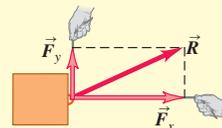


CAPÍTULO 4 RESUMEN

Fuerza como vector: La fuerza es una medida cuantitativa de la interacción de dos cuerpos. Es una cantidad vectorial. Si varias fuerzas actúan sobre un cuerpo, el efecto sobre su movimiento es igual al que se da cuando una sola fuerza, igual a la suma vectorial (resultante) de las fuerzas, actúa sobre el cuerpo. (Véase el ejemplo 4.1.)

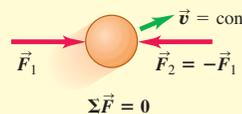
$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \sum \vec{F} \quad (4.1)$$



La fuerza neta sobre un cuerpo y la primera ley de Newton: La primera ley de Newton dice que, si la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (la *fuerza neta*) es cero, el cuerpo está en equilibrio y tiene aceleración cero. Si el cuerpo está inicialmente en reposo, permanece en reposo; si está inicialmente en movimiento, sigue moviéndose con velocidad constante. Esta ley sólo es válida en marcos de referencia inerciales. (Véanse los ejemplos 4.2 y 4.3.)

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$(4.3)$$



Masa, aceleración y segunda ley de Newton: Las propiedades inerciales de un cuerpo se caracterizan por su *masa*. La aceleración de un cuerpo bajo la acción de un conjunto de fuerzas dado es directamente proporcional a la suma vectorial de las fuerzas (la *fuerza neta*) e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. Esta relación es la segunda ley de Newton. Al igual que la primera ley, ésta sólo es válida en marcos de referencia inerciales. La unidad de fuerza se define en términos de las unidades de masa y aceleración. En el SI, la unidad de fuerza es el newton (N), igual a $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$. (Véanse los ejemplos 4.4 y 4.5.)

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

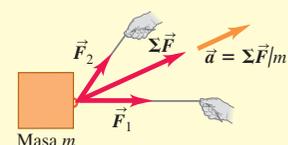
$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum F_z = ma_z$$

$$(4.7)$$

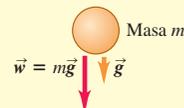
$$(4.8)$$



Peso: El peso \vec{w} de un cuerpo es la fuerza gravitacional ejercida sobre él por la Tierra. El peso es una cantidad vectorial. La magnitud del peso de un cuerpo en un lugar dado es igual al producto de su masa m y la magnitud de la aceleración debida a la gravedad g en ese lugar. Mientras que el peso de un cuerpo depende de su ubicación, la masa es independiente de la ubicación. (Véanse los ejemplos 4.6 y 4.7.)

$$w = mg$$

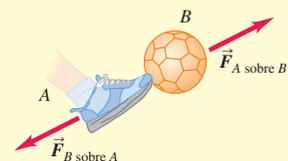
$$(4.9)$$



Tercera ley de Newton y pares acción-reacción: La tercera ley de Newton dice que cuando dos cuerpos interactúan, se ejercen mutuamente fuerzas que en todo instante son iguales en magnitud y opuestas en dirección. Estas fuerzas se denominan fuerzas de acción-reacción y cada una actúa sólo sobre uno de los dos cuerpos; nunca actúan sobre el mismo cuerpo. (Véanse los ejemplos 4.8 a 4.11.)

$$\vec{F}_{A \text{ sobre } B} = -\vec{F}_{B \text{ sobre } A}$$

$$(4.11)$$



Términos clave

dinámica, 107

leyes del movimiento de Newton, 107

mecánica clásica (newtoniana), 107

fuerza, 108

fuerza de contacto, 108

fuerza normal, 108

fuerza de fricción, 108

fuerza de tensión, 108

fuerzas de largo alcance, 108

peso, 108

superposición de fuerzas, 109

fuerza neta, 110

primera ley del movimiento de Newton, 111

inercia, 112

equilibrio, 112

marco de referencia inercial, 113

masa, 116

kilogramo, 116

newton, 116

segunda ley del movimiento de Newton, 117

tercera ley del movimiento de Newton, 123

par acción-reacción, 123

tensión, 126

diagrama de cuerpo libre, 127

Respuesta a la pregunta de inicio de capítulo ?

La tercera ley de Newton nos dice que el niño sentado (a quien llamaremos Raymundo) empuja sobre el niño que está de pie (a quien llamaremos Esteban) justo tan fuerte como Esteban empuja a Raymundo, pero en la dirección opuesta. Esto es válido si Raymundo empuja “activamente” sobre Esteban (por ejemplo, si Raymundo empujó su mano contra Esteban) o “pasivamente” (si la espalda de Raymundo es la que empuja, como en la fotografía con que inicia el capítulo). Las magnitudes de fuerza serían mayores en el caso “activo” que en el caso “pasivo”, pero de cualquier modo, el empuje de Raymundo sobre Esteban es tan fuerte como el empuje de Esteban sobre Raymundo.

Respuestas a las preguntas de Evalúe su comprensión

4.1 Respuesta: iv) La fuerza gravitacional sobre el bloque apunta directo hacia abajo. En la figura 4.6 el eje x apunta hacia arriba a la derecha, y el eje y apunta hacia arriba a la izquierda. Por lo tanto, la fuerza gravitacional tiene tanto una componente x como una componente y , y ambas son negativas.

4.2 Respuesta: i), ii) y iv) En i), ii) y iv) el cuerpo no acelera, por lo cual la fuerza neta sobre él es cero. En la situación iv), la caja permanece estacionaria o en reposo, vista en el marco de referencia inercial del suelo, mientras el camión acelera hacia adelante, como la patinadora de la fig. 4.11a. En la situación iii), el halcón se mueve en un círculo; por lo tanto, está acelerando y *no* está en equilibrio.

4.3 Respuesta: iii), i) y iv) (empataados), ii) La aceleración es igual a la fuerza neta dividida entre la masa. Por lo tanto, la magnitud de la aceleración en cada situación es

$$i) a = (2.0 \text{ N}) / (2.0 \text{ kg}) = 1.0 \text{ m/s}^2;$$

$$ii) a = (8.0 \text{ N}) / (2.0 \text{ N}) = 4.0 \text{ m/s}^2;$$

$$iii) a = (2.0 \text{ N}) / (8.0 \text{ kg}) = 0.25 \text{ m/s}^2;$$

$$iv) a = (8.0 \text{ N}) / (8.0 \text{ kg}) = 1.0 \text{ m/s}^2.$$

4.4 La astronauta requeriría esforzarse el doble para caminar porque su peso en ese planeta sería el doble que en la Tierra. En cambio, sería igualmente fácil atrapar la pelota que se mueve horizontalmente. La *masa* de la pelota no cambia, así que la fuerza horizontal que la astronauta tendría que ejercer para detenerla (esto es, para impartirle la misma aceleración) sería la misma que en la Tierra.

4.5 Por la tercera ley de Newton, las dos fuerzas tienen la misma magnitud. Puesto que la masa del automóvil es mucho mayor que la del mosquito, el vehículo sufre una aceleración minúscula, imperceptible, en respuesta a la fuerza del impacto. En cambio, el mosquito, con su masa tan pequeña, sufre una aceleración catastróficamente alta.

4.6 Respuesta: iv) La fuerza de flotabilidad es una fuerza *hacia arriba* que el *agua* ejerce sobre el *buzo*. Por la tercera ley de Newton, la otra mitad del par acción-reacción es una fuerza *hacia abajo* que el *buzo* ejerce sobre el *agua* y tiene la misma magnitud que la fuerza de flotabilidad. Es cierto que el peso del buzo es también hacia abajo y tiene la misma magnitud que la fuerza de flotabilidad; sin embargo, el peso actúa sobre el mismo cuerpo (el buzo) que la fuerza de flotabilidad y, por lo tanto, estas fuerzas no constituyen un par acción-reacción.

PROBLEMAS

Para la tarea asignada por el profesor, visite www.masteringphysics.com



Preguntas para análisis

P4.1. ¿Un cuerpo puede estar en equilibrio si sólo una fuerza actúa sobre él? Explique su respuesta.

P4.2. Una bola lanzada verticalmente hacia arriba tiene velocidad cero en su punto más alto. ¿Está en equilibrio ahí? ¿Por qué?

P4.3. Un globo con helio se mantiene en el aire sin ascender ni descender. ¿Está en equilibrio? ¿Qué fuerzas actúan sobre él?

P4.4. Al volar en un avión de noche en aire tranquilo, no tenemos sensación de movimiento, aunque el avión vaya a 800 km/h (500 mi/h). ¿Por qué?

P4.5. Si se tira de los extremos de una cuerda en equilibrio con fuerzas de igual magnitud y dirección opuesta, ¿por qué la tensión en la cuerda total no es cero?

P4.6. Imagine que ata un ladrillo al extremo de una cuerda y lo hace girar alrededor de usted en un círculo horizontal. Describa la trayectoria del ladrillo después de que usted repentinamente suelta la cuerda.

P4.7. Si un automóvil se detiene repentinamente, los pasajeros tienden a moverse hacia adelante, en relación con sus asientos. ¿Por qué? Si el auto da una vuelta abrupta, los pasajeros tienden a deslizarse hacia un lado. ¿Por qué?

P4.8. Algunas personas dicen que la “fuerza de la inercia” (o la “fuerza del ímpetu”) lanza a los pasajeros hacia adelante cuando un automóvil frena abruptamente. ¿Qué error tiene esa explicación?

P4.9. Un pasajero de un autobús en movimiento, sin ventanillas, ve que una pelota que estaba en reposo en el pasillo comienza a moverse repentinamente hacia atrás. Piense en dos posibles explicaciones y en cómo decidir cuál es correcta.

P4.10. Suponga que usted elige como unidades fundamentales del SI fuerza, longitud y tiempo, en vez de masa, longitud y tiempo. ¿Qué unidades tendría la masa en términos de las unidades fundamentales?

P4.11. En la Antigüedad, algunos griegos creían que el “estado natural” de un objeto era estar en reposo, por lo que los objetos buscarían su estado natural llegando al reposo si se les dejaba solos. Explique porque esta visión parecería realmente muy convincente en el mundo actual.

- P4.12.** ¿Por qué es la Tierra sólo un marco de referencia aproximadamente inercial?
- P4.13.** ¿La segunda ley de Newton se cumple para un observador en una vagoneta que acelera, frena o da vuelta? Explique su respuesta.
- P4.14.** Algunos estudiantes llaman “fuerza de aceleración” a la cantidad $m\ddot{a}$. ¿Es correcto decir que esa cantidad es una fuerza? En tal caso, ¿qué ejerce dicha fuerza? Si no, ¿cómo puede describirse mejor esta cantidad?
- P4.15.** La aceleración de un cuerpo que cae se mide en un elevador que viaja hacia arriba a una rapidez constante de 9.8 m/s. ¿Qué resultado se obtiene?
- P4.16.** Podemos jugar a atrapar pelotas en un autobús que se mueve con rapidez constante en un camino recto, igual que si estuviera en reposo. ¿Podemos hacerlo si el autobús da vuelta con rapidez constante en un camino horizontal? ¿Por qué?
- P4.17.** Algunos estudiantes afirman que la fuerza de gravedad sobre un objeto es de 9.8 m/s^2 . ¿Qué es incorrecto en este punto de vista?
- P4.18.** La cabeza de un martillo se está aflojando de su mango de madera. ¿Cómo golpearía el mango contra una acera de concreto para apretar la cabeza? ¿Por qué funciona esto?
- P4.19.** ¿Por qué puede doler más patear un peñasco que un guijarro? ¿El peñasco *debe* doler más? Explique su respuesta.
- P4.20.** “No es la caída lo que lastima, es la parada repentina al final”. Traduzca este dicho al lenguaje de las leyes del movimiento de Newton.
- P4.21.** Una persona puede clavarse en agua desde una altura de 10 m sin lastimarse, pero si salta desde un edificio de 10 m y cae en una acera de concreto, seguramente se lastimará mucho. ¿A qué se debe la diferencia?
- P4.22.** ¿Por qué por seguridad los automóviles se diseñan de tal forma que se aplasten por el frente y por detrás? ¿Y por qué no para choques de lado y volcaduras?
- P4.23.** Al dispararse una bala de un rifle, ¿cuál es el origen de la fuerza que acelera la bala?
- P4.24.** Si un peso grande se levanta con un cordel que apenas lo resiste, es posible levantarlo tirando uniformemente; pero si se da un tirón repentino, el cordel se rompe. Explique esto en términos de las leyes del movimiento de Newton.
- P4.25.** Una caja grande cuelga del extremo de una cuerda vertical. ¿La tensión en la cuerda es mayor cuando la caja está en reposo o cuando sube con rapidez constante? Si la caja sube, ¿la tensión en la cuerda es mayor cuando está acelerando o cuando está frenando? En cada caso, explique en términos de las leyes del movimiento de Newton.
- P4.26.** ¿Cuál siente un mayor tirón por la gravedad terrestre, una piedra de 10 kg o una piedra de 20 kg? Si usted las deja caer, ¿por qué la piedra de 20 kg no cae con el doble de la aceleración que la piedra de 10 kg? Explique su razonamiento.
- P4.27.** ¿Por qué no debemos decir que 1.0 kg *es igual* a 2.2 lb?
- P4.28.** Un caballo está enganchado a un carro. Puesto que el carro tira hacia atrás del caballo tan fuerte como éste tira del carro, ¿por qué el carro no está en equilibrio, sin importar qué tan fuerte el caballo tire del carro?
- P4.29.** ¿Verdadero o falso? Usted ejerce un empujón P sobre un objeto y éste lo empuja a usted hacia atrás con una fuerza F . Si el objeto se mueve a velocidad constante, entonces, F es igual a P , pero si el objeto acelera, entonces, P debe ser mayor que F .
- P4.30.** Un camión grande (T) y un automóvil compacto (C) chocan de frente y el camión ejerce una fuerza $\vec{F}_{T \text{ sobre } C}$ sobre el auto, y éste ejerce una fuerza $\vec{F}_{C \text{ sobre } T}$ sobre el camión. ¿Cuál fuerza tiene mayor magnitud, o son iguales? ¿Su respuesta depende de la rapidez de cada vehículo antes del choque? ¿Por qué?
- P4.31.** Cuando un automóvil se detiene en una carretera horizontal, ¿qué fuerza hace que frene? Cuando el auto aumenta su rapidez en la misma carretera, ¿qué fuerza hace que acelere? Explique su respuesta.
- P4.32.** Un automóvil compacto empuja una camioneta grande averiada, y viajan por la carretera con la misma velocidad y aceleración. Cuando el auto acelera, ¿la fuerza que ejerce sobre la camioneta es mayor, menor o de la misma magnitud que la camioneta ejerce sobre él? ¿A cuál vehículo se aplica la mayor fuerza neta, o son iguales las fuerzas netas? Explique su respuesta.
- P4.33.** Considere dos personas que tiran en direcciones opuestas de los extremos de una cuerda. Por la tercera ley de Newton, la fuerza que A ejerce sobre B es tan grande como la que B ejerce sobre A . Entonces, ¿qué determina quién gana? (*Sugerencia:* dibuje un diagrama de cuerpo libre que muestre todas las fuerzas que actúan sobre cada persona.)
- P4.34.** En la Luna, $g = 1.62 \text{ m/s}^2$. Si un ladrillo de 2 kg cae sobre su pie desde una altura de 2 m, ¿le dolerá más, menos o lo mismo en la Luna que en la Tierra? Explique su respuesta. Si se lanza el mismo ladrillo y lo golpea a usted moviéndose horizontalmente a 6 m/s, le dolerá más, menos o igual en la Luna que en la Tierra? Explique su respuesta. (En la Luna, suponga que está dentro de un recinto presurizado, así que no usa traje espacial.)
- P4.35.** Un manual para aprendices de pilotos indica: “cuando un avión vuela a una altitud constante, sin ascender ni descender, la fuerza de sustentación de las alas es igual al peso del avión. Cuando el avión asciende a ritmo constante, la sustentación es mayor que el peso; cuando el avión desciende a ritmo constante, la sustentación es menor que el peso”. ¿Son correctas estas afirmaciones? Explique su respuesta.
- P4.36.** Si usted tiene las manos mojadas y no dispone de una toalla, puede eliminar el exceso de agua sacudiéndolas. ¿Por qué se elimina el agua así?
- P4.37.** Si está en cuclillas (digamos, al examinar los libros del estante más bajo en una biblioteca o librería) y se para repentinamente, probablemente sentirá un mareo temporal. ¿Cómo explican las leyes del movimiento de Newton este suceso?
- P4.38.** Cuando un automóvil es golpeado por atrás, los pasajeros sienten un *latigazo*. Use las leyes del movimiento de Newton para explicar este fenómeno.
- P4.39.** En un choque de frente entre dos automóviles, los pasajeros que no usan cinturón de seguridad podrían ser lanzados a través del parabrisas. Use las leyes del movimiento de Newton para explicar este fenómeno.
- P4.40.** En un choque de frente entre un automóvil compacto de 1000 kg y uno grande de 2500 kg, ¿cuál experimenta mayor fuerza? Explique su respuesta. ¿Cuál experimenta mayor aceleración? ¿Por qué? Ahora explique por qué los pasajeros del auto más pequeño tienen mayor probabilidad de lesionarse que los del auto grande, aunque las carrocerías de ambos vehículos tengan la misma resistencia.
- P4.41.** Suponga que está en un cohete sin ventanillas que viaja en el espacio profundo, lejos de cualquier otro objeto. Sin ver hacia fuera del cohete y sin hacer contacto alguno con el mundo exterior, explique cómo podría determinar si el cohete: *a)* se mueve hacia adelante con una rapidez constante igual al 80% de la de la luz; *b)* está acelerando hacia adelante.

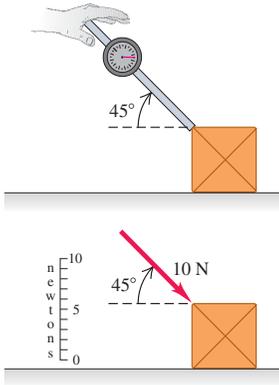
Ejercicios

Sección 4.1 Fuerza e interacciones

- 4.1.** Dos fuerzas tienen la misma magnitud F . ¿Qué ángulo hay entre los dos vectores si su resultante tiene magnitud *a)* $2F$? *b)* $\sqrt{2}F$? *c)* cero? Dibuje los 3 vectores en cada situación.
- 4.2.** En vez de usar los ejes x y y de la figura 4.8 para analizar la situación del ejemplo 4.1, use ejes girados 37.0° en el sentido antihorario, de modo que el eje y sea paralelo a la fuerza de 250 N. *a)* Para estos ejes, obtenga las componentes x y y de la fuerza neta sobre el cinturón. *b)* Use esas componentes para obtener la magnitud y dirección de la fuerza neta. Compare sus resultados con los del ejemplo 4.1.

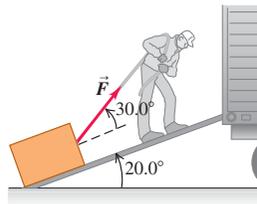
4.3. Un almacenista empuja una caja por el piso, como se indica en la figura 4.31, con una fuerza de 10 N que apunta 45° hacia abajo de la horizontal. Obtenga las componentes horizontal y vertical de la fuerza.

Figura 4.31 Ejercicio 4.3.



4.4. Un hombre arrastra hacia arriba un baúl por la rampa de un camión de mudanzas. La rampa está inclinada 20.0° y el hombre tira con una fuerza \vec{F} cuya dirección forma un ángulo de 30.0° con la rampa (figura 4.32). *a)* ¿Qué \vec{F} se necesita para que la componente F_x paralela a la rampa sea de 60.0 N? *b)* ¿Qué magnitud tendrá entonces la componente F_y perpendicular a la rampa?

Figura 4.32 Ejercicio 4.4.



4.5. Dos perros tiran horizontalmente de cuerdas atadas a un poste; el ángulo entre las cuerdas es de 60.0° . Si el perro A ejerce una fuerza de 270 N, y el B, de 300 N, calcule la magnitud de la fuerza resultante y su ángulo con respecto a la cuerda del perro A.

4.6. Dos fuerzas, \vec{F}_1 y \vec{F}_2 , actúan sobre un punto. La magnitud de \vec{F}_1 es de 9.00 N, y su dirección es de 60.0° sobre el eje x en el segundo cuadrante. La magnitud de \vec{F}_2 es de 6.00 N, y su dirección es 53.1° bajo el eje x en el tercer cuadrante. *a)* Obtenga las componentes x y y de la fuerza resultante. *b)* Obtenga la magnitud de la fuerza resultante.

Sección 4.3 Segunda ley de Newton

4.7. Si se aplica una fuerza neta horizontal de 132 N a una persona de 60 kg que descansa en el borde de una alberca, ¿qué aceleración horizontal se produce?

4.8. ¿Qué fuerza neta se requiere para impartir a un refrigerador de 135 kg una aceleración de 1.40 m/s^2 ?

4.9. Una caja descansa sobre un estanque helado que actúa como superficie horizontal sin fricción. Si un pescador aplica una fuerza horizontal de 48.0 N a la caja y produce una aceleración de 3.00 m/s^2 , ¿qué masa tiene la caja?

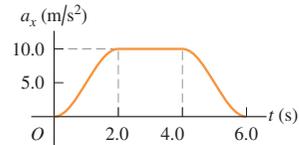
4.10. Un estibador aplica una fuerza horizontal constante de 80.0 N a un bloque de hielo en reposo sobre un piso horizontal, en el que la fricción es despreciable. El bloque parte del reposo y se mueve 11.0 m en 5.00 s. *a)* ¿Qué masa tiene el bloque? *b)* Si el trabajador deja de empujar a los 5.00 s, ¿qué distancia recorrerá el bloque en los siguientes 5.00 s?

4.11. Un disco de hockey con masa de 0.160 kg está en reposo en el origen ($x = 0$) sobre la pista, que es y sin fricción. En el tiempo $t = 0$, un jugador aplica una fuerza de 0.250 N al disco, paralela al eje x , y deja de aplicarla en $t = 2.00 \text{ s}$. *a)* ¿Qué posición y rapidez tiene el disco en $t = 2.00 \text{ s}$? *b)* Si se aplica otra vez esa fuerza en $t = 5.00 \text{ s}$, ¿qué posición y rapidez tiene el disco en $t = 7.00 \text{ s}$?

4.12. Una fuerza horizontal neta de 140 N actúa sobre una caja de 32.5 kg que inicialmente está en reposo en el piso de una bodega. *a)* ¿Qué aceleración se produce? *b)* ¿Qué distancia recorre la caja en 10.0 s? *c)* ¿Qué rapidez tiene después de 10.0 s?

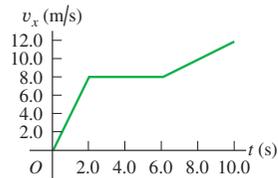
4.13. Un carrito de juguete de 4.50 kg sufre una aceleración en línea recta (el eje x). La gráfica de la figura 4.33 muestra esta aceleración en función del tiempo. *a)* Calcule la fuerza neta máxima sobre este carrito. ¿Cuándo ocurre esta fuerza máxima? *b)* En qué instantes la fuerza neta sobre el carrito es constante? *c)* ¿Cuándo la fuerza neta es igual a cero?

Figura 4.33 Ejercicio 4.13.



4.14. Un gato de 2.75 kg se mueve en línea recta (el eje x). La figura 4.34 muestra una gráfica de la componente x de la velocidad de este gato en función del tiempo. *a)* Calcule la fuerza neta máxima sobre este gato. ¿Cuándo ocurre dicha fuerza? *b)* ¿Cuándo la fuerza neta sobre el gato es igual a cero? *c)* ¿Cuál es la fuerza neta en el tiempo 8.5 s?

Figura 4.34 Ejercicio 4.14.



4.15. Un pequeño cohete de 8.00 kg quema combustible que ejerce una fuerza hacia arriba que varía con el tiempo sobre él, mientras se mueve en la plataforma de lanzamiento. Esta fuerza cumple con la ecuación $F = A + Bt^2$. Las mediciones demuestran que en $t = 0$, la fuerza es de 100.0 N y al final de los primeros 2.00 s, es de 150.0 N. *a)* Encuentre las constantes A y B , incluyendo sus unidades del SI. *b)* Obtenga la fuerza neta sobre este cohete y su aceleración *i)* en el instante en que empieza a quemarse el combustible y *ii)* 3.00 s después del comienzo de la ignición del combustible. *c)* Suponga que usted estuvo usando el cohete en el espacio exterior, lejos de cualquier gravedad. ¿Cuál sería su aceleración 3.00 s después de la ignición del combustible?

4.16. Un electrón (masa = $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$) sale de un extremo de un cinescopio con rapidez inicial cero y viaja en línea recta hacia la rejilla aceleradora, a 1.80 cm de distancia, llegando a ella con rapidez de $3.00 \times 10^6 \text{ m/s}$. Si la fuerza neta es constante, calcule *a)* la aceleración, *b)* el tiempo para llegar a la rejilla, y *c)* la fuerza neta en newtons. (Puede despreciarse la fuerza gravitacional sobre el electrón.)

Sección 4.4 Masa y peso

4.17. Superman lanza un peñasco de 2400 N a un adversario. ¿Qué fuerza horizontal debe aplicar al peñasco para darle una aceleración horizontal de 12.0 m/s^2 ?

- 4.18.** Una bola de bolos pesa 71.2 N. El jugador aplica una fuerza horizontal de 160 N (36.0 lb) a la bola. ¿Qué magnitud tiene la aceleración horizontal de la bola?
- 4.19.** En la superficie de Io, una luna de Júpiter, la aceleración debida a la gravedad es $g = 1.81 \text{ m/s}^2$. Una sandía pesa 44.0 N en la superficie terrestre. *a)* ¿Qué masa tiene la sandía en la superficie terrestre? *b)* ¿Qué masa y peso tiene en la superficie de Io?
- 4.20.** La mochila de una astronauta pesa 17.5 N cuando ella está en la Tierra, pero sólo 3.24 N cuando está en la superficie de un asteroide. *a)* ¿Cuál es la aceleración debida a la gravedad en ese asteroide? *b)* ¿Cuál es la masa de la mochila en el asteroide?

Sección 4.5 Tercera ley de Newton

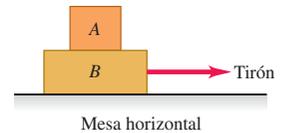
- 4.21.** Una velocista de alto rendimiento puede arrancar del bloque de salida con una aceleración casi horizontal de magnitud 15 m/s^2 . ¿Qué fuerza horizontal debe aplicar una corredora de 55 kg al bloque de salida al inicio para producir esta aceleración? ¿Qué cuerpo ejerce la fuerza que impulsa a la corredora: el bloque de salida o ella misma?
- 4.22.** Imagine que sostiene un libro que pesa 4 N en reposo en la palma de su mano. Complete lo que sigue: *a)* _____ ejerce una fuerza hacia abajo de magnitud 4 N sobre el libro. *b)* La mano ejerce una fuerza hacia arriba de magnitud _____ sobre _____. *c)* ¿La fuerza hacia arriba del inciso *b)* es la reacción a la fuerza hacia abajo del inciso *a)*? *d)* La reacción a la fuerza en el inciso *a)* es una fuerza de magnitud _____ ejercida sobre _____ por _____. *e)* ¿La fuerza hacia arriba del inciso *b)* es la reacción a la fuerza del inciso *b)* es una fuerza de magnitud _____ ejercida sobre _____ por _____. *f)* Las fuerzas de los incisos *a)* y *b)* son iguales y opuestas por la _____ ley de Newton. *g)* Las fuerzas de los incisos *b)* y *e)* son iguales y opuestas por la _____ ley de Newton. Suponga ahora que ejerce una fuerza hacia arriba de 5 N sobre el libro. *h)* ¿Éste sigue en equilibrio? *i)* ¿La fuerza que la mano ejerce sobre el libro es igual y opuesta a la que la Tierra ejerce sobre el libro? *j)* ¿La fuerza que la Tierra ejerce sobre el libro es igual y opuesta a la que el libro ejerce sobre la Tierra? *k)* La fuerza que la mano ejerce sobre el libro es igual y opuesta a la que el libro ejerce sobre la mano? Por último, suponga que usted quita de repente la mano mientras el libro está subiendo. *l)* ¿Cuántas fuerzas actúan entonces sobre el libro? *m)* ¿El libro está en equilibrio?
- 4.23.** Se empuja una botella a lo largo de una mesa y cae por el borde. No desprecie la resistencia del aire. *a)* ¿Qué fuerzas se ejercen sobre la botella mientras está en el aire? *b)* ¿Cuál es la reacción a cada fuerza; es decir, qué cuerpo ejerce la reacción sobre qué otro cuerpo?
- 4.24.** La fuerza normal hacia arriba que el piso de un elevador ejerce sobre un pasajero que pesa 650 N es de 620 N. ¿Cuáles son las fuerzas de reacción a estas dos fuerzas? ¿El pasajero está acelerando? Si acaso, ¿en qué dirección y qué magnitud tiene la aceleración?
- 4.25.** Una estudiante con 45 kg de masa se lanza desde un trampolín alto. Tomando $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ como masa de la Tierra, calcule la aceleración de la Tierra hacia ella, si la de ella es de 9.8 m/s^2 hacia la Tierra. Suponga que la fuerza neta sobre la Tierra es la fuerza de gravedad que ella ejerce.

Sección 4.6 Diagramas de cuerpo libre

- 4.26.** Un atleta lanza una pelota de masa m directamente hacia arriba y ésta no experimenta resistencia del aire considerable. Dibuje un diagrama de cuerpo libre de esta pelota mientras está en el aire y *a)* se mueva hacia arriba; *b)* en su punto más alto; *c)* se mueva hacia abajo. *d)* Repita los incisos *a)*, *b)* y *c)* si el atleta lanza la pelota a un ángulo de 60° por encima de la horizontal, en vez de directamente hacia arriba.

- 4.27.** Dos cajas, *A* y *B*, descansan juntas sobre una superficie horizontal sin fricción. Las masas correspondientes son m_A y m_B . Se aplica una fuerza horizontal \vec{F} a la caja *A* y las dos cajas se mueven hacia la derecha. *a)* Dibuje los diagramas de cuerpo libre claramente marcados para cada caja. Indique cuáles pares de fuerzas, si acaso, son pares acción-reacción según la tercera ley. *b)* Si la magnitud de \vec{F} es menor que el peso total de las dos cajas, ¿hará que se muevan las cajas? Explique su respuesta.

Figura 4.35 Ejercicio 4.28.



- 4.28.** Una persona jala horizontalmente del bloque *B* de la figura 4.35, haciendo que ambos bloques se muevan juntos como una unidad. Mientras este sistema se mueve, elabore un cuidadoso diagrama de cuerpo libre, rotulado, del bloque *A*, si *a)* la mesa no tiene fricción; y si *b)* hay fricción entre el bloque *B* y la mesa, y la fuerza sobre el bloque *B* es igual a la fuerza de fricción sobre él debido a la mesa.
- 4.29.** Una pelota cuelga de una cuerda larga atada al techo de un vagón de tren que viaja al este sobre vías horizontales. Un observador dentro del tren observa que la pelota cuelga inmóvil. Dibuje un diagrama de cuerpo libre claramente marcado para la pelota, si *a)* el tren tiene velocidad uniforme y *b)* si el tren acelera de manera uniforme. ¿La fuerza neta sobre la pelota es cero en cualquier caso? Explique su respuesta.
- 4.30.** Una caja grande que contiene su nueva computadora descansa en la plataforma de su camioneta, que está detenida en un semáforo. El semáforo cambia a verde, usted pisa el acelerador y la camioneta se acelera. Horrorizado, ve cómo la caja comienza a deslizarse hacia la parte de atrás de la camioneta. Dibuje un diagrama de cuerpo libre claramente marcado para la camioneta y para la caja. Indique los pares de fuerzas, si los hay, que sean pares acción-reacción según la tercera ley. (Entre la plataforma de la camioneta y la caja hay fricción.)
- 4.31.** Una silla de 12.0 kg de masa descansa en un piso horizontal, que tiene cierta fricción. Usted empuja la silla con una fuerza $F = 40.0 \text{ N}$ dirigida con un ángulo de 37.0° bajo la horizontal, y la silla se desliza sobre el piso. *a)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre claramente marcado para la silla. *b)* Use su diagrama y las leyes de Newton para calcular la fuerza normal que el piso ejerce sobre la silla.
- 4.32.** Un esquiador de 65.0 kg de masa es remolcado cuesta arriba por una ladera nevada con rapidez constante, sujeto a una cuerda paralela al suelo. La pendiente es constante de 26.0° sobre la horizontal, y la fricción es despreciable. *a)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre claramente marcado para el esquiador. *b)* Calcule la tensión en la cuerda.
- 4.33.** Un camión está jalando un automóvil en una autopista horizontal mediante una cuerda horizontal. El auto está en la marcha (cambio) neutral, de manera que se puede suponer que no hay fricción considerable entre sus llantas y la autopista. Conforme el camión acelera para alcanzar la rapidez de cruce en la autopista, dibuje un diagrama de cuerpo libre de *a)* el auto y *b)* el camión. *c)* ¿Qué fuerza acelera este sistema hacia delante? Explique cómo se origina esta fuerza.

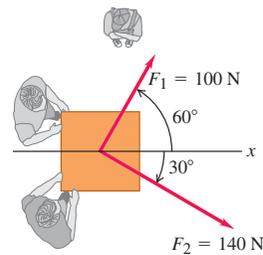
Problemas

- 4.34.** Una bala de rifle calibre 22 que viaja a 350 m/s golpea un árbol grande, penetrando a una profundidad de 0.130 m. La masa de la bala es de 1.80 g. Suponga una fuerza de frenado constante. *a)* ¿Cuánto tarda la bala en detenerse? *b)* ¿Qué fuerza (en N) ejerce el árbol sobre la bala?
- 4.35.** Dos caballos tiran horizontalmente de cuerdas atadas al tronco de un árbol. Las fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 que aplican al tronco son tales que la fuerza neta (resultante) \vec{R} tiene magnitud igual a la de \vec{F}_1 y está a 90° de \vec{F}_1 . Sea $F_1 = 1300 \text{ N}$ y $R = 1300 \text{ N}$. Calcule la magnitud de \vec{F}_2 y su dirección (relativa a \vec{F}_1).

4.36. Imagine que acaba de llegar al Planeta X y deja caer una pelota de 100 g desde una altura de 10.0 m, la cual tarda 2.2 s en llegar al suelo. Puede ignorar cualquier fuerza que la atmósfera del planeta ejerza sobre la pelota. ¿Cuánto pesa la pelota de 100 g en la superficie del Planeta X?

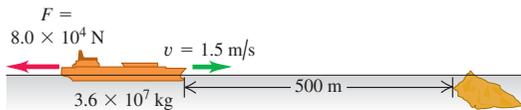
4.37. Dos adultos y un niño quieren empujar un carrito con ruedas en la dirección x de la figura 4.36. Los adultos empujan con fuerzas horizontales \vec{F}_1 y \vec{F}_2 como se muestra en la figura. *a)* Calcule la magnitud y dirección de la fuerza *más pequeña* que el niño debería ejercer. Se pueden despreciar los efectos de la fricción. *b)* Si el niño ejerce la fuerza mínima obtenida en el inciso *a)*, el carrito acelerará a 2.0 m/s^2 en la dirección $+x$. ¿Cuánto pesa el carrito?

Figura 4.36 Problema 4.37.



4.38. Los motores de un buque tanque se averiaron y el viento empuja la nave con rapidez constante de 1.5 m/s directo hacia un arrecife (figura 4.37). Cuando el barco está a 500 m del arrecife, el viento cesa y el maquinista logra poner en marcha los motores. El timón está atorado, así que la única opción es intentar acelerar hacia atrás. La masa del buque y su carga es $3.6 \times 10^7 \text{ kg}$ y los motores producen una fuerza horizontal neta de $8.0 \times 10^4 \text{ N}$. ¿Chocará el barco contra el arrecife? Si lo hace, ¿se derramará el petróleo? El casco puede resistir impactos a una rapidez de 0.2 m/s o menos. Puede despreciarse la fuerza de retardo que el agua ejerce sobre el casco de la nave.

Figura 4.37 Problema 4.38.



4.39. Salto vertical sin carrera. El jugador de baloncesto Darrell Griffith saltó una vez 1.2 m (4 ft) sin carrera. (Esto significa que subió 1.2 m después de que sus pies se separaron del piso.) Griffith pesaba 890 N (200 lb). *a)* ¿Qué rapidez tenía al separarse del piso? *b)* Si sus pies tardaron 0.300 s en separarse del piso después de que Griffith inició su salto, ¿qué aceleración media (magnitud y dirección) tuvo mientras se estaba empujando contra el piso? *c)* Dibuje su diagrama de cuerpo libre (véase la sección 4.6). En términos de las fuerzas del diagrama, ¿qué fuerza neta actuó sobre Griffith? Use las leyes de Newton y los resultados del inciso *b)* para calcular la fuerza media que aplicó sobre el piso.

4.40. Un anuncio asegura que cierto automóvil puede “parar en un diez”. ¿Qué fuerza neta sería necesaria para detener un auto de 850 kg que viaja a 45.0 km/h en una distancia igual al diámetro de una moneda de 10 centavos de dólar (1.8 cm)?

4.41. Una cubeta de 4.80 kg , llena de agua, se acelera hacia arriba con un cordel de masa despreciable, cuya resistencia a la rotura es de 75.0 N . *a)* Dibuje el diagrama de cuerpo libre de la cubeta. En términos de las fuerzas de su diagrama, ¿qué fuerza neta actúa sobre la cubeta? *b)* Aplique la segunda ley de Newton a la cubeta y determine la aceleración máxima hacia arriba que puede imprimirse a la cubeta sin romper el cordel.

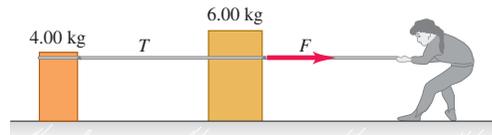
4.42. Un paracaidista confía en que la resistencia del aire (principalmente sobre su paracaídas) reducirá su velocidad hacia abajo. Ella y su

paracaídas tienen una masa de 55.0 kg y la resistencia del aire ejerce una fuerza total hacia arriba de 620 N sobre ella y el paracaídas. *a)* ¿Cuánto pesa la paracaidista? *b)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la paracaidista (véase la sección 4.6) y úselo para calcular la fuerza neta que actúa sobre ella. ¿Esta fuerza es hacia arriba o hacia abajo? *c)* ¿Qué aceleración (magnitud y dirección) tiene la paracaidista?

4.43. Dos cajas, una de 4.00 kg y la otra de 6.00 kg , descansan en la superficie horizontal sin fricción de un estanque congelado, unidas por una cuerda delgada (figura 4.38). Una mujer (con zapatos de golf que le dan tracción sobre el hielo) aplica una fuerza horizontal F a la caja de 6.00 kg y le imparte una aceleración de 2.50 m/s^2 . *a)* ¿Qué aceleración tiene la caja de 4.00 kg ? *b)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la caja de 4.00 kg y úselo junto con la segunda ley de Newton para calcular la tensión T en la cuerda que une las dos cajas. *c)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la caja de 6.00 kg . ¿Qué dirección tiene la fuerza neta sobre esta caja? ¿Cuál tiene mayor magnitud, la fuerza T o la fuerza F ? *d)* Use el inciso *c)* y la segunda ley de Newton para calcular la magnitud de la fuerza F .

4.44. Una astronauta está unida a una nave espacial mediante un cable fuerte. La astronauta y su traje tienen una masa total de 105 kg ; en tanto que la masa del cable es despreciable. La masa de la nave espacial es de $9.05 \times 10^4 \text{ kg}$ y está lejos de cualquier cuerpo astronómico gran-

Figura 4.38 Problema 4.43.



de, así que podemos despreciar las fuerzas gravitacionales sobre ella y la astronauta. También suponemos que inicialmente la nave espacial y la astronauta están en reposo en un marco de referencia inercial. Entonces, la astronauta tira del cable con una fuerza de 80.0 N . *a)* ¿Qué fuerza ejerce el cable sobre la astronauta? *b)* Puesto que $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, ¿cómo puede un cable “sin masa” ($m = 0$) ejercer una fuerza? *c)* ¿Qué aceleración tiene la astronauta? *d)* ¿Qué fuerza ejerce el cable sobre la nave espacial? *e)* ¿Qué aceleración tiene la nave espacial?

4.45. Imagine que, con la finalidad de estudiar los daños en aviones que chocan con aves grandes, usted diseña un cañón para acelerar objetos del tamaño de un pollo, de modo que su desplazamiento en el cañón esté dado por $x = (9.0 \times 10^3 \text{ m/s}^2)t^2 - (8.0 \times 10^4 \text{ m/s}^3)t^3$. El objeto sale del cañón en $t = 0.025 \text{ s}$. *a)* ¿Qué longitud debe tener el cañón? *b)* ¿Con qué rapidez salen los objetos del cañón? *c)* ¿Qué fuerza neta debe ejercerse sobre un objeto de 1.50 kg en: i) $t = 0$? Y ii) $t = 0.025 \text{ s}$?

4.46. Una nave espacial desciende verticalmente cerca de la superficie del Planeta X. Un empuje hacia arriba de 25.0 kN , producido por los motores, la frena a razón de 1.20 m/s^2 , pero la nave aumenta su rapidez a razón de 0.80 m/s^2 si el empuje hacia arriba es de 10.0 kN . *a)* En cada caso, ¿qué dirección tiene la aceleración de la nave? *b)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la nave. En cada caso, aumentando o disminuyendo su rapidez, ¿qué dirección tiene la fuerza neta sobre la nave? *c)* Aplique la segunda ley de Newton a cada caso para averiguar el peso de la nave cerca de la superficie del Planeta X.

4.47. Un instrumento de 6.50 kg se cuelga de un alambre vertical dentro de una nave espacial que despega de la superficie de la Tierra. Esta nave parte del reposo y alcanza una altitud de 276 m en 15.0 s con aceleración constante. *a)* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para

el instrumento durante este tiempo. Indique qué fuerza es mayor.
 b) Obtenga la fuerza que el alambre ejerce sobre el instrumento.

4.48. Suponga que el cohete del problema 4.47 se acerca para un aterrizaje vertical, en vez de realizar un despegue. El capitán ajusta el empuje de los motores, de manera que la magnitud de la aceleración del cohete es la misma que tenía durante el despegue. Repita los incisos a) y b).

4.49. Un gimnasta de masa m sube por una cuerda vertical de masa despreciable sujeta al techo. Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el gimnasta. Calcule la tensión en la cuerda si el gimnasta a) sube a un ritmo constante; b) cuelga inmóvil de la cuerda; c) sube la cuerda con aceleración de magnitud $|\vec{a}|$; d) baja deslizándose por la cuerda con aceleración hacia abajo de magnitud $|\vec{a}|$.

4.50. Un elevador cargado, cuyos cables están muy desgastados, tiene masa total de 2200 kg, y los cables aguantan una tensión máxima de 28,000 N. a) Dibuje el diagrama de cuerpo libre del elevador. En términos de las fuerzas de su diagrama, ¿qué fuerza neta actúa sobre el elevador? Aplique la segunda ley de Newton al elevador y calcule con qué aceleración máxima puede subir el elevador sin que se rompan los cables. b) ¿Cuál sería la respuesta al inciso a), si el elevador estuviera en la Luna, donde $g = 1.62 \text{ m/s}^2$?

4.51. Salto al suelo. Un hombre de 75.0 kg se lanza desde una plataforma situada 3.10 m sobre el suelo. Mantiene las piernas rectas al caer pero, al tocar el piso, dobla las rodillas y, tratado como partícula, avanza 0.60 m más antes de parar. a) ¿Qué rapidez tiene al tocar el suelo? b) Tratándolo como partícula, ¿con qué aceleración (magnitud y dirección) se frena, si la aceleración se supone constante? c) Dibuje su diagrama de cuerpo libre (véase la sección 4.6). En términos de las fuerzas del diagrama, ¿qué fuerza neta actúa sobre él? Use las leyes de Newton y los resultados del inciso b) para calcular la fuerza media que sus pies ejercen sobre el piso al amortiguar la caída. Expresé la fuerza en newtons y como múltiplo de su peso.

4.52. Un martillo de 4.9 N con velocidad inicial de 3.2 m/s hacia abajo es detenido en una distancia de 0.45 cm por un clavo en una tabla de pino. Además del peso, la persona que lo usa le aplica una fuerza descendente de 15 N. Suponga que la aceleración de la cabeza del martillo es constante mientras está en contacto con el clavo y se mueve hacia abajo. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la cabeza del martillo. Identifique la fuerza de reacción a cada fuerza de acción del diagrama. b) Calcule la fuerza hacia abajo \vec{F} ejercida por la cabeza del martillo sobre el clavo mientras está en contacto con él y moviéndose hacia abajo. c) Suponga que la tabla es de madera dura y la distancia que el martillo recorre al detenerse es de sólo 0.12 cm. Las fuerzas descendentes sobre el martillo son las mismas que en el inciso b). ¿Qué fuerza \vec{F} ejerce ahora la cabeza del martillo sobre el clavo, mientras está en contacto con él y moviéndose hacia abajo?

4.53. Un cable uniforme de peso w cuelga verticalmente hacia abajo, sostenido en su extremo superior por una fuerza hacia arriba de magnitud w . ¿Qué tensión hay en el cable a) en el extremo superior? b) ¿En el extremo inferior? c) ¿Y en medio? Su respuesta a cada inciso deberá incluir un diagrama de cuerpo libre. (Sugerencia: elija como cuerpo por analizar un punto o una sección del cable.) d) Grafique la tensión en la cuerda contra la distancia de su extremo superior.

4.54. Los dos bloques de la figura 4.39 están unidos por una cuerda gruesa uniforme de 4.00 kg. Se aplica una fuerza de 200 N hacia arriba, como se indica. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el bloque de 6.00 kg, uno para la cuerda de 4.00 kg y uno para el bloque de 5.00 kg. Para cada fuerza, indique qué cuerpo la ejerce. b) ¿Qué aceleración tiene el sistema? c) ¿Qué tensión hay en la parte superior de la cuerda? d) ¿Y en su parte media?

4.55. Un atleta, cuya masa es de 90.0 kg, está levantando pesas. Partiendo de una posición en reposo, levanta, con aceleración constante,

una barra que pesa 490 N, elevándola 0.6 m en 1.6 s. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre claramente marcado para la barra y para el atleta. b) Use los diagramas del inciso a) y las leyes de Newton para obtener la fuerza total que sus pies ejercen sobre el piso mientras levanta la barra.

4.56. Un globo aerostático sostiene una canasta, un pasajero y un poco de carga. Sea M la masa total. Aunque sobre el globo actúa una fuerza de sustentación ascendente, el globo inicialmente está acelerando hacia abajo a razón de $g/3$. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el globo en descenso. b) Determine la fuerza de sustentación hacia arriba en términos del peso total inicial Mg . c) El pasajero nota que se dirige hacia una catarata y decide que necesita subir. ¿Qué fracción del peso total deberá tirar por la borda para que el globo se acelere hacia arriba a razón de $g/2$? Suponga que la fuerza de sustentación no cambia.

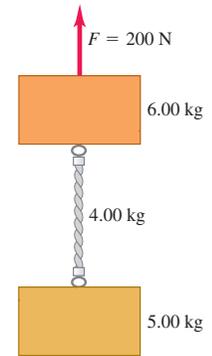
4.57. Un estudiante trata de levantar una cadena que consta de tres eslabones idénticos. Cada uno tiene una masa de 300 g. La cadena está colgada verticalmente de una cuerda; el estudiante sostiene el extremo superior del cordel y tira hacia arriba. De esta forma, el estudiante ejerce, por medio de la cuerda, una fuerza de 12 N hacia arriba sobre la cadena. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada eslabón de la cadena y también para toda la cadena considerada como un solo cuerpo. b) Use los resultados del inciso a) y las leyes de Newton para calcular: i) la aceleración de la cadena y ii) la fuerza ejercida por el eslabón superior sobre el eslabón central.

4.58. La posición de un helicóptero de entrenamiento de $2.75 \times 10^5 \text{ N}$ que se prueba está dada por $\vec{r} = (0.020 \text{ m/s}^3)t^3\hat{i} + (2.2 \text{ m/s})t\hat{j} - (0.060 \text{ m/s}^2)t^2\hat{k}$. Determine la fuerza neta sobre el helicóptero en $t = 5.0 \text{ s}$.

4.59. Un objeto con masa m se mueve sobre el eje x . Su posición en función del tiempo está dada por $x(t) = At - Bt^3$, donde A y B son constantes. Calcule la fuerza neta sobre el objeto en función del tiempo.

4.60. Sobre un objeto con masa m inicialmente en reposo actúa una fuerza $\vec{F} = k_1\hat{i} + k_2t\hat{j}$, donde k_1 y k_2 son constantes. Calcule la velocidad $\vec{v}(t)$ del objeto en función del tiempo.

Figura 4.39
 Problema 4.54.



Problemas de desafío

4.61. Si conocemos $F(t)$, la fuerza en función del tiempo, para movimiento rectilíneo, la segunda ley de Newton nos da $a(t)$, la aceleración en función del tiempo, que podemos integrar para obtener $v(t)$ y $x(t)$. Sin embargo, suponga que lo que se conoce es $F(v)$. a) La fuerza neta sobre un cuerpo que se mueve sobre el eje x es $-Cv^2$. Use la segunda ley de Newton escrita como $\Sigma F = m dv/dt$, y dos integraciones para demostrar que $x - x_0 = (m/C) \ln(v_0/v)$. b) Demuestre que dicha ley puede escribirse como $\Sigma F = mv dv/dx$. Deduzca la expresión del inciso a) usando esta forma y una integración.

4.62. Un objeto de masa m está en reposo en equilibrio en el origen. En $t = 0$ se aplica una fuerza $\vec{F}(t)$ con componentes

$$F_x(t) = k_1 + k_2y \quad F_y(t) = k_3t$$

donde k_1 , k_2 y k_3 son constantes. Calcule los vectores de posición $\vec{r}(t)$ y velocidad $\vec{v}(t)$ en función del tiempo.