mientras quema  $0.0125$  kg de combustible. El empuje máximo es de  $13.3$  N. La masa inicial del motor más combustible es de  $0.0258$  kg. *a)* ¿Qué fracción del empuje máximo es el empuje medio? *b)* Calcule la rapidez relativa de los gases de escape, suponiéndola constante. *c)* Suponiendo que la rapidez relativa de los gases de escape es constante, calcule la rapidez final del motor si está sujeto a una armazón muy ligera y se enciende estando en reposo en el espacio exterior, sin gravedad.

**\*8.61.** Un cohete de una etapa se enciende desde el reposo en una plataforma espacial donde la gravedad es despreciable. Si el combustible se quema en  $50.0$  s y la rapidez relativa de los gases de escape es  $v_{\text{esc}} = 2100$  m/s, ¿cuál debe ser la razón de masas  $m_0/m$  para adquirir una rapidez final  $v$  de  $8.00$  km/s (similar a la rapidez orbital de un satélite terrestre)?

**\*8.62.** Obviamente, los cohetes pueden alcanzar gran rapidez, pero ¿qué rapidez máxima es razonable? Suponga que un cohete se enciende desde el reposo en una estación espacial donde la gravedad es despreciable. *a)* Si el cohete expulsa gas con rapidez relativa de  $2000$  m/s y se desea que el cohete alcance una rapidez final de  $1.00 \times 10^{-3}c$ , donde  $c$  es la rapidez de la luz, ¿qué fracción de la masa total inicial del cohete *no* es combustible? *b)* ¿Cuál es esta fracción si se desea alcanzar una rapidez final de  $3000$  m/s?

**Problemas**

**8.63.** Una esfera de acero de  $40.0$  kg se deja caer desde una altura de  $2.00$  m sobre una plancha de acero horizontal, rebotando a una altura de  $1.60$  m. *a)* Calcule el impulso que se da a la esfera en el impacto. *b)* Si el contacto dura  $2.00$  ms, calcule la fuerza media que actúa sobre la esfera durante el impacto.

**8.64.** En una erupción volcánica, una roca de  $2400$  kg es lanzada verticalmente hacia arriba. Al alcanzar su altura máxima, estalla súbitamente (a causa de los gases atrapados) y se divide en dos fragmentos, uno de los cuales tiene una masa tres veces mayor que el otro. El fragmento más liviano comenzó con una velocidad horizontal y tocó tierra  $274$  m directamente al norte del punto del estallido. ¿Dónde caerá el otro fragmento? Desprecie la resistencia del aire.

**8.65.** Una pelota de tenis de  $0.560$  N tiene una velocidad de  $(20.0\text{m/s})(20.0 \text{ m/s})\hat{i} - (4.0 \text{ m/s})\hat{j}$ . Justo antes de ser golpeada por una raqueta. Durante los  $3.00$  ms que la raqueta y la pelota están en contacto, la fuerza neta que actúa sobre la pelota es constante e igual a  $-(380 \text{ N})\hat{i} + (110 \text{ N})\hat{j}$ . *a)* ¿Qué componentes  $x$  y  $y$  tiene el impulso de la fuerza neta aplicada a la pelota? *b)* ¿Qué componentes  $x$  y  $y$  tiene la velocidad final de la pelota?

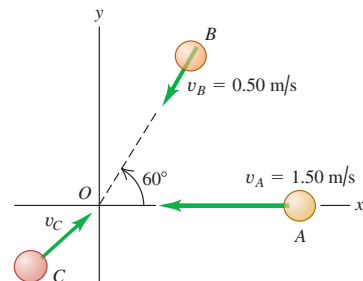
**8.66.** Tres vagones de ferrocarril en movimiento se acoplan con un cuarto vagón que está en reposo. Los cuatro continúan en movimiento y se acoplan con un quinto vagón en reposo. El proceso continúa hasta que la rapidez del tren formado es la quinta parte de la rapidez de los tres vagones iniciales. Los vagones son idénticos. Sin tomar en cuenta la fricción, ¿cuántos vagones tiene el tren final?

**8.67.** Un convertible azul de  $1500$  kg viaja al sur, y una vagoneta roja de  $2000$  kg viaja al oeste. Si el momento lineal total del sistema formado por los dos vehículos es de  $800 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$  dirigida  $60.0^\circ$  al oeste del sur, ¿qué rapidez tiene cada vehículo?

**8.68.** Tres discos idénticos en una mesa horizontal de hockey de aire tienen imanes repelentes. Se les junta y luego se les suelta simultáneamente. Todos tienen la misma rapidez en cualquier instante. Un disco se mueve al oeste. ¿Qué dirección tienen los otros dos discos?

**8.69.** Las esferas  $A$ , de  $0.020$  kg,  $B$ , de  $0.030$  kg y  $C$ , de  $0.050$  kg, se acercan al origen deslizándose sobre una mesa de aire sin fricción (figura 8.41). Las velocidades iniciales de  $A$  y  $B$  se indican en la figura. Las tres esferas llegan al origen simultáneamente y se pegan. *a)* ¿Qué componentes  $x$  y  $y$  debe tener la velocidad inicial de  $C$  si después del choque los tres objetos tienen una velocidad de  $0.50$  m/s en la dirección  $+x$ ? *b)* Si  $C$  tiene la velocidad obtenida en el inciso *a)*, ¿cuál es el cambio de la energía cinética del sistema de las tres esferas como resultado del choque?

Figura 8.41 Problema 8.69.



**8.70.** Un vagón de ferrocarril se mueve sobre vías rectas sin fricción con resistencia despreciable del aire. En los casos que siguen, el vagón tiene inicialmente una masa total (vehículo y contenido) de  $200$  kg y viaja hacia el este a  $5.00$  m/s. Suponiendo que no se sale

de la vía, calcule su *velocidad final* si: a) una masa de 25.0 kg se lanza lateralmente desde el vagón con velocidad de 2.00 m/s relativa a la velocidad inicial del vagón; b) una masa de 25.0 kg se lanza hacia atrás con velocidad de 5.00 m/s relativa al movimiento inicial del vagón; c) una masa de 25.0 kg se avienta al interior del vagón con velocidad de 6.00 m/s relativa al suelo y opuesta en dirección a la velocidad inicial del armón.

**8.71. Masa cambiante.** Un vagón tolva lleno de arena rueda con rapidez inicial de 15.0 m/s sobre vías horizontales rectas. Ignore las fuerzas de fricción que actúan sobre el vagón. La masa total del vagón y la arena es de 85,000 kg. La puerta de la tolva no cierra bien, por lo que se fuga arena por el fondo. Después de 20 minutos, se han perdido 13,000 kg de arena. ¿Qué rapidez tiene entonces el vagón? (Compare su análisis con el que usó para resolver el ejercicio 8.27.)

**8.72.** En una exhibición de autos antiguos, un Nash Metropolitan modelo 1955 de 840 kg avanza a 9.0 m/s seguido de un Packard Clipper modelo 1957 de 1620 kg que avanza a 5.0 m/s. a) ¿Qué auto tiene mayor energía cinética? ¿Cuál es la razón entre las energías cinéticas del Nash y el Packard? b) ¿Qué auto tiene mayor magnitud del momento lineal? ¿Cuál es la razón entre las magnitudes de momento lineal del Nash y el Packard? c) Sean  $F_N$  y  $F_P$  las fuerzas netas requeridas para detener en un tiempo  $t$  el Nash y el Packard, respectivamente. ¿Cuál fuerza es mayor:  $F_N$  o  $F_P$ ? ¿Cuánto vale la razón  $F_N/F_P$ ? d) Sean ahora  $F_N$  y  $F_P$  las fuerzas netas requeridas para detener en una distancia  $d$  el Nash y el Packard, respectivamente. ¿Cuál fuerza es mayor:  $F_N$  o  $F_P$ ? ¿Cuánto vale la razón  $F_N/F_P$ ?

**8.73.** Un soldado en un campo de tiro dispara una ráfaga de 8 tiros con un rifle de asalto a razón de 1000 balas por minuto. Cada bala tiene masa de 7.45 g y rapidez de 293 m/s relativa al suelo al salir del cañón del arma. Calcule la fuerza de retroceso media ejercida sobre el arma durante la ráfaga.

**8.74.** Un marco de 0.150 kg, suspendido de un resorte, lo estira 0.050 m. Un trozo de masilla de 0.200 kg en reposo se deja caer sobre el marco desde una altura de 30.0 cm (figura 8.42). ¿Qué distancia máxima baja el marco con respecto a su posición inicial?

**8.75.** Una bala de rifle de 8.00 g se incrusta en un bloque de 0.992 kg que descansa en una superficie horizontal sin fricción sujeto a un resorte (figura 8.43). El impacto comprime el resorte 15.0 cm. La calibración del resorte indica que se requiere una fuerza de 0.750 N para comprimirlo 0.250 cm. a) Calcule la velocidad del bloque inmediatamente después del impacto. b) ¿Qué rapidez tenía inicialmente la bala?

Figura 8.42 Problema 8.74.

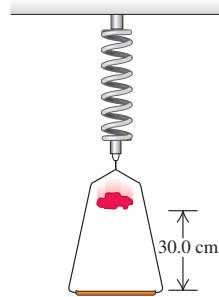
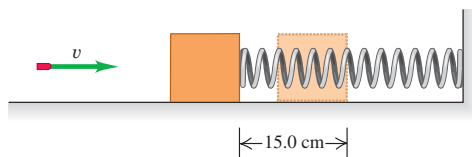


Figura 8.43 Problema 8.75.



**8.76. Rebote de bala.** Una piedra de 0.100 kg descansa en una superficie horizontal sin fricción. Una bala de 6.00 g que viaja horizontalmente a 350 m/s golpea la piedra y rebota horizontalmente a  $90^\circ$  de su dirección original, con rapidez de 250 m/s. a) Calcule la magnitud y dirección de la velocidad de la piedra después del golpe. b) ¿Es perfectamente elástico el choque?

**8.77.** Un doble de cine de 80.0 kg se para en un alféizar 5.0 m sobre el piso (figura 8.44). Sujutando una cuerda atada a un candelabro, oscila hacia abajo para pelear con el villano de 70.0 kg, quien está de pie exactamente abajo del candelabro. (Suponga que el centro de masa del doble baja 5.0 m, y él suelta la cuerda justo al chocar con el villano.) a) ¿Con qué rapidez comienzan a deslizarse los contrincantes entrelazados sobre el piso? b) Si el coeficiente de fricción cinética entre sus cuerpos y el piso es  $\mu_k = 0.250$ , ¿qué distancia se deslizan?

Figura 8.44 Problema 8.77.

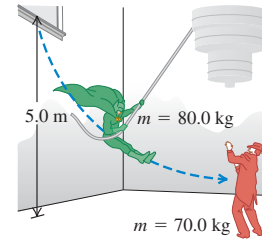
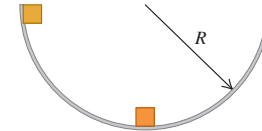


Figura 8.45 Problema 8.78.



**8.78.** Dos masas idénticas se sueltan del reposo en un tazón hemisférico liso de radio  $R$ , desde las posiciones que se muestran en la figura 8.45. Se puede despreciar la fricción entre las masas y la superficie del tazón. Si se pegan cuando chocan, ¿qué altura arriba del fondo del tazón alcanzarán las masas después de chocar?

**8.79.** Una pelota con masa  $M$ , que se mueve horizontalmente a 5.00 m/s, choca elásticamente con un bloque de masa  $3M$  que inicialmente está en reposo y cuelga del techo por medio de un alambre de 50.0 cm. Determine el ángulo máximo de oscilación del bloque después del impacto.

**8.80.** Una esfera de plomo de 20.00 kg cuelga de un gancho atado a un alambre delgado de 3.50 m de longitud, y puede oscilar en un círculo completo. De repente, un dardo de acero de 5.00 kg la golpea horizontalmente, incrustándose en ella. ¿Qué rapidez inicial mínima debe tener el dardo para que la combinación describa un círculo completo después del choque?

**8.81.** Una pelota de 8.00 kg, que cuelga del techo atada a un alambre de 135 cm de longitud, sufre un choque elástico con una pelota de 2.00 kg que se mueve horizontalmente con rapidez de 5.00 m/s justo antes del choque. Calcule la tensión en el alambre inmediatamente después del choque.

**8.82.** Una pelota de goma con masa  $m$  se libera desde el reposo a una altura  $h$  por encima del piso. Después de su primer rebote, se eleva al 90% de su altura original. ¿Qué impulso (magnitud y dirección) ejerce el piso sobre esta pelota durante su primer rebote? Expresé su respuesta en términos de las variables  $m$  y  $h$ .

**8.83.** Una bala de 4.00 g viaja horizontalmente con velocidad de 400 m/s y choca con un bloque de madera de 0.800 kg que estaba en reposo en una superficie plana. La bala atraviesa el bloque y sale con su rapidez reducida a 120 m/s. El bloque se desliza una distancia de 45.0 m sobre la superficie con respecto a su posición inicial. a) ¿Qué coeficiente de fricción cinética hay entre el bloque y la superficie? b) ¿En cuánto se reduce la energía cinética de la bala? c) ¿Qué energía cinética tiene el bloque en el instante en que la bala sale de él?

**8.84.** Una bala de 5.00 g se dispara *contra* un bloque de madera de 1.00 kg suspendido de un hilo de 2.00 m de longitud, atravesándolo. El centro de masa del bloque se eleva 0.45 cm. Calcule la rapidez de la bala al salir del bloque si su rapidez inicial es de 450 m/s.

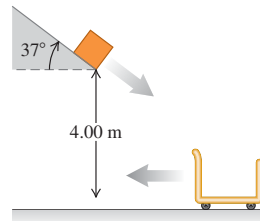


**8.85.** Un neutrón de masa  $m$  sufre un choque elástico de frente con un núcleo de masa  $M$  en reposo. *a)* Demuestre que si la energía cinética inicial del neutrón es  $K_0$ , la energía cinética que pierde durante el choque es  $4mMK_0/(M + m)^2$ . *b)* ¿Con qué valor de  $M$  pierde más energía el neutrón incidente? *c)* Si  $M$  tiene el valor calculado en el inciso *b)*, ¿qué rapidez tiene el neutrón después del choque?

**8.86. División de energía en choques elásticos.** Un objeto estacionario con masa  $m_B$  es golpeado de frente por un objeto con masa  $m_A$  que se mueve con rapidez inicial  $v_0$ . *a)* Si el choque es elástico, ¿qué porcentaje de la energía original tendrá cada objeto después del choque? *b)* Aplique el resultado del inciso *a)* a los siguientes casos especiales: i)  $m_A = m_B$ , ii)  $m_A = 5m_B$ . *c)* ¿Con qué valores, si existen, de la razón de masas  $m_A/m_B$  la energía cinética original se divide equitativamente entre los dos objetos después del choque?

**8.87.** En el centro de distribución de una compañía de embarques, un carrito abierto de 50.0 kg está rodando hacia la izquierda con rapidez de 5.00 m/s (figura 8.46). La fricción entre el carrito y el piso es despreciable. Un paquete de 15.0 kg baja deslizándose por una rampa inclinada  $37.0^\circ$  sobre la horizontal y sale proyectado con una rapidez de 3.00 m/s. El paquete cae en el carrito y siguen avanzando juntos. Si el extremo inferior de la rampa está a una altura de 4.00 m sobre el fondo del carrito, *a)* ¿qué rapidez tendrá el paquete inmediatamente antes de caer en el carrito? *b)* ¿Qué rapidez final tendrá el carrito?

Figura 8.46 Problema 8.87.



**8.88.** Un disco azul con masa de 0.0400 kg, que se desliza con rapidez de 0.200 m/s sobre una mesa de aire horizontal sin fricción, sufre un choque perfectamente elástico de frente con un disco rojo de masa  $m$ , inicialmente en reposo. Después del choque, la velocidad del disco azul es de 0.050 m/s en la misma dirección que su velocidad inicial. Calcule *a)* la velocidad (magnitud y dirección) del disco rojo después del choque; *b)* la masa  $m$  del disco rojo.

**8.89.** Dos asteroides con masas  $m_A$  y  $m_B$  se mueven con velocidades  $\vec{v}_A$  y  $\vec{v}_B$  con respecto a un astrónomo en una nave espacial. *a)* Demuestre que la energía cinética total medida por el astrónomo es

$$K = \frac{1}{2}Mv_{cm}^2 + \frac{1}{2}(m_A v_A'^2 + m_B v_B'^2)$$

donde  $\vec{v}_{cm}$  y  $M$  están definidos como en la sección 8.5,  $\vec{v}_A' = \vec{v}_A - \vec{v}_{cm}$ , y  $\vec{v}_B' = \vec{v}_B - \vec{v}_{cm}$ . En esta expresión, la energía cinética total de los dos asteroides es la energía asociada a su centro de masa más la asociada al movimiento interno relativo al centro de masa. *b)* Si los asteroides chocan, ¿qué energía cinética mínima pueden tener después del choque, según las mediciones del astrónomo? Explique.

**8.90.** Imagine que sostiene una pelota pequeña en contacto con y directamente arriba del centro de una pelota grande. Si deja caer la pelota pequeña un tiempo corto después de dejar caer la grande, la pelota pequeña rebotará con rapidez sorprendente. Para ver el caso extremo, ignore la resistencia del aire y suponga que la pelota grande choca elásticamente con el piso y luego rebota para chocar elásticamente con la pelota pequeña en descenso. Justo antes del choque entre las dos pelotas, la grande se mueve hacia arriba con velocidad  $\vec{v}$ , y la pequeña tiene velocidad  $-\vec{v}$ . (¿Entiende por qué?) Suponga que la masa de la pelota grande es mucho mayor que la de la pequeña. *a)* ¿Qué velocidad tiene la pelota pequeña justo después del choque con la grande? *b)* Use la respuesta al inciso *a)* para calcular la razón entre la distancia de rebote de la pelota pequeña y la distancia que cayó antes del choque.

**8.91.** Juan y Gilberto están parados en una caja en reposo en la superficie horizontal sin fricción de un estanco congelado. La masa de Juan es de 75.0 kg, la de Gilberto es de 45.0 kg y la de la caja es de 15.0 kg. De repente, se acuerdan de que deben ir por un cubo de agua, así que los dos saltan horizontalmente desde encima de la caja. Inmediatamente después de saltar, cada uno se aleja de la caja con rapidez de 4.00 m/s relativa a la caja. *a)* ¿Qué rapidez final tiene la caja si Juan y Gilberto saltan simultáneamente y en la misma dirección? (*Sugerencia:* use un sistema de coordenadas inercial fijo al suelo.) *b)* ¿Cuál es la rapidez final de la caja si Juan salta primero y Gilberto lo hace unos segundos después, en la misma dirección? *c)* ¿Qué rapidez final tiene la caja si Gilberto salta primero y luego Juan, en la misma dirección?

**8.92. División de energía.** Un objeto con masa  $m$ , que inicialmente está en reposo, hace explosión y produce dos fragmentos, uno con masa  $m_A$  y otro con masa  $m_B$ , donde  $m_A + m_B = m$ . *a)* Si se libera una energía  $Q$  en la explosión, ¿cuánta energía cinética tendrá cada fragmento inmediatamente después de la explosión? *b)* ¿Qué porcentaje de la energía total liberada recibirá cada fragmento si la masa de uno es cuatro veces la del otro?

**8.93. Desintegración de neutrones.** Un neutrón en reposo se desintegra (se rompe) para producir un protón y un electrón. En el decaimiento se libera energía, la cual aparece como energía cinética del protón y del electrón. La masa de un protón es 1836 veces la de un electrón. ¿Qué fracción de la energía total liberada se convertirá en energía cinética del protón?

**8.94.** Un núcleo de  $^{232}\text{Th}$  (torio) en reposo se desintegra para producir un núcleo de  $^{228}\text{Ra}$  (radio) y una partícula alfa. La energía cinética total de los productos de la desintegración es de  $6.54 \times 10^{-13}$  J. La masa de una partícula alfa es el 1.76% de la masa de un núcleo de  $^{232}\text{Ra}$ . Calcule la energía cinética de: *a)* el núcleo de  $^{228}\text{Ra}$  en retroceso y *b)* la partícula alfa emitida.

**8.95. Antineutrino.** En la desintegración beta, un núcleo emite un electrón. Un núcleo de  $^{210}\text{Bi}$  (bismuto) en reposo sufre desintegración beta para producir  $^{210}\text{Po}$  (polonio). Suponga que el electrón emitido se mueve hacia la derecha con un momento lineal de  $5.60 \times 10^{-22}$  kg · m/s. El núcleo de  $^{210}\text{Po}$ , cuya masa es de  $3.50 \times 10^{-25}$  kg, retrocede hacia la izquierda con rapidez de  $1.14 \times 10^{-3}$  m/s. La conservación del momento lineal requiere la emisión de una segunda partícula, llamada antineutrino. Calcule la magnitud y dirección del momento lineal del antineutrino emitido en esta desintegración.

**8.96.** Un protón que se mueve con rapidez  $v_{A1}$  en la dirección  $+x$  choca elásticamente pero no de frente con un protón idéntico que está en reposo. Después del impacto, el primer protón se mueve con rapidez  $v_{A2}$  en el primer cuadrante, con un ángulo  $\alpha$  con respecto al eje  $x$ , y el segundo se mueve con rapidez  $v_{B2}$  en el cuarto cuadrante, con un ángulo  $\beta$  con respecto al eje  $x$  (figura 8.13). *a)* Escriba las ecuaciones de conservación del momento lineal en las direcciones  $x$  y  $y$ . *b)* Eleve al cuadrado las ecuaciones del inciso *a)* y súmelas. *c)* Introduzca ahora el hecho de que el choque es elástico. *d)* Demuestre que  $\alpha + \beta = \pi/2$ . (Habrá demostrado que esta ecuación se obedece en cualquier choque elástico descentrado entre objetos de igual masa, cuando uno de ellos estaba inicialmente en reposo.)

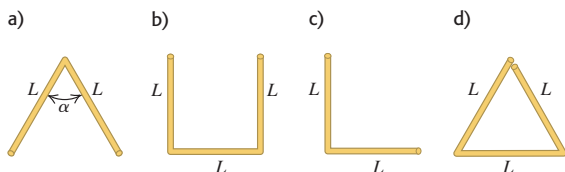
**8.97.** El disco de hockey  $B$  descansa sobre una superficie de hielo liso y es golpeado por otro disco  $A$  de la misma masa.  $A$  viaja inicialmente a 15.0 m/s y es desviado  $25.0^\circ$  con respecto a su dirección original. Suponga un choque perfectamente elástico. Calcule la rapidez final de cada disco y la dirección de la velocidad de  $B$  después del choque. (*Sugerencia:* use la relación que dedujo en el inciso *d)* del problema 8.96.)

**8.98.** Jonathan y Julia están sentados en un trineo en reposo sobre hielo sin fricción. Jonathan pesa 800 N, Julia pesa 600 N y el trineo pesa 1000 N. Las dos personas ven una araña venenosa en el piso del trineo y saltan hacia fuera. Jonathan salta a la izquierda con velocidad (relativa

al hielo) de 5.00 m/s a 30.0° por arriba de la horizontal, y Julia salta a la derecha a 7.00 m/s (relativa al hielo) a 36.9° por arriba de la horizontal. Calcule la velocidad horizontal (magnitud y dirección) del trineo después del salto.

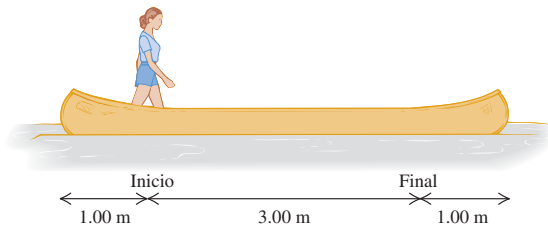
**8.99.** Los objetos de la figura 8.47 están hechos de alambre uniforme doblado. Encuentre la posición del centro de masa de cada uno.

Figura 8.47 Problema 8.99.



**8.100.** Una mujer de 45.0 kg está de pie en una canoa de 60.0 kg y 5.00 m de longitud, y comienza a caminar desde un punto a 1.00 m de un extremo hacia un punto a 1.00 m del otro extremo (figura 8.48). Si se desprecia la resistencia al movimiento de la canoa en el agua, ¿qué distancia se mueve la canoa durante este proceso?

Figura 8.48 Problema 8.100.



**8.101.** Imagine que está de pie en una plancha de concreto que descansa sobre un lago congelado. Suponga que no hay fricción entre la plancha y el hielo. La plancha pesa cinco veces más que usted. Si usted comienza a caminar a 2.00 m/s en relación con el hielo, ¿con qué rapidez relativa al hielo se moverá la plancha?

**8.102.** Un proyectil de 20.0 kg se dispara con un ángulo de 60.0° sobre la horizontal y rapidez de 80.0 m/s. En el punto más alto de la trayectoria el proyectil estalla en dos fragmentos de igual masa; uno cae verticalmente con rapidez inicial cero. Ignore la resistencia del aire. a) ¿A qué distancia del punto de disparo cae el otro fragmento si el terreno es plano? b) ¿Cuánta energía se libera en la explosión?

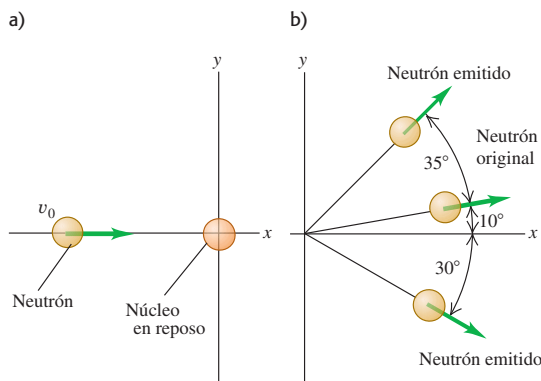
**8.103.** Un cohete de fuegos artificiales se dispara verticalmente hacia arriba. En su altura máxima de 80.0 m, estalla y se divide en dos fragmentos, uno con masa de 1.40 kg y otro con masa de 0.28 kg. En la explosión, 860 J de energía química se convierte en energía cinética de los dos fragmentos. a) ¿Qué rapidez tiene cada fragmento inmediatamente después de la explosión? b) Se observa que los dos fragmentos caen al suelo al mismo tiempo. ¿Qué distancia hay entre los puntos en los que caen? Suponga que el suelo es horizontal y que la resistencia del aire es despreciable.

**8.104.** Un obús de 12.0 kg es disparado con un ángulo de 55.0° sobre la horizontal con una rapidez inicial de 150 m/s. En el punto más alto de la trayectoria, el obús estalla en dos fragmentos, uno con tres veces más masa que el otro. Los dos fragmentos llegan al suelo al mismo

tiempo. Suponga que la resistencia del aire es despreciable. Si el fragmento más pesado cae en el punto desde el cual se lanzó el obús, ¿dónde caerá el fragmento más ligero y cuánta energía se habrá liberado en la explosión?

**8.105. Reacción nuclear.** La fisión, el proceso que suministra la energía en las plantas nucleares, ocurre cuando un núcleo pesado se divide en dos núcleos medianos. Una reacción así ocurre cuando un neutrón choca con un núcleo de  $^{235}\text{U}$  (uranio) y lo divide en un núcleo de  $^{141}\text{Ba}$  (bario) y uno de  $^{92}\text{Kr}$  (kriptón). Además, salen despedidos dos neutrones del  $^{235}\text{U}$  original. Antes del choque tenemos la situación de la figura 8.49a; después, el  $^{141}\text{Ba}$  se mueve en la dirección  $+z$ , y el  $^{92}\text{Kr}$ , en la dirección  $-z$ . Los tres neutrones se mueven en el plano  $xy$  como se ilustra en la figura 8.49b. Si el neutrón incidente tiene velocidad inicial de magnitud  $3.0 \times 10^3$  m/s y velocidad final de  $2.0 \times 10^3$  m/s en las direcciones indicadas, ¿qué rapidez tienen los otros dos neutrones, y qué puede decirse de la rapidez de los núcleos de  $^{141}\text{Ba}$  y  $^{92}\text{Kr}$ ? (La masa aproximada del núcleo de  $^{141}\text{Ba}$  es  $2.3 \times 10^{-25}$  kg, y la del  $^{92}\text{Kr}$  es de  $1.5 \times 10^{-25}$  kg.)

Figura 8.49 Problema 8.105.



**8.106. Sistema de coordenadas del centro de masa.** El disco A (masa  $m_A$ ) se desplaza sobre una mesa de aire horizontal sin fricción con velocidad  $\vec{v}_{A1}$  en la dirección  $+x$  y choca de frente elásticamente con el disco B (masa  $m_B$ ) en reposo. Después del choque, ambos discos se mueven a lo largo del eje  $+x$ . a) Calcule la velocidad del centro de masa del sistema de los dos discos antes del choque. b) Considere un sistema de coordenadas con origen en el centro de masa y que se mueve con él. ¿Es inercial este marco de referencia inercial? c) ¿Qué velocidades iniciales  $\vec{u}_{A1}$  y  $\vec{u}_{B1}$  tienen los discos en este marco de referencia? ¿Cuál es el momento lineal total en este marco? d) Use la conservación del momento lineal y de la energía, aplicadas en el marco de referencia en cuestión, para relacionar el momento lineal final de cada disco con el momento lineal inicial y, por consiguiente, la velocidad final de cada disco con la velocidad inicial. Sus resultados deberán mostrar que un choque elástico unidimensional tiene una descripción muy simple en el marco de referencia del centro de masa. e) Sean  $m_A = 0.400$  kg,  $m_B = 0.200$  kg y  $v_{A1} = 6.00$  m/s. Calcule las velocidades  $\vec{u}_{A1}$  y  $\vec{u}_{B1}$ , aplique el resultado del inciso d), y transfórmelas en velocidades en un marco estacionario para obtener las velocidades finales de los discos. ¿Concuerda su resultado con las ecuaciones (8.24) y (8.25)?

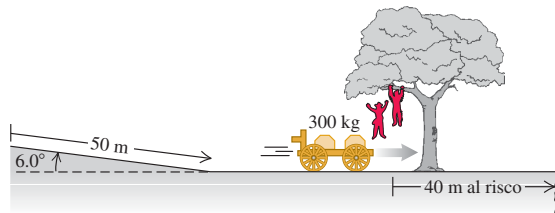
**8.107.** El coeficiente de restitución  $\epsilon$  en un choque de frente se define como la razón entre las rapidez relativas después y antes del choque.

a) ¿Cuánto vale  $\epsilon$  en un choque totalmente inelástico? b) ¿Y en un choque elástico? c) Una pelota se deja caer desde una altura  $h$  sobre una superficie estacionaria y rebota a una altura  $H_1$ . Demuestre que  $\epsilon = \sqrt{H_1/h}$ . d) Un balón de baloncesto bien inflado debe tener un coeficiente de restitución de 0.85. Si se le deja caer desde 1.2 m sobre un piso de madera sólida, ¿a qué altura debe rebotar? e) La altura del primer rebote es  $H_1$ . Demuestre que, si  $\epsilon$  es constante, la altura del  $n$ -ésimo rebote es  $H_n = \epsilon^{2n}h$ . f) Si  $\epsilon$  es constante, ¿qué altura tiene el octavo rebote del balón bien inflado que se soltó desde una altura de 1.2 m?

**8.108. Energía de enlace de la molécula de hidrógeno.** Al combinarse dos átomos de hidrógeno de masa  $m$  para formar una molécula diatómica ( $H_2$ ), la energía potencial final del sistema es  $-\Delta$ , donde  $\Delta$  es una cantidad positiva llamada *energía de enlace* de la molécula. a) Demuestre que, en un choque en el que sólo intervienen dos átomos de  $H$ , es imposible formar una molécula de  $H_2$  porque no se pueden conservar simultáneamente el momento lineal y la energía. (Sugerencia: si puede demostrar que esto se cumple en un marco de referencia, será verdad en todos los marcos de referencia. ¿Comprende por qué?) b) Una molécula de  $H_2$  puede formarse en un choque en el que intervienen tres átomos de hidrógeno. Suponga que, antes del choque, cada átomo tiene rapidez de  $1.00 \times 10^3$  m/s y que los tres se acercan con ángulos de  $120^\circ$ , de manera que en todo momento están en los vértices de un triángulo equilátero. Calcule la rapidez de la molécula de  $H_2$  y del átomo de  $H$  restante después del choque. La energía de enlace del  $H_2$  es  $\Delta = 7.23 \times 10^{-19}$  J, y la masa del átomo de  $H$  es de  $1.67 \times 10^{-27}$  kg.

**8.109.** Un bandido suelta una carreta con dos cajas de oro (masa total = 300 kg) que estaba en reposo 50 m cuesta arriba de una pendiente de  $6.0^\circ$  (figura 8.50). El plan es que la carreta baje la cuesta, ruede por terreno plano y luego caiga en un cañón donde sus cómplices esperan. Sin embargo, en un árbol a 40 m del borde del cañón están el Llanero Solitario (masa 75.0 kg) y Toro (masa 60.0 kg), quienes se dejan caer verticalmente sobre la carreta al pasar ésta. a) Si nuestros héroes necesitan 5.0 s para tomar el oro y saltar, ¿lo lograrán antes de que la carreta llegue al borde del risco? La carreta rueda con fricción despreciable. b) Cuando los héroes caen en la carreta, ¿se conserva la energía cinética del sistema de la carreta más la carreta? Si no, ¿aumenta o disminuye, y por cuánto?

Figura 8.50 Problema 8.109.



**\*8.110.** En la sección 8.6 consideramos un cohete que se dispara en el espacio exterior donde no hay resistencia del aire y la gravedad es despreciable. Suponga ahora que el cohete acelera verticalmente desde el reposo en la superficie terrestre. Siga ignorando la resistencia del aire y considere sólo la parte del movimiento en la que la altura del cohete es pequeña y  $g$  puede suponerse constante. a) ¿Cómo se modifica la ecuación (8.37) cuando se toma en cuenta la fuerza de gravedad? b) Deduzca una expresión para la aceleración  $a$  del cohete, análoga a la ecuación (8.39). c) ¿Qué aceleración tiene el cohete del

ejemplo 8.15 (sección 8.6) si está cerca de la superficie terrestre en vez de en el espacio? Ignore la resistencia del aire. d) Calcule la rapidez del cohete del ejemplo 8.16 (sección 8.6) después de 90 s si parte de la superficie terrestre y no del espacio exterior. Puede despreciar la resistencia del aire. Compare su respuesta con la rapidez calculada en el ejemplo 8.16.

**\*8.111. Cohete de múltiples etapas.** Suponga que la primera etapa de un cohete de dos etapas tiene masa total de 12,000 kg, de los cuales 9000 kg son de combustible. La masa total de la segunda etapa es 1000 kg, de los cuales 700 kg corresponden al combustible. Suponga que la rapidez relativa  $v_{esc}$  del material expulsado es constante, e ignore los efectos gravitacionales (que son pequeños durante el periodo de encendido si la tasa de consumo de combustible es alta). a) Suponga que todo el combustible de este cohete de dos etapas se utiliza en un cohete de una sola etapa con la misma masa total de 13,000 kg. En términos de  $v_{esc}$ , ¿qué rapidez tendría el cohete, partiendo del reposo, al agotarse el combustible? b) En cuanto al cohete de dos etapas, ¿qué rapidez tiene al agotarse el combustible de la primera etapa si ésta transporta la segunda etapa hasta este punto? Esta rapidez es ahora la rapidez inicial de la segunda etapa, que en este punto se separa de la primera. c) ¿Qué rapidez final tiene la segunda etapa? d) ¿Qué valor de  $v_{esc}$  se requiere para impartir a la segunda etapa del cohete una rapidez de 7.00 km/s?

**\*8.112.** Para el cohete descrito en los ejemplos 8.15 y 8.16 (sección 8.6), la masa del cohete en función del tiempo es

$$m(t) = \begin{cases} m_0 & \text{para } t < 0 \\ m_0 \left(1 - \frac{t}{120 \text{ s}}\right) & \text{para } 0 \leq t \leq 90 \text{ s} \\ m_0/4 & \text{para } t \geq 90 \text{ s} \end{cases}$$

a) Calcule y grafique la velocidad del cohete en función del tiempo desde  $t = 0$  a  $t = 100$  s. b) Calcule y grafique la aceleración del cohete en función del tiempo desde  $t = 0$  a  $t = 100$  s. c) Una astronauta de 75 kg yace en una silla reclinada durante el lanzamiento del cohete. ¿Qué fuerza neta máxima ejerce la silla sobre la astronauta? Compare su respuesta con el peso de la astronauta en la Tierra.

### Problemas de desafío

**8.113.** En la sección 8.5, calculamos el centro de masa considerando objetos constituidos por un número *finito* de masas puntuales u objetos que, por simetría, pueden representarse con un número finito de masas puntuales. Si la distribución de masa de un objeto sólido no permite una determinación simple del centro de masa por simetría, las sumas de las ecuaciones (8.28) deben generalizarse a integrales:

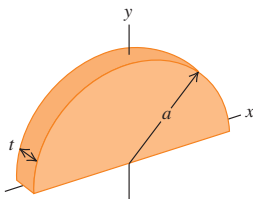
$$x_{cm} = \frac{1}{M} \int x \, dm \quad y_{cm} = \frac{1}{M} \int y \, dm$$

donde  $x$  y  $y$  son las coordenadas de un fragmento pequeño del objeto con masa  $dm$ . Se integra sobre todo el objeto. Considere una varilla delgada de longitud  $L$ , masa  $M$  y área transversal  $A$  dispuesta sobre el eje  $+x$ , con el origen de coordenadas en el extremo izquierdo de la varilla. a) Si la densidad  $\rho = M/V$  del objeto es uniforme, realice la integración anterior para demostrar que la coordenada  $x$  del centro de masa está en el centro geométrico de la varilla. b) Si la densidad del objeto varía linealmente con  $x$  según  $\rho = \alpha x$  (donde  $\alpha$  es una constante positiva), calcule la coordenada  $x$  del centro de masa.

**8.114.** Use los métodos del problema de desafío 8.113 para calcular las coordenadas  $x$  y  $y$  del centro de masa de una placa metálica semi-

circular con densidad uniforme  $\rho$ , espesor  $t$  y radio  $a$ . La masa de la placa es entonces  $M = \frac{1}{2}\rho\pi a^2 t$ . Use el sistema de coordenadas de la figura 8.51.

**Figura 8.51** Problema de desafío 8.114.



**8.115.** Una cuarta parte de una cuerda de longitud  $l$  cuelga del borde de una mesa sin fricción. La cuerda tiene densidad lineal (masa por unidad de longitud) uniforme  $\lambda$ , y el extremo que está sobre la mesa es sostenido por una persona. ¿Cuánto trabajo realiza esa persona si tira de la cuerda para subir lentamente a la mesa el resto de la cuerda? Resuelva el problema de dos maneras: a) Calcule la fuerza que debe ejercer la persona para subir la cuerda, y con esto calcule el trabajo efectuado. La fuerza es variable porque en cada instante el tramo de cuerda que cuelga es diferente. b) Suponga que el segmento de cuerda que originalmente cuelga tiene toda su masa concentrada en su centro de masa. Calcule el trabajo necesario para elevar éste a la altura de la mesa. Quizá este enfoque le parezca más sencillo que el del inciso a). ¿Hay diferencias en sus respuestas? ¿Por qué?

**\*8.116 Gota de lluvia de masa variable.** En un problema de propulsión de cohetes, la masa es variable. Un problema similar es una gota

de lluvia que cae a través de una nube de gotitas de agua, algunas de las cuales se adhieren a la gota *aumentando* su masa al caer. La fuerza sobre la gota es

$$F_{\text{ext}} = \frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}$$

Suponga que la masa de la gota depende de la distancia  $x$  que ha caído. Entonces,  $m = kx$ , donde  $k$  es constante, y  $dm/dt = kv$ . Puesto que  $F_{\text{ext}} = mg$ , esto da

$$mg = m \frac{dv}{dt} + v(kv)$$

O bien, dividiendo entre  $k$ ,

$$xg = x \frac{dv}{dt} + v^2$$

Ésta es una ecuación diferencial con solución de la forma  $v = at$ , donde  $a$  es la aceleración constante. Suponga que la velocidad inicial de la gota es cero. a) Usando la solución propuesta para  $v$ , calcule la aceleración  $a$ . b) Calcule la distancia que la gota cae en  $t = 3.00$  s. c) Con  $k = 2.00$  g/m, calcule la masa de la gota en  $t = 3.00$  s. Otros aspectos interesantes del problema pueden consultarse en K. S. Krane, *Amer. Jour. Phys.*, vol. 49 (1981), pp. 113-117.