Los términos de la ecuación deben ser manipulados como cantidades vectoriales; los vectores se ilustran en la figura 4.24. La velocidad $\mathbf{v}_{br}$ es en dirección al norte, $\mathbf{v}_{rE}$ es en dirección al este, y el vector adición de las dos, $\mathbf{v}_{bE}$, está a un ángulo θ, como se define en la figura 4.24. Entonces, podemos hallar la rapidez v_{bE} del bote con respecto a la Tierra si usamos el teorema de Pitágoras:

$$v_{bE} = \sqrt{v_{br}^2 + v_{rE}^2} = \sqrt{(10.0)^2 + (5.00)^2}\ \text{km/h}$$

$$= \boxed{11.2\ \text{km/h}}$$

La dirección de $\mathbf{v}_{bE}$ es

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{rE}}{v_{br}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.00}{10.0}\right) = \boxed{26.6°}$$

El bote se está moviendo a una rapidez de 11.2 km/h en la dirección 26.6° al este del norte con respecto a la Tierra. Para *finalizar* el problema, observamos que la rapidez de 11.2 km/h es mayor que la rapidez del bote de 10.0 km/h. La velocidad de la corriente se suma a la del navegante para darle una rapidez mayor. Nótese, en la figura 4.24, que su velocidad resultante está a un ángulo con respecto a la dirección recta al otro lado del río, de modo que terminará aguas abajo, como pronosticado.

Ejemplo 4.11 ¿Qué rumbo debemos tomar?

Si el bote del ejemplo precedente navega con la misma rapidez de 10.0 km/h con respecto al río, y ha de seguir rumbo al norte, como se ve en la figura 4.25, ¿cuál debe ser su rumbo?

Solución Este ejemplo es una extensión del anterior, de modo que ya hemos *conceptualizado* y *clasificado* el problema. El *análisis* ahora comprende el nuevo triángulo que se ilustra en la figura 4.25. Al igual que en el ejemplo anterior, conocemos $\mathbf{v}_{rE}$ y la magnitud del vector v_{br}, y deseamos que $\mathbf{v}_{bE}$ esté dirigido a través del río. Nótese la diferencia entre el triángulo de la figura 4.24 y el de la figura 4.25 —la hipotenusa de la figura 4.25 ya no es $\mathbf{v}_{bE}$. Por lo tanto, cuando usamos el teorema de Pitágoras para hallar $\mathbf{v}_{bE}$ en esta situación, obtenemos

$$v_{bE} = \sqrt{v_{br}^2 - v_{rE}^2} = \sqrt{(10.0)^2 - (5.00)^2}\ \text{km/h} = 8.66\ \text{km/h}$$

Ahora que conocemos la magnitud de $\mathbf{v}_{bE}$, podemos hallar la dirección en la que el bote se dirige:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{rE}}{v_{bE}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.00}{8.66}\right) = \boxed{30.0°}$$

Para *finalizar* este problema, sabemos que el bote debe dirigirse aguas arriba para desplazarse directamente al norte a través del del río. Para la situación dada, el bote debe seguir un curso de 30.0° al oeste del norte.

¿Qué pasaría si? Imagine que los dos botes de los ejemplos 4.10 y 4.11 compiten para cruzar el río. ¿Cuál bote llega primero a la margen opuesta?

Respuesta En el ejemplo 4.10, la velocidad de 10 km/h está apuntada directamente a la margen opuesta del río. En el ejemplo 4.11, la velocidad que está dirigida al otro lado del río tiene una magnitud de sólo 8.66 km/h. Por lo tanto, el bote del ejemplo 4.10 tiene un componente de velocidad más grande directamente al otro lado del río y llegará primero.

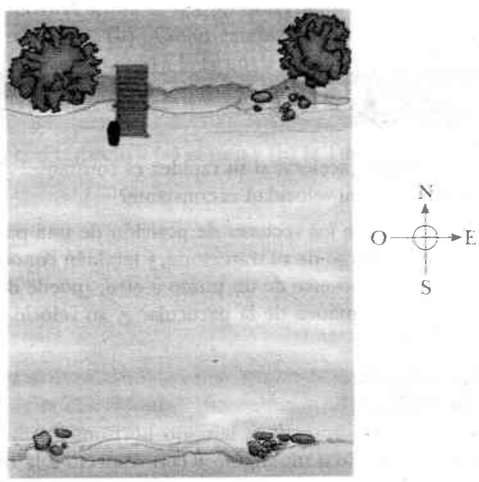


Figura 4.25 (Ejemplo 4.11) Para ir directamente al otro lado del río, el bote debe navegar aguas arriba.

RESUMEN

Si una partícula se mueve con aceleración $\mathbf{a}$ *constante* y tiene velocidad $\mathbf{v}_i$ y posición $\mathbf{r}_i$ en $t = 0$, sus vectores de velocidad y posición en algún tiempo posterior t son

$$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t \tag{4.8}$$

$$\mathbf{r}_f = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \tfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \tag{4.9}$$

Para movimiento en dos dimensiones en el plano xy bajo aceleración constante, cada una de estas dos expresiones vectoriales es equivalente a dos expresiones de componentes, una para el movimiento en la dirección x y una para el movimiento en la dirección y.

El **movimiento de proyectiles** es un tipo de movimiento bidimensional bajo aceleración constante, donde $a_x = 0$ y $a_y = -g$. Es útil considerar el movimiento de proyectiles como la superposición de dos movimientos: (1) movimiento a velocidad constante en la dirección x y (2) movimiento en caída libre en la dirección vertical sujeta a aceleración constante hacia abajo de magnitud $g = 9.80 \text{ m/s}^2$.

Una partícula que se mueve en un círculo de radio r con rapidez constante v está en **movimiento circular uniforme.** Experimenta una aceleración radial $\mathbf{a}_r$ porque la dirección de $\mathbf{v}$ cambia en el tiempo. La magnitud de $\mathbf{a}_r$ es la **aceleración centrípeta** a_c:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \tag{4.19}$$

y su dirección es siempre hacia el centro del círculo.

Si una partícula se mueve a lo largo de una trayectoria curva en forma tal que la magnitud y dirección de $\mathbf{v}$ cambian en el tiempo, entonces la partícula tiene un vector de aceleración que puede ser descrito por dos vectores componentes: (1) un vector componente radial $\mathbf{a}_r$ que produce el cambio en dirección de $\mathbf{v}$ y (2) un vector componente tangencial $\mathbf{a}_t$ que produce el cambio en magnitud de $\mathbf{v}$. La magnitud de $\mathbf{a}_r$ es v^2/r, y la magnitud de $\mathbf{a}_t$ es $d|\mathbf{v}|/dt$.

La velocidad $\mathbf{v}$ de una partícula medida en un marco de referencia fijo S se puede relacionar a la velocidad $\mathbf{v}'$ de la misma partícula medida en un marco de referencia móvil S' por

$$\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \tag{4.22}$$

donde $\mathbf{v}_0$ es la velocidad de S' con respecto a S.

PREGUNTAS

1. ¿Puede un objeto acelerar si su rapidez es constante? ¿Puede un objeto acelerar si su velocidad es constante?

2. Si el lector conoce los vectores de posición de una partícula en dos puntos a lo largo de su trayectoria, y también conoce el tiempo que le tomó moverse de un punto a otro, ¿puede determinar la velocidad instantánea de la partícula? ¿y su velocidad promedio? Explique.

3. Construya diagramas de movimiento que muestren la velocidad y aceleración de un proyectil en varios puntos a lo largo de su trayectoria si (a) el proyectil es lanzado horizontalmente y (b) el proyectil es lanzado a un ángulo θ con respecto a la horizontal.

4. Una pelota de béisbol es lanzada con una velocidad inicial de $(10\hat{\mathbf{i}} + 15\hat{\mathbf{j}})$ m/s. Cuando llega a la parte más alta de su trayectoria, ¿cuáles son (a) su velocidad y (b) su aceleración? Desprecie el efecto de la resistencia del aire.

5. Una pelota de béisbol es lanzada en forma tal que se conocen sus componentes iniciales x e y de velocidad. Desprecie la resistencia del aire y describa cómo calcularía usted, en el instante en que la pelota llega a la parte más alta de su trayectoria, (a) su posición, (b) su velocidad, y (c) su aceleración. ¿Cómo cambiarían estos resultados si se tomara en cuenta la resistencia del aire?

6. Una nave espacial vuela en el espacio a velocidad constante. De pronto una fuga de gas en el costado de la nave le da una aceleración constante en una dirección perpendicular a la velocidad inicial. La orientación de la nave no cambia, de modo que la aceleración permanece perpendicular a la dirección original de la velocidad. ¿Cuál es la forma de la trayectoria seguida por la nave en esta situación?

7. Una pelota es lanzada horizontalmente desde lo alto de un edificio. Un segundo después, otra pelota es proyectada horizontalmente desde el mismo punto con la misma velocidad. ¿En qué punto del movimiento estarán más cerca las pelotas una de otra? ¿La primera pelota siempre se moverá más rápido que la segunda? ¿Cuál será el intervalo de tiempo cuando las pelotas regresen al suelo? ¿Puede cambiar la proyección horizontal de velocidad de la segunda pelota, para que las pelotas lleguen a tierra al mismo tiempo?

8. Una piedra se deja caer en el mismo instante que una pelota, a la misma elevación inicial, se lanza horizontalmente. ¿Cuál tendrá la mayor velocidad cuando llegue al nivel del suelo?

9. Determine cuál de los siguientes objetos en movimiento obedece las ecuaciones de movimiento de proyectiles creadas en este capítulo. (a) Una pelota se lanza en una dirección arbitraria. (b) Un avión a reacción cruza el cielo con sus motores empujando el avión hacia delante. (c) Un cohete despega de su plataforma de lanzamiento. (d) Un cohete se mueve en el cielo después que sus motores se han apagado. (e) Una piedra se lanza bajo el agua.

10. ¿Cómo se puede lanzar un proyectil para que tenga rapidez cero en la parte más alta de su trayectoria? ¿Para que tenga rapidez diferente de cero en la parte superior de su trayectoria?

11. Dos proyectiles son lanzados con la misma magnitud de velocidad inicial, uno a un ángulo θ con respecto al nivel del suelo y el otro a un ángulo de $90 - \theta$. Ambos proyectiles llegarán al suelo a la misma distancia desde el punto de lanzamiento. Ambos proyectiles, ¿estarán en el aire durante el mismo tiempo?

12. Un proyectil es lanzado a cierto ángulo con respecto a la horizontal, con una rapidez inicial v_i, si la resistencia del aire es despreciable. ¿Es el proyectil un cuerpo en caída libre? ¿Cuál es su aceleración en la dirección vertical? ¿Cuál es su aceleración en la dirección horizontal?

13. Exprese cuál de las siguientes cantidades, si las hay, permanece constante cuando un proyectil se desplaza por su trayectoria parabólica: (a) rapidez, (b) aceleración, (c) componente horizontal de velocidad, (d) componente vertical de velocidad.

14. Un proyectil es disparado a un ángulo de 30° de la horizontal con una rapidez inicial. ¿Disparar el proyectil a qué otro ángulo resulta en el mismo alcance horizontal si la rapidez inicial es la misma en ambos casos? Desprecie la resistencia del aire.

El alcance máximo de un proyectil se presenta cuando es lanzado a un ángulo de 45.0° con la horizontal, si se desprecia la resistencia del aire. Si no se desprecia, ¿será el ángulo óptimo mayor o menor a 45.0°? Explique.

Un proyectil es lanzado en la Tierra a una velocidad inicial. Otro proyectil es lanzado en la Luna con la misma velocidad inicial. Si se desprecia la resistencia del aire, ¿cuál proyectil tiene el mayor alcance? ¿Cuál llega a la mayor altitud? (Nótese que la aceleración en caída libre en la Luna es alrededor de 1.6 m/s^2.)

Una moneda en una mesa recibe una velocidad horizontal tal que acaba por salir del extremo de la mesa y llegar al suelo. En el instante en que la moneda sale del extremo de la mesa, una pelota se suelta desde la misma altura y cae al piso. Explique por qué los dos objetos llegan simultáneamente al suelo, aun cuando la moneda tiene una velocidad inicial.

Explique si las siguientes partículas tienen o no tienen aceleración: (a) una partícula se mueve en línea recta con rapidez constante y (b) una partícula se mueve alrededor de una curva con rapidez constante.

Corrija el siguiente enunciado: "El auto de carreras toma la vuelta a una velocidad constante de 90 millas por hora".

En el extremo de un arco de péndulo, su velocidad es cero. ¿Su aceleración también es cero en ese punto?

Un objeto se mueve en una trayectoria circular con rapidez constante v. (a) ¿Es constante la velocidad del objeto? (b) ¿Es constante su aceleración? Explique.

Describa la forma en que un conductor dirige un auto que corre a una rapidez constante para que (a) la aceleración sea cero o (b) la magnitud de la aceleración permanezca constante.

23. Una patinadora está ejecutando una figura de ocho, formada por dos trayectorias circulares tangentes e iguales. En el primer círculo ella aumenta su rapidez uniformemente, y durante el segundo círculo se mueve con una rapidez constante. Trace un diagrama de movimiento que muestre sus vectores de velocidad y aceleración en varios puntos a lo largo de la trayectoria del movimiento.

24. Con base en su observación y experiencia, trace un diagrama de movimiento que muestre los vectores de posición, velocidad y aceleración para un péndulo que oscila en un arco que lo lleva de una posición inicial de 45° a la derecha de la línea central vertical a una posición final 45° a la izquierda de la línea vertical central. El arco es un cuadrante de círculo, y el lector debe usar el centro del círculo como el origen para los vectores de posición.

25. ¿Cuál es la diferencia fundamental entre los vectores unitarios $\hat{\mathbf{r}}$ y $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ y los vectores unitarios $\hat{\mathbf{i}}$ y $\hat{\mathbf{j}}$?

26. Un marinero deja caer una llave desde lo alto del mástil de un bote de velas cuando éste se mueve rápida y uniformemente en línea recta. ¿Dónde golpeará la llave en cubierta? (Galileo planteó esta pregunta).

27. Una pelota es lanzada al aire, hacia arriba, por un pasajero que va a bordo de un tren que se mueve a velocidad constante. (a) Describa la trayectoria de la pelota según la vea el pasajero. Describa la trayectoria según la vea un observador de pie junto a las vías fuera del tren. (b) ¿Cómo cambiarían estas observaciones si el tren fuera acelerando a lo largo de la vía?

28. Un pasajero a bordo de un tren que se mueve con velocidad constante deja caer una cuchara. ¿Cuál es la aceleración de la cuchara con respecto a (a) el tren y (b) la Tierra?

PROBLEMAS

1, 2, 3 = sencillo, intermedio, difícil = solución guiada con sugerencias disponibles en http://www.pse6.com

= use computadora para resolver el problema = problemas numéricos y simbólicos por pares

Sección 4.1 Vectores de posición, velocidad y aceleración

1. Un automovilista se dirige al sur a 20.0 m/s durante 3.00 minutos, luego gira al oeste a 25.0 m/s por 2.00 minutos, y finalmente viaja al noroeste a 30.0 m/s durante 1.00 minuto. Para este viaje de 6.00 minutos, encuentre (a) el desplazamiento vectorial total, (b) la rapidez promedio, y (c) la velocidad promedio. El eje positivo de las x apunta al este.

2. Una pelota de golf es golpeada en la "tee" en el borde de un acantilado. Sus coordenadas x e y como funciones del tiempo están dadas por las siguientes expresiones:

$$x = (18.0 \text{ m/s})t$$

$$\text{y} \quad y = (4.00 \text{ m/s})t - (4.90 \text{ m/s}^2)t^2$$

(a) Escriba una expresión vectorial para hallar la posición de la pelota como función del tiempo, usando los vectores unitarios $\hat{\mathbf{i}}$ y $\hat{\mathbf{j}}$. Con el uso de derivadas, obtenga expresiones para (b) el vector velocidad $\mathbf{v}$ como función del tiempo y (c) el vector aceleración $\mathbf{a}$ como función del tiempo. A continuación use notación de vectores unitarios para escribir expresiones para (d) la posición, (e) la velocidad, 7 (f) la aceleración de la pelota de golf, todo en $t = 3.00$ s.

3. Cuando el Sol está directamente en lo alto, un halcón vuela en picada hacia tierra con una velocidad constante de 5.00 m/s a 60.0°, por debajo de la horizontal. Calcule la rapidez de su sombra al nivel del suelo.

4. Las coordenadas de un objeto que se mueve en el plano xy varían con el tiempo según las ecuaciones $x = -(5.00 \text{ m}) \operatorname{sen}(\omega t)$ y $y = (4.00 \text{ m}) - (5.00 \text{ m}) \cos(\omega t)$, donde ω es una constante y t está en segundos. (a) Determine los componentes de velocidad y componentes de aceleración en $t = 0$. (b) Escriba expresiones para el vector de posición, el vector de velocidad, y el vector de aceleración en cualquier tiempo $t > 0$. (c) Describa la trayectoria del objeto en una gráfica xy.

Sección 4.2 Movimiento bidimensional con aceleración constante

5. En $t = 0$, una partícula que se mueve en el plano xy con aceleración constante tiene una velocidad de $\mathbf{v}_i = (3.00\hat{\mathbf{i}} - 2.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s y está en el origen. En $t = 3.00$ s, la velocidad de la partícula es $\mathbf{v} = (9.00\hat{\mathbf{i}} + 7.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s. Encuentre (a) la aceleración de la partícula y (b) sus coordenadas en cualquier tiempo t.

6. El vector de posición de una partícula varía en el tiempo de acuerdo con la expresión $\mathbf{r} = (3.00\hat{\mathbf{i}} - 6.00t^2\hat{\mathbf{j}})$ m. (a) Encuentre expresiones para la velocidad y aceleración como funciones del tiempo. (b) Determine la posición y velocidad de la partícula en $t = 1.00$ s.

7. Un pez que nada en un plano horizontal tiene velocidad $\mathbf{v}_i = (4.00\hat{\mathbf{i}} + 1.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s en un punto en el océano donde la posición relativa a cierta piedra es $\mathbf{r}_i = (10.0\hat{\mathbf{i}} - 4.00\hat{\mathbf{j}})$ m. Después que el pez nada con aceleración constante durante 20.0 s, su velocidad es $\mathbf{v} = (20.0\hat{\mathbf{i}} - 5.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s (a) ¿Cuáles son los componentes de la aceleración? (b) ¿Cuál es la dirección de la aceleración con respecto al vector unitario $\hat{\mathbf{i}}$? (c) Si el pez mantiene su aceleración constante, ¿dónde está en $t = 25.0$ s, y en qué dirección se está moviendo?

8. Una partícula que está situada inicialmente en el origen, tiene una aceleración de $\mathbf{a} = 3.00\hat{\mathbf{j}}$ m/s^2 y una velocidad inicial de $\mathbf{v}_i = 500\hat{\mathbf{i}}$ m/s. Encuentre (a) el vector de posición y velocidad en cualquier tiempo t y (b) las coordenadas y rapidez de la partícula en $t = 2.00$ s.

9. No es posible ver objetos muy pequeños, por ejemplo virus, con el uso de un microscopio de luz ordinario. Un microscopio electrónico puede ver tales objetos con el uso de un haz electrónico en lugar de un haz luminoso. La microscopia de electrones ha resultado ser de valor incalculable para investigaciones de virus, membranas celulares y estructuras subcelulares, superficies bacteriales, receptores visuales, cloroplastos y las propiedades contráctiles de músculos. Las "lentes" de un microscopio electrónico consisten en campos eléctricos y magnéticos que controlan el haz de electrones. Como ejemplo de la manipulación de un haz de electrones, considere un electrón que se desplaza alejándose del origen a lo largo del eje x en el plano xy con velocidad inicial $\mathbf{v}_i = v_i\hat{\mathbf{i}}$. Cuando pasa por la región $x = 0$ a $x = d$, el electrón experimenta una aceleración $\mathbf{a} = a_x\hat{\mathbf{i}} + a_y\hat{\mathbf{j}}$, donde a_x y a_y son constantes. Para el caso $v_i = 1.80 \times 10^7$ m/s, $a_x = 8.00 \times 10^{14}$ m/s^2 and $a_y = 1.60 \times 10^{15}$ m/s^2, determine en $x = d = 0.0100$ m (a) la posición del electrón, (b) la velocidad del electrón, (c) la rapidez del electrón, y (d) la dirección de desplazamiento del electrón (es decir, el ángulo entre su velocidad y el eje x).

Sección 4.3 Movimiento de proyectiles

Nota: Ignore la resistencia del aire en todos los problemas y tome $g = 9.80$ m/s^2 en la superficie de la Tierra.

10. Para desencadenar una avalancha en las faldas de una montaña, se dispara un obús de artillería con una velocidad inicial de 300 m/s a 55.0° sobre la horizontal. El obús explota en el costado de la montaña 42.0 s después de ser disparado. ¿Cuáles son las coordenadas x e y del obús donde explota, con respecto a su punto de disparo?

11. En un bar local, un cliente desliza un tarro vacío de cerveza por la barra para que se lo vuelvan a llenar. El cantinero está momentáneamente distraído y no ve el tarro, que sale despedido de la barra y cae al suelo a 1.40 m de la base de la barra. Si la altura de ésta es 0.860 m, (a) ¿con qué velocidad salió el tarro de la barra, y (b) ¿cuál era la dirección de la velocidad del tarro justo antes de tocar el piso?

12. En un bar local, un cliente desliza un tarro vacío de cerveza por la barra para que se lo vuelvan a llenar. El cantinero está momentáneamente distraído y no ve el tarro, que sale despedido de la barra y cae al suelo a una distancia d de la base de la barra. La altura de la barra es h. (a) ¿con qué velocidad salió el tarro de la barra, y (b) ¿cuál era la dirección de la velocidad del tarro justo antes de tocar el piso?

13. Una estrategia en una guerra con bolas de nieve es lanzar una bola de nieve a un ángulo alto sobre el nivel del suelo. Mientras un oponente está observando la primera, una segunda bola de nieve es lanzada a un ángulo bajo y sincronizada para llegar antes o al mismo tiempo que la primera. Suponga que ambas bolas de nieve son lanzadas con una rapidez de 25.0 m/s. La primera es lanzada a un ángulo de 70.0° con respecto a la horizontal. (a) ¿A qué ángulo debe ser lanzada la segunda bola de nieve para que llegue al mismo punto que la primera? (b) ¿Cuántos segundos después debe ser lanzada la segunda bola de nieve para que llegue al mismo tiempo que la primera?

14. Una astronauta en un extraño planeta encuentra que ella puede saltar una distancia horizontal máxima de 15.0 m si su rapidez inicial es 3.00 m/s. ¿Cuál es la aceleración en caída libre en el planeta?

15. Un proyectil es disparado en forma tal que su alcance horizontal es igual a tres veces su altura máxima. ¿Cuál es el ángulo de proyección?

16. Una piedra es lanzada hacia arriba desde el nivel del suelo en forma tal que la altura máxima de su vuelo es igual a su alcance horizontal d. (a) ¿A qué ángulo θ es lanzada la piedra? (b) **¿Qué pasaría si?** Su respuesta a la parte (a) ¿sería diferente en un planeta diferente? (c) ¿Cuál es el alcance $d_{máx}$ que la piedra puede alcanzar si es lanzada a la misma rapidez pero a un ángulo óptimo para alcance máximo?

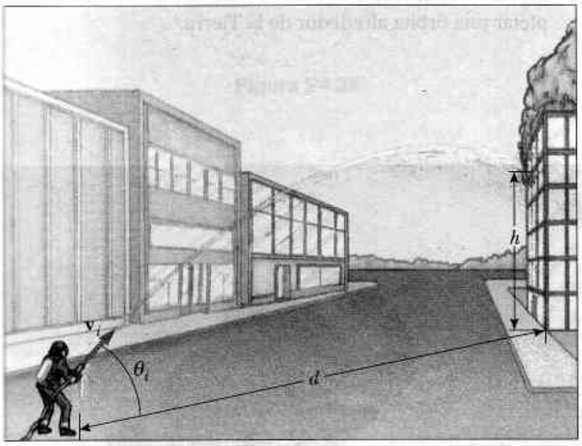
17. Una pelota es lanzada desde la ventana de un piso alto de un edificio. La pelota es lanzada a una velocidad inicial de 8.00 m/s a un ángulo de 20.0° por debajo de la horizontal. Llega al suelo 3.00 s después. (a) ¿A qué distancia horizontal desde la base del edificio está el punto en el que la pelota llega al suelo? (b) Encuentre la altura desde la cual fue lanzada la pelota. (c) ¿Cuánto tiempo tarda la pelota en llegar a un punto a 10.0 m abajo del nivel del lanzamiento?

18. Un pez arquero pequeño (20 a 25 cm de largo) vive en aguas salobres del sudeste de Asia, desde la India hasta las Filipinas. Este pez de nombre tan bien dado captura su presa al lanzar un chorro de gotas de agua a un insecto, ya sea que éste se encuentre en reposo o en pleno vuelo. El insecto cae al agua y el pez se lo traga. El pez arquero tiene alta precisión a distancias de 1.2 a 1.5 m, y a veces da en el blanco a distancias de hasta 3.5 m. Una pequeña hendidura del paladar de su boca, junto con una lengua enrollada, forma un tubo que hace posible que el pez imparta alta velocidad al agua en su boca cuando de pronto cierra sus agallas. Suponga que el pez lanza agua a un blanco situado a 2.00 m de distancia, a un ángulo de 30.0° sobre la horizontal. ¿Con qué ve-

locidad debe ser lanzado el chorro de gotas si éstas no deben bajar más de 3.00 cm verticalmente en su trayectoria al blanco?

Un pateador de campo debe patear un balón desde un punto a 36.0 m (unas 40 yardas) de las diagonales, y la mitad del público espera que el balón pase sobre el travesaño, que mide 3.05 m de alto. Cuando es pateado, el balón sale del suelo con una rapidez de 20.0 m/s a un ángulo de 53.0° con respecto a la horizontal. (a) ¿Cuál es la altura con la que el rebasa o no rebasa el travesaño? (b) ¿El balón se aproxima al travesaño mientras está subiendo o bajando?

Un bombero, situado a una distancia d de un edificio en llamas, dirige un chorro de agua desde una manguera contra incendios a un ángulo θ_i sobre la horizontal como en la figura P4.20. Si la rapidez inicial del chorro es v_i, ¿a qué altura h llega el agua al edificio?



Frederick McKinney/Getty Images

Figura P4.20

21. Un campo de juegos está en el techo plano de una escuela, 6.00 m arriba del nivel de la calle. La pared vertical del edificio mide 7.00 m de alto, para formar una barandilla de un metro de alto alrededor del campo. Una pelota ha caído a la calle, y un transeúnte la devuelve lanzándola a un ángulo de 53.0° sobre la horizontal en un punto a 24.0 metros de la base de la pared del edificio. La pelota tarda 2.20 s en llegar a un punto verticalmente arriba de la pared. (a) Encuentre la rapidez con la que fue lanzada la pelota. (b) Encuentre la distancia vertical con la que la pelota rebasa la pared. (c) Encuentre la distancia desde la pared al punto del techo donde cae la pelota.

22. Un bombardero de picada tiene una velocidad de 280 m/s a un ángulo θ abajo de la horizontal. Cuando la altitud de la nave es 2.15 km, suelta una bomba que subsecuentemente hace blanco en tierra. La magnitud del desplazamiento desde el punto en que se soltó la bomba hasta el blanco es 3.25 km. Hállese el ángulo θ.

23. Un jugador de fútbol patea una piedra horizontalmente desde un acantilado de 40.0 m de alto hacia una piscina. Si el jugador escucha el sonido de la piedra que cae en el agua 3.00 s después, ¿cuál fue la rapidez inicial dada a la piedra? Suponga que la rapidez del sonido en el aire es 343 m/s.

24. Un jugador estrella de baloncesto cubre 2.80 m horizontalmente en un salto para encestar el balón (figura P4.24). Su movimiento en el espacio se puede modelar precisamente como el de una partícula en su *centro de masa*, que definiremos en el capítulo 9. Su centro de masa está a una elevación 1.02 m cuando salta del piso. Llega a una altura máxima de 1.85 sobre el piso, y está a una elevación 0.900 m cuando toca el piso de nuevo. Determine (a) su tiempo de vuelo (su "tiempo en el aire"), (b) sus componentes

Jed Jacobsohn/Allsport/Getty Images.

Bill Lee/Dembinsky Photo Associates.

Figura P4.24

horizontal y (c) vertical de la velocidad en el instante en que se levanta del suelo, y (d) su ángulo de despegue. (e) Por comparación, determine el "tiempo en el aire" de un ciervo cola blanca que hace un salto con elevaciones de centro de masa de $y_i = 1.20$ m, $y_{\text{máx}} = 2.50$ m, $y_f = 0.700$ m.

25. Un arquero dispara una flecha con una velocidad de 45.0 m/s a un ángulo de 50.0° con la horizontal. Un asistente, que está de pie al nivel del suelo a 150 m de distancia desde el punto de lanzamiento, lanza una manzana directamente hacia arriba con la mínima rapidez necesaria para encontrar la trayectoria de la flecha. (a) ¿Cuál es la rapidez inicial de la manzana? (b) ¿En que tiempo después de lanzar la flecha debe ser lanzada la manzana para que la flecha haga blanco en la manzana?

26. Un cohete de fuegos artificiales hace explosión a una altura h, que es la máxima de su trayectoria vertical. En todas direcciones despide fragmentos encendidos, pero todos a la misma rapidez v. Algunos perdigones de metal solidificado caen al suelo sin resistencia del aire. Encuentre el ángulo mínimo que la velocidad final de un fragmento de impacto hace con la horizontal.

Sección 4.4 Movimiento circular uniforme

Nota: Los problemas 8, 10, 12 y 16 del capítulo 6 también se pueden asignar con esta sección.

27. El atleta que se muestra en la figura 4.27 hace girar un disco de 1.00 kg a lo largo de una trayectoria circular de radio 1.06 m. La máxima rapidez del disco es 20.0 m/s. Determine la magnitud de la máxima aceleración radial del disco.

Sam Sargent/Liaison International.

Figura P4.27

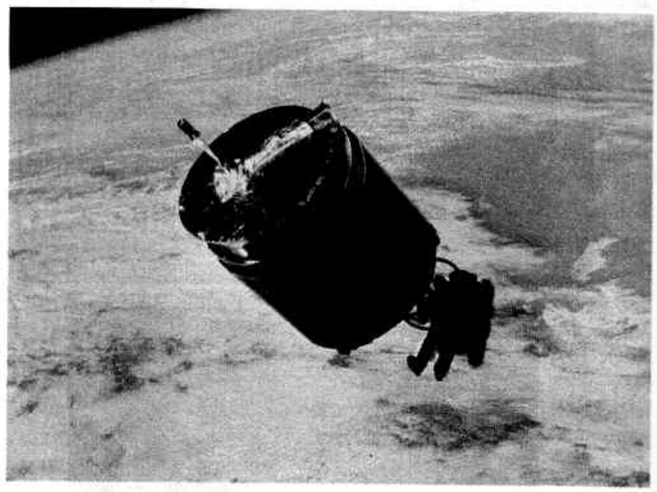
28. De la información de las guardas de este libro, calcule la aceleración radial de un punto sobre la superficie de la Tierra al ecuador, debida a la rotación de la Tierra alrededor de su eje.

29. Un llanta de 0.500 m de radio rota a una razón constante de 200 rev/min. Encuentre la rapidez y la aceleración de una pequeña piedra alojada en el dibujo de la llanta (en su borde exterior).

30. Cuando sus cohetes impulsores se separan, los astronautas del transbordador espacial por lo general detectan aceleraciones hasta de $3g$, donde $g = 9.80$ m/s^2. En su adiestramiento, los astronautas viajan en un aparato donde experimentan una aceleración como la centrípeta. Específicamente, el astronauta es sujetado con gran fuerza al extremo de un brazo mecánico que luego gira a rapidez constante en un círculo horizontal. Determina la rapidez de rotación, en revoluciones por segundo, necesario para dar a un astronauta una aceleración centrípeta de $3.00g$ cuando se encuentra en movimiento circular con radio de 9.45 m.

31. El joven David, que venció a Goliat, experimentó con hondas antes de atajar al gigante. Él encontró que podría hacer girar una honda de 0.600 m de longitud a razón de 8.00 rev/s. Si aumentaba la longitud a 0.900 m, podía hacer girar la honda sólo 6.00 veces por segundo. (a) ¿Cuál rapidez de rotación da la máxima rapidez a la piedra que está en el extremo de la honda? (b) ¿Cuál es la aceleración centrípeta de la piedra a 8.00 rev/s? (c) ¿Cuál es la aceleración centrípeta a 6.00 rev/s?

32. El astronauta que gira en órbita alrededor de la Tierra en la figura P4.32 está preparándose para acoplamiento con un satélite Westar VI. El satélite está en órbita circular a 600 km sobre la superficie de la Tierra, donde la aceleración en caída libre es 8.21 m/s^2. Tome el radio de la Tierra como 6 400 km. Determine la rapidez del satélite y el intervalo de tiempo necesario para completar una órbita alrededor de la Tierra.



Cortesía de la NASA

Figura P4.32

Sección 4.5 Aceleración tangencial y radial

33. Un tren reduce su velocidad cuando transita por una vuelta cerrada horizontal, bajando de 90.0 km/h a 50.0 km/h en los 15.0 s que necesita para circular por la vuelta. El radio de la curva es de 150 m. Calcule la aceleración en el momento en que el tren llega a 50.0 km/h. Suponga que continúa reduciendo su velocidad en este tiempo al mismo ritmo.

34. Un automóvil cuya rapidez está aumentando a razón de 0.600 m/s^2 viaja a lo largo de un camino circular de 20.0 m de radio. Cuando la rapidez instantánea del automóvil es 4.00 m/s, encuentre (a) el componente de aceleración tangencial, (b) el componente de aceleración centrípeta, (c) la magnitud y dirección de la aceleración total.

La figura P4.35 representa la aceleración total de una partícula que se mueve en el sentido de giro de las manecillas de un reloj, en un círculo de radio 2.50 m en un cierto instante. En este instante, encuentre (a) la aceleración radial, (b) la rapidez de la partícula, y (c) su aceleración tangencial.

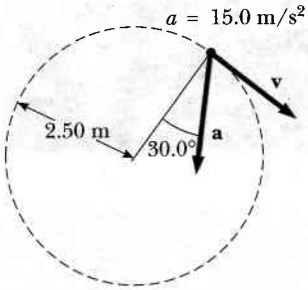


Figura P4.35

Una pelota oscila en un círculo vertical al final de una cuerda de 1.50 m de largo. Cuando la pelota está a 36.9° más allá del punto más bajo en su ascenso, su aceleración total es $(-22.5\hat{\mathbf{i}} + 20.2\hat{\mathbf{j}})$ m/s^2. En ese instante, (a) trace un diagrama vectorial que muestra los componentes de su aceleración, (b) determine la magnitud de su aceleración radial, y (c) determine la rapidez y velocidad de la pelota.

Un auto de carreras arranca desde el reposo en una pista circular. El auto aumenta su rapidez a un ritmo constante a_t cuando pasa una vez alrededor de la pista. Encuentre el ángulo que hace la aceleración total del auto, con el radio que conecta el centro de la pista y el auto, en el momento en que el auto completa el círculo.

Sección 4.6 Velocidad y aceleración relativas

Heather en su Corvette acelera a razón de $(3.00\hat{\mathbf{i}} - 2.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s^2, mientras que Jill en su Jaguar acelera a $(1.00\hat{\mathbf{i}} + 3.00\hat{\mathbf{j}})$ m/s^2. Ambas arrancan desde el reposo en el origen de un sistema de coordenadas xy. Después de 5.00 s, (a) ¿cuál es la rapidez de Heather con respecto a Jill, (b) a qué distancia se encuentran entre sí, y (c) cuál es la aceleración de Heather con respecto a Jill?

39. Un auto viaja rumbo al este con una rapidez de 50.0 km/h. La lluvia cae con una rapidez constante verticalmente con respecto a la Tierra. Los rastros de la lluvia en las ventanillas laterales del auto forman un ángulo de 60.0° con la vertical. Encuentre la velocidad de la lluvia con respecto a (a) el auto y (b) la Tierra.

40. ¿Cuánto tarda un automóvil, que viaja en el carril izquierdo a 60.0 km/h, para pasar al lado de un auto que corre en la misma dirección en el carril derecho a 40.0 km/h, si los parachoques delanteros de los autos están inicialmente 100 m de separados?

41. Un río tiene una rapidez uniforme de 0.500 m/s. Un estudiante nada corriente arriba una distancia de 1.00 km y nada de regreso al punto de partida. Si el estudiante puede nadar a una rapidez de 1.20 m/s en aguas en calma, ¿cuánto tarda el viaje? Compare esto con el tiempo que el viaje tomaría si el agua estuviera en calma.

42. El piloto de un avión observa que la brújula indica rumbo al oeste. La rapidez del avión respecto al aire es 150 km/h. Si hay un viento de 30.0 km/h hacia el norte, encuentre la velocidad del avión con respecto al suelo.

43. Dos nadadores, Alan y Beti, arrancan juntos en el mismo punto en la margen de un arroyo ancho cuyas aguas circulan con una rapidez v. Alan nada aguas abajo una distancia L y luego aguas arriba la misma distancia. Beti nada de modo que su movimiento con respecto a la Tierra es perpendicular a las márgenes del arroyo. Ella nada la distancia L y luego regresa la misma distancia, de modo que ambos nadadores regresan al punto de partida. ¿Cuál nadador regresa primero? (*Nota:* Primero adivine la respuesta.)

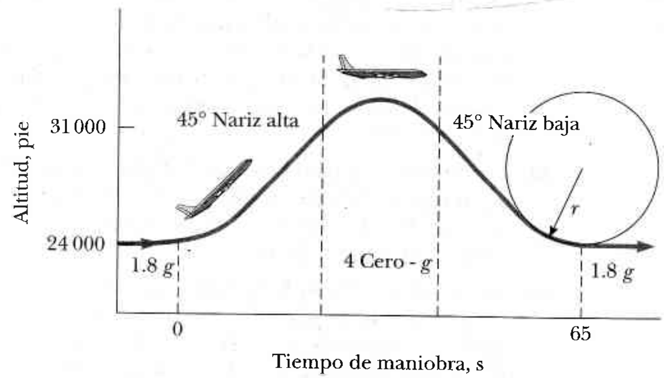
44. Un perno cae del techo raso de un coche de tren que está acelerando al norte a razón de 2.50 m/s^2. ¿Cuál es la aceleración del perno con respecto a (a) el coche de tren? (b) ¿la Tierra?

45. Un estudiante de Ciencias viaja en un carro plataforma de un tren que corre a lo largo de una vía recta horizontal a una rapidez constante de 10.0 m/s. El estudiante lanza una pelota al aire a lo largo de la trayectoria que él juzga hace un ángulo inicial de 60.0° con la horizontal y que está alineada con la vía. La maestra del estudiante, que está de pie en un punto cercano en tierra, observa que la pelota sube verticalmente. ¿a qué altura ve ella que sube la pelota?

46. Un buque patrulla de guardacostas detecta una nave no identificada a una distancia de 20.0 km en la dirección 15.0° al este del norte. La nave está desplazándose a 26.0 km/h en un curso a 40.0° al este del norte. El guardacostas desea enviar un bote rápido para interceptar la nave e investigarla. Si el bote rápido navega a 50.0 km/h, ¿en qué dirección debe dirigirse? Exprese la dirección como una brújula con respecto al rumbo norte.

Problemas adicionales

47. *El "Cometa Vomit."* En adiestramiento de astronautas en gravedad cero y pruebas de equipo, la NASA hace volar un avión KC135A a lo largo de una trayectoria parabólica. Como se ve en la figura P4.47, la nave sube de 24 000 pies a 31 000 pies, donde entra a la parábola de cero g con una velocidad de 143 m/s a 45.0° y la nariz hacia abajo. Durante esta parte del vuelo, la nave y objetos que están dentro de su fuselaje acojinado caen en caída libre: se han convertido en balísticos. La nave entonces sale de la picada con una aceleración hacia arriba de 0.800g, y se mueve en un círculo vertical con radio de 4.13 km. (Durante esta parte del vuelo, los ocupantes del avión perciben una aceleración de 1.8g.). ¿Cuáles son (a) la rapidez y (b) la altitud del avión en la parte superior de la maniobra? (c) ¿Cuál es el tiempo transcurrido en gravedad cero? (d) ¿Cuál es la rapidez del avión en la parte inferior de la trayectoria de vuelo?



Cortesía de la NASA

Figura P4.47

48. Cuando salpica un metal fundido, una pequeña gota sale despedida al este con velocidad inicial v_i a un ángulo θ_i sobre la horizontal, y otra gotita al oeste con la misma rapidez al mismo ángulo arriba de la horizontal, como en la figura P4.48. En términos de v_i y θ_i, encuentre la distancia entre ellas como función del tiempo.

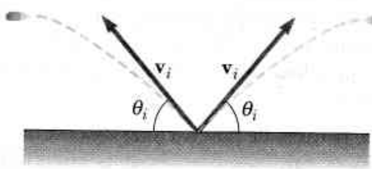


Figura P4.48

49. Una pelota sujeta al extremo de una cuerda se hace girar alrededor de un círculo horizontal de radio 0.300 m. El plano del círculo está 1.20 m sobre el suelo. La cuerda se revienta y la pelota cae al suelo 2.00 m (horizontalmente) alejándose del punto del suelo que está directamente bajo la ubicación de la pelota cuando la cuerda se revienta. Encuentre la aceleración radial de la pelota durante su movimiento circular.

50. Un proyectil es disparado hacia arriba de una pendiente (ángulo ϕ) con una rapidez inicial v_i a un ángulo θ_i con respecto a la horizontal ($\theta_i > \phi$), como se ve en la figura P4.50. (a) Demuestre que el proyectil recorre una distancia d arriba de la pendiente, donde

$$d = \frac{2v_i^2 \cos\theta_i \operatorname{sen}(\theta_i - \phi)}{g\cos^2\phi}$$

(b) ¿Para qué valor de θ_i es d un máximo, y cuál es ese valor?

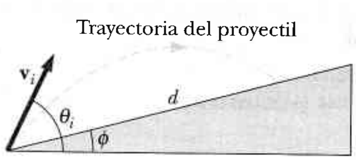


Figura P4.50

51. Barry Bonds conecta un cuadrangular de modo que la pelota apenas rebasa la fila superior de las tribunas, de 21.0 m de altura, situada a 130 m de la placa del *home*. La pelota es golpeada a un ángulo de 35.0° con la horizontal, y la resistencia del aire es despreciable. Encuentre (a) la rapidez inicial de la pelota, (b) el tiempo en el que la pelota llega a los asientos baratos, y (c) los componentes de velocidad y la rapidez de la pelota cuando pasa sobre la fila superior. Suponga que la pelota es golpeada a una altura de 1.00 m sobre el suelo.

52. Un astronauta en la superficie de la Luna dispara un cañón para lanzar un paquete experimental, que sale del cañón moviéndose horizontalmente. (a) ¿Cuál debe ser la rapidez del paquete en la boca del cañón para que viaje completamente alrededor de la Luna y regrese a su ubicación original? (b) ¿Cuánto tiempo tarda este viaje alrededor de la Luna? Suponga que la aceleración en caída libre en la Luna es un sexto de la de la Tierra.

53. Un péndulo con una cuerda de longitud $r = 1.00$ m oscila en un plano vertical (figura P4.53). Cuando el péndulo está en las dos posiciones horizontales $\theta = 90.0°$ y $\theta = 270°$, su rapidez es 5.00 m/s. (a) Encuentre la magnitud de la aceleración radial y acele-

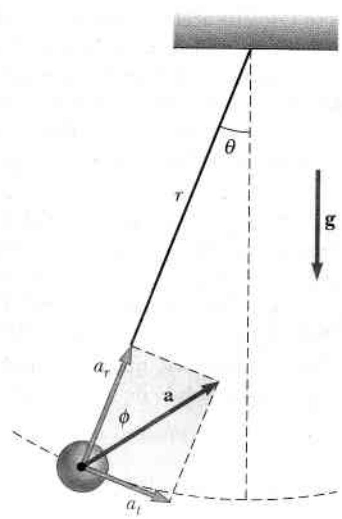


Figura P4.53

tangencial para estas posiciones. (b) Trace un diagrama vectorial para determinar la dirección de la aceleración total para estas dos posiciones. (c) Calcule la magnitud y dirección de la aceleración total.

54. Un jugador de baloncesto que mide 2.00 m de estatura está de pie sobre el piso, a 10.0 m de la canasta, como se ve en la figura P4.54. Si lanza el balón a un ángulo de 40.0° con la horizontal, ¿a qué rapidez inicial debe lanzarlo para que pase por el arillo sin tocar el tablero? La altura de la canasta es 3.05 m.

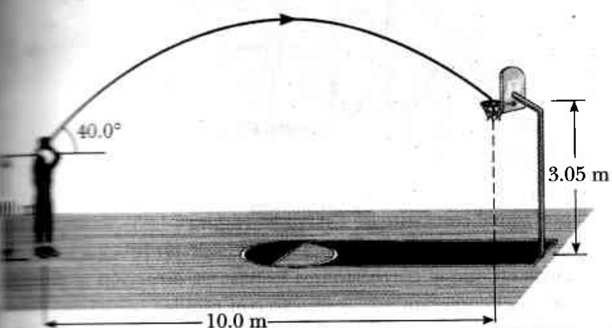


Figura P4.54

55. Cuando los jugadores de béisbol lanzan la pelota desde la parte más lejana al bateador, por lo general la tiran para que bote una vez antes de llegar al diamante, con la idea de que la pelota llega más pronto en esa forma. Suponga que el ángulo al cual una pelota que rebota sale del terreno es el mismo que el ángulo al cual el jardinero la lanzó, como en la figura P4.55, pero que la rapidez de la pelota después del rebote es la mitad de la que era antes del rebote. (a) Si se supone que la pelota siempre es lanzada con la misma rapidez inicial, ¿a qué ángulo θ debe lanzar el jardinero la pelota para que recorra la misma distancia D con un rebote (trayectoria azul) que cuando lanza la pelota hacia arriba a 45.0° sin rebotar (trayectoria verde)? (b) Determina la razón entre los tiempos para los tiros de un rebote y sin rebote.

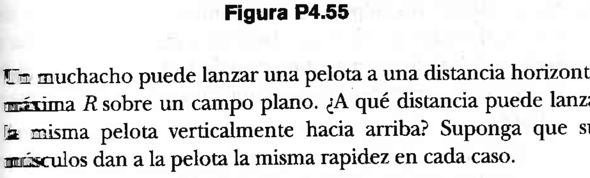


Figura P4.55

56. Un muchacho puede lanzar una pelota a una distancia horizontal máxima R sobre un campo plano. ¿A qué distancia puede lanzar la misma pelota verticalmente hacia arriba? Suponga que sus músculos dan a la pelota la misma rapidez en cada caso.

57. Una piedra sujeta al extremo de una honda se hace girar en un círculo vertical de 1.20 m de radio a una rapidez constante v_0 = 1.50 m/s como en la figura P4.57. El centro de la cuerda está a 1.50 m sobre el suelo. ¿Cuál es el alcance de la piedra si se suelta cuando la cuerda está inclinada a 30.0° con la horizontal (a) en Ⓐ? (b) ¿en Ⓑ? ¿Cuál es la aceleración de la piedra (c) justo antes de ser soltada en Ⓐ? (d) ¿justo después de ser soltada en Ⓐ?

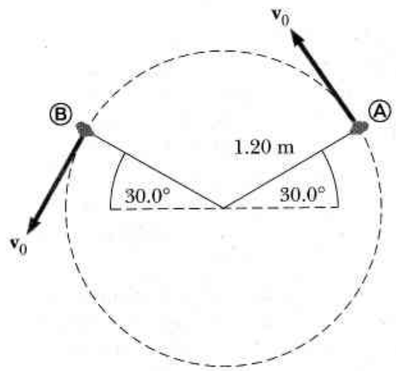


Figura P4.57

58. Un mariscal de campo lanza un balón directamente hacia un receptor con una rapidez inicial de 20.0 m/s, a un ángulo de 30.0° sobre la horizontal. En ese instante, el receptor está a 20.0 m del Mariscal de Campo. ¿En qué dirección y con qué rapidez constante debe correr el receptor para atrapar el balón al nivel al cual fue lanzado?

59. Su padrino es copiloto de un bombardero, que vuela horizontalmente sobre un terreno plano, con una rapidez de 275 m/s con respecto al suelo, a una altitud de 3 000 m. (a) El bombardero (tripulante) suelta una bomba. ¿Qué distancia recorrerá ésta horizontalmente cuando es soltada y su impacto en el suelo? Desprecie los efectos de la resistencia del aire. (b) Disparos de gente en tierra de pronto incapacitan al tripulante bombardero antes que pueda decir "¡suelten bombas!". En consecuencia, el piloto mantiene el rumbo, altitud y rapidez originales del avión en medio de una tormenta de metralla. ¿Dónde estará el avión cuando la bomba llegue al suelo? (c) El avión tiene una mira telescópica de bombas ajustada para que la bomba llegue al blanco vista en la mira en el momento de soltarla. ¿A qué ángulo de la vertical estaba ajustada la mira de la bomba?

60. Un rifle de alto poder dispara una bala con una velocidad en la boca del cañón de 1.00 km/s. El rifle está apuntado horizontalmente a un blanco reglamentario, que es un conjunto de anillos concéntricos, situado a 200 m de distancia. (a) ¿A qué distancia abajo del eje del cañón del rifle da la bala en el blanco? El rifle está equipado con una mira telescópica. Se "apunta" al ajustar el eje del telescopio de modo que apunte precisamente en el lugar donde la bala da en el blanco a 200 m. (b) Encuentre el ángulo entre el eje del telescopio y el eje del cañón del rifle. Cuando dispara a un blanco a una distancia que no sea de 200 m, el tirador usa la mira telescópica, poniendo su retícula en "mira alta" o "mira baja" para compensar el alcance diferente. ¿Debe apuntar alto o bajo, y aproximadamente a qué distancia del blanco reglamentario, cuando el blanco está a una distancia de (c) 50.0 m, (d) 150 m, o (e) 250 m? *Nota:* La trayectoria de la bala es en todas partes casi horizontal que es una buena aproximación para modelar la bala cuando se dispara horizontalmente en cada caso. **¿Qué pasaría si** el blanco está cuesta arriba o cuesta abajo? (f) Suponga que el blanco está a 200 m de distancia, pero la línea de visión al blanco está arriba de la horizontal en 30°. ¿Debe el tirador apuntar alto, bajo o exacto? (g) Suponga que el blanco está cuesta abajo en 30°. ¿Debe el tirador apuntar alto, bajo o exacto? Explique sus respuestas.

61. Un halcón vuela horizontalmente a 10.0 m/s en línea recta, 200 m arriba del suelo. Un ratón que lo ha estado llevando se libera de sus garras. El halcón continúa en su trayectoria a la misma rapidez durante 2.00 segundos antes de tratar de recuperar su presa. Para lograr la recuperación, hace una picada en línea recta a rapidez constante y recaptura al ratón 3.00 m sobre el suelo. (a) Suponiendo que no hay resistencia del aire, encuentre la rapidez de picada del halcón. (b) ¿Qué ángulo hizo el halcón con la horizontal durante su descenso? (c) ¿Durante cuánto tiempo "disfrutó" el ratón de la caída libre?

62. Una persona de pie en lo alto de una roca semiesférica de radio R, patea una pelota (inicialmente en reposo en lo alto de la roca) para darle velocidad horizontal $\mathbf{v}_i$, como se ve en la figura P4.62. (a) ¿Cuál debe ser su rapidez inicial mínima si la pelota nunca debe tocar la roca después de ser pateada? (b) Con esta rapidez inicial, ¿a qué distancia de la base de la roca llega la pelota al suelo?

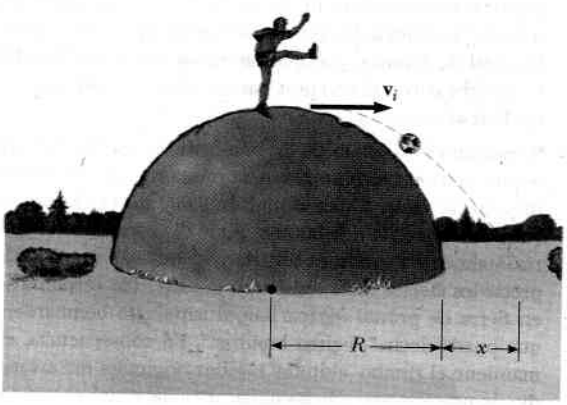


Figura P4.62

63. Un auto está estacionado en una pendiente inclinada que mira hacia el océano, donde la pendiente forma un ángulo de 37.0° abajo de la horizontal. El negligente conductor deja el auto en neutral y los frenos de estacionamiento están defectuosos. Arrancando desde el reposo en $t = 0$, el auto rueda por la pendiente con una aceleración constante de 4.00 m/s^2, recorriendo 50.0 m hasta el borde de un acantilado vertical. El acantilado está a 30.0 m sobre el océano. Encuentre (a) la rapidez del auto cuando llegue al borde del acantilado y el tiempo en el que llega a ese lugar, (c) el intervalo total de tiempo que el auto está en movimiento, y (d) la posición del auto cuando cae al océano, con respecto a la base del acantilado.

64. Un camión cargado con sandías se detiene de pronto para evitar volcarse sobre el borde de un puente destruido (figura P4.64). La rápida parada hace que varias sandías salgan despedidas del camión; una de ellas rueda sobre el borde con una rapidez inicial $v_i = 10.0$ m/s en la dirección horizontal. Una sección transversal de la margen tiene la forma de la mitad inferior de una parábola con su vértice en el borde del camino, y con la ecuación $y^2 = 16x$, donde x e y se miden en metros. ¿Cuáles son las coordenadas x e y de la sandía cuando se estrella en la margen?

65. Un decidido coyote sale una vez más en persecución del escurridizo correcaminos. El coyote lleva un par de patines con ruedas de propulsión a chorro, marca Acme, que le dan una aceleración

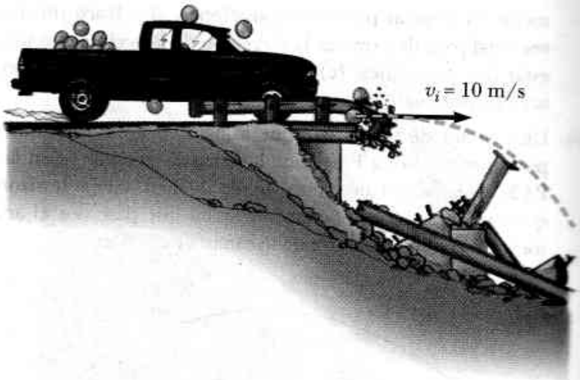


Figura P4.64

horizontal constante de 15.0 m/s^2 (figura P4.65). El coyote arranca desde el reposo a 70.0 m del borde de un precipicio en el instante en que el correcaminos lo pasa en dirección al precipicio. (a) Si el correcaminos se mueve con rapidez constante, determine la rapidez mínima que debe tener para llegar al precipicio antes que el coyote. En el borde del precipicio, el correcaminos escapa al dar una vuelta repentina, mientras que el coyote continúa de frente. Sus patines permanecen horizontales y continúan funcionando cuando él está en el aire, de modo que la aceleración del coyote cuando está en el aire es $(15.0\hat{\mathbf{i}} - 9.80\hat{\mathbf{j}})$ m/s^2. (b) Si el precipicio está a 100 m sobre el piso plano de un cañón, determine en dónde cae el coyote en el cañón. (C) Determine los componentes de la velocidad de impacto del coyote.

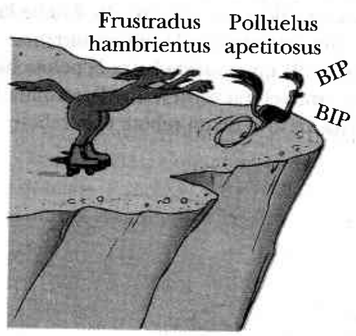


Figura P4.65

66. No se lastime; no golpee su mano contra nada. Con estas limitaciones, describa qué es lo que hace para dar a su mano una gran aceleración. Calcule una estimación de orden de magnitud de esta aceleración, expresando las cantidades que mide o estima y sus valores.

67. Un patinador sale de una rampa en un salto de esquí con una velocidad de 10.0 m/s, 15.0° arriba de la horizontal, como se ve en la figura P4.67. La pendiente de la rampa es de 50.0° y la resistencia del aire es insignificante. Encuentre (a) la distancia desde la rampa a donde el patinador llega al suelo y (b) los componentes de velocidad justo antes que aterrice. (¿Cómo piensa usted que los resultados podrían ser afectados si se incluyera la resistencia del aire? Observe que los saltadores se inclinan hacia delante en la forma de un ala aerodinámica, con sus manos a los costados del cuerpo para aumentar su distancia. ¿Por qué funciona esto?)

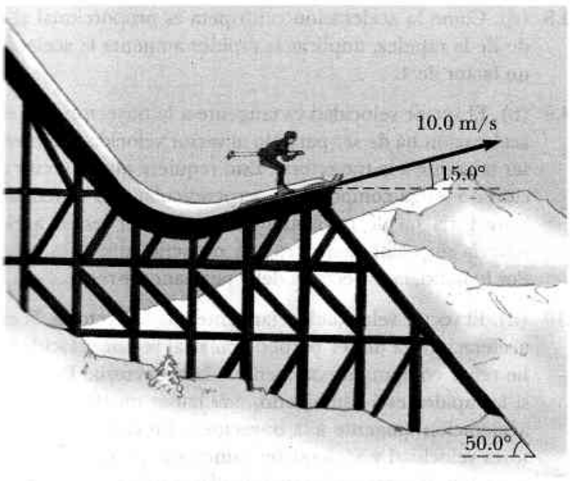


Figura P4.67

En un tubo de imágenes de televisión (tubo de rayos catódicos) los electrones son emitidos con velocidad $\mathbf{v}_i$ desde una fuente en el origen de coordenadas. Las velocidades iniciales de diferentes electrones forman ángulos θ diferentes con el eje x. Cuando se mueven a una distancia D a lo largo del eje x, los electrones están sometidos a un campo eléctrico constante que da a cada electrón una aceleración constante $\mathbf{a}$ en la dirección x. En $x = D$ los electrones pasan por una abertura circular, orientada perpendicular al eje x. En la abertura, la velocidad impartida a los electrones por el campo eléctrico es mucho mayor que $\mathbf{v}_i$ en magnitud. Demuestre que las velocidades de los electrones que pasan por la abertura irradian desde un cierto punto en el eje x, que no es el origen. Determine la ubicación de este punto. Este punto se llama *fuente virtual* y es importante para determinar el lugar donde el haz de electrones incide sobre la pantalla del tubo.

Un pescador sale corriente arriba desde las cataratas Metaline del río Pend Oreille en la región noroeste del estado de Washington. Su pequeño bote, impulsado por un motor fuera de borda, se desplaza a una rapidez constante v en aguas en calma. El agua circula a menor rapidez constante v_w. El pescador se ha desplazado corriente arriba 2.00 km cuando su hielera cae al agua por la borda. Él se da cuenta de la ausencia de la hielera sólo después que ha avanzado corriente arriba otros 15.0 minutos. En ese punto regresa y se dirige corriente abajo, avanzando todo el tiempo a la misma rapidez relativa respecto al agua. Alcanza la hielera flotante precisamente cuando está a punto de caer por las cataratas en su punto de partida. ¿Con que rapidez se mueven las aguas del río? Resuelva este problema en dos formas. (a) Primero, use la Tierra como marco de referencia. Con respecto a nuestro planeta, el bote se desplaza corriente arriba a una rapidez $v - v_w$ y corriente abajo a $v + v_w$. (b) Una segunda solución, mucho más sencilla y elegante, se obtiene con el uso del agua como marco de referencia. Este método tiene importantes aplicaciones en muchos problemas más complicados, por ejemplo calcular el movimiento de cohetes y satélites, y analizar la dispersión de partículas subatómicas desde blancos de gran tamaño.

70. El agua de un río se mueve uniformemente a una rapidez constante de 2.50 m/s entre márgenes paralelas que están a 80.0 m de distancia entre sí. Un observador ha de entregar un paquete directamente al otro lado del río, pero puede nadar a sólo 1.50 m/s. (a) Si escoge minimizar el tiempo que pasa en el agua, ¿en qué dirección debe dirigirse? (b) ¿A qué distancia aguas abajo será llevado por la corriente? (c) **¿Qué pasaría si?** Si la persona escoge minimizar la distancia que el río lo llevará aguas abajo, ¿en qué dirección debe ir? (d) ¿Qué distancia aguas abajo será llevado por la corriente del agua?

71. Un barco enemigo está en el lado este de una isla montañosa, como se ve en la figura P4.71. El barco enemigo ha maniobrado hasta quedar a no más de 2 500 m del pico de 1 800 m de altura y puede disparar proyectiles con una rapidez inicial de 250 m/s. Si la playa poniente está horizontalmente a 300 m del pico, ¿cuáles son las distancias desde la playa poniente en donde un barco puede estar seguro contra el bombardeo del barco enemigo?

72. En la sección **¿Qué pasaría si?** del ejemplo 4.7, se dice que el alcance máximo de un saltador de esquí ocurre a un ángulo de lanzamiento θ dado por

$$\theta = 45° - \frac{\phi}{2}$$

donde ϕ es el ángulo que la rampa hace con la horizontal en la figura 4.16. Demuestre esta afirmación al derivar la ecuación que aparece líneas antes.

Respuestas a las *preguntas rápidas*

4.1 (b). Un objeto que se mueve con velocidad constante tiene $\Delta\mathbf{v} = 0$, de modo que, según la definición de aceleración, $\mathbf{a} = \Delta\mathbf{v}/\Delta t = 0$. La opción (a) no es correcta porque una partícula se puede mover a rapidez constante y cambiar de dirección. Esta posibilidad también hace que (c) sea opción incorrecta.

4.2 (a). Como la aceleración se presenta siempre que cambie la velocidad en cualquier forma —con un aumento o decremento en rapidez, un cambio en dirección, o ambos— los tres contro-

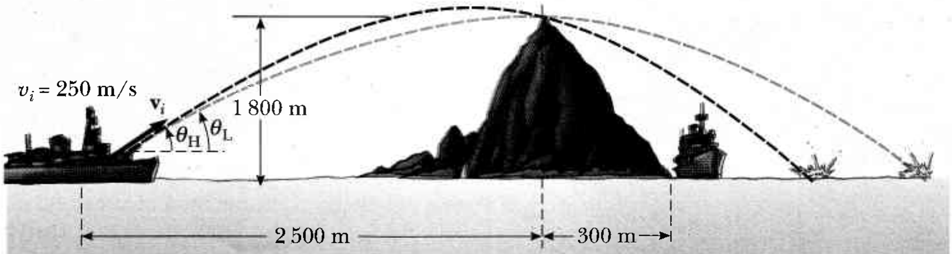


Figura P4.71

les son aceleradores. El pedal del acelerador hace que el auto acelere; el pedal de freno hace que el auto disminuya su velocidad. El volante cambia la dirección del vector velocidad.

4.3 (a). El estudiante debe simplemente lanzar la pelota en línea recta hacia arriba. Como la pelota se mueve junto con él, seguirá una trayectoria parabólica con un componente horizontal de velocidad que es el mismo que el del estudiante.

4.4 (b). En sólo un punto —el punto más alto de la trayectoria— son perpendiculares entre sí los vectores de velocidad y aceleración. El vector velocidad es horizontal en ese punto y el vector aceleración es hacia abajo.

4.5 (a). El vector aceleración está siempre dirigido hacia abajo. El vector velocidad nunca es vertical si el objeto sigue una trayectoria como la de la figura 4.8.

4.6 15°, 30°, 45°, 60°, 75°. Cuanto mayor sea la altura máxima, más tiempo tarda el proyectil en alcanzar esa altitud y luego caer desde ella. Por lo tanto, cuando aumenta el ángulo de lanzamiento, aumenta el tiempo de vuelo.

4.7 (c). No podemos escoger (a) o (b) porque el vector de aceleración no es constante (cambia continuamente de dirección). De las opciones restantes, sólo (c) da la relación perpendicular correcta entre $\mathbf{a}_c$ y $\mathbf{v}$.

4.8 (d). Como la aceleración centrípeta es proporcional al cuadrado de la rapidez, duplicar la rapidez aumenta la aceleración en un factor de 4.

4.9 (b). El vector velocidad es tangente a la trayectoria. Si el vector aceleración ha de ser paralelo al vector velocidad, también debe ser tangente a la trayectoria. Esto requiere que el vector aceleración no tenga componente perpendicular a la trayectoria. Si la trayectoria ha de cambiar de dirección, el vector aceleración tendría un componente radial, perpendicular a la trayectoria. Por lo tanto, la trayectoria debe permanecer recta.

4.10 (d). El vector velocidad es tangente a la trayectoria. Si el vector aceleración ha de ser perpendicular al vector velocidad, no debe tener componente tangente a la trayectoria. Por otra parte, si la rapidez está cambiando, *debe* haber un componente de la aceleración tangente a la trayectoria. En consecuencia, los vectores velocidad y aceleración nunca son perpendiculares a esta situación. Pueden ser perpendiculares sólo si no hay cambio en la rapidez.

4.11 (c). La pasajera A ve el café servido en una trayectoria parabólica "normal", como si estuviera de pie en el piso sirviéndolo. El observador estacionario B ve el café moviéndose en trayectoria parabólica que es extendida horizontalmente debido a la velocidad horizontal constante de 60 mi/h.