UNIDAD DIDÁCTICA DE FÍSICA - PRIMER PERÍODO- GRADO 10°1

Martha Juliet Valencia Villa

TEMAS:

Descripción del movimiento: Cinemática en una dimensión.

Marcos de referencia y desplazamiento, velocidad promedio, velocidad instantánea, aceleración, desaceleración.

Movimiento con aceleración constante, resolución de problemas, caída de objetos.

Cinemática en dos dimensiones; movimiento de proyectiles, resolución de problemas.

Dinámica: Leyes de Newton.

OBJETIVOS

- ✓ Aplica las propiedades de los números reales para resolver diferentes situaciones.
- ✓ Reconoce la importancia de la ciencia en la humanidad.
- ✓ Aplica la medida y la incertidumbre para dar el resultad aproximado.
- ✓ Aplica la definición de movimiento en una dimensión para resolver problemas.
- ✓ Verificar y explicar las variables implicadas en el movimiento de los cuerpos.
- ✓ Entender la cinemática del movimiento como la descripción del movimiento
- ✓ Utilizar la forma matemática de posición, velocidad y aceleración en la resolución de problemas.
- ✓ Aplicar las leyes de Newton.

REQUISITOS PREVIOS:

- ✓ Unidades de medida.
- ✓ Resolver las operaciones básicas entre los números reales.

CONTENIDOS DE APRENDIZAJE:

CONCEPTOS	**PROCEDIMIENTOS**	**ACTITUDES**
✓ Cinemática. ✓ Marcos de referencia y desplazamiento. ✓ Velocidad promedio. ✓ Aceleración ✓ Desaceleración. ✓ Movimiento con aceleración constante. ✓ Resolución de problemas.	✓ Participa del trabajo individual y en familia de una manera comprometida y responsable. ✓ Utiliza las herramientas tecnológicas como fuente de información, para	✓ Demuestra interés por aprender. ✓ Desarrolla y practica las actividades propuestas en la unidad didáctica. ✓ Propone estrategias para la construcción y apropiación del conocimiento.

✓ Caída de objetos. ✓ Movimiento de proyectil. ✓ Dinámica de los cuerpos. ✓ Leyes de Newton.	complementar los conocimientos. ✓ Resuelve situaciones problema aplicando los conceptos vistos. ✓ Consigna los contenidos de la unidad didáctica de manera coherente y cohesiva. ✓ Plantea estrategias para mejorar los procesos fundamentales. ✓ Desarrolla las actividades propuestas en la unidad didáctica y supera sus insuficiencias cognitivas. ✓ Leer cuidadosamente la unidad didáctica.	✓ Presenta sus trabajos en forma oportuna y responsable. ✓ Asume una actitud de confianza frente a las propias capacidades para la comprensión de la unidad didáctica.

ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS:

- ✓ Explicación de los conceptos con dos o tres ejemplos.
- ✓ Definición de los conceptos.
- ✓ Estudiar los ejercicios propuestos, ver los videos.

  El contenido y ejercicios es del texto: ***física principios con aplicaciones, sexta edición, Douglas C.Giaconli***

  https://alcape.jimdofree.com/gu%C3%ADas-de-f%C3%ADsica-grado-10/

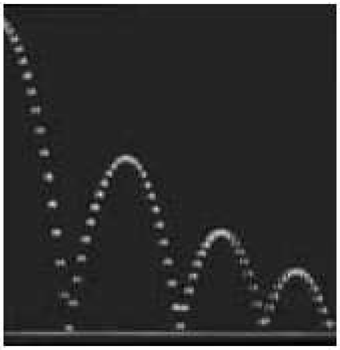


FIGURA 3–17 Esta fotografía estroboscópica de una bola que realiza una serie de rebotes muestra la característica trayectoria "parabólica" del movimiento de proyectiles.

3–5 Movimiento de proyectiles

En el capítulo 2 se estudió el movimiento de los objetos en una dimensión en términos de desplazamiento, velocidad y aceleración, incluido el movimiento meramente vertical de los cuerpos que caen experimentando aceleración debida a la gravedad. Ahora examinaremos el movimiento más general de los objetos que se mueven a través del aire en dos dimensiones cerca de la superficie de la Tierra, tales como una bola de golf, una pelota de béisbol que es lanzada o bateada, un balón de fútbol que es pateado y las balas que se disparan. Todos éstos son ejemplos de **movimiento de proyectiles** (figura 3-17), el cual se puede describir como si ocurriese en dos dimensiones. Aunque con frecuencia la resistencia del aire es importante, en muchos casos sus efectos pueden ignorarse, y en el análisis siguiente así se hará. Por ahora no interesa el proceso mediante el cual el objeto es lanzado o proyectado. Sólo se considerará su movimiento *después* de que es proyectado, y *antes* de que toque tierra o sea atrapado; es decir, se analizará el objeto proyectado sólo cuando está en movimiento libremente a través del aire y bajo la sola acción de la gravedad. Entonces, la aceleración del objeto es la debida a la gravedad, que actúa hacia abajo con magnitud $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, y se supondrá constante.[†]

Movimientos horizontal y vertical analizados por separado

Galileo fue el primero en describir el movimiento de los proyectiles acertadamente. Él mostró que dicho movimiento se podría comprender analizando por separado los componentes horizontal y vertical del movimiento. Por conveniencia, se supone que el movimiento comienza en el tiempo $t = 0$ en el origen de un sistema coordenado xy (así que $x_0 = y_0 = 0$).

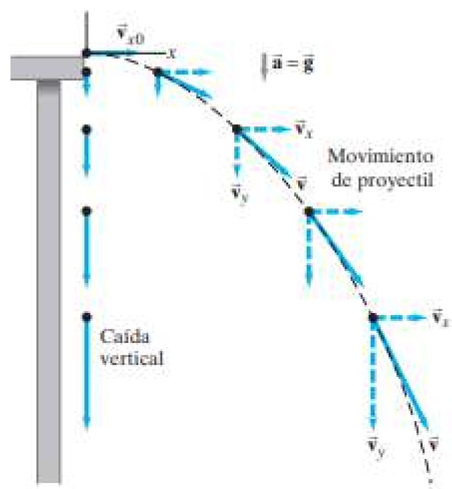


FIGURA 3–18 Movimiento de proyectil de una bola pequeña proyectada horizontalmente. La línea negra punteada representa la trayectoria del objeto. El vector velocidad $\vec{\mathbf{v}}$ en cada punto está en la dirección del movimiento, y por tanto, es tangente a la trayectoria. Los vectores de velocidad están representados por flechas continuas azules, y los componentes de la velocidad por flechas punteadas. (Para fines de comparación, a la izquierda se muestra un objeto que cae verticalmente partiendo del mismo punto; v_y es la misma para el objeto que cae y para el proyectil).

$\vec{\mathbf{v}}$ es tangente a la trayectoria.

Observemos una pelota (pequeña) que rueda del extremo de una mesa horizontal con una velocidad inicial en la dirección horizontal (x), v_{x0}. Observe la figura 3-18, donde, para fines de comparación, también se muestra un objeto que cae verticalmente. El vector velocidad $\vec{\mathbf{v}}$ a cada instante apunta en la dirección del movimiento de la pelota en dicho instante y siempre es tangente a la trayectoria. Siguiendo las ideas de Galileo, los componentes horizontal y vertical de la velocidad, v_x y v_y, se tratan por separado, luego se aplican las ecuaciones cinemáticas (ecuaciones de la 2-11a a la 2-11c) a los componentes x y y del movimiento.

Movimiento vertical (a_y = constante = $-g$)

Primero examinaremos el componente vertical (y) del movimiento. En el instante en que la bola deja lo alto de la mesa ($t = 0$), sólo tiene un componente x de velocidad. Una vez que la bola deja la mesa (en $t = 0$), experimenta una aceleración g verticalmente hacia abajo, la aceleración debida a la gravedad. Por tanto, v_y inicialmente es cero ($v_{y0} = 0$) pero aumenta de manera continua en la dirección hacia abajo (hasta que la bola golpea el suelo). Tomemos y como positivo hacia arriba. Entonces, $a_y = -g$ y, a partir de la ecuación 2-11a, se puede escribir $v_y = -gt$, pues se establece que $v_{y0} = 0$. El desplazamiento vertical está dado por $y = -\frac{1}{2}gt^2$.

[†] Esto se restringe a los objetos cuya distancia recorrida y altura máxima sobre la Tierra son pequeñas en comparación con el radio de ésta (6,400 km).

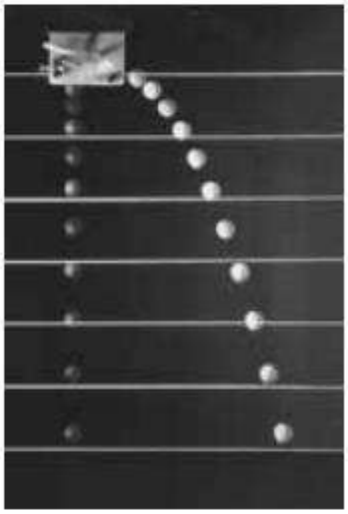


FIGURA 3–19 Fotografía estroboscópica que muestra las posiciones de dos bolas en iguales intervalos de tiempo. Una bola se suelta desde el reposo al mismo tiempo que la otra es proyectada horizontalmente hacia fuera. Se ve que la posición vertical de cada bola es la misma.

Movimiento horizontal ($a_x = 0$, v_x = *constante*)

Por otra parte, en la dirección horizontal, no existe aceleración (se ignora la resistencia del aire). Así que el componente horizontal de la velocidad, v_x, permanece constante, igual a su valor inicial, v_{x0}, y por ende tiene la misma magnitud en cada punto sobre la trayectoria. Entonces, el desplazamiento horizontal está dado por $x = v_{x0}t$. Los dos componentes vectoriales, $\vec{\mathbf{v}}_x$ y $\vec{\mathbf{v}}_y$, se suman vectorialmente en cualquier instante para obtener la velocidad $\vec{\mathbf{v}}$ en ese momento (esto es, para cada punto sobre la trayectoria), como se muestra en la figura 3-18.

Un resultado de este análisis, que Galileo mismo predijo, es que *un objeto proyectado horizontalmente alcanzará el suelo en el mismo tiempo que un objeto que se suelta verticalmente*. Esto es así porque los movimientos verticales son los mismos en ambos casos, como se aprecia en la figura 3-18. La figura 3-19 es una fotografía de exposición múltiple de un experimento que confirma esto.

EJERCICIO C Dos bolas que tienen diferente rapidez ruedan hacia fuera del extremo de una mesa horizontal al mismo tiempo. ¿Cuál golpea el suelo más pronto, la bola más rápida o la más lenta?

Objeto proyectado hacia arriba

Si un objeto se proyecta en un ángulo hacia arriba, como en la figura 3-20, el análisis es similar, excepto que ahora existe un componente vertical inicial de velocidad, v_{y0}. A causa de la aceleración descendente de la gravedad, v_y disminuye gradualmente con el tiempo hasta que el objeto alcanza el punto más alto en su trayectoria, punto en el que $v_y = 0$ ($v = v_x = v_{x0}$). A continuación, el objeto se mueve hacia abajo (figura 3-20) y v_y aumenta en la dirección descendente, como se muestra (es decir, se vuelve más negativa). Como antes, v_x, permanece constante.

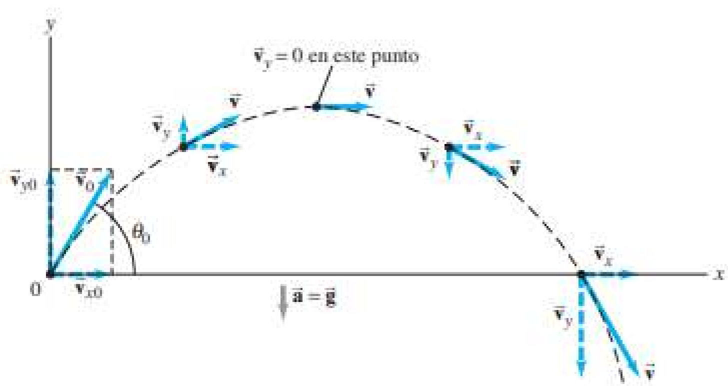


FIGURA 3–20 Trayectoria de un proyectil disparado con velocidad inicial $\vec{\mathbf{v}}_0$ en un ángulo θ con respecto a la horizontal. La trayectoria se muestra en negro, los vectores de la velocidad son las flechas continuas azules y los componentes de la velocidad son las flechas punteadas.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Movimiento de proyectiles

Aquí también se aplica un enfoque para resolver problemas de la sección 2-6. La resolución de problemas que implican movimiento de proyectiles requiere creatividad y no se consigue sólo aplicando algunas reglas. Por supuesto, hay que evitar quedarse en el solo hecho de colocar números en las ecuaciones que parecen "funcionar".

1. Como siempre, **lea** con cuidado; **elija** el objeto (u objetos) que se va a analizar.
2. **Dibuje** con cuidado un **diagrama** que muestre lo que le ocurre al objeto.
3. **Elija** un origen y un **sistema coordenado** xy.
4. Decida el **intervalo de tiempo**, que para el movimiento de proyectiles sólo incluye el movimiento bajo el efecto de la gravedad, no lanzamientos ni aterrizajes. El intervalo de tiempo debe ser el mismo para los análisis de x y de y. Los movimientos x y y están conectados por el tiempo común.
5. **Examine** por separado los **movimientos** horizontal (x) y vertical (y). Si se indica la velocidad inicial, es posible que quiera analizarla en sus componentes x y y.
6. Elabore una lista con las cantidades **conocidas** y las **incógnitas**; elija $a_x = 0$ y $a_y = -g$ o $+g$, donde $g = 9.80\ \mathrm{m/s^2}$, y utilice los signos $+$ o $-$ dependiendo de si elige y como positivo hacia arriba o hacia abajo. Recuerde que v_x nunca cambia a lo largo de la trayectoria, y que $v_y = 0$ en el punto más alto de cualquier trayectoria que regrese hacia abajo. La velocidad justo antes de aterrizar, por lo general, no es cero.
7. Piense durante un minuto antes de empezar a resolver las ecuaciones. Un poco de planeación supone un largo trecho. **Aplique** las **ecuaciones** relevantes (tabla 3-2) y combine ecuaciones si es necesario. Es posible que necesite combinar componentes de un vector para obtener su magnitud y dirección (ecuaciones 3-4).

EJEMPLO 3–4 **Huida en un risco.** Un doble de películas que conduce una motocicleta aumenta horizontalmente la rapidez y sale disparado de un risco de 50.0 m de alto. ¿A qué velocidad debe dejar el risco la motocicleta para aterrizar al nivel del suelo a 90.0 m de la base del risco, donde se encuentran las cámaras? Ignora la resistencia del aire.

PLANTEAMIENTO Seguiremos explícitamente los pasos del recuadro de resolución de problemas.

SOLUCIÓN

1. y 2. **Lea, elija el objeto y dibuje un diagrama.** El objeto es la motocicleta y el conductor, tomados como una sola unidad. El diagrama se muestra en la figura 3-21.

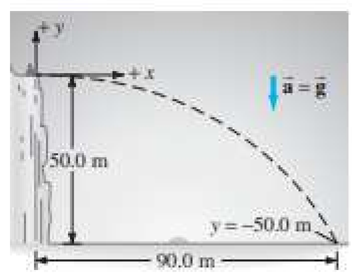


FIGURA 3–21 Ejemplo 3-4.

3. **Elija un sistema coordenado.** Se elige la dirección y positiva hacia arriba, con lo alto del risco como $y_0 = 0$. La dirección x es horizontal, con $x_0 = 0$ en el punto donde la motocicleta abandona el risco.
4. **Elija un intervalo de tiempo.** Elija que el intervalo de tiempo comience ($t = 0$) justo cuando la motocicleta deja lo alto del risco en la posición $x_0 = 0$, $y_0 = 0$; el intervalo de tiempo termina justo antes de que la motocicleta golpee el suelo.
5. **Examine los movimientos x y y.** En la dirección horizontal (x), la aceleración $a_x = 0$, de modo que la velocidad es constante. El valor de x cuando la motocicleta llega al suelo es $x = +90.0$ m. En la dirección vertical, la aceleración es la aceleración debida a la gravedad, $a_y = -g = -9.80\ \mathrm{m/s^2}$. El valor de y cuando la motocicleta llega al suelo es $y = -50.0$ m. La velocidad inicial es horizontal y es la incógnita, v_{x0}; la velocidad vertical inicial es cero, $v_{y0} = 0$.
6. **Elabore una lista con las cantidades conocidas y las incógnitas.** Observe la tabla al margen. Note que, además de no conocer la velocidad horizontal inicial v_{x0} (que permanece constante hasta el aterrizaje), tampoco se conoce el tiempo t cuando la motocicleta llega al suelo.

Datos conocidos	Incógnitas
$x_0 = y_0 = 0$	v_{x0}
$x = 90.0\ \mathrm{m}$	t
$y = -50.0\ \mathrm{m}$	
$a_x = 0$	
$a_y = -g = -9.80\ \mathrm{m/s^2}$	
$v_{y0} = 0$	

7. **Aplique las ecuaciones relevantes.** La motocicleta mantiene v_x constante mientras está en el aire. El tiempo que permanece en el aire está determinado por el movimiento y, cuando golpea el suelo. Así que primero hay que encontrar el tiempo que utiliza el movimiento y y luego usar este valor de tiempo en las ecuaciones x. Para encontrar cuánto le toma a la motocicleta llegar al suelo, emplearemos la ecuación 2-11b (tabla 3-2) para la dirección vertical (y) con $y_0 = 0$ y $v_{y0} = 0$:

$$y = y_0 + v_{y0}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2$$
$$= 0 + 0 + \tfrac{1}{2}(-g)t^2$$

o

$$y = -\tfrac{1}{2}gt^2.$$

Se resuelve para t y se establece que $y = -50.0$ m:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{-g}} = \sqrt{\frac{2(-50.0\,\text{m})}{-9.80\,\text{m/s}^2}} = 3.19\,\text{s}.$$

Para calcular la velocidad inicial, v_{x0}, se utiliza de nuevo la ecuación 2-11b, pero esta vez para la dirección horizontal (x), con $a_x = 0$ y $x_0 = 0$:

$$x = x_0 + v_{x0}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2$$
$$= 0 + v_{x0}t + 0$$

o

$$x = v_{x0}t.$$

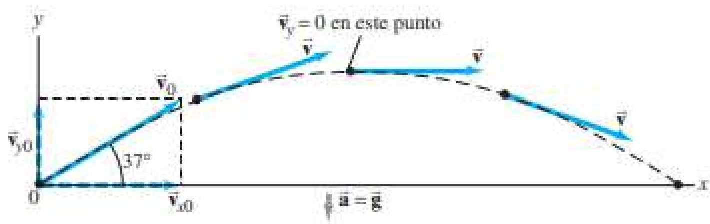
Entonces

$$v_{x0} = \frac{x}{t} = \frac{90.0\,\text{m}}{3.19\,\text{s}} = 28.2\,\text{m/s},$$

que es aproximadamente 100 km/h (alrededor de 60 mi/h).

NOTA En el intervalo de tiempo del movimiento de proyectiles, la única aceleración es g en la dirección y negativa. La aceleración en la dirección x es cero.

FIGURA 3–22 Ejemplo 3-5.



a)

b)

c)

FIGURA 3–27 Ejemplos de movimiento de proyectiles: chispas (pequeñas piezas de metal caliente que brillan), agua y fuegos artificiales. Todos describen la característica trayectoria parabólica del movimiento de proyectiles, aunque es posible ver que los efectos de la resistencia del aire alteran la ruta de algunas trayectorias.

* 3–7 El movimiento de proyectiles es parabólico

Ahora se verá que la trayectoria seguida por cualquier proyectil es una parábola, si se ignora la resistencia del aire y se supone que $\vec{\mathbf{g}}$ es constante. Para mostrar esto, es necesario encontrar y como función de x eliminando t entre las dos ecuaciones para movimiento horizontal y vertical (ecuación 2-11b), y establecer $x_0 = y_0 = 0$:

$$x = v_{x0}t$$
$$y = v_{y0}t - \tfrac{1}{2}gt^2.$$

A partir de la primera ecuación se tiene $t = x/v_{x0}$, que se sustituye en la segunda para obtener

$$y = \left(\frac{v_{y0}}{v_{x0}}\right)x - \left(\frac{g}{2v_{x0}^2}\right)x^2.$$

Si se escribe $v_{x0} = v_0 \cos\theta_0$ y $v_{y0} = v_0 \operatorname{sen}\theta_0$, también puede escribirse

$$y = (\tan\theta_0)x - \left(\frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta_0}\right)x^2.$$

En cualquier caso, se observa que y como función de x tiene la forma

$$y = Ax - Bx^2,$$

donde A y B son constantes para cualquier movimiento de proyectil específico. Ésta es la bien conocida ecuación para una parábola (figuras 3-17 y 3-27).

En la época de Galileo, la idea de que el movimiento de proyectiles era parabólico estuvo en la vanguardia de la investigación física. En la actualidad, ¡se le estudia en el capítulo 3 de introducción a la física!

* 3–8 Velocidad relativa

Ahora consideraremos cómo se relacionan entre sí las observaciones realizadas en diferentes marcos de referencia. Por ejemplo, consideremos dos trenes que se aproximan uno hacia el otro, cada uno con una rapidez constante de 80 km/h con respecto a la Tierra. Los observadores situados junto a las vías medirán una rapidez de 80 km/h para cada tren. Los observadores a bordo de cualquiera de los trenes (que tienen un marco de referencia diferente) medirán una rapidez de 160 km/h para el otro tren que se aproxima hacia ellos.

De manera similar, cuando un automóvil que viaja a 90 km/h rebasa a un segundo automóvil que viaja en la misma dirección a 75 km/h, el primer automóvil tiene una rapidez relativa al segundo automóvil de 90 km/h – 75 km/h = 15 km/h.

Cuando las velocidades están a lo largo de la misma línea, una simple suma o resta es suficiente para obtener la velocidad relativa. Pero si no están a lo largo de la misma línea, debe recurrirse a la suma vectorial. Recuerde que, como se mencionó en la sección 2-1, cuando se especifica una velocidad, es importante precisar cuál es el marco de referencia.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Subíndices para suma de velocidades: primer subíndice, para el objeto; segundo subíndice, para el marco de referencia.

Cuando se determina la velocidad relativa, es frecuente cometer un error si se suman o restan las velocidades equivocadas. Por esa razón, es conveniente dibujar un diagrama y hacer un cuidadoso proceso de etiquetado. Cada velocidad se etiqueta mediante *dos subíndices: el primero se refiere al objeto y el segundo al marco de referencia en el que tiene esta velocidad.* Por ejemplo, suponga que un bote cruza un río hacia el lado opuesto, como se muestra en la figura 3-28. Sea $\vec{\mathbf{v}}_{BA}$ la velocidad del **B**ote con respecto al **A**gua. (Ésta también sería la velocidad del bote relativa a la orilla si el agua estuviese en calma). De manera similar, $\vec{\mathbf{v}}_{BO}$ es la velocidad del **B**ote con respecto a la **O**rilla, y $\vec{\mathbf{v}}_{AO}$ es la es la velocidad del **A**gua con respecto a la **O**rilla (ésta es la corriente del río). Nota que $\vec{\mathbf{v}}_{BA}$ es lo que produce el motor del bote (contra el agua), mientras que $\vec{\mathbf{v}}_{BO}$ es igual a $\vec{\mathbf{v}}_{BA}$ más el efecto de la corriente, $\vec{\mathbf{v}}_{AO}$. En consecuencia, la velocidad del bote relativa a la orilla es (vea el diagrama vectorial, figura 3-28)

$$\vec{\mathbf{v}}_{BO} = \vec{\mathbf{v}}_{BA} + \vec{\mathbf{v}}_{AO}. \qquad (3\text{–}6)$$

Sigue los subíndices

Al escribir los subíndices usando esta convención, se observa que los subíndices interiores (las dos A) en el lado derecho de la ecuación 3-6 son los mismos, mientras que los subíndices exteriores a la derecha de la ecuación 3-6 (la B y la O) son los mismos que los dos subíndices para el vector suma a la izquierda, $\vec{\mathbf{v}}_{BO}$. Si se sigue esta convención (el primer subíndice para el objeto, el segundo para el marco de referencia), uno puede escribir la ecuación correcta que relaciona las velocidades en diferentes marcos de referencia.† La ecuación 3-6 es válida en general y se puede extender a tres o más velocidades. Por ejemplo, si un pescador en el bote camina con una velocidad $\vec{\mathbf{v}}_{PB}$ relativa al bote, su velocidad relativa a la orilla es $\vec{\mathbf{v}}_{PO} = \vec{\mathbf{v}}_{PB} + \vec{\mathbf{v}}_{BA} + \vec{\mathbf{v}}_{AO}$. Las ecuaciones que incluyen velocidad relativa serán correctas cuando los subíndices internos adyacentes sean idénticos y cuando los exteriores correspondan exactamente a los dos que se encuentran en la velocidad a la izquierda de la ecuación. Pero esto sólo funciona con los signos más (a la derecha), no con signos menos.

Con frecuencia es útil recordar que, para dos objetos o marcos de referencia cualesquiera, A y B, la velocidad de A relativa a B tiene la misma magnitud, pero dirección opuesta, que la velocidad de B relativa a A:

$$\vec{\mathbf{v}}_{BA} = -\vec{\mathbf{v}}_{AB}. \qquad (3\text{–}7)$$

Por ejemplo, si un tren viaja a 100 km/h en relación con la Tierra en cierta dirección, a un observador a bordo del tren le parece que los objetos sobre el terreno (como los árboles) están viajando a 100 km/h en la dirección opuesta.

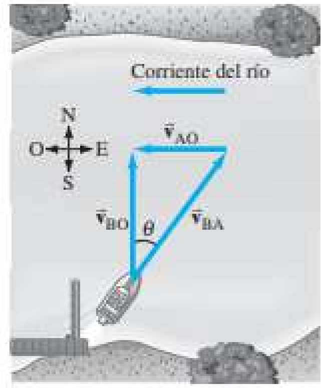


FIGURA 3–28 Para moverse directamente a través del río, el bote debe dirigirse corriente arriba en un ángulo θ. Los vectores velocidad se indican como flechas:

$\vec{\mathbf{v}}_{BO}$ = velocidad del **B**ote con respecto a la **O**rilla.

$\vec{\mathbf{v}}_{BA}$ = velocidad del **B**ote con respecto al **A**gua.

$\vec{\mathbf{v}}_{AO}$ = velocidad del **A**gua con respecto a la **O**rilla (corriente del río).

a la **O**rilla (corriente del río).

EJEMPLO CONCEPTUAL 3–10 **Cómo cruzar un río.** Un hombre en un pequeño bote de motor intenta cruzar un río que fluye hacia el oeste con una fuerte corriente. El hombre parte desde la orilla sur e intenta alcanzar el extremo opuesto localizado directamente al norte de su punto de partida. ¿Deberá *a*) dirigirse hacia el norte, *b*) dirigirse hacia el oeste, *c*) dirigirse en una dirección hacia el noroeste, *d*) dirigirse en una dirección hacia el noreste?

RESPUESTA Si el hombre se dirige en línea recta a través del río, la corriente arrastrará al bote corriente abajo (es decir, hacia el oeste). Para superar la corriente del río hacia el oeste, el bote debe adquirir un componente de velocidad hacia el este, así como un componente hacia el norte. Por tanto, el bote debe *d*) dirigirse en una dirección hacia el noreste (figura 3-28). El ángulo real depende de la intensidad de la corriente y de cuán rápido se mueve el bote en relación con el agua. Si la corriente es débil y el motor es fuerte, entonces el bote se dirige casi, pero no demasiado, hacia el norte.

Problemas

De 3-2 a 3-4 Suma de vectores

1. (I) Un automóvil es conducido 215 km al oeste y luego 85 km al suroeste. ¿Cuál es el desplazamiento del automóvil desde el punto de origen (magnitud y dirección)? Dibuje un diagrama.
2. (I) Un camión de reparto recorre 18 manzanas hacia el norte, 10 manzanas hacia el este y 16 hacia el sur. ¿Cuál es su desplazamiento final desde el origen? Se supone que las manzanas tienen igual longitud.
3. (I) Demuestre que el vector etiquetado "incorrecto" en la figura 3-6c es en realidad la diferencia de dos vectores. ¿Se trata de $\vec{\mathbf{V}}_2 - \vec{\mathbf{V}}_1$ o $\vec{\mathbf{V}}_1 - \vec{\mathbf{V}}_2$?
4. (I) Si $V_x = 6.80$ unidades y $V_y = -7.40$ unidades, determine la magnitud y dirección de $\vec{\mathbf{V}}$.
5. (II) Determine gráficamente el resultante de los siguientes tres desplazamientos vectoriales: 1) 34 m, 25° al norte del este; 2) 48 m, 33° al este del norte; y 3) 22 m, 56° al oeste del sur.
6. (II) Los componentes de un vector $\vec{\mathbf{V}}$ se pueden escribir (V_x, V_y, V_z). ¿Cuáles son los componentes y la longitud de un vector que es la suma de dos vectores, $\vec{\mathbf{V}}_1$ y $\vec{\mathbf{V}}_2$, cuyos componentes son (8.0, −3.7, 0.0) y (3.9, −8.1, −4.4)?
7. (II) $\vec{\mathbf{V}}$ es un vector con 14.3 unidades de magnitud y apunta en un ángulo de 34.8° sobre el eje x negativo. *a*) Bosqueje este vector. *b*) Encuentre V_x y V_y. *c*) Usa V_x y V_y para obtener (de nuevo) la magnitud y dirección de $\vec{\mathbf{V}}$. [*Nota:* El inciso *c*) es una buena forma de comprobar si descompuso el vector correctamente].
8. (II) El vector $\vec{\mathbf{V}}_1$ tiene 6.6 unidades de longitud y apunta a lo largo del eje x negativo. El vector $\vec{\mathbf{V}}_2$ tiene 8.5 unidades de largo y apunta a +45° al eje x positivo. *a*) ¿Cuáles son los componentes x y y de cada vector? *b*) Determine la suma $\vec{\mathbf{V}}_1 + \vec{\mathbf{V}}_2$ (magnitud y ángulo).

9. (II) Un avión viaja a 735 km/h en una dirección a 41.5° al oeste del norte (figura 3-31). *a*) Encuentre los componentes del vector velocidad en las direcciones hacia el norte y hacia el oeste. *b*) Después de 3.00 h, ¿cuánto ha viajado el avión hacia el norte y hacia el oeste?

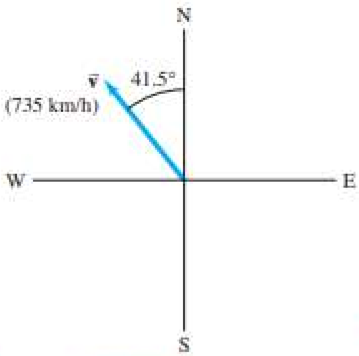


FIGURA 3–31 Problema 9.

10. (II) En la figura 3-32 se representan tres vectores. Sus magnitudes se proporcionan en unidades arbitrarias. Determine la suma de los tres vectores. Exprese el resultante en términos de *a*) componentes, *b*) magnitud y ángulo con el eje *x*.

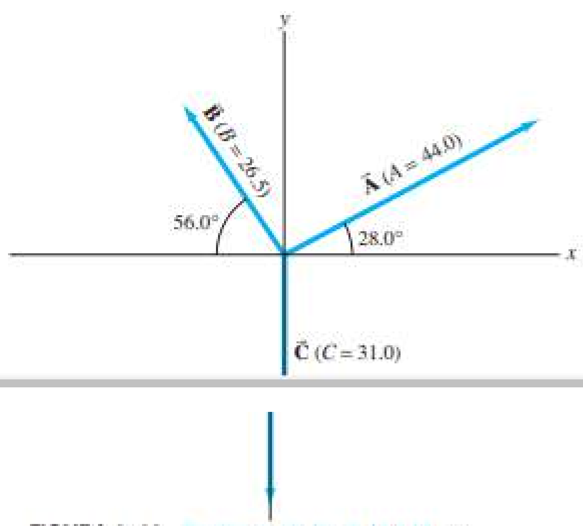


FIGURA 3–32 Problemas 10, 11, 12, 13 y 14. Las magnitudes de los vectores están en unidades arbitrarias.

11. (II) Determine el vector $\vec{\mathbf{A}} - \vec{\mathbf{C}}$, dados los vectores $\vec{\mathbf{A}}$ y $\vec{\mathbf{C}}$ de la figura 3-32.

12. (II) *a*) Dados los vectores $\vec{\mathbf{A}}$ y $\vec{\mathbf{B}}$ que se muestran en la figura 3-32, determine $\vec{\mathbf{B}} - \vec{\mathbf{A}}$. *b*) Determine $\vec{\mathbf{A}} - \vec{\mathbf{B}}$ sin usar su respuesta en *a*). Luego compare sus resultados y vea si son opuestos.

13. (II) Para los vectores dados en la figura 3-32, determine *a*) $\vec{\mathbf{A}} - \vec{\mathbf{B}} + \vec{\mathbf{C}}$, *b*) $\vec{\mathbf{A}} + \vec{\mathbf{B}} - \vec{\mathbf{C}}$ y *c*) $\vec{\mathbf{C}} - \vec{\mathbf{A}} - \vec{\mathbf{B}}$.

14. (II) Para los vectores que se muestran en la figura 3-32, determine *a*) $\vec{\mathbf{B}} - 2\vec{\mathbf{A}}$, *b*) $2\vec{\mathbf{A}} - 3\vec{\mathbf{B}} + 2\vec{\mathbf{C}}$.

15. (II) La cima de una montaña está a 2450 m sobre la base de un campamento; se hacen mediciones en un mapa y se determina que la cima está a 4 580 m horizontalmente desde el campamento, en una dirección de 32.4° al oeste del norte. ¿Cuáles son los componentes del vector desplazamiento desde el campamento hasta la cima? ¿Cuál es su magnitud? Elija el eje *x* hacia el este, el eje *y* hacia el norte y el eje *z* hacia arriba.

16. (II) Un vector se localiza en el plano *xy* y tiene una magnitud de 70.0 unidades y un componente *y* de −55.0 unidades. ¿Cuáles son las dos posibilidades para su componente *x*?

3-5 y 3-6 Movimiento de proyectiles (la resistencia del aire se considera despreciable)

17. (I) Un tigre salta horizontalmente desde una roca de 6.5 m de alto, con una rapidez de 3.5 m/s. ¿A qué distancia de la base de la roca caerá?

18. (I) Un clavadista que corre a 1.8 m/s salta horizontalmente desde el extremo de un risco vertical y 3.0 s después toca el agua. ¿Cuál es la altura del risco y a qué distancia de su base el clavadista golpea el agua?

19. (II) Una manguera contra incendios que se mantiene cerca del suelo lanza agua con una rapidez de 6.8 m/s. ¿En qué ángulo(s) se debe apuntar la boquilla con la finalidad de que el agua toque el suelo a 2.0 m de distancia (figura 3-33)? ¿Por qué existen dos ángulos diferentes? Bosqueje las dos trayectorias.

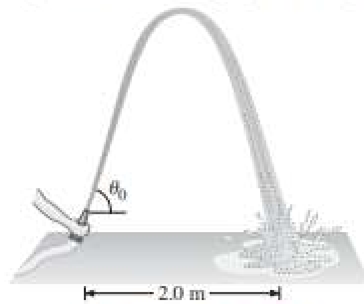


FIGURA 3–33 Problema 19.

20. (II) Romeo lanza suavemente guijarros a la ventana de Julieta, y quiere que los guijarros golpeen la ventana sólo con un componente horizontal de velocidad. Él está parado en el extremo de un jardín de rosas 4.5 m por debajo de la ventana y a 5.0 m de la base de la pared (figura 3-34). ¿Cuál es la rapidez de los guijarros cuando golpean la ventana?

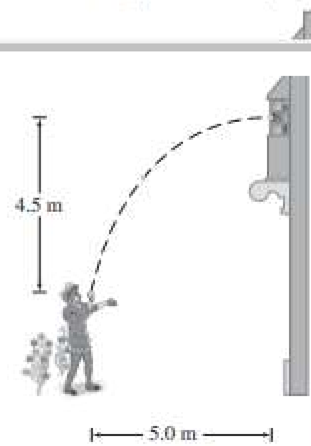


FIGURA 3–34 Problema 20.

21. (II) Una bola se lanza horizontalmente desde el techo de un edificio de 45.0 m de alto y toca el suelo a 24.0 m de la base. ¿Cuál fue la rapidez inicial de la bola?

22. (II) Un balón de fútbol es pateado a nivel del suelo con una rapidez de 18.0 m/s en un ángulo de 35.0° con respecto a la horizontal. ¿Cuánto tiempo después golpea el suelo?

23. (II) Una pelota que se lanza horizontalmente a 22.2 m/s desde el techo de un edificio toca el suelo a 36.0 m de la base del edificio. ¿Cuál es la altura del edificio?

Dinámica: leyes del movimiento de Newton

FIGURA 4–1 Una fuerza ejercida sobre un carrito de supermercado; en este caso, la fuerza es ejercida por un niño.

Se ha estudiado cómo se describe el movimiento en términos de velocidad y aceleración. Ahora se abordará la pregunta de *por qué* los objetos se mueven como lo hacen: ¿Qué hace que un objeto en reposo comience a moverse? ¿Qué causa que un objeto acelere o desacelere? ¿Qué sucede cuando un objeto se mueve en un círculo? En cada caso es posible responder que se requiere de una fuerza. En este capítulo se investigará la conexión entre fuerza y movimiento, que es el tema de la llamada **dinámica**.

Comenzaremos con ideas intuitivas acerca de lo que es una fuerza, y luego se analizarán las tres leyes de Newton del movimiento. A continuación se estudiarán varios tipos de fuerza, que incluyen la fricción y la fuerza de gravedad. Luego se aplicarán las leyes de Newton a problemas reales.

4–1 Fuerza

Intuitivamente, experimentamos la **fuerza** como algún tipo de empuje o de jalón sobre un objeto. Cuando empuja un automóvil descompuesto o un carrito del supermercado (figura 4-1), ejerce una fuerza sobre ellos. Cuando un motor sube un elevador, o un martillo golpea un clavo, o el viento sopla las hojas de un árbol, se está ejerciendo una fuerza. Se dice que un objeto cae por la *fuerza de gravedad*.

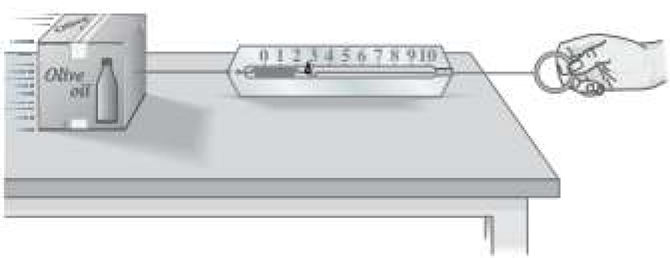


FIGURA 4–2 Una balanza de resorte utilizada para medir una fuerza.

Si un objeto está en reposo, para comenzar a moverlo se requiere de fuerza; esto es, se necesita una fuerza para acelerar un objeto desde la velocidad cero hasta una velocidad distinta de cero. Si se desea cambiar la velocidad de un objeto que ya está en movimiento, ya sea en dirección o en magnitud, de nuevo se requiere de una fuerza. En otras palabras, para acelerar un objeto, se requiere de una fuerza.

Medición de fuerzas

Una forma de medir la magnitud (o intensidad) de una fuerza es utilizar una balanza de resorte (figura 4-2). Normalmente, estas balanzas de resorte sirven para determinar el peso de un objeto; por peso se entiende la fuerza de gravedad que actúa sobre el objeto (sección 4-6). La balanza de resorte, una vez calibrada, se emplea para medir también otros tipos de fuerzas, como la fuerza necesaria para jalar, que se representa en la figura 4-2.

Una fuerza que se ejerce en diferentes direcciones tiene un efecto distinto. Es evidente que la fuerza tiene tanto dirección como magnitud, y de hecho es un vector que sigue las reglas de la suma vectorial que se explicaron en el capítulo 3. Es posible representar cualquier fuerza sobre un diagrama mediante una flecha, tal como se hace con la velocidad. La dirección de la flecha es la dirección del empuje o el jalón, y su longitud se dibuja de modo que resulte proporcional a la magnitud de la fuerza.

4–2 Primera ley del movimiento de Newton

Aristóteles frente a Galileo

¿Cuál es la relación entre fuerza y movimiento? Aristóteles (384-322 A.C.) creía que se requería una fuerza para mantener a un objeto en movimiento a lo largo de un plano horizontal. Para Aristóteles, el estado natural de un objeto era el reposo, y creía que era necesaria una fuerza para mantenerlo en movimiento. Más aún, Aristóteles argumentaba que, cuanto mayor fuera la fuerza ejercida sobre el objeto, mayor sería su rapidez.

Unos 2000 años más tarde, Galileo estuvo en desacuerdo, pues sostenía que, para un objeto, es tan natural estar en movimiento con velocidad constante como lo es estar en reposo.

Para entender la idea de Galileo, considere las siguientes observaciones que implican movimiento a lo largo de un plano horizontal. Empujar un objeto con una superficie rugosa a lo largo de una mesa con rapidez constante requiere cierta cantidad de fuerza, y empujar un objeto igualmente pesado con una superficie muy lisa a través de la mesa a la misma rapidez requerirá menos fuerza. Si entre la superficie del objeto y la mesa se coloca una capa de aceite u otro lubricante, entonces casi no se requiere fuerza para mover al objeto. Como se podrá advertir, en cada paso sucesivo se requirió menos fuerza. Como siguiente paso, imaginemos que el objeto no se frota contra la mesa en absoluto, como si hubiera un lubricante perfecto entre el objeto y la mesa; entonces podría suponerse que, una vez iniciado el movimiento, el objeto se movería a través de la mesa con rapidez constante *sin* fuerza aplicada. Un cojinete de acero que rueda sobre una dura superficie horizontal se aproxima a esta situación. Lo mismo ocurre con un disco sobre una mesa de aire, donde una fina capa de aire reduce la fricción casi a cero.

Fue el genio de Galileo el que imaginó tal mundo idealizado (en este caso, uno donde no existe fricción), que podría conducir a una comprensión más precisa y rica del mundo real. Esta idealización lo condujo a su extraordinaria conclusión de que, si no se aplica fuerza a un objeto en movimiento, el objeto continuará moviéndose con rapidez constante en una línea recta. Un objeto frena sólo si sobre él se ejerce una fuerza. De esta forma, Galileo interpretó la fricción como una fuerza parecida a los empujones y jalones ordinarios.

La fricción como una fuerza

4–4 Segunda ley del movimiento de Newton

La primera ley de Newton establece que, si ninguna fuerza neta actúa sobre un objeto en reposo, éste permanece en reposo; o, si el objeto está en movimiento, continuará moviéndose con rapidez constante en una línea recta. Pero, ¿qué ocurre si *se ejerce* una fuerza neta sobre un objeto? Newton percibió que, en esas circunstancias, la velocidad del objeto cambiará (figura 4-5). Una fuerza neta ejercida sobre un objeto puede hacer que aumente su velocidad. O, si la fuerza neta se ejerce en una dirección opuesta al movimiento, la fuerza reducirá la velocidad del objeto. Si la fuerza neta actúa hacia los lados sobre un objeto en movimiento, cambiará la *dirección* de la velocidad del objeto (y es posible que también la magnitud). Como un cambio en la velocidad es una aceleración (sección 2-4), se puede decir que *una fuerza neta provoca aceleración*.

¿Cuál es la relación entre aceleración y fuerza? La experiencia cotidiana sugiere una respuesta. Considere la fuerza que se requiere para empujar un carro cuando la fricción es lo suficientemente pequeña como para ignorarla. (Si existe fricción, considere la fuerza *neta*, que es la fuerza que ejerce menos la fuerza de fricción). Ahora, si empuja con una fuerza suave pero constante durante cierto periodo de tiempo, hará que el carro acelere desde el reposo hasta cierta rapidez, por ejemplo, 3 km/h. Si empuja con el doble de fuerza, el carro alcanzará 3 km/h en la mitad del tiempo. La aceleración será el doble de grande. Si triplica la fuerza, la aceleración se triplicará, y así sucesivamente. Así, la aceleración de un objeto es directamente proporcional[1] a la fuerza neta aplicada. Pero la aceleración también depende de la masa del objeto. Si empuja un carrito del supermercado vacío con la misma fuerza con la que empuja uno que está lleno con alimentos, encontrará que el carro lleno acelera más lentamente. Cuanto mayor sea la masa, menor será la aceleración para la misma fuerza neta. La relación matemática, como Newton argumentó, establece que la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa. Estas relaciones son válidas en general y se resumen como sigue:

> **La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él, y es inversamente proporcional a su masa. La dirección de la aceleración es la dirección de la fuerza neta que actúa sobre el objeto.**

Ésta es la **segunda ley del movimiento de Newton**.

FIGURA 4–5 El bobsled acelera porque el equipo ejerce una fuerza.

SEGUNDA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON

EJEMPLO 4–3 **Fuerza para detener un automóvil.** ¿Qué fuerza neta promedio se requiere para que un automóvil de 1500 kg llegue al reposo desde una rapidez de 100 km/h una distancia de 55 m?

PLANTEAMIENTO Si se conoce la masa y la aceleración del automóvil, se emplea la segunda ley de Newton, $\Sigma F = ma$, para determinar la fuerza. Se proporciona la masa, pero hay que calcular la aceleración a. Se supone que la aceleración es constante, de modo que pueden utilizarse las ecuaciones cinemáticas (ecuaciones 2-11) para calcularla.

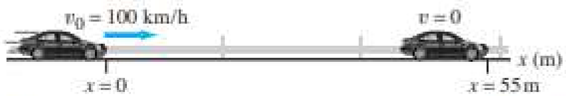


FIGURA 4–6 Ejemplo 4-3.

SOLUCIÓN Se supone que el movimiento es a lo largo del eje $+x$ (figura 4-6). Se proporciona la velocidad inicial $v_0 = 100$ km/h $= 28$ m/s (sección 1-6), la velocidad final $v = 0$, y la distancia recorrida $x - x_0 = 55$ m. A partir de la ecuación 2-11c, se tiene

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0),$$

de modo que

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2(x - x_0)} = \frac{0 - (28\,\mathrm{m/s})^2}{2(55\,\mathrm{m})} = -7.1\,\mathrm{m/s^2}.$$

Entonces la fuerza neta que se requiere es

$$\Sigma F = ma = (1500\,\mathrm{kg})(-7.1\,\mathrm{m/s^2}) = -1.1 \times 10^4\,\mathrm{N}.$$

La fuerza se debe ejercer en la dirección *opuesta* a la velocidad inicial, que es lo que significa el signo negativo.

NOTA Cuando se supone que la aceleración es constante, aun cuando no sea precisamente cierto, se determina una aceleración "promedio" y se obtiene una fuerza neta "promedio" (o viceversa).

La segunda ley de Newton, al igual que la primera, sólo es válida en marcos de referencia inerciales (sección 4-2). En el marco de referencia no inercial de un automóvil que acelera, por ejemplo, una taza en el tablero comienza a deslizarse (es decir, a acelerar) aun cuando la fuerza neta sobre ella sea cero; por tanto, $\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$ no se aplica en tal marco de referencia en aceleración.

4–5 Tercera ley del movimiento de Newton

La segunda ley del movimiento de Newton describe cuantitativamente cómo las fuerzas afectan el movimiento. Pero es inevitable que surja la pregunta: ¿De dónde provienen las fuerzas? Las observaciones sugieren que una fuerza aplicada a cualquier objeto siempre es aplicada *por otro objeto*. Un caballo jala una carreta, una persona empuja un carro del supermercado, un martillo empuja un clavo, un imán atrae un clip de papel. En cada uno de estos ejemplos, se ejerce una fuerza *sobre* un objeto y dicha fuerza es ejercida *por* otro objeto. Por ejemplo, la fuerza ejercida *sobre* el clavo es ejercida *por* el martillo.

Una fuerza se ejerce ***sobre*** *un objeto y es ejercida* ***por*** *otro objeto.*

Pero Newton se dio cuenta de que las cosas no eran tan unilaterales. Es verdad: el martillo ejerce una fuerza sobre el clavo (figura 4-7). Pero evidentemente también el clavo ejerce una fuerza contraria sobre el martillo, por lo que la rapidez de éste de inmediato es reducida a cero en el contacto. Sólo una fuerza intensa podría provocar tan rápida desaceleración del martillo. Por tanto, decía Newton, los dos objetos deben ser tratados sobre bases iguales. El martillo ejerce una fuerza sobre el clavo, y éste ejerce una fuerza contraria sobre el martillo. Ésta es la esencia de la **tercera ley de Newton:**

TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON

Siempre que un objeto ejerce una fuerza sobre un segundo objeto, éste ejerce una fuerza igual en la dirección opuesta sobre el primero.

A veces esta ley se parafrasea como "para toda acción existe una reacción igual y opuesta". Esto es perfectamente válido. Pero, para evitar confusión, es muy importante recordar que la fuerza de "acción" y la fuerza de "reacción" actúan sobre objetos *diferentes*.

PRECAUCIÓN

Las fuerzas de acción y reacción actúan sobre objetos diferentes.

FIGURA 4–7 Un martillo que golpea un clavo. El martillo ejerce una fuerza sobre el clavo y éste ejerce una fuerza contraria sobre el martillo. La última fuerza desacelera el martillo y lo lleva al reposo.

FIGURA 4–8 Si con una mano se empuja el extremo de un escritorio (el vector fuerza se muestra en azul), el escritorio empuja de vuelta contra la mano (este vector fuerza se muestra en gris, para recordar que esta fuerza actúa sobre un objeto diferente).

Como evidencia de la validez de la tercera ley de Newton, observe su mano cuando empuje el extremo de un escritorio (figura 4-8). La forma de la mano se distorsiona, como una clara evidencia de que sobre ella se ejerce una fuerza. Puede *ver* el extremo de la mesa presionar sobre la mano. Incluso puede *sentir* al escritorio ejercer una fuerza sobre la mano: ¡duele! Cuanto más fuerte empuje contra el escritorio, más fuerte empuja el escritorio sobre su mano. (Sólo siente fuerzas que se ejercen *sobre* usted; cuando ejerce una fuerza sobre otro objeto, lo que siente es a ese objeto empujar de vuelta sobre usted).

4–6 Peso: la fuerza de gravedad y la fuerza normal

Como se vio en el capítulo 2, Galileo afirmó que todos los objetos soltados cerca de la superficie de la Tierra caerán con la misma aceleración, $\vec{g}$, si se desprecia la resistencia del aire. La fuerza que causa esta aceleración se llama *fuerza de gravedad* o *fuerza gravitacional*. ¿Qué ejerce la fuerza gravitacional sobre un objeto? Es la Tierra, como se explicará en el capítulo 5, y la fuerza actúa verticalmente[†] hacia abajo, hacia el centro de la Tierra. Ahora se aplicará la segunda ley de Newton a un objeto de masa m que cae a causa de la gravedad; para la aceleración, $\vec{\mathbf{a}}$, se emplea la aceleración descendente debida a la gravedad, $\vec{\mathbf{g}}$. Así, la **fuerza gravitacional** sobre un objeto, $\vec{\mathbf{F}}_G$, se escribe como,

$$\vec{\mathbf{F}}_G = m\vec{\mathbf{g}}. \quad (4\text{–}3)$$

Peso = fuerza gravitacional

La dirección de esta fuerza es descendente, hacia el centro de la Tierra. La magnitud de la fuerza de gravedad sobre un objeto comúnmente se llama el **peso** del objeto.

En unidades SI, $g = 9.80\ \text{m/s}^2 = 9.80\ \text{N/kg}$,[‡] así que el peso de una masa de 1.00 kg en la Tierra es $1.00\ \text{kg} \times 9.80\ \text{m/s}^2 = 9.80\ \text{N}$. En el texto principalmente nos ocuparemos del peso de los objetos en la Tierra, pero hay que dejar claro que en la Luna, en otros planetas, o en el espacio, el peso de una masa dada será diferente de lo que es en la Tierra. Por ejemplo, en la Luna, la aceleración de la gravedad es aproximadamente un sexto de la que se registra en la Tierra, y una masa de 1.0 kg pesa sólo 1.7 N. Aunque en el texto no se usarán unidades inglesas, hay que hacer notar que, para propósitos prácticos, una masa de 1 kg pesa casi 2.2 lb sobre la Tierra. (En la Luna, 1 kg pesa sólo alrededor de 0.4 lb).

PRECAUCIÓN
Masa frente a peso

La fuerza de gravedad actúa sobre un objeto cuando éste cae. Si un objeto se encuentra en reposo en la Tierra, la fuerza gravitacional sobre él no desaparece, como se sabe si se le pesa en una balanza de resorte. La misma fuerza, dada por la ecuación 4-3, continúa actuando. Entonces, ¿por qué el objeto no se mueve? A partir de la segunda ley de Newton, se sabe que la fuerza neta sobre un objeto que permanece en reposo es cero. Debe existir otra fuerza sobre el objeto para equilibrar la fuerza gravitacional. Para un objeto que reposa sobre una mesa, ésta ejerce una fuerza hacia arriba (figura 4-14*a*). La mesa es comprimida ligeramente debajo del objeto y, por su elasticidad, empuja hacia arriba sobre el objeto, como se indica. La fuerza ejercida por la mesa con frecuencia se llama **fuerza de contacto**, puesto que ocurre cuando dos objetos están en contacto. (La fuerza de su mano, al empujar sobre un carro, también es una fuerza de contacto). Cuando una fuerza de contacto actúa de forma *perpendicular* a la fuerza común de contacto, se le conoce como **fuerza normal** ("normal" significa perpendicular); por lo mismo, en la figura 4-14*a* se le designa como $\vec{\mathbf{F}}_N$.

Fuerza de contacto

Fuerza normal

EJEMPLO 4–7 **Aceleración de la caja.** ¿Qué ocurre cuando una persona jala hacia arriba la caja del ejemplo 4-6*c*) con una fuerza igual a, o mayor que, el peso de la caja, por ejemplo, $F_P = 100.0\text{ N}$, en lugar de los 40.0 N que se indican en la figura 4-15*c*?

PLANTEAMIENTO Comience tal como en el ejemplo 4-6, pero prepárese para una sorpresa.

SOLUCIÓN La fuerza neta sobre la caja es

$$\Sigma F_y = F_N - mg + F_P$$
$$= F_N - 98.0\text{ N} + 100.0\text{ N},$$

y, si esto se hace igual a cero (pensando que la aceleración puede ser cero), debería obtenerse $F_N = -2.0\text{ N}$. Esto no tiene sentido, pues el signo negativo implica que F_N apunta hacia abajo y la mesa seguramente no *jala* hacia abajo la caja (a menos que exista pegamento sobre la mesa). El valor menor que puede tener F_N es cero, que se cumple en este caso. Lo que en realidad sucede aquí es que la caja acelera hacia arriba porque la fuerza neta no es cero. La fuerza neta (si se establece que la fuerza normal $F_N = 0$) es

$$\Sigma F_y = F_P - mg = 100.0\text{ N} - 98.0\text{ N}$$
$$= 2.0\text{ N}$$

hacia arriba. Observe la figura 4-16. Se aplica la segunda ley de Newton y se determina que la caja se mueve hacia arriba con una aceleración

$$a_y = \frac{\Sigma F_y}{m} = \frac{2.0\text{ N}}{10.0\text{ kg}}$$
$$= 0.20\text{ m/s}^2.$$

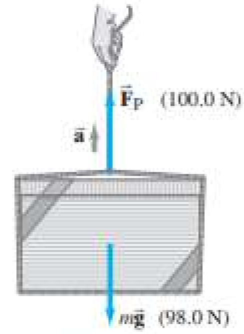


FIGURA 4–16 Ejemplo 4-7. La caja acelera hacia arriba porque $F_P > mg$.

4–7 Resolución de problemas con las leyes de Newton: diagramas de cuerpo libre

La segunda ley de Newton dice que la aceleración de un objeto es proporcional a la *fuerza neta* que actúa sobre él. La **fuerza neta**, como se mencionó antes, es la *suma vectorial* de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto. De hecho, los experimentos han demostrado que las fuerzas sí se suman como vectores, precisamente de acuerdo con las reglas desarrolladas en el capítulo 3. Por ejemplo, en la figura 4-18, se representan dos fuerzas de igual magnitud (100 N cada una) que actúan sobre un objeto en ángulos rectos uno con respecto al otro. Intuitivamente, se observa que el objeto comenzará a moverse en un ángulo de 45°, y por tanto, la fuerza neta actúa en un ángulo de 45°. Esto sólo es lo que señalan las reglas de la suma vectorial. A partir del teorema de Pitágoras, la magnitud de la fuerza resultante es $F_R = \sqrt{(100\text{ N})^2 + (100\text{ N})^2} = 141\text{ N}$.

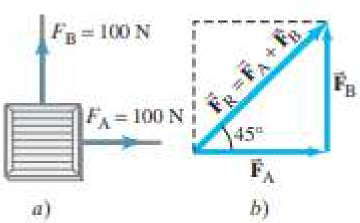


FIGURA 4–18 *a*) Dos fuerzas, $\vec{F}_A$ y $\vec{F}_B$, ejercidas por dos trabajadores, A y B, actúan sobre una caja. *b*) La suma, o resultante, de $\vec{F}_A$ y $\vec{F}_B$ es $\vec{F}_R$.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Leyes de Newton; diagramas de cuerpo libre

1. **Dibuje un bosquejo** de la situación.
2. Considere sólo un objeto (a la vez) y dibuje un **diagrama de cuerpo libre** para dicho objeto, que muestre *todas* las fuerzas que actúan *sobre* dicho objeto. Incluya cualquier fuerza desconocida que tenga que encontrar. No muestre las fuerzas que el objeto elegido ejerce sobre otros objetos. Dibuje la flecha para cada vector fuerza de la manera más precisa posible en cuanto a dirección y magnitud. Asigne un símbolo a cada fuerza, incluso a aquellas que debe determinar, en relación con su fuente (gravedad, persona, fricción, etcétera).

   Si varios objetos están implicados, dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada uno de ellos *por separado*, que incluya todas las fuerzas que actúan *sobre dicho objeto* (y *sólo* las fuerzas que actúan sobre él). Para cada (y toda) fuerza, debe ser claro acerca de: *sobre* cuál objeto actúa y *cuál* objeto ejerce dicha fuerza. Sólo las fuerzas que actúan *sobre* un objeto dado se incluyen en $\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$ para dicho objeto.
3. La segunda ley de Newton tiene que ver con vectores y, por lo general, es importante **descomponer los vectores** en sus componentes. **Elija los ejes** x y y de tal forma que simplifique el cálculo. Por ejemplo, el hecho de elegir que un eje coordenado se encuentre en la misma dirección que la aceleración es algo que a menudo representa un ahorro de trabajo.
4. Para cada objeto, **aplique la segunda ley de Newton** por separado a los componentes x y y. Esto es, el componente x de la fuerza neta sobre un objeto está relacionado con el componente x de la aceleración de ese objeto: $\Sigma F_x = ma_x$, y de manera similar para la dirección y.
5. **Resuelva** la ecuación o ecuaciones para la(s) incógnita(s).

Tensión en una cuerda flexible

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Las cuerdas pueden jalar, pero no pueden empujar; existe tensión a lo largo de una cuerda.

Cuando una cuerda flexible jala un objeto, se dice que la cuerda está bajo **tensión** y que la fuerza que ejerce sobre el objeto es la tensión F_T. Si la cuerda tiene masa despreciable, la fuerza ejercida en un extremo se transmite sin merma hacia cada parte de la cuerda y a todo lo largo de ella hasta el otro extremo. ¿Por qué? Porque para la cuerda $\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}} = 0$ si la masa m de la cuerda es cero (o despreciable), sin importar cuál sea $\vec{\mathbf{a}}$. Por lo mismo, las fuerzas que jalan la cuerda en sus dos extremos deben sumar cero (F_T y $-F_T$). Note que las cuerdas flexibles y los cordeles sólo pueden jalar; no pueden empujar porque se doblan.

Planos inclinados

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Una buena elección del sistema coordenado simplifica el cálculo.

Ahora consideraremos lo que ocurre cuando un objeto se desliza hacia abajo por un plano inclinado, como una colina o rampa. Tales problemas son interesantes porque la gravedad es la fuerza que genera aceleración, aunque ésta no es vertical. La resolución de problemas generalmente es más sencilla si se elige el sistema coordenado xy de modo que el eje x apunte a lo largo del plano inclinado y el eje y sea perpendicular al plano, como se aprecia en la figura 4-33. También hay que hacer notar que la fuerza normal no es vertical, sino perpendicular a la superficie inclinada del plano en la figura 4-33.

EJERCICIO C ¿La fuerza gravitacional siempre es perpendicular a un plano inclinado? ¿Siempre es vertical?

EJERCICIO D ¿La fuerza normal siempre es perpendicular a un plano inclinado? ¿Siempre es vertical?

Problemas

Del 4-4 al 4-6 Leyes de Newton, fuerza gravitacional, fuerza normal

1. (I) ¿Qué fuerza se necesita para acelerar a un niño sobre un trineo (masa total = 60.0 kg) a 1.25 m/s^2?
2. (I) Una fuerza neta de 265 N acelera una bicicleta y a su conductor a 2.30 m/s^2. ¿Cuál es la masa de la bicicleta y el conductor en conjunto?
3. (I) ¿Cuánta tensión debe resistir una soga si se le utiliza para acelerar horizontalmente, a 1.20 m/s^2, un automóvil de 960 kg, a lo largo de una superficie sin fricción?
4. (I) ¿Cuál es el peso de un astronauta de 76 kg *a*) en la Tierra, *b*) en la Luna (g = 1.7 m/s^2), *c*) en Marte (g = 3.7 m/s^2), *d*) en el espacio exterior al viajar con velocidad constante?
5. (II) Una caja de 20.0 kg se encuentra en reposo sobre una mesa. *a*) ¿Cuál es el peso de la caja y la fuerza normal que actúa sobre ella? *b*) Una caja de 10.0 kg se coloca encima de la caja de 20.0 kg, como se ilustra en la figura 4-38. Determine la fuerza normal que la mesa ejerce sobre la caja de 20.0 kg y la fuerza normal que esta última ejerce sobre la de 10.0 kg.

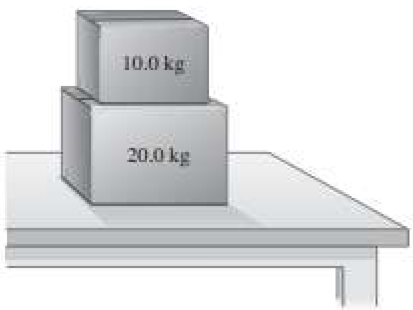


FIGURA 4–38 Problema 5.

6. (II) ¿Qué fuerza promedio se requiere para detener un automóvil de 1100 kg en 8.0 s si el auto viaja a 95 km/h?
7. (II) ¿Qué fuerza promedio se requiere para acelerar una munición de 7.00 gramos desde el reposo hasta 125 m/s en una distancia de 0.800 m a lo largo del cañón de un rifle?
8. (II) Un pescador tira de un pez verticalmente fuera del agua con una aceleración de 2.5 m/s^2 con una caña de pescar muy ligera que tiene una fuerza de rompimiento de 22 N. Por desgracia para el pescador, éste pierde al pez cuando se rompe la caña. ¿Qué puede decir acerca de la masa del pez?
9. (II) Una pelota de béisbol de 0.140 kg, que viaja a 35.0 m/s, golpea el guante del *catcher*, quien, al llevar la bola al reposo, retrocede 11.0 cm. ¿Cuál fue la fuerza promedio aplicada por la bola sobre el guante?
10. (II) ¿Cuánta tensión debe resistir una soga si se le usa para acelerar verticalmente hacia arriba, a 0.80 m/s^2, un automóvil de 1200 kg?
11. (II) Un particular auto de carreras recorre una pista de un cuarto de milla (402 m) en 6.40 s, partiendo desde el reposo. Si se supone que la aceleración es constante, ¿cuántas "g" experimenta el conductor? Si la masa combinada del conductor y el auto de carreras es de 485 kg, ¿qué fuerza horizontal debe ejercer el camino sobre las llantas?
12. (II) Una soga, en la que en un instante dado existen 163 N de tensión, sube verticalmente una cubeta de 12.0 kg. ¿Cuál es la aceleración de la cubeta? ¿Es hacia arriba o hacia abajo?
13. (II) Un elevador (4850 kg de masa) se diseña de modo que la aceleración máxima sea de 0.0680g. ¿Cuáles son las fuerzas máxima y mínima que el motor debe ejercer sobre el cable de soporte?
14. (II) Un ladrón novato de 75 kg quiere escapar por la ventana de la cárcel desde un tercer piso. Por desgracia, una soga hechiza elaborada con sábanas atadas sólo puede soportar una masa de 58 kg. ¿Cómo puede el ladrón usar esta "soga" para escapar? Brinde una respuesta cuantitativa.
15. (II) Una persona está de pie sobre una báscula de baño en un elevador sin movimiento. Cuando el elevador comienza a moverse, la báscula, por un instante, sólo indica el 0.75 del peso regular de la persona. Calcule la aceleración del elevador y encuentre la dirección de la aceleración.

16. (II) El cable que sostiene un elevador de 2125 kg tiene una fuerza máxima de 21,750 N. ¿Qué aceleración máxima hacia arriba puede darle al elevador sin frenar?

17. (II) *a*) ¿Cuál es la aceleración de dos paracaidistas en caída (masa: 132 kg, incluyendo paracaídas) cuando la fuerza ascendente de la resistencia del aire es igual a un cuarto de su peso? *b*) Después de abrir el paracaídas, los paracaidistas descienden suavemente hasta el suelo con una rapidez constante. ¿Cuál es ahora la fuerza de la resistencia del aire sobre los paracaidistas y su paracaídas? (Figura 4-39).

FIGURA 4–39 Problema 17.

18. (III) Una persona salta desde el techo de una casa a 3.9 m de altura. Cuando golpea el suelo, dobla sus rodillas de modo que su torso se desacelera a lo largo de una distancia aproximada de 0.70 m. Si la masa de su torso (es decir, sin considerar las piernas) es de 42 kg, encuentre *a*) su velocidad justo antes de que sus pies golpeen el suelo y *b*) la fuerza promedio ejercida sobre su torso por sus piernas durante la desaceleración.

4-7 Leyes de Newton y vectores

19. (I) Una caja que pesa 77.0 N se encuentra sobre una mesa. Una soga atada a la caja corre verticalmente hacia arriba sobre una polea y un peso cuelga del otro extremo (figura 4-40). Determine la fuerza que la mesa ejerce sobre la caja si el peso que cuelga del otro extremo de la polea es de *a*) 30.0 N, *b*) 60.0 N y *c*) 90.0 N.

FIGURA 4–40 Problema 19.

20. (I) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para un jugador de baloncesto *a*) justo antes de dejar el suelo en un salto y *b*) mientras está en el aire. Observe la figura 4-41.

FIGURA 4–41 Problema 20.

21. (I) Trace el diagrama de cuerpo libre de una pelota de béisbol *a*) en el momento en que es golpeada por el bat, y de nuevo *b*) después de que pierde contacto con el bat y vuela hacia fuera del campo.

22. (I) Una fuerza de 650 N actúa en una dirección hacia el noroeste. ¿En qué dirección se debe ejercer una segunda fuerza de 650 N de modo que la resultante de las dos fuerzas apunte hacia el oeste? Ilustre su respuesta con un diagrama vectorial.

23. (II) Ana va a caminar a través de una "cuerda floja" tendida horizontalmente entre dos edificios separados 10.0 m. La comba en la soga cuando está en el punto medio forma un ángulo de 10.0°, como se muestra en la figura 4-42. Si su masa es de 50.0 kg, ¿cuál es la tensión en la soga en este punto?

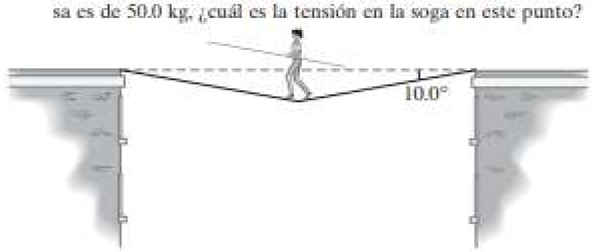


FIGURA 4–42 Problema 23.

24. (II) Las dos fuerzas $\vec{\mathbf{F}}_1$ y $\vec{\mathbf{F}}_2$ que se muestran abajo en la figura 4-43*a* y *b* actúan sobre un objeto de 27.0 kg colocado en una mesa sin fricción. Si $F_1 = 10.2$ N y $F_2 = 16.0$ N, encuentre la fuerza neta sobre el objeto y su aceleración para *a*) y *b*).

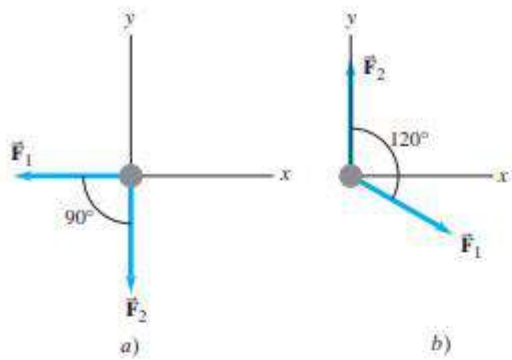


FIGURA 4–43 Problema 24.

25. (II) Una cubeta de pintura de 3.2 kg cuelga mediante una cuerda, cuya masa se puede ignorar, de otra cubeta de pintura de 3.2 kg que a su vez cuelga de una cuerda (cuya masa también puede ignorarse), como se aprecia en la figura 4-44. *a*) Si las cubetas están en reposo, ¿cuál es la tensión en cada cuerda? *b*) Si las dos cubetas se jalan hacia arriba con una aceleración de 1.60 m/s² mediante la cuerda superior, calcule la tensión en cada cuerda.

FIGURA 4–44 Problema 25.

26. (II) Una persona empuja una podadora de 14.0 kg con una rapidez constante y una fuerza de $F = 88.0$ N dirigida a lo largo del manubrio, que forma un ángulo de 45.0° con la horizontal (figura 4-45). *a*) Dibuje el diagrama de cuerpo libre que muestre todas las fuerzas que actúan sobre la podadora. Calcule *b*) la fuerza de fricción horizontal sobre la podadora, luego *c*) la fuerza normal ejercida verticalmente hacia arriba sobre la podadora por el suelo. *d*) ¿Qué fuerza debe ejercer la persona sobre la podadora para acelerarla desde el reposo hasta 1.5 m/s en 2.5 segundos, suponiendo la misma fuerza de fricción?

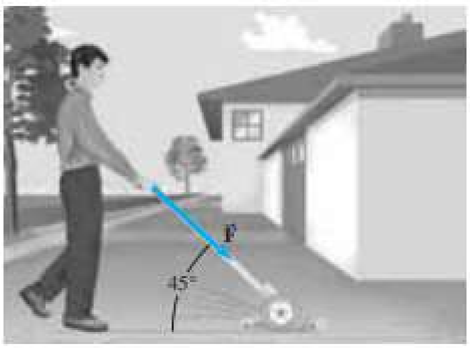


FIGURA 4–45 Problema 26.

27. (II) Dos tractores de nieve remolcan una caseta a una nueva

27. (II) Dos tractores de nieve remolcan una caseta a una nueva ubicación en la base McMurdo, en la Antártica, como se muestra en la figura 4-46. La suma de las fuerzas $\vec{F}_A$ y $\vec{F}_B$ ejercidas sobre la unidad por los cables horizontales es paralela a la línea L, y $F_A = 4500$ N. Determine F_B y la magnitud de $\vec{F}_A + \vec{F}_B$.

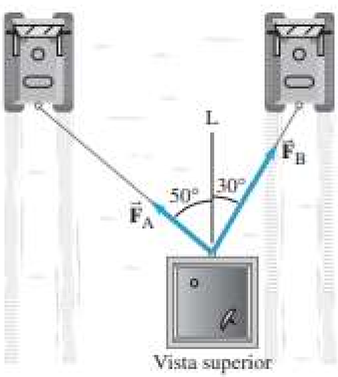


FIGURA 4–46 Problema 27.

28. (II) Una locomotora jala dos carros de la misma masa detrás suyo (figura 4-47). Determine la razón de la tensión en las juntas entre la locomotora y el primer carro (F_{T1}) y la que existe entre el primer carro y el segundo (F_{T2}), para cualquier aceleración distinta de cero del tren.

FIGURA 4–47 Problema 28.

29. (II) Una limpiadora de ventanas se jala a sí misma mediante el aparato cubeta-polea que se ilustra en la figura 4-48. *a*) ¿Qué tan fuerte debe jalar hacia abajo para elevarse a sí misma lentamente con rapidez constante? *b*) Si ella aumenta esta fuerza en un 15%, ¿cuál será su aceleración? La masa de la persona más la cubeta es de 65 kg.

FIGURA 4–48
Problema 29.

30. (II) En el instante en el que comenzó la carrera, un velocista de 65 kg ejerció una fuerza de 720 N sobre el bloque de salida, en un ángulo de 22° con respecto al suelo. *a*) ¿Cuál fue la aceleración horizontal del velocista? *b*) Si la fuerza la ejerció durante 0.32 s, ¿con qué rapidez el corredor dejó el bloque de salida?

de salida?

31. (II) La figura 4-49 muestra un bloque (masa m_A) sobre una superficie horizontal lisa, conectado mediante una cuerda delgada que pasa sobre una polea hacia un segundo bloque (m_B), que cuelga verticalmente. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada bloque, donde muestre la fuerza de gravedad sobre cada uno, la fuerza (tensión) ejercida por la cuerda y cualquier fuerza normal. *b*) Aplique la segunda ley de Newton para encontrar fórmulas para la aceleración del sistema y para la tensión en la cuerda. Ignore la fricción y las masas de la polea y la cuerda.

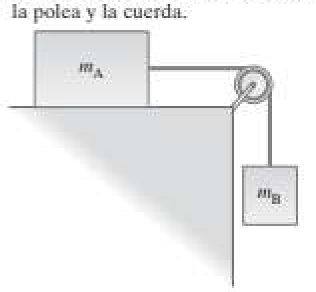


FIGURA 4–49
Problema 31. La masa m_A descansa sobre una superficie horizontal lisa, m_B cuelga verticalmente.

32. (II) Un par de dados de fieltro cuelgan mediante un cordel del espejo retrovisor de su automóvil. Mientras acelera desde un semáforo en rojo hasta 28 m/s en 6.0 s, ¿qué ángulo θ forma el cordel con la vertical? Observe la figura 4-50.

FIGURA 4–50
Problema 32.

33. (III) Tres bloques sobre una superficie horizontal sin fricción están en contacto uno con otro, como se aprecia en la figura 4-51. Al bloque A (masa m_A) se le aplica una fuerza $\vec{F}$. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada bloque. Determine *b*) la aceleración del sistema (en términos de m_A, m_B y m_C), *c*) la fuerza neta sobre cada bloque y *d*) la fuerza de contacto que cada bloque ejerce sobre sus vecinos. *e*) Si $m_A = m_B = m_C = 12.0$ kg y $F = 96.0$ N, proporcione respuestas numéricas a *b*), *c*) y *d*). ¿Sus respuestas tienen sentido intuitivamente?

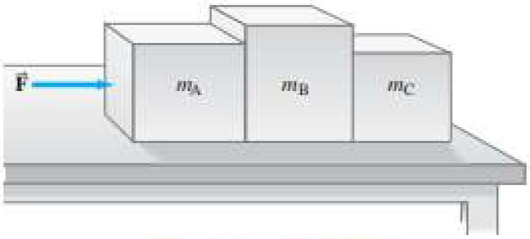


FIGURA 4–51 Problema 33.

34. (III) Las dos masas que se representan en la figura 4-52 inicialmente están cada una a 1.80 m sobre el suelo, y la polea cuyas masa y fricción son despreciables está a 4.8 m sobre el suelo. ¿Qué altura máxima alcanza el objeto más ligero después de que se libera el sistema? [*Sugerencia:* Primero determine la aceleración de la masa más ligera y luego su velocidad en el momento en que el objeto más pesado golpea el suelo. Ésta es su rapidez "de lanzamiento". Suponga que no golpea la polea].

4-8 Leyes de Newton con fricción; planos inclinados

36. (I) Si el coeficiente de fricción cinética entre una caja de 35 kg y el suelo es de 0.30, ¿qué fuerza horizontal se requiere para mover la caja con una rapidez estable a través del suelo? ¿Qué fuerza horizontal se requiere si μ_k es cero?

37. (I) Para iniciar el movimiento de una caja de 5.0 kg a través de un suelo horizontal de concreto se requiere una fuerza de 48.0 N. *a*) ¿Cuál es el coeficiente de fricción estática entre la caja y el suelo? *b*) Si la fuerza de 48.0 N continúa, la caja acelera a 0.70 m/s². ¿Cuál es el coeficiente de fricción cinética?

38. (I) Imagine que está de pie sobre un tren que acelera a 0.20*g*. ¿Qué coeficiente mínimo de fricción estática debe existir entre sus pies y el suelo si no se desliza?

39. (I) ¿Cuál es la aceleración máxima que experimenta un automóvil si el coeficiente de fricción estática entre las llantas y el suelo es de 0.80?

40. (II) El coeficiente de fricción estática entre el hule duro y el pavimento normal es aproximadamente de 0.8. ¿En una colina de qué pendiente (ángulo máximo) puede dejar estacionado un automóvil?

41. (II) Una caja de 15.0 kg es liberada en un plano inclinado de 32° y acelera a lo largo del plano a 0.30 m/s². Encuentre la fuerza de fricción que impide su movimiento. ¿Cuál es el coeficiente de fricción cinética?

42. (II) Un automóvil desacelera a –4.80 m/s² sin derrapar cuando llega al reposo en un camino a nivel. ¿Cuál sería su desaceleración si el camino estuviese inclinado 13° colina arriba? Considere el mismo coeficiente de fricción estática.

43. (II) *a*) Una caja está en reposo sobre un plano inclinado rugoso de 30°. Dibuje el diagrama de cuerpo libre que incluya

no golpea la polea].

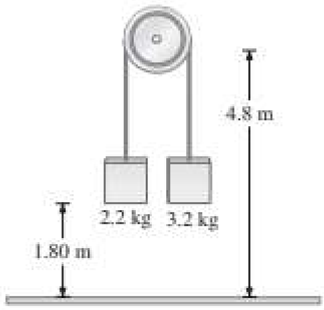


FIGURA 4–52 Problema 34.

35. (III) Dos cajas se encuentran sobre una mesa sin fricción y atadas mediante una cuerda gruesa de 1.0 kg de masa. Calcule la aceleración de cada caja y la tensión en cada extremo de la cuerda, con la ayuda de los diagramas de cuerpo libre que se ilustran en la figura 4-53. Se supone que $F_P = 40.0$ N; ignore las combas de la cuerda. Compare sus resultados con el ejemplo 4-12 y la figura 4-22.

43. (II) *a*) Una caja está en reposo sobre un plano inclinado rugoso de 30°. Dibuje el diagrama de cuerpo libre que incluya todas las fuerzas que actúan sobre la caja. *b*) ¿Cómo cambiaría el diagrama si la caja se estuviese deslizando por el plano? *c*) ¿Cómo cambiaría si la caja se estuviese deslizando hacia arriba del plano luego de un empujón inicial?

44. (II) Las llantas de los *dragsters* en contacto con una superficie de asfalto tienen un coeficiente de fricción estático muy elevado. Suponiendo una aceleración constante y ningún deslizamiento de llantas, estima el coeficiente de fricción estático necesario para que un *dragster* cubra 1.0 km en 12 s, si parte del reposo.

45. (II) El coeficiente de fricción cinética para un *bobsled* de 22 kg sobre una pista es 0.10. ¿Qué fuerza se requiere para empujarlo por un plano inclinado de 6.0° y para que alcance una rapidez de 60 km/h al final de 75 m?

46. (II) Para el sistema de la figura 4-32 (ejemplo 4-20), ¿qué tan grande tendría que ser la masa de la caja A para impedir cualquier movimiento? Se supone que $\mu_s = 0.30$.

47. (II) A una caja se le da un empujón de modo que se desliza por el suelo. ¿Qué tan lejos llegará, considerando que el coeficiente de fricción cinética es 0.20 y que el empujón imparte una rapidez inicial de 4.0 m/s?

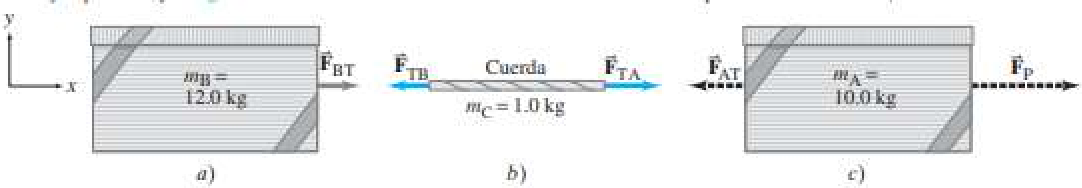


FIGURA 4–53 Problema 35. Diagramas de cuerpo libre para dos cajas sobre una mesa atadas mediante una cuerda gruesa y que se jalan hacia la derecha como en la figura 4-22*a*. Las fuerzas verticales, $\vec{F}_N$ y $\vec{F}_G$, no se representan.

48. (II) Dos cajas, de 75 kg y 110 kg de masa, están en contacto y en reposo sobre una superficie horizontal (figura 4-54). Sobre la caja de 75 kg se ejerce una fuerza de 620 N. Si el coeficiente de fricción cinética es 0.15, calcule *a*) la aceleración del sistema y *b*) la fuerza que cada una de las cajas ejerce sobre la otra. *c*) Repita el ejercicio con las cajas invertidas.

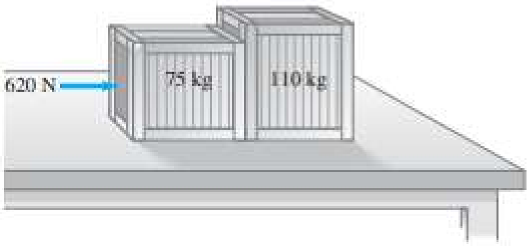


FIGURA 4–54 Problema 48.

49. (II) Un camión de plataforma transporta una caja pesada. El coeficiente de fricción estática entre la caja y la plataforma del camión es 0.75. ¿Cuál es la tasa máxima a la que el conductor puede desacelerar y aún así evitar que la caja se deslice contra la cabina del camión?

50. (II) En un día nevado, quiere estacionar su automóvil en el camino de acceso a su casa, que tiene una inclinación de 12°. El camino de acceso a la casa de su vecino tiene una inclinación de 9.0°, y el camino de acceso a través de la calle está a 6.0°. El coeficiente de fricción estática entre el hule de las llantas y el hielo es 0.15. ¿Cuál(es) camino(s) de acceso será(n) más seguro(s) para estacionarse?

51. (II) Una niña se desliza por una resbaladilla con 28° de inclinación, y, al final, su rapidez es precisamente la mitad de la que habría sido si la resbaladilla no hubiese tenido fricción. Calcule el coeficiente de fricción cinética entre la resbaladilla y la niña.

52. (II) La caja de cartón que se muestra en la figura 4-55 se encuentra sobre un plano inclinado en un ángulo $\theta = 22.0°$ con respecto a la horizontal, con $\mu_k = 0.12$. *a*) Determine la aceleración de la caja mientras se desliza por el plano. *b*) Si la

54. (II) Un carro de montaña rusa alcanza lo alto de la colina más pronunciada con una rapidez de 6.0 km/h. Luego desciende la colina, que tiene un ángulo promedio de 45° y 45.0 m de longitud. Estime la rapidez del carro cuando alcanza el fondo. Se supone que $\mu_k = 0.18$.

55. (II) Una caja de 18.0 kg se libera sobre un plano inclinado de 37.0° y acelera hacia debajo de éste a 0.270 m/s^2. Encuentre la fuerza de fricción que impide su movimiento. ¿Cuál es el coeficiente de fricción cinética?

56. (II) Una pequeña caja se mantiene en su lugar contra una pared rugosa porque alguien empuja sobre ella con una fuerza dirigida hacia arriba a 28° sobre la horizontal. Los coeficientes de fricción estática y cinética entre la caja y la pared son 0.40 y 0.30, respectivamente. La caja se deslizará a menos que la fuerza aplicada tenga una magnitud de 13 N. ¿Cuál es la masa de la caja?

57. (II) Las acumulaciones de nieve sobre los techos resbalosos pueden convertirse en peligrosos proyectiles cuando se derriten. Considere un trozo de nieve en el lomo de un techo con una inclinación de 30°. *a*) ¿Cuál es el valor mínimo del coeficiente de fricción estática que evitará que la nieve se deslice? *b*) Conforme la nieve comienza a derretirse, el coeficiente de fricción estática disminuye y la nieve eventualmente se desliza. Suponiendo que la distancia desde el trozo de nieve hasta el límite del techo es de 5.0 m y el coeficiente de fricción cinética es 0.20, calcule la rapidez del trozo de nieve cuando se resbala por el techo. *c*) Si el límite del techo está a 10.0 m sobre el suelo, ¿cuál es la rapidez de la nieve cuando golpea el suelo?

58. (III) *a*) Demuestre que la distancia mínima de frenado para un automóvil que viaja con rapidez v es igual a $v^2/2\mu_s g$, donde μ_s es el coeficiente de fricción estática entre las llantas y el camino, y g es la aceleración de la gravedad. *b*) ¿Cuál será la distancia para un automóvil de 1200 kg que viaja a 95 km/h si $\mu_s = 0.75$?

59. (III) Una taza de café sobre el tablero de un automóvil se desliza hacia delante sobre el tablero cuando el conductor desacelera desde 45 km/h hasta el reposo en 3.5 s o menos, pero no si desacelera en un tiempo más prolongado. ¿Cuál es el coeficiente de fricción estática entre la taza y el tablero?

60. (III) A un pequeño bloque de masa m se le imprime una rapi-

52. (II) La caja de cartón que se muestra en la figura 4-55 se encuentra sobre un plano inclinado en un ángulo $\theta = 22.0°$ con respecto a la horizontal, con $\mu_k = 0.12$. *a*) Determine la aceleración de la caja mientras se desliza por el plano. *b*) Si la caja parte desde el reposo 9.30 m arriba del plano desde su base, ¿cuál será su rapidez cuando alcance el fondo del plano?

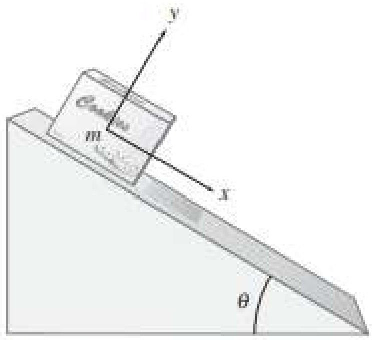


FIGURA 4–55 Caja de cartón sobre plano inclinado. Problemas 52 y 53.

53. (II) A una caja de cartón se le da una rapidez inicial de 3.0 m/s hacia arriba del plano de 22.0° que se muestra en la figura 4-55. *a*) ¿Qué tan alto del plano llegará? *b*) ¿Cuánto tiempo transcurre antes de que regrese a su punto de partida? Ignore la fricción.

desliza hacia delante sobre el tablero cuando el conductor desacelera desde 45 km/h hasta el reposo en 3.5 s o menos, pero no si desacelera en un tiempo más prolongado. ¿Cuál es el coeficiente de fricción estática entre la taza y el tablero?

60. (III) A un pequeño bloque de masa m se le imprime una rapidez inicial v_0 hacia arriba de una rampa inclinada en un ángulo θ con la horizontal. El bloque recorre una distancia d arriba de la rampa y llega al reposo. Determine una fórmula para el coeficiente de fricción cinética entre el bloque y la rampa.

61. (III) El escalador de 75 kg de la figura 4-56 está sostenido en la "chimenea" por las fuerzas de fricción ejercidas sobre sus zapatos y espalda. Los coeficientes de fricción estática entre sus zapatos y la pared, y entre su espalda y la pared, son 0.80 y 0.60, respectivamente. ¿Cuál es la fuerza normal mínima que debe ejercer? Se supone que las paredes son verticales y que ambas fuerzas de fricción están en un máximo. Ignore la sujeción a la soga.

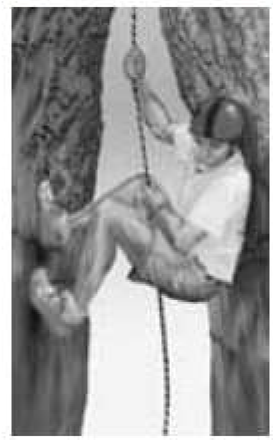


FIGURA 4–56 Problema 61.

62. (III) Unas cajas se mueven sobre una banda transportadora desde donde se llenan hasta la estación de empacado, ubicada a 11.0 m de distancia. La banda inicialmente está en reposo y debe terminar con rapidez cero. El tránsito más rápido se logra si la banda acelera durante la primera mitad de la distancia, luego desacelera durante la mitad final del trayecto. Si el coeficiente de fricción estática entre una caja y la banda es 0.60, ¿cuál es el tiempo de tránsito mínimo para cada caja?

63. (III) Un bloque (masa m_1) que se encuentra sobre un plano inclinado sin fricción está conectado a una masa m_2 mediante una cuerda (cuya masa puede ignorarse), que pasa sobre una polea, como se indica en la figura 4-57. *a*) Determine una fórmula para la aceleración del sistema de los dos bloques en términos de m_1, m_2, θ y g. *b*) ¿Qué condiciones se aplican a las masas m_1 y m_2 para que la aceleración esté en una dirección (por ejemplo, m_1 a lo largo del plano) o en la dirección opuesta?

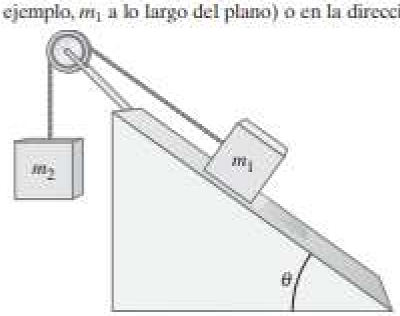


FIGURA 4–57 Problemas 63 y 64.

64. (III) *a*) Considere que el coeficiente de fricción cinética entre m_1 y el plano en la figura 4-57 es $\mu_k = 0.15$, y que $m_1 = m_2 = 2.7$ kg. Conforme m_2 se mueve hacia abajo, determine la magnitud de la aceleración de m_1 y m_2, dado $\theta = 25°$. *b*) ¿Qué valor más pequeño de μ_k evitará que este sistema acelere?

65. (III) Un ciclista de 65 kg de masa (incluye la bicicleta) viaja hacia abajo de una colina de 6.0° con una rapidez estable de 6.0 km/h a causa de la resistencia del aire. ¿Cuánta fuerza debe aplicar para ascender la colina con la misma rapidez y la misma resistencia del aire?

Recursos didácticos:

Las clases, con las explicaciones son parte fundamental, estar en contacto con las actividades para realizar los talleres y aplicar los conceptos.

Realizar talleres y evaluaciones individual y en grupos.

Video: Unidades de medida.

https://www.youtube.com/watch?v=hTyMRFTqvyw

Video: Cinemática

https://www.youtube.com/watch?v=PP1orhr_MCA

Video: La Física

https://www.youtube.com/watch?v=HD0Hv9A3md4

CRITERIOS DE EVALUACIÓN:

- ✓ Identifica las ideas de introducción de la física.
- ✓ Reconoce las diferentes unidades de medida.
- ✓ Aplica la cinemática a la solución de problemas.
- ✓ Realiza los ejercicios aplicando movimiento en una y dos dimensiones en el movimiento parabólico y semi-parabólico.
- ✓ Reconoce las leyes de Newton.