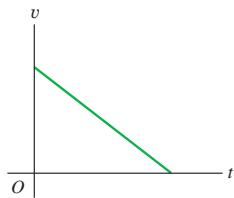


**P3.17.** Cuando usted deja caer un objeto desde cierta altura, éste tarda un tiempo  $T$  en llegar al piso si no hay resistencia del aire. Si usted lo deja caer desde una altura tres veces mayor, ¿cuánto tiempo tardaría el objeto (en términos de  $T$ ) en llegar al suelo?

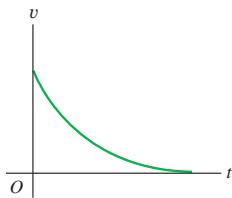
**P3.18.** Se lanza una piedra hacia el aire con un ángulo por encima de la horizontal, y se desprecia la resistencia del aire. ¿Cuál de las gráficas en la figura 3.37 describe mejor la *rapidez*  $v$  de la piedra en función del tiempo  $t$  mientras está en el aire?

Figura 3.37 Pregunta P3.18.

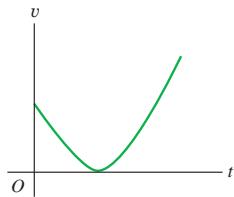
a)



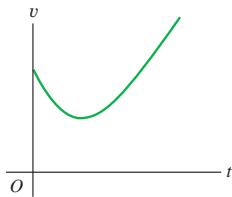
b)



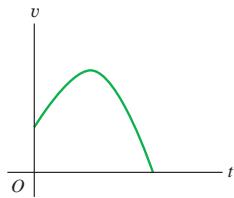
c)



d)



e)



## Ejercicios

### Sección 3.1 Vectores de posición y velocidad

**3.1.** Una ardilla tiene coordenadas  $x$  y  $y$  (1.1 m, 3.4 m) en  $t_1 = 0$  y coordenadas (5.3 m, -0.5 m) en  $t_2 = 3.0$  s. Para este intervalo, obtenga *a*) las componentes de la velocidad media, *b*) la magnitud y dirección de esta velocidad.

**3.2.** Un rinoceronte está en el origen de las coordenadas en  $t_1 = 0$ . Para el intervalo de  $t_1 = 0$  a  $t_2 = 12.0$  s, la velocidad media del animal tiene componente  $x$  de -3.8 m/s y componente  $y$  de 4.9 m/s. En  $t_2 = 12.0$  s, *a*) ¿qué coordenadas  $x$  y  $y$  tiene el rinoceronte? *b*) ¿Qué tan lejos está del origen?

**3.3.** Un diseñador de páginas Web crea una animación en la que un punto en una pantalla de computadora tiene una posición  $\vec{r} = [4.0 \text{ cm} + (2.5 \text{ cm/s}^2)t^2]\hat{i} + (5.0 \text{ cm/s})t\hat{j}$ . *a*) Determine la magnitud

y dirección de la velocidad media del punto entre  $t = 0$  y  $t = 2.0$  s.

*b*) Calcule la magnitud y dirección de la velocidad instantánea en  $t = 0$ , en  $t = 1.0$  s y en  $t = 2.0$  s. *c*) Dibuje la trayectoria del punto de  $t = 0$  a  $t = 2.0$  s, y muestre las velocidades calculadas en el inciso *b*.

**3.4.** Si  $\vec{r} = bt^2\hat{i} + ct^3\hat{j}$ , donde  $b$  y  $c$  son constantes positivas, ¿cuánto el vector de velocidad forma un ángulo de  $45^\circ$  con los ejes  $x$  y  $y$ ?

### Sección 3.2 El vector de aceleración

**3.5.** Un jet vuela a altitud constante. En el instante  $t_1 = 0$ , tiene componentes de velocidad  $v_x = 90$  m/s,  $v_y = 110$  m/s. En  $t_2 = 30.0$  s, las componentes son  $v_x = -170$  m/s,  $v_y = 40$  m/s. *a*) Dibuje los vectores de velocidad en  $t_1$  y  $t_2$ . *b*) En qué difieren? Para este intervalo, calcule *b*) las componentes de la aceleración media, *c*) la magnitud y dirección de esta aceleración.

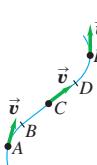
**3.6.** Un perro que corre en un campo tiene componentes de velocidad  $v_x = 2.6$  m/s y  $v_y = -1.8$  m/s en  $t_1 = 10.0$  s. Para el intervalo de  $t_1 = 10.0$  s a  $t_2 = 20.0$  s, la aceleración media del perro tiene magnitud de  $0.45 \text{ m/s}^2$  y dirección de  $31.0^\circ$  medida del eje  $+x$  al eje  $+y$ . En  $t_2 = 20.0$  s, *a*) ¿qué componentes  $x$  y  $y$  tiene la velocidad del perro? *b*) ¿Qué magnitud y dirección tiene esa velocidad? *c*) Dibuje los vectores de velocidad en  $t_1$  y  $t_2$ . *d*) En qué difieren?

**3.7.** Las coordenadas de un ave que vuela en el plano  $xy$  están dadas por  $x(t) = \alpha t$  y  $y(t) = 3.0 \text{ m} - \beta t^2$ , donde  $\alpha = 2.4 \text{ m/s}$  y  $\beta = 1.2 \text{ m/s}^2$ . *a*) Dibuje la trayectoria del ave entre  $t = 0$  y  $t = 2.0$  s. *b*) Calcule los vectores de velocidad y aceleración en función de  $t$ . *c*) Obtenga la magnitud y dirección de la velocidad y aceleración del ave en  $t = 2.0$  s. *d*) Dibuje los vectores de velocidad y aceleración en  $t = 2.0$  s. En este instante, ¿el ave está acelerando, frenando o su rapidez no está cambiando instantáneamente? ¿Está dando vuelta? Si así es, ¿en qué dirección?

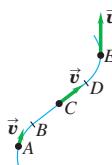
**3.8.** Una partícula sigue una trayectoria como se muestra en la figura 3.38. Entre  $B$  y  $D$ , la trayectoria es recta. Dibuje los vectores de aceleración en  $A$ ,  $C$  y  $E$  si *a*) la partícula se mueve con rapidez constante, *b*) la partícula aumenta de rapidez continuamente; *c*) la rapidez de la partícula disminuye continuamente.

Figura 3.38 Ejercicio 3.8.

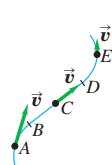
a)



b)



c)



### Sección 3.3 Movimiento de proyectiles

**3.9.** Un libro de física que se desliza sobre una mesa horizontal a 1.10 m/s cae al piso en 0.350 s. Ignore la resistencia del aire. Calcule *a*) la altura de la mesa; *b*) la distancia horizontal del borde de la mesa al punto donde cae el libro; *c*) las componentes horizontal y vertical, y la magnitud y dirección, de la velocidad del libro justo antes de tocar el piso. *d*) Dibuje gráficas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  y  $v_y-t$  para el movimiento.

**3.10.** Un helicóptero militar está en una misión de entrenamiento y vuela horizontalmente con una rapidez de 60.0 m/s y accidentalmente suelta una bomba (desactivada, por suerte) a una altitud de 300 m. Puede despreciarse la resistencia del aire. *a*) ¿Qué tiempo tarda la

bomba en llegar al suelo? b) ¿Qué distancia horizontal viaja mientras cae? c) Obtenga las componentes horizontal y vertical de su velocidad justo antes de llegar al suelo. d) Dibuje gráficas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  y  $v_y-t$  para el movimiento de la bomba. e) ¿Dónde está el helicóptero cuando la bomba toca tierra, si la rapidez del helicóptero se mantuvo constante?

**3.11.** Dos grillos, Chirpy y Milada, saltan desde lo alto de un acantilado vertical. Chirpy simplemente se deja caer y llega al suelo en 3.50 s; en tanto que Milada salta horizontalmente con una rapidez inicial de 95.0 cm/s. ¿A qué distancia de la base del acantilado tocará Milada el suelo?

**3.12.** Una osada nadadora de 510 N se lanza desde un risco con un impulso horizontal, como se muestra en la figura 3.39. ¿Qué rapidez mínima debe tener al saltar de lo alto del risco para no chocar con la saliente en la base, que tiene una anchura de 1.75 m y está 9.00 m abajo del borde superior del risco?

Figura 3.39 Ejercicio 3.12.

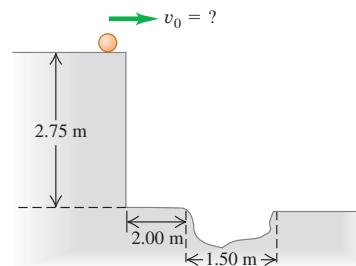


### 3.13. Salto del río I. Un automóvil

Llega a un puente durante una tormenta y el conductor descubre que las aguas se lo han llevado. El conductor debe llegar al otro lado, así que decide intentar saltar la brecha con su auto. La orilla en la que se encuentra está 21.3 m arriba del río, mientras que la orilla opuesta está a sólo 1.8 m sobre las aguas. El río es un torrente embravecido con una anchura de 61.0 m. a) ¿Qué tan rápido deberá ir el auto cuando llegue a la orilla para librarse del río y llegar a salvo al otro lado? b) ¿Qué rapidez tendrá el auto justo antes de que aterrice en la orilla opuesta?

**3.14.** Una pequeña canica rueda horizontalmente con una rapidez  $v_0$  y cae desde la parte superior de una plataforma de 2.75 m de alto, sin que sufra resistencia del aire. A nivel del piso, a 2.00 m de la base de la plataforma, hay una cavidad (figura 3.40). ¿En qué intervalo de rapideces  $v_0$  la canica caerá dentro de la cavidad?

Figura 3.40 Ejercicio 3.14.



**3.15.** Dentro de una nave espacial en reposo sobre la Tierra, una pelota rueda desde la parte superior de una mesa horizontal y cae al piso a una distancia  $D$  de la pata de la mesa. Esta nave espacial ahora desciende en el inexplorado Planeta X. El comandante, el Capitán Curioso, hace rodar la misma pelota desde la misma mesa con la misma rapidez inicial que en la Tierra, y se da cuenta de que la pelota cae al piso a una distancia  $2.76D$  de la pata de la mesa. ¿Cuál es la aceleración debida a la gravedad en el Planeta X?

**3.16.** Un mariscal de campo novato lanza un balón con una componente de velocidad inicial hacia arriba de 16.0 m/s y una componente de velocidad horizontal de 20.0 m/s. Ignore la resistencia del aire. a) ¿Cuánto tiempo tardará el balón en llegar al punto más alto de la trayectoria? b) ¿A qué altura está este punto? c) ¿Cuánto tiempo pasa desde que se lanza el balón hasta que vuelve a su nivel original? ¿Qué relación hay entre este tiempo y el calculado en el inciso a)? d) ¿Qué distancia horizontal viaja el balón en este tiempo? e) Dibuje gráficas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  y  $v_y-t$  para el movimiento.

**3.17.** Se dispara un proyectil desde el nivel del suelo con una velocidad inicial de 80.0 m/s a  $60.0^\circ$  por encima de la horizontal sin que sufra resistencia del aire. a) Determine las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial del proyectil. b) ¿Cuánto tarda el proyectil en alcan-

zar su punto más alto? c) Calcule su altura máxima por encima del suelo. d) ¿Qué tan lejos del punto de lanzamiento cae el proyectil al suelo? e) Determine las componentes horizontal y vertical de su aceleración y velocidad en el punto de su máxima altura.

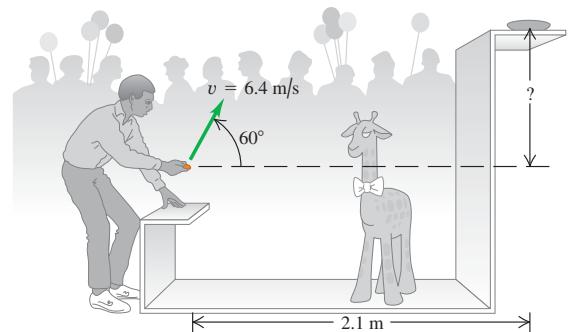
**3.18.** Una pistola que dispara una luz bengala le imprime una velocidad inicial de 125 m/s en un ángulo de  $55.0^\circ$  sobre la horizontal. Ignore la resistencia del aire. Si la bengala se dispara, obtenga su altura máxima y la distancia del punto de disparo al punto de caída, a) en los salares planos de Utah y b) en el Mar de la Tranquilidad en la Luna, donde  $g = 1.67 \text{ m/s}^2$ .

**3.19.** Un pelotero de grandes ligas batea una pelota de modo que sale del bate con una rapidez de 30.0 m/s y un ángulo de  $36.9^\circ$  sobre la horizontal. Ignore la resistencia del aire. a) ¿En cuáles dos instantes la pelota estuvo a 10.0 m sobre el punto en que se salió del bate? b) Obtenga las componentes horizontal y vertical de la velocidad de la pelota en cada uno de los dos instantes calculados en el inciso a). c) ¿Qué magnitud y dirección tenía la velocidad de la pelota al regresar al nivel en el que se bateó?

**3.20.** Un atleta lanza la bala a cierta distancia sobre el suelo plano con velocidad de 12.0 m/s,  $51.0^\circ$  sobre la horizontal. La bala golpea el suelo 2.08 s después. Ignore la resistencia del aire. a) ¿Cuáles son las componentes de la aceleración de la bala en vuelo? b) ¿Cuáles son las componentes de la velocidad de la bala al principio y el final de su trayectoria? c) A qué distancia horizontal llegó la bala? d) ¿Por qué la expresión para  $R$  del ejemplo 3.8 no da la respuesta correcta para el inciso c)? e) ¿A qué altura sobre el suelo se lanzó la bala? f) Dibuje las gráficas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  y  $v_y-t$  para el movimiento.

**3.21. Gane el premio.** En una feria, se gana una jirafa de peluche lanzando una moneda a un platito, el cual está sobre una repisa más arriba del punto en que la moneda sale de la mano y a una distancia horizontal de 2.1 m desde ese punto (figura 3.41). Si lanza la moneda con velocidad de 6.4 m/s, a un ángulo de  $60^\circ$  sobre la horizontal, la moneda caerá en el platito. Ignore la resistencia del aire. a) ¿A qué altura está la repisa sobre el punto donde se lanza la moneda? b) ¿Qué componente vertical tiene la velocidad de la moneda justo antes de caer en el platito?

Figura 3.41 Ejercicio 3.21.



**3.22.** Suponga que el ángulo inicial  $\alpha_0$  de la figura 3.26 es de  $42.0^\circ$  y la distancia  $d$  es de 3.00 m. ¿Dónde se encontrarán el dardo y el mono, si la rapidez inicial del dardo es a) 12.0 m/s? b) 8.0 m/s? c) ¿Qué sucederá si la rapidez inicial del dardo es de 4.0 m/s? Dibuje la trayectoria en cada caso.

**3.23.** Un hombre está parado en la azotea de un edificio de 15.0 m y lanza una piedra con velocidad de 30.0 m/s en un ángulo de  $33.0^\circ$  sobre la horizontal. Puede despreciarse la resistencia del aire. Calcule

a) la altura máxima que alcanza la piedra sobre la azotea; b) la magnitud de la velocidad de la piedra justo antes de golpear el suelo; y c) la distancia horizontal desde la base del edificio hasta el punto donde la roca golpea el suelo. d) Dibuje las gráficas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  y  $v_y-t$  para el movimiento.

**3.24.** Los bomberos están lanzando un chorro de agua a un edificio en llamas, utilizando una manguera de alta presión que imprime al agua una rapidez de 25.0 m/s al salir por la boquilla. Una vez que sale de la manguera, el agua se mueve con movimiento de proyectil. Los bomberos ajustan el ángulo de elevación  $\alpha$  de la manguera hasta que el agua tarda 3.00 s en llegar a un edificio que está a 45.0 m de distancia. Ignore la resistencia del aire y suponga que la boquilla de la manguera está a nivel del suelo. a) Calcule el ángulo de elevación de  $\alpha$ . b) Determine la rapidez y aceleración del agua en el punto más alto de su trayectoria. c) ¿A qué altura sobre el suelo incide el agua sobre el edificio, y con qué rapidez lo hace?

**3.25.** Un globo de 124 kg que lleva una canastilla de 22 kg desciende con rapidez constante hacia abajo de 20.0 m/s. Una piedra de 1.0 kg se lanza desde la canastilla con una velocidad inicial de 15.0 m/s perpendicular a la trayectoria del globo en descenso, medida relativa a una persona en reposo en la canasta. Esa persona ve que la piedra choca contra el suelo 6.00 s después de lanzarse. Suponga que el globo continúa su descenso a los 20.0 m/s constantes. a) ¿A qué altura estaba el globo cuando se lanzó la piedra? b) ¿Y cuando chocó contra el suelo? c) En el instante en que la piedra tocó el suelo, ¿a qué distancia estaba de la canastilla? d) Determine las componentes horizontal y vertical de la velocidad de la piedra justo antes de chocar contra el suelo, relativas a un observador i) en reposo en la canastilla; ii) en reposo en el suelo.

**3.26.** Un cañón, situado a 60.0 m de la base de un risco vertical de 25.0 m de altura, dispara un obús de 15 kg con un ángulo de 43.0° sobre la horizontal, hacia el risco. a) ¿Qué velocidad inicial mínima debe tener el obús para liberar el borde superior del risco? b) El suelo en la parte superior del risco es plano, con una altura constante de 25.0 m sobre el cañón. En las condiciones del inciso a), ¿a qué distancia del borde del risco cae el obús?

**3.27.** Un avión vuela con una velocidad de 90.0 m/s a un ángulo de 23.0° arriba de la horizontal. Cuando está 114 m directamente arriba de un perro parado en suelo plano, se cae una maleta del compartimiento de equipaje. ¿A qué distancia del perro caerá la maleta? Ignore la resistencia del aire.

#### Sección 3.4 Movimiento en un círculo

**3.28.** Imagine que, en su primer día de trabajo para un fabricante de electrodomésticos, le piden que averigüe qué hacerle al periodo de rotación de una lavadora para triplicar la aceleración centrípeta, y usted impresiona a su jefa contestando inmediatamente. ¿Qué le contesta?

**3.29.** La Tierra tiene 6380 km de radio y gira una vez sobre su eje en 24 h. a) ¿Qué aceleración radial tiene un objeto en el ecuador? Dé su respuesta en  $m/s^2$  y como fracción de  $g$ . b) Si  $a_{rad}$  en el ecuador fuera mayor que  $g$ , los objetos saldrían volando hacia el espacio. (Veremos por qué en el capítulo 5.) ¿Cuál tendría que ser el periodo de rotación para que esto sucediera?

**3.30.** Un modelo de rotor de helicóptero tiene cuatro aspas, cada una de 3.40 m de longitud desde el eje central hasta la punta. El modelo se gira en un túnel de viento a 550 rpm. a) ¿Qué rapidez lineal tiene la punta de la aspa en  $m/s$ ? b) ¿Qué aceleración radial tiene la punta de la aspa, expresada como un múltiplo de la aceleración debida a la gravedad, es decir,  $g$ ?

**3.31.** En una prueba de un “traje  $g$ ”, un voluntario se gira en un círculo horizontal de 7.0 m de radio. ¿Con qué periodo de rotación la aceleración centrípeta tiene magnitud de a) 3.0 $g$ ? b) 10 $g$ ?

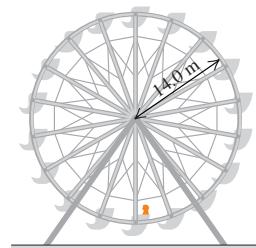
**3.32.** El radio de la órbita terrestre alrededor del Sol (suponiendo que fuera circular) es de  $1.50 \times 10^8$  km, y la Tierra la recorre en 365 días. a) Calcule la magnitud de la velocidad orbital de la Tierra en  $m/s$ . b) Calcule la aceleración radial de la Tierra hacia el Sol en  $m/s^2$ . c) Repita los incisos a) y b) para el movimiento del planeta Mercurio (radio orbital =  $5.79 \times 10^7$  km, periodo orbital = 88.0 días).

**3.33.** Una rueda de la fortuna de 14.0 m de radio gira sobre un eje horizontal en el centro (figura 3.42).

3.42). La rapidez lineal de un pasajero en el borde es constante e igual a 7.00 m/s. ¿Qué magnitud y dirección tiene la aceleración del pasajero al pasar a) por el punto más bajo de su movimiento circular? b) Por el punto más alto de su movimiento circular? c) ¿Cuánto tarda una revolución de la rueda?

**3.34.** La rueda de la figura 3.42, que gira en sentido antihorario, se acaba de poner en movimiento. En un instante dado, un pasajero en el borde de la rueda que está pasando por el punto más bajo de su movimiento circular tiene una rapidez de 3.00 m/s, la cual está aumentando a razón de  $0.500 \text{ m/s}^2$ . a) Calcule la magnitud y la dirección de la aceleración del pasajero en este instante. b) Dibuje la rueda de la fortuna y el pasajero mostrando sus vectores de velocidad y aceleración.

Figura 3.42 Ejercicios 3.33 y 3.34.



**3.35. Hipergavidad.** En el Centro de Investigación Ames de la NASA, se utiliza el enorme centrifugador “20-G” para probar los efectos de aceleraciones muy elevadas (“hipergavidad”) sobre los pilotos y los astronautas. En este dispositivo, un brazo de 8.84 m de largo gira uno de sus extremos en un plano horizontal, mientras el astronauta se encuentra sujeto con una banda en el otro extremo. Suponga que el astronauta está alineado en el brazo con su cabeza del extremo exterior. La aceleración máxima sostenida a la que los seres humanos se han sometido en esta máquina comúnmente es de 12.5  $g$ . a) ¿Qué tan rápido debe moverse la cabeza del astronauta para experimentar esta aceleración máxima? b) ¿Cuál es la diferencia entre la aceleración de su cabeza y pies, si el astronauta mide 2.00 m de altura? c) ¿Qué tan rápido, en rpm (rev/min), gira el brazo para producir la aceleración sostenida máxima?

#### Sección 3.5 Velocidad relativa

**3.36.** Un vagón abierto de ferrocarril viaja a la derecha con rapidez de 13.0 m/s relativa a un observador que está parado en tierra. Alguien se mueve en motoneta sobre el vagón abierto (figura 3.43). ¿Qué velocidad (magnitud y dirección) tiene la motoneta relativa al vagón abierto si su velocidad relativa al observador en el suelo es a) 18.0 m/s a la derecha? b) 3.0 m/s a la izquierda? c) Cero?

Figura 3.43 Ejercicio 3.36.

