Categorizar Esta parte del problema pertenece a cinemática más que a dinámica, y la ecuación 3) muestra que la aceleración a_x es constante. Por lo tanto, debe clasificar al automóvil en este inciso del problema como una partícula bajo aceleración constante.

Analizar Al definir la posición inicial de la defensa frontal como $x_i = 0$ y su posición final como $x_f = d$, y reconocer que $v_{xi} = 0$, aplique la ecuación 2.16, $x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2$:

$$d = \tfrac{1}{2}a_x t^2$$

Resuelva para t:

$$4) \quad t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}} = \boxed{\sqrt{\frac{2d}{g \operatorname{sen} \theta}}}$$

Aplique la ecuación 2.17, con $v_{xi} = 0$ para encontrar la velocidad final del automóvil:

$$v_{xf}^2 = 2a_x d$$

$$5) \quad v_{xf} = \sqrt{2a_x d} = \boxed{\sqrt{2gd \operatorname{sen} \theta}}$$

Finalizar De las ecuaciones 4) y 5) se ve que el tiempo t al que el automóvil alcanza el fondo y su rapidez final v_{xf} son independientes de la masa del automóvil, como lo fue su aceleración. Note que, en este ejemplo, se combinaron técnicas del capítulo 2 con nuevas técnicas de este capítulo. A medida que aprenda más técnicas en capítulos posteriores, este proceso de combinar información proveniente de varias partes del libro ocurrirá con más frecuencia. En estos casos, use la *Estrategia general para resolver problemas* para auxiliarse a identificar qué modelos de análisis necesitará.

¿Qué pasaría si? ¿En qué problema resuelto anteriormente se convierte esta situación si $\theta = 90°$?

Respuesta Imagine que θ va a 90° en la figura 5.11. El plano inclinado se vuelve vertical, ¡y el automóvil es un objeto en caída libre! La ecuación 3) se convierte en

$$a_x = g \operatorname{sen} \theta = g \operatorname{sen} 90° = g$$

que de hecho es la aceleración de caída libre. (Se encuentra $a_x = g$ en lugar de $a_x = -g$ porque la x positiva se eligió hacia abajo en la figura 5.11.) Note también que la condición $n = mg \cos \theta$ produce $n = mg \cos 90° = 0$. Esto es consistente con el automóvil que cae *junto al* plano vertical, en cuyo caso no hay fuerza de contacto entre el automóvil y el plano.

EJEMPLO 5.7 Un bloque empuja a otro

Dos bloques de masas m_1 y m_2, con $m_1 > m_2$, se colocan en contacto mutuo sobre una superficie horizontal sin fricción, como en la figura 5.12a. Una fuerza horizontal constante $\vec{\mathbf{F}}$ se aplica a m_1 como se muestra.

A) Encuentre la magnitud de la aceleración del sistema.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Elabore ideas de la situación mediante la figura 5.12a y observe que ambos bloques deben experimentar la *misma* aceleración porque están en contacto mutuo y permanecen en contacto por todo el movimiento.

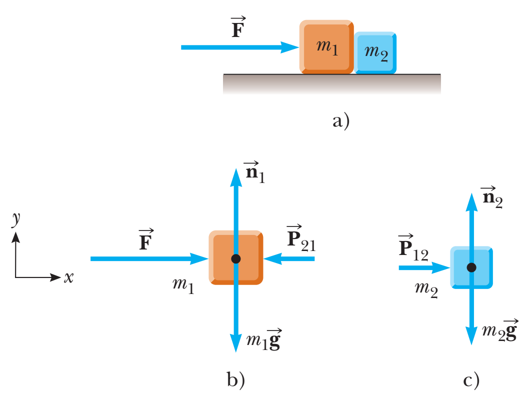


Figura 5.12 (Ejemplo 5.7). a) Se aplica una fuerza se a un bloque de masa m_1, que empuja a un segundo bloque de masa m_2. b) Diagrama de cuerpo libre para m_1. c) Diagrama de cuerpo libre para m_2.

Categorizar Este problema se clasifica como una partícula bajo una fuerza neta porque se aplica una fuerza a un sistema de bloques y se busca la aceleración del sistema.

Analizar Primero represente la combinación de los dos bloques como una sola partícula. Aplique la segunda ley de Newton a la combinación:

$$\sum F_x = F = (m_1 + m_2)a_x$$

$$1) \quad a_x = \boxed{\frac{F}{m_1 + m_2}}$$

Finalizar La aceleración conocida por la ecuación 1) es la misma que la de un solo objeto de masa $m_1 + m_2$ y sometida a la misma fuerza.

B) Determine la magnitud de la fuerza de contacto entre los dos bloques.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La fuerza de contacto es interna al sistema de los dos bloques. Por lo tanto, no es posible hallar la fuerza al representar el sistema como un todo (los dos bloques) en una sola partícula.

Categorizar Considere ahora cada uno de los dos bloques de manera individual al clasificar cada uno como una partícula bajo una fuerza neta.

Analizar Construya primero un diagrama de cuerpo libre para cada bloque, como se muestra en las figuras 5.12b y 5.12c, donde la fuerza de contacto se denota $\vec{\mathbf{P}}$. A partir de la figura 5.12c se ve que la única fuerza horizontal que actúa sobre m_2 es la fuerza de contacto $\vec{\mathbf{P}}_{12}$ (la fuerza que ejerce m_1 sobre m_2), que se dirige hacia la derecha.

Aplique la segunda ley de Newton a m_2:

$$2)\quad \sum F_x = P_{12} = m_2 a_x$$

Sustituya el valor de la aceleración a_x que proporciona la ecuación 1) en la ecuación 2):

$$3)\quad P_{12} = m_2 a_x = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)F$$

Finalizar Este resultado muestra que la fuerza de contacto P_{12} es *menor* que la fuerza aplicada F. La fuerza que se requiere para acelerar el bloque 2 debe ser menor que la fuerza requerida para producir la misma aceleración para el sistema de dos bloques.

Para finalizar, compruebe esta expresión para P_{12} al considerar las fuerzas que actúan sobre m_1, que se muestran en la figura 5.12b. Las fuerzas que actúan horizontales sobre m_1 son la fuerza aplicada $\vec{\mathbf{F}}$ hacia la derecha y la fuerza de contacto $\vec{\mathbf{P}}_{21}$ hacia la izquierda (la fuerza que ejerce m_2 sobre m_1). A partir de la tercera ley de Newton, $\vec{\mathbf{P}}_{21}$ es la fuerza de reacción a $\vec{\mathbf{P}}_{12}$, de modo que $P_{21} = P_{12}$.

Aplique la segunda ley de Newton a m_1:

$$4)\quad \sum F_x = F - P_{21} = F - P_{12} = m_1 a_x$$

Resuelva para P_{12} y sustituya el valor de a_x de la ecuación 1):

$$P_{12} = F - m_1 a_x = F - m_1\left(\frac{F}{m_1 + m_2}\right) = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)F$$

Este resultado concuerda con la ecuación 3), como debe ser.

¿Qué pasaría si? Imagine que la fuerza $\vec{\mathbf{F}}$ en la figura 5.12 se aplica hacia la izquierda en el bloque derecho de masa m_2. ¿La magnitud de la fuerza $\vec{\mathbf{P}}_{12}$ es la misma que cuando la fuerza se aplicó hacia la derecha sobre m_1?

Respuesta Cuando la fuerza se aplica hacia la izquierda sobre m_2, la fuerza de contacto debe acelerar m_1. En la situación original, la fuerza de contacto acelera m_2. Puesto que $m_1 > m_2$, se requiere más fuerza, de modo que la magnitud de $\vec{\mathbf{P}}_{12}$ es mayor que en la situación original.

EJEMPLO 5.8 Peso de un pescado en un elevador

Una persona pesa un pescado de masa m en una balanza de resorte unida al techo de un elevador, como se ilustra en la figura 5.13.

A) Muestre que, si el elevador acelera ya sea hacia arriba o hacia abajo, la balanza de resorte da una lectura que es diferente del peso del pescado.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La lectura en la balanza se relaciona con la extensión del resorte en la balanza, que depende de la fuerza en el extremo del resorte, como en la figura 5.2. Imagine que el pescado cuelga de una cuerda unida al extremo del resorte. En este caso, la magnitud de la fuerza que se ejerce sobre el resorte es igual a la tensión T en la cuerda.

EJEMPLO 5.10 Aceleración de dos objetos conectados mediante una cuerda

Una bola de masa m_1 y un bloque de masa m_2 se unen mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea sin fricción de masa despreciable, como en la figura 5.15a. El bloque se encuentra sobre un plano inclinado sin fricción de ángulo θ. Encuentre la magnitud de la aceleración de los dos objetos y la tensión en la cuerda.

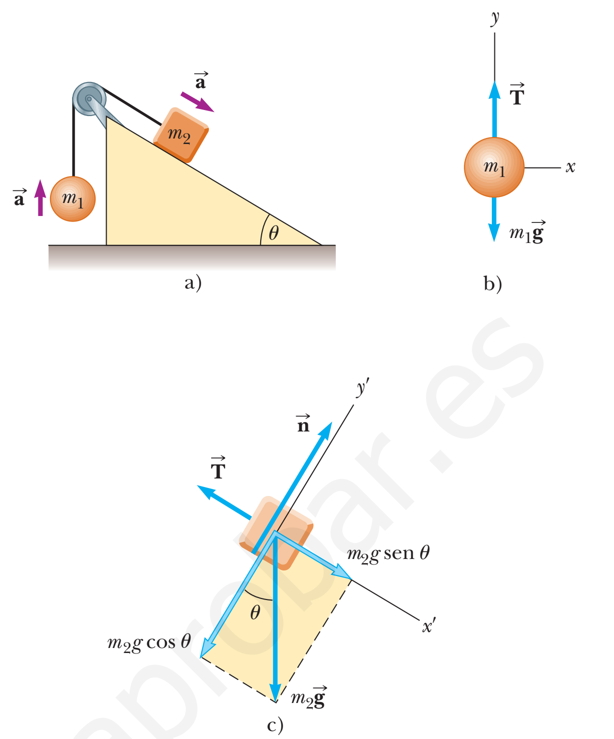


Figura 5.15 (Ejemplo 5.10). a) Dos objetos conectados mediante una cuerda ligera sobre una polea sin fricción. b) Diagrama de cuerpo libre para la bola. c) Diagrama de cuerpo libre para el bloque. (El plano inclinado no tiene fricción.)

SOLUCIÓN

Conceptualizar Imagine que los objetos de la figura 5.15 están en movimiento. Si m_2 se mueve hacia abajo del plano, m_1 se mueve hacia arriba. Puesto que los objetos están conectados mediante una cuerda (la cual se supone que no se estira), sus aceleraciones tienen la misma magnitud.

Categorizar Es posible identificar las fuerzas en cada uno de los dos objetos y se busca una aceleración, de modo que los objetos se clasifican como partículas bajo una fuerza neta.

Analizar Considere los diagramas de cuerpo libre que se muestran en las figuras 5.15b y 5.15c.

Aplique la segunda ley de Newton en forma de componentes a la bola, y elija la dirección hacia arriba como positiva:

$$1)\quad \sum F_x = 0$$

$$2)\quad \sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y = m_1 a$$

Para que la bola acelere hacia arriba, es necesario que $T > m_1 g$. En la ecuación 2), sustituya a_y con a porque la aceleración sólo tiene un componente y.

Para el bloque es conveniente elegir el eje x' positivo a lo largo del plano inclinado, como en la figura 5.15c. Por consistencia con la elección para la bola, se elige la dirección positiva hacia abajo en el plano.

Aplique la segunda ley de Newton en forma de componentes al bloque:

$$3)\quad \sum F_{x'} = m_2 g \operatorname{sen} \theta - T = m_2 a_{x'} = m_2 a$$

$$4)\quad \sum F_{y'} = n - m_2 g \cos \theta = 0$$

En la ecuación 3), sustituya $a_{x'}$ con a porque los dos objetos tienen aceleraciones de igual magnitud a.

Resuelva la ecuación 2) para T:

$$5)\quad T = m_1(g + a)$$

Sustituya esta expresión para T en la ecuación 3):

$$m_2 g \operatorname{sen} \theta - m_1(g + a) = m_2 a$$

Resuelva para a:

$$6)\quad a = \boxed{\frac{m_2 g \operatorname{sen} \theta - m_1 g}{m_1 + m_2}}$$

Sustituya esta expresión para a en la ecuación 5) para encontrar T:

$$7)\quad T = \boxed{\frac{m_1 m_2 g (\operatorname{sen} \theta + 1)}{m_1 + m_2}}$$

Finalizar El bloque acelera hacia abajo en el plano sólo si m_2 sen $\theta > m_1$. Si $m_1 > m_2$ sen θ, la aceleración es hacia arriba del plano para el bloque y hacia abajo para la bola. Note también que el resultado para la aceleración, ecuación 6), se puede interpretar como la magnitud de la fuerza externa neta que actúa sobre el sistema bola–bloque dividido entre la masa total del sistema; este resultado es consistente con la segunda ley de Newton.

¿Qué pasaría si? ¿Qué ocurre en esta situación si $\theta = 90°$?

Respuesta Si $\theta = 90°$, el plano inclinado se vuelve vertical y no hay interacción entre su superficie y m_2. En consecuencia, este problema se convierte en la máquina de Atwood del ejemplo 5.9. Si en las ecuaciones 6) y 7) se deja que $\theta \rightarrow 90°$, ¡ello hace que se reduzcan a las ecuaciones 3) y 4) del ejemplo 5.9!

¿Qué pasaría si? ¿Y si $m_1 = 0$?

Respuesta Si $m_1 = 0$, en tal caso m_2 simplemente se desliza hacia abajo por el plano sin interactuar con m_1 a través de la cuerda. En consecuencia, este problema se convierte en el problema del automóvil que se desliza en el ejemplo 5.6. Si en la ecuación 6) se deja que $m_1 \rightarrow 0$, ¡ello causa que se reduzca a la ecuación 3) del ejemplo 5.6!

5.8 Fuerzas de fricción

Cuando un objeto está en movimiento ya sea sobre una superficie o en un medio viscoso como aire o agua, existe resistencia al movimiento porque el objeto interactúa con su entorno. A tal resistencia se le llama **fuerza de fricción**. Las fuerzas de fricción son muy importantes en la vida cotidiana. Permiten que uno camine o corra y son necesarias para el movimiento de los vehículos con ruedas.

Imagine que trabaja en su jardín y llena un bote de basura con desechos de hojas. Luego intenta arrastrar el bote a través de la superficie de concreto de su patio, como en la figura 5.16a. Esta superficie es *real*, no una superficie idealizada sin fricción.

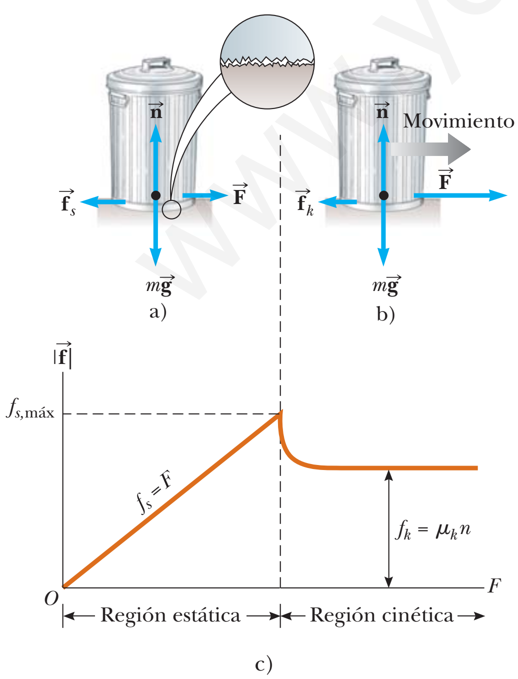


Figura 5.16 Cuando jala un bote de basura, la dirección de la fuerza de fricción $\vec{f}$ entre el bote y una superficie rugosa es opuesta a la dirección de la fuerza aplicada $\vec{F}$. Puesto que ambas superficies son rugosas, el contacto sólo se realiza en algunos puntos, como se ilustra en la vista "amplificada". a) Para pequeñas fuerzas aplicadas, la magnitud de la fuerza de fricción estática es igual a la magnitud de la fuerza aplicada. b) Cuando la magnitud de la fuerza aplicada supera la magnitud de la fuerza máxima de fricción estática, el bote de basura queda libre. La fuerza aplicada ahora es mayor que la fuerza de fricción cinética y el bote puede acelerar hacia la derecha. c) Gráfica de fuerza de fricción en función de la fuerza aplicada. Note que $f_{s,\text{máx}} > f_k$.

Sustituya $n = mg$ de la ecuación 2) y $f_k = \mu_k n$ en la ecuación 1):

$$-\mu_k n = -\mu_k mg = ma_x$$

$$a_x = -\mu_k g$$

El signo negativo significa que la aceleración es hacia la izquierda en la figura 5.19. Ya que la velocidad del disco es hacia la derecha, el disco frena. La aceleración es independiente de la masa del disco y es constante porque se supone que μ_k permanece constante.

Aplique el modelo de partícula bajo aceleración constante al disco, con la ecuación 2.17, $v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i)$, con $x_i = 0$ y $v_f = 0$:

$$0 = v_{xi}^2 + 2a_x x_f = v_{xi}^2 - 2\mu_k g x_f$$

$$\mu_k = \frac{v_{xi}^2}{2gx_f}$$

$$\mu_k = \frac{(20.0 \text{ m/s})^2}{2(9.80 \text{ m/s}^2)(115 \text{ m})} = \boxed{0.117}$$

Finalizar Observe que μ_k es adimensional, cual debe ser, y que tiene un valor menor, consistente con un objeto que se desliza en hielo.

EJEMPLO 5.13 Aceleración de dos objetos conectados cuando la fricción está presente

Un bloque de masa m_1 sobre una superficie horizontal rugosa se conecta a una bola de masa m_2 mediante una cuerda ligera sobre una polea ligera sin fricción, como se muestra en la figura 5.20a. Al bloque se aplica una fuerza de magnitud F en un ángulo θ con la horizontal como se muestra, y el bloque se desliza hacia la derecha. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque y la superficie es μ_k. Determine la magnitud de la aceleración de los dos objetos.

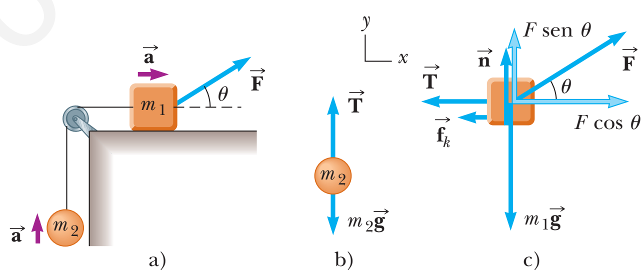


Figura 5.20 (Ejemplo 5.13) a) La fuerza externa $\vec{\mathbf{F}}$ aplicada como se muestra puede hacer que el bloque acelere hacia la derecha. b) y c) Diagramas de cuerpo libre que suponen que el bloque acelera hacia la derecha y la bola acelera hacia arriba. La magnitud de la fuerza de fricción cinética en este caso está dada por $f_k = \mu_k n = \mu_k (m_1 g - F \text{ sen } \theta)$.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Imagine lo que ocurre conforme se aplica $\vec{\mathbf{F}}$ al bloque. Si supone que $\vec{\mathbf{F}}$ no es suficientemente grande como para levantar el bloque, éste se desliza hacia la derecha y la bola sube.

Categorizar Se pueden identificar las fuerzas y se quiere una aceleración, así que este problema se clasifica como dos partículas bajo una fuerza neta, la bola y el bloque.

Analizar Primero dibuje diagramas de cuerpo libre para los dos objetos, como se muestra en las figuras 5.20b y 5.20c. La fuerza aplicada $\vec{\mathbf{F}}$ tiene componentes x y y $F \cos \theta$ y $F \text{ sen } \theta$, respectivamente. Ya que los dos objetos están conectados, se pueden igualar las magnitudes de la componente x de la aceleración del bloque y la componente y de la aceleración de la bola y llamar a ambas a. Suponga que el movimiento del bloque es hacia la derecha.

Aplique el modelo de partícula bajo una fuerza neta al bloque en la dirección horizontal:

$$1) \quad \sum F_x = F \cos \theta - f_k - T = m_1 a_x = m_1 a$$

Aplique el modelo de partícula en equilibrio al bloque en la dirección vertical:

$$2) \quad \sum F_y = n + F \text{ sen } \theta - m_1 g = 0$$

Aplique el modelo de partícula bajo una fuerza neta a la bola en la dirección vertical:

$$3) \quad \sum F_y = T - m_2 g = m_2 a_y = m_2 a$$

Resuelva la ecuación 2) para n: $n = m_1g - F\,\text{sen}\,\theta$

Sustituya n en $f_k = \mu_k n$ de la ecuación 5.10: 4) $f_k = \mu_k(m_1g - F\,\text{sen}\,\theta)$

Sustituya la ecuación 4) y el valor de T de la ecuación 3) en la ecuación 1): $F\cos\theta - \mu_k(m_1g - F\,\text{sen}\,\theta) - m_2(a + g) = m_1a$

Resuelva para a: 5) $a = \boxed{\dfrac{F(\cos\theta + \mu_k\,\text{sen}\,\theta) - (m_2 + \mu_k m_1)g}{m_1 + m_2}}$

Finalizar La aceleración del bloque puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda, depende del signo del numerador en la ecuación 5). Si el movimiento es hacia la izquierda, se debe invertir el signo de f_k en la ecuación 1) porque la fuerza de fricción cinética se debe oponer al movimiento del bloque en relación con la superficie. En este caso, el valor de a es el mismo que en la ecuación 5), con los dos signos más en el numerador cambiados a signos menos.

Resumen

DEFINICIONES

Un **marco de referencia inercial** es un marco en el que un objeto que no interactúa con otros objetos experimenta aceleración cero. Cualquier marco que se mueva con velocidad constante en relación con un marco inercial también es un marco inercial.

La **fuerza** se define como **aquello que causa un cambio en el movimiento de un objeto.**

CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

La **primera ley de Newton** establece que es posible encontrar un marco inercial en el que un objeto que no interactúa con otros objetos experimenta aceleración cero o, de manera equivalente, en ausencia de una fuerza externa, cuando se observa desde un marco inercial, un objeto en reposo permanece en reposo y un objeto en movimiento uniforme en línea recta mantiene dicho movimiento.

La **segunda ley de Newton** afirma que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa.

La **tercera ley de Newton** postula que, si dos objetos interactúan, la fuerza que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1.

La **fuerza gravitacional** que se ejerce sobre un objeto es igual al producto de su masa (una cantidad escalar) y la aceleración de caída libre: $\vec{\mathbf{F}}_g = m\vec{\mathbf{g}}$.

El **peso** de un objeto es la magnitud de la fuerza gravitacional que actúa sobre el objeto.

La **máxima fuerza de fricción estática** $\vec{\mathbf{f}}_{s,\text{máx}}$ entre un objeto y una superficie es proporcional a la fuerza normal que actúa sobre el objeto. En general, $f_s \le \mu_s n$, donde μ_s es el **coeficiente de fricción estática** y n es la magnitud de la fuerza normal. Cuando un objeto se desliza sobre una superficie, la magnitud de la **fuerza de fricción cinética** $\vec{\mathbf{f}}_k$ está dada por $f_k = \mu_k n$, donde μ_k es el **coeficiente de fricción cinética**. La dirección de la fuerza de fricción es opuesta a la dirección del movimiento o movimiento inminente del objeto en relación con la superficie.

Una estrategia para obtener las componentes de $\vec{w}$ es considerar los triángulos rectángulos de la figura 5.4b. El seno de α es la magnitud de la componente x de $\vec{w}$ (esto es, el cateto opuesto al ángulo α del triángulo) dividida entre la magnitud w (la hipotenusa). Asimismo, el coseno de α es la magnitud de la componente y (el cateto adyacente al ángulo α del triángulo) dividida entre w. Ambas componentes son negativas, así que $w_x = -w \operatorname{sen} \alpha$ y $w_y = -w \cos \alpha$.

Otra estrategia sería reconocer que en una componente de $\vec{w}$ debe intervenir el sen α, y el cos α en la otra. Para decidir cuál es cuál, dibuje el diagrama de cuerpo libre de modo que el ángulo α sea apreciablemente mayor o menor que 45°. (Le recomendamos no ceder a la tendencia natural de dibujar tales ángulos como cercanos a 45°.) Aquí dibujamos las figuras 5.4b y 5.4c de modo que α sea menor que 45°, lo que implica que sen α es menor que cos α. La figura muestra que la componente x de $\vec{w}$ es menor que la componente y. Así que en la componente x deberá intervenir sen α; y en la componente y, cos α. Obtenemos otra vez que $w_x = -w \operatorname{sen} \alpha$ y $w_y = -w \cos \alpha$.

En la figura 5.4b marcamos con una línea ondulada el vector original que representa el peso para recordar que no debemos contarlo dos veces. Las condiciones de equilibrio nos dan

$$\sum F_x = T + (-w \operatorname{sen} \alpha) = 0$$
$$\sum F_y = n + (-w \cos \alpha) = 0$$

Asegúrese de entender la relación entre estos signos y las coordenadas elegidas. Recuerde que, por definición, T, w y n son *magnitudes* de vectores y por lo tanto positivas.

Despejando T y n, obtenemos

$$T = w \operatorname{sen} \alpha$$
$$n = w \cos \alpha$$

EVALUAR: Los valores obtenidos para T y n dependen del valor de α. Con la finalidad de verificar qué tan razonables son estas respuestas, examinaremos ciertos casos especiales. Si el ángulo α es cero, entonces $\operatorname{sen} \alpha = 0$ y $\cos \alpha = 1$. En este caso, los rieles son horizontales; nuestra respuesta nos dice que no se necesita la tensión T del cable para sostener al auto, y que la fuerza normal n es igual en magnitud al peso. Si $\alpha = 90°$, entonces sen $\alpha = 1$ y cos $\alpha = 0$. Aquí la tensión T es igual al peso w y la fuerza normal n es cero. ¿Son éstos los resultados esperados para estos casos especiales?

CUIDADO **Quizá la fuerza normal y el peso no sean lo mismo** Es un error común suponer automáticamente que la magnitud n de la fuerza normal es igual al peso w. Sin embargo, nuestro resultado demuestra que, en general, eso *no* es cierto. Siempre es mejor tratar n como una variable y calcular su valor, como hicimos aquí.

? Cómo cambiarían los valores de T y n si el auto no estuviera estacionario y el cable estuviera tirando de él para subirlo por la rampa con rapidez constante. Esto también es una situación de equilibrio, pues la velocidad del auto es constante. Por lo tanto, el cálculo es idéntico, y T y n tienen los mismos valores que cuando el auto está en reposo. (Es verdad que T debe ser mayor que $w \operatorname{sen} \alpha$ para *iniciar* el movimiento ascendente del auto por la rampa, pero eso no es lo que preguntamos.)

Ejemplo 5.5 Tensión en una polea sin fricción

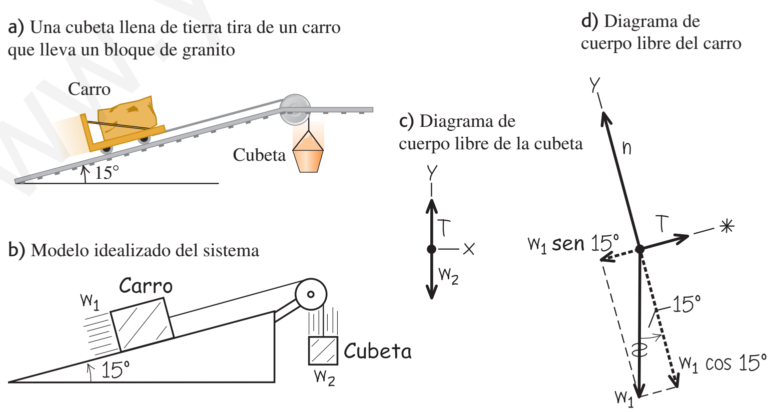
Se están sacando bloques de granito de una cantera por una pendiente de 15°. Por razones ecológicas, también se está echando tierra en la cantera para llenar los agujeros. Para simplificar el proceso, usted diseña un sistema en el que una cubeta con tierra (de peso w_2 incluida la cubeta) tira de un bloque de granito en un carro (peso w_1 incluido el carro) sobre rieles de acero, al caer verticalmente a la cantera (figura 5.5a). Determine qué relación debe haber entre w_1 y w_2 para que el sistema funcione con rapidez constante. Ignore la fricción en la polea y en las ruedas del carro, y el peso del cable.

SOLUCIÓN

IDENTIFICAR: El carro y la cubeta se mueven con velocidad constante (es decir, en línea recta con rapidez constante). Por lo tanto, los dos cuerpos están en equilibrio y podemos aplicar la primera ley de Newton a cada uno.

Las dos incógnitas son los pesos w_1 y w_2. Las fuerzas que actúan sobre la cubeta son su peso w_2 y una tensión hacia arriba ejercida por el cable. Sobre el carro actúan tres fuerzas: su peso w_1, una fuerza normal

5.5 a) La situación. b) Nuesto modelo idealizado. c), d) Nuestros diagramas de cuerpo libre.



continúa

de magnitud n ejercida por los rieles y una fuerza de tensión del cable. (Estamos ignorando la fricción, así que suponemos que los rieles no ejercen ninguna fuerza paralela a la pendiente.) Esta situación es idéntica a la del automóvil en la rampa del ejemplo 5.4. Igual que en ese ejemplo, no todas las fuerzas que actúan sobre el carro tienen la misma dirección, así que necesitaremos usar ambas componentes de la primera ley de Newton de la ecuación (5.2).

Estamos suponiendo que el cable no tiene peso, así que las fuerzas de tensión que la cuerda ejerce sobre el carro y la cubeta tienen la misma magnitud T.

PLANTEAR: La figura 5.5b es nuestro modelo idealizado del sistema. Las figuras 5.5c y 5.5d son los diagramas de cuerpo libre que dibujamos. Cabe señalar que podemos orientar los ejes de forma distinta para cada cuerpo. Los ejes que se muestran son la opción que más nos conviene. Como hicimos con el auto en el ejemplo 5.4, representamos el peso del bloque de granito en términos de sus componentes x y y.

EJECUTAR: Aplicando $\sum F_y = 0$ a la cubeta llena de tierra en la figura 5.5c, tenemos

$$\sum F_y = T + (-w_2) = 0 \qquad \text{así que} \qquad T = w_2$$

Aplicando $\sum F_x = 0$ al bloque y al carro en la figura 5.5d, obtenemos

$$\sum F_x = T + (-w_1 \operatorname{sen} 15°) = 0 \qquad \text{así que} \qquad T = w_1 \operatorname{sen} 15°$$

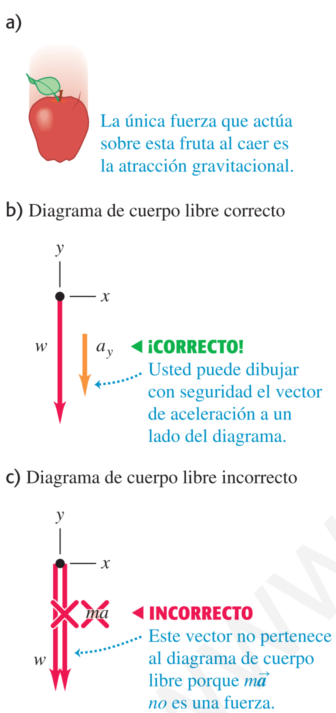
Igualando las dos expresiones para T,

$$w_2 = w_1 \operatorname{sen} 15° = 0.26 w_1$$

EVALUAR: Nuestro análisis no depende de la dirección del movimiento, sólo de que la velocidad sea constante. Por lo tanto, el sistema puede moverse con rapidez constante en *cualquier* dirección, si el peso de la cubeta con tierra es el 26% del peso del carro y el bloque de granito. ¿Qué sucedería si w_2 fuera mayor que $0.26w_1$? ¿Y si fuera menor que $0.26w_1$?

Observe que no fue necesario aplicar la ecuación $\sum F_y = 0$ al carro y al bloque; sólo lo sería si quisiéramos calcular el valor de n. ¿Puede usted demostrar que $n = w_1 \cos 15°$?

5.6 Diagramas de cuerpo libre correcto e incorrecto para un cuerpo que cae.



Evalúe su comprensión de la sección 5.1 Un semáforo con masa m cuelga de dos cables ligeros, uno a cada lado. Los dos cables cuelgan con un ángulo de 45° con respecto a la horizontal. ¿Qué tensión hay en cada cable? i) $w/2$; ii) $w/\sqrt{2}$; iii) w; iv) $w\sqrt{2}$; v) $2w$.

5.2 Empleo de la segunda ley de Newton: Dinámica de partículas

Ahora podemos analizar problemas de *dinámica,* donde aplicamos la segunda ley de Newton a cuerpos sobre los cuales la fuerza neta *no* es cero, de manera que los cuerpos *no* están en equilibrio sino que tienen aceleración. La fuerza neta es igual a la masa del cuerpo multiplicada por su aceleración:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \text{(segunda ley de Newton, forma vectorial)} \tag{5.3}$$

Normalmente usaremos esta relación en su forma de componentes:

$$\sum F_x = ma_x \qquad \sum F_y = ma_y \qquad \text{(segunda ley de Newton, forma de componentes)} \tag{5.4}$$

La estrategia que presentaremos en seguida es muy similar a la que seguimos para resolver problemas de equilibrio en la sección 5.1. Estúdiela con detenimiento, vea cómo se aplica en los ejemplos y úsela para resolver los problemas al final del capítulo. Recuerde que *todos* los problemas de dinámica pueden resolverse con esta estrategia.

CUIDADO $m\vec{a}$ **no pertenece a los diagramas de cuerpo libre** Recuerde que la cantidad $m\vec{a}$ es el *resultado* de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, *no* es una fuerza; no es un empujón ni tirón ejercido por algo del entorno. Al dibujar el diagrama de cuerpo libre de un cuerpo con aceleración (como la fruta de la figura 5.6a), *nunca* incluya "la fuerza $m\vec{a}$" porque *no existe tal fuerza* (figura 5.6b). Repase la sección 4.3 si todavía no le ha quedado claro esto. A veces dibujaremos el vector de aceleración $\vec{a}$ *junto a* un diagrama de cuerpo libre, como en la figura. 5.6b; pero *nunca* lo mostraremos con su cola tocando el cuerpo (posición reservada exclusivamente para las fuerzas que actúan sobre el cuerpo).

ActivPhysics Online

2.1.5 Carrera de automóviles
2.2 Levantar una caja
2.3 Bajar una caja
2.4 Despegue de cohete
2.5 Máquina de Atwood modificada

Figura P5.15

16. Un objeto de 3.00 kg es móvil en un plano, con sus coordenadas x y y conocidas mediante $x = 5t^2 - 1$ y $y = 3t^3 + 2$, donde x y y están en metros y t en segundos. Encuentre la magnitud de la fuerza neta que actúa en este objeto en $t = 2.00$ s.

17. La distancia entre dos postes de teléfono es de 50.0 m. Cuando un ave de 1.00 kg se posa sobre el alambre del teléfono a la mitad entre los postes, el alambre se comba 0.200 m. Dibuje un diagrama de cuerpo libre del ave. ¿Cuánta tensión produce el ave en el alambre? Ignore el peso del alambre.

18. Un tornillo de hierro de 65.0 g de masa cuelga de una cuerda de 35.7 cm de largo. El extremo superior de la cuerda está fijo. Sin tocarlo, un imán atrae el tornillo de modo que permanece fijo, desplazado horizontalmente 28.0 cm a la derecha desde la línea vertical previa de la cuerda. a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre del tornillo. b) Encuentre la tensión en la cuerda. c) Encuentre la fuerza magnética sobre el tornillo.

19. ● La figura P5.19 muestra las fuerzas horizontales que actúan sobre un bote de vela que se mueve al norte con velocidad constante, visto desde un punto justo arriba de su mástil. A esta rapidez particular, el agua ejerce una fuerza de arrastre de 220 N sobre el casco del bote. a) Elija la dirección x como este y la dirección y como norte. Escriba dos ecuaciones que representen la segunda ley de Newton en componentes. Resuelva las ecuaciones para P (la fuerza que ejerce el viento sobre la vela) y para n (la fuerza que ejerce el agua sobre la quilla). b) Elija la dirección x como 40.0° al noreste y la dirección y como 40.0° al noroeste. Escriba la segunda ley de Newton como dos ecuaciones en la forma componentes y resuelva para n y P. c) Compare sus soluciones. ¿Los resultados concuerdan? ¿Un cálculo es significativamente más sencillo?

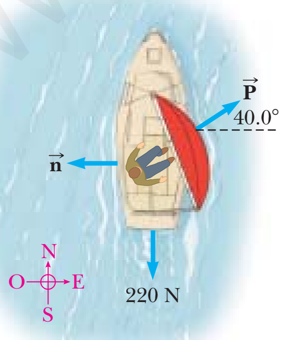


Figura P5.19

20. Un saco de cemento de 325 N de peso cuelga en equilibrio de tres alambres, como se muestra en la figura P5.20. Dos de los alambres forman ángulos $\theta_1 = 60.0°$ y $\theta_2 = 25.0°$ con la horizontal. Si supone que el sistema está en equilibrio, encuentre las tensiones T_1, T_2 y T_3 en los alambres.

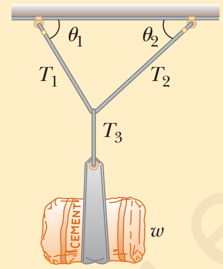


Figura P5.20 Problemas 20 y 21.

21. Un saco de cemento de peso F_g cuelga en equilibrio de tres alambres, como se muestra en la figura P5.20. Dos de los alambres forman ángulos θ_1 y θ_2 con la horizontal. Si supone que el sistema está en equilibrio, demuestre que la tensión en el alambre izquierdo es

$$T_1 = \frac{F_g \cos \theta_2}{\text{sen}\,(\theta_1 + \theta_2)}$$

22. ● Usted es juez en un torneo infantil de volar papalotes, donde dos niños ganarán premios, uno para la cuerda del papalote que jale con más intensidad y el otro para el que jale con menos intensidad. Para medir las tensiones en las cuerdas, pide prestado a su profesor de física un soporte para colgar contrapeso, algunas pesas ranuradas y un transportador, y aplica el siguiente protocolo, como se ilustra en la figura P5.22. Espera a que un niño tenga bien controlado su papalote, coloca el soporte en la cuerda del papalote aproximadamente a 30 cm de la mano del niño, apila las pesas ranuradas hasta que la sección de cuerda esté horizontal, registra las pesas requeridas y el ángulo entre la horizontal y la cuerda que va al papalote. a) Explique cómo funciona este método. Mientras construye su explicación, imagine que los padres del niño le preguntan acerca de su método, al parecer tienen falsas conjeturas acerca de su habilidad sin evidencias concretas, y su explicación es una oportunidad para darles confianza en su técnica de evaluación. b) Encuentre la tensión de la cuerda si la masa es 132 g y el ángulo de la cuerda del papalote es 46.3°.

Figura P5.22

2 = intermedio; 3 = desafiante; ▭ = razonamiento simbólico; ● = razonamiento cualitativo

23. Los sistemas que se muestran en la figura P5.23 están en equilibrio. Si las balanzas de resorte se calibran en newtons, ¿qué lectura indica en cada caso? Ignore las masas de las poleas y cuerdas, y suponga que las poleas y el plano inclinado en el inciso d) no tienen fricción.

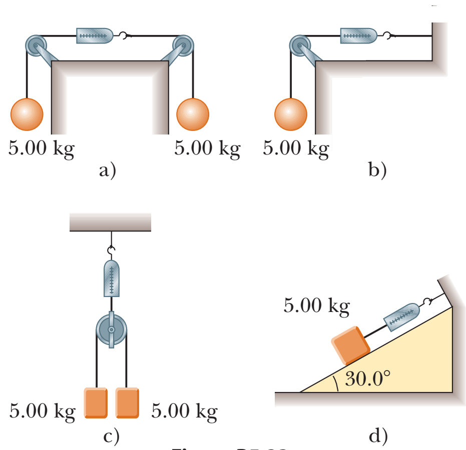


Figura P5.23

24. Dibuje un diagrama de cuerpo libre de un bloque que se desliza hacia abajo por un plano sin fricción que tiene una inclinación $\theta = 15.0°$. El bloque parte del reposo en lo alto, y la longitud del plano es 2.00 m. Encuentre a) la aceleración del bloque y b) su rapidez cuando llega al fondo del plano inclinado.

25. Se observa que un objeto de 1.00 kg tiene una aceleración de 10.0 m/s^2 en una dirección a 60.0° al noreste (figura P5.25). La fuerza $\vec{\mathbf{F}}_2$ que se ejerce sobre el objeto tiene una magnitud de 5.00 N y se dirige al norte. Determine la magnitud y dirección de la fuerza $\vec{\mathbf{F}}_1$ que actúa sobre el objeto.

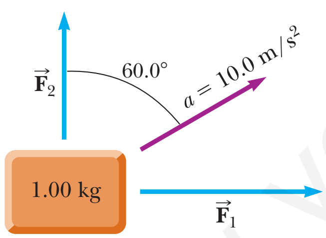


Figura P5.25

26. Un objeto de 5.00 kg colocado sobre una mesa horizontal sin fricción se conecta a una cuerda que pasa sobre una polea y después se une a un objeto colgante de 9.00 kg, como se muestra en la figura P5.26. Dibuje diagramas de cuerpo libre de ambos objetos. Encuentre la aceleración de los dos objetos y la tensión en la cuerda.

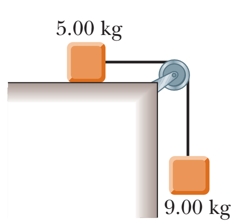


Figura P5.26 Problemas 26 y 41.

27. La figura P5.27 muestra la rapidez del cuerpo de una persona mientras hace unas barras. Suponga que el movimiento es vertical y que la masa del cuerpo de la persona es 64.0 kg. Determine la fuerza que ejerce la barra sobre cuerpo en el tiempo a) cero, b) 0.5 s, c) 1.1 s y d) 1.6 s.

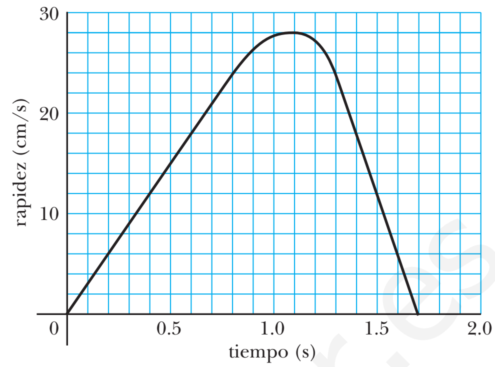


Figura P5.27

28. Dos objetos se conectan mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea sin fricción, como se muestra en la figura P5.28. Dibuje diagramas de cuerpo libre de ambos objetos. Si supone que el plano no tiene fricción, $m_1 = 2.00$ kg, $m_2 = 6.00$ kg y $\theta = 55.0°$, encuentre a) las aceleraciones de los objetos, b) la tensión en la cuerda y c) la rapidez de cada objeto 2.00 s después de que se liberan desde el reposo.

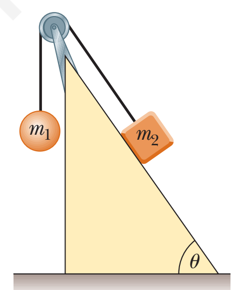


Figura P5.28

29. A un bloque se le da una velocidad inicial de 5.00 m/s hacia arriba de un plano inclinado de 20.0° sin fricción. ¿Hasta donde se desliza el bloque hacia arriba del plano antes de llegar al reposo?

30. En la figura P5.30, el hombre y la plataforma juntos pesan 950 N. La polea se puede modelar sin fricción. Determine cuán fuerte tiene que jalar de la cuerda el hombre para elevarse a sí mismo de manera estable hacia arriba sobre el suelo. (¿O es imposible? Si es así, explique por qué.)

Figura P5.30

2 = intermedio; 3 = desafiante; = razonamiento simbólico; ● = razonamiento cualitativo

10.0° con la horizontal. ¿Ahora cuál es la aceleración máxima que puede tener la camioneta tal que el paquete no se deslice en relación con la plataforma? d) Cuando la camioneta supera esta aceleración, ¿cuál es la aceleración del paquete en relación con el suelo? e) Para la camioneta estacionada en reposo sobre una colina, ¿cuál es la pendiente máxima que puede tener la colina tal que el paquete no se deslice? f) ¿Alguna pieza de datos es innecesaria para la solución en todas los incisos de este problema? Explique.

Problemas adicionales

50. Las siguientes ecuaciones describen el movimiento de un sistema de dos objetos:

$$+n - (6.50 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)\cos 13.0° = 0$$

$$f_k = 0.360n$$

$$+T + (6.50 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)\text{ sen } 13.0° - f_k = (6.50 \text{ kg})a$$

$$-T + (3.80 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = (3.80 \text{ kg})a$$

a) Resuelva las ecuaciones para a y T. b) Describa una situación a la que se apliquen estas ecuaciones. Dibuje diagramas de cuerpo libre para ambos objetos.

51. Un niño inventivo llamado Niels quiere alcanzar una manzana pendiente en un árbol sin escalar. Sentado en una silla unida a una soga que pasa sobre una polea sin fricción (figura P5.51), Niels jala sobre el extremo suelto de la soga con tal fuerza que la balanza de resorte lee 250 N. El verdadero peso de Niels es 320 N y la silla pesa 160 N. a) Dibuje diagramas de cuerpo libre para Niels y la silla considerada como sistemas separados, y otro diagrama para Niels y la silla considerados como un sistema. b) Muestre que la aceleración del sistema es *hacia arriba* y encuentre su magnitud. c) Encuentre la fuerza que Niels ejerce sobre la silla.

Figura P5.51 Problemas 51 y 52.

52. ● En la situación descrita en el problema 51 y la figura P5.51, las masas de la soga, balanza y polea son despreciables. Los pies de Niels no tocan el suelo. a) Suponga que Niels está momentáneamente en reposo cuando deja de jalar la soga hacia abajo y pasa el extremo de la soga a otro niño, de 440 N de peso, que está de pie en el suelo junto a él. La soga no se rompe. Describa el movimiento resultante. b) En vez de ello, suponga que Niels está momentáneamente en reposo cuando amarra el extremo de la soga a una saliente en forma de gancho resistente que se deriva del tronco del árbol. Explique por qué esta acción puede hacer que la cuerda se rompa.

53. Una fuerza dependiente del tiempo, $\vec{\mathbf{F}} = (8.00\hat{\mathbf{i}} - 4.00t\hat{\mathbf{j}})$ N, donde t está en segundos, se ejerce sobre un objeto de 2.00 kg inicialmente en reposo. a) ¿En qué tiempo el objeto se moverá con una rapidez de 15.0 m/s? b) ¿A qué distancia está el objeto de su posición inicial cuando su rapidez es 15.0 m/s? c) ¿A través de qué desplazamiento total el objeto viajó en este momento?

54. ● Tres bloques están en contacto mutuo sobre una superficie horizontal sin fricción, como se muestra en la figura P5.54. A m_1 se le aplica una fuerza horizontal $\vec{\mathbf{F}}$. Tome $m_1 = 2.00$ kg, $m_2 = 3.00$ kg, $m_3 = 4.00$ kg y $F = 18.0$ N. Dibuje un diagrama de cuerpo libre por separado para cada bloque y encuentre a) la aceleración de los bloques, b) la fuerza *resultante* sobre cada bloque y c) las magnitudes de las fuerzas de contacto entre los bloques. d) Usted trabaja en un proyecto de construcción. Un colaborador clava cartón–yeso en un lado de un separador ligero y usted está en el lado opuesto, proporcionando "respaldo" al apoyarse contra la pared con su espalda, empujando sobre ella. Cada golpe de martillo hace que su espalda sufra un pinchazo. El supervisor lo ayuda al poner un pesado bloque de madera entre la pared y su espalda. Use la situación analizada en los incisos a), b) y c) como modelo, y explique cómo este cambio funciona para hacer su trabajo más confortable.

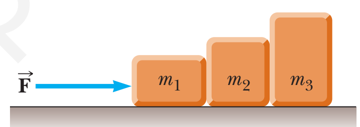


Figura P5.54

55. ● Una soga con masa m_1 se une al borde frontal inferior de un bloque con 4.00 kg de masa. Tanto la soga como el bloque están en reposo sobre una superficie horizontal sin fricción. La soga no se estira. El extremo libre de la soga se jala con una fuerza horizontal de 12.0 N. a) Encuentre la aceleración del sistema, como dependiente de m_1. b) Encuentre la magnitud de la fuerza que ejerce la soga sobre el bloque, como dependiente de m_1. c) Evalúe la aceleración y la fuerza sobre el bloque para $m_1 = 0.800$ kg. *Sugerencia:* Puede encontrar más fácil hacer el inciso c) antes que los incisos a) y b).

¿Qué pasaría si? d) ¿Qué ocurre a la fuerza sobre el bloque mientras la masa de la soga crece más allá de todo límite? e) ¿Qué ocurre a la fuerza sobre el bloque conforme la masa de la soga tiende a cero? f) ¿Qué teorema puede establecer acerca de la tensión en una cuerda *ligera* que une un par de objetos en movimiento?

56. Un deslizador de aluminio negro flota sobre una película de aire en una pista de aire de aluminio a nivel. En esencia, el aluminio no siente fuerza en un campo magnético y la resistencia del aire es despreciable. Un imán intenso se une a lo alto del deslizador y forma una masa total de 240 g. Un trozo de chatarra de hierro unido a un tope en la pista atrae al imán con una fuerza de 0.823 N cuando el hierro y el imán están separados 2.50 cm. a) Encuentre la aceleración del deslizador en este instante. b) La chatarra de hierro ahora se une a otro deslizador verde y forma una masa total de 120 g. Encuentre la aceleración de cada deslizador cuando se liberan simultáneamente a 2.50 cm de separación.

57. Un objeto de masa M se mantiene en lugar mediante una fuerza aplicada $\vec{\mathbf{F}}$ y un sistema de polea como se muestra en la figura P5.57. Las poleas no tienen masa ni fricción. Encuentre a) la tensión en cada sección de cuerda, T_1, T_2, T_3, T_4 y T_5 y b) la magnitud de $\vec{\mathbf{F}}$. *Sugerencia:* Dibuje un diagrama de cuerpo libre para cada polea.

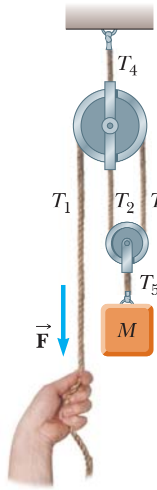


Figura P5.57

58. ● Un bloque de 2.20 kg de masa se acelera a través de una superficie rugosa mediante una cuerda ligera que pasa sobre una pequeña polea, como se muestra en la figura P5.58. La tensión T en la cuerda se mantiene en 10.0 N y la polea está a 0.100 m sobre la cara superior del bloque. El coeficiente de fricción cinética es 0.400. a) Determine la aceleración del bloque cuando $x = 0.400$ m. b) Describa el comportamiento general de la aceleración conforme el bloque se desliza desde una posición donde x es mayor que $x = 0$. c) Encuentre el valor máximo de la aceleración y la posición x para la que ocurre. d) Encuentre el valor de x para el que la aceleración es cero.

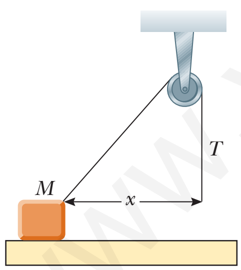


Figura P5.58

59. ● Estudiantes de física universitarios quedaron en primero y segundo lugares en un concurso y están en los muelles, observando cómo descargan sus premios de un contenedor. En un solo cable vertical ligero que no se estira, una grúa levanta un Ferrari de 1 207 kg y, bajo él, un BMW Z8 rojo de 1 461 kg. El Ferrari se mueve hacia arriba con 3.50 m/s de rapidez y 1.25 m/s^2 de aceleración. a) ¿Cómo se comparan la velocidad y la aceleración del BMW con las del Ferrari? b) Encuentre la tensión en el cable entre el BMW y el Ferrari. c) Encuentre la tensión en el cable sobre el Ferrari. d) En el modelo, ¿cuál es la fuerza total que se ejerce sobre la sección de cable entre los autos? ¿Qué velocidad predice para ella 0.01 s en lo sucesivo? Explique el movimiento de esta sección de cable en términos de causa y efecto.

60. Un bloque de aluminio de 2.00 kg y un bloque de cobre de 6.00 kg se conectan mediante una cuerda ligera sobre una polea sin fricción. Se asientan sobre una superficie de acero, como se muestra en la figura P5.60, donde $\theta = 30.0°$. Cuando se liberan desde el reposo, ¿comenzarán a moverse? Si es así, determine a) su aceleración y b) la tensión en la cuerda. Si no, determine la suma de las magnitudes de las fuerzas de fricción que actúan sobre los bloques.

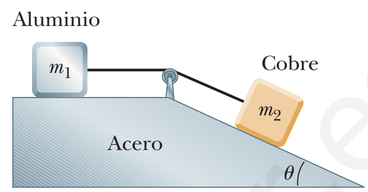


Figura P5.60

61. Una caja de peso F_g es empujada mediante una fuerza $\vec{\mathbf{P}}$ sobre un piso horizontal. a) El coeficiente de fricción estática es μ_s, y $\vec{\mathbf{P}}$ se dirige a un ángulo θ bajo la horizontal. Muestre que el valor mínimo de P que moverá la caja está dado por

$$P = \frac{\mu_s F_g \sec\theta}{1 - \mu_s \tan\theta}$$

b) Encuentre el valor mínimo de P que puede producir movimiento cuando $\mu_s = 0.400$, $F_g = 100$ N y $\theta = 0°$, 15.0°, 30.0°, 45.0° y 60.0°.

62. **Problema de repaso.** Un bloque de masa $m = 2.00$ kg se libera desde el reposo en $h = 0.500$ m sobre la superficie de una mesa, en lo alto de un plano inclinado de $\theta = 30.0°$, como se muestra en la figura P5.62. El plano sin fricción está fijo sobre una mesa de altura $H = 2.00$ m. a) Determine la aceleración del bloque mientras se desliza por el plano. b) ¿Cuál es la velocidad del bloque cuando deja el plano? c) ¿A qué distancia de la mesa el bloque golpeará el suelo? d) ¿Qué intervalo de tiempo transcurre entre la liberación del bloque y su golpe en el suelo? e) ¿La masa del bloque afecta alguno de los cálculos anteriores?

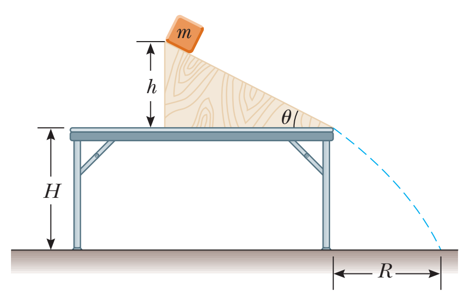


Figura P5.62 Problemas 62 y 68.

63. ● Un cojín neumático de masa m se libera desde el reposo en lo alto de un edificio que tiene altura h. Un viento que sopla a lo largo del lado del edificio ejerce una fuerza horizontal constante de magnitud F sobre el cojín conforme cae, como se muestra en la figura P5.63. El aire no ejerce fuerza vertical. a) Demuestre que la trayectoria del cojín es una línea recta. b) ¿El cojín cae con velocidad constante? Explique. c) Si $m = 1.20$ kg, la aceleración del sistema aumentará, disminuirá o se mantendrá constante? Explique. *b*) Sea $m_A = 2.00$ kg, $m_B = 0.400$ kg, $m_{\text{cuerda}} = 0.160$ kg y $L = 1.00$ m. Suponga que hay fricción entre el bloque *A* y la mesa ($\mu_k = 0.200$ y $\mu_s = 0.250$). Calcule la distancia *d* mínima tal que los bloques comiencen a moverse si inicialmente estaban en reposo. *c*) Repita el inciso *b*) para el caso en que $m_{\text{cuerda}} = 0.040$ kg. ¿Se moverán los bloques en este caso?

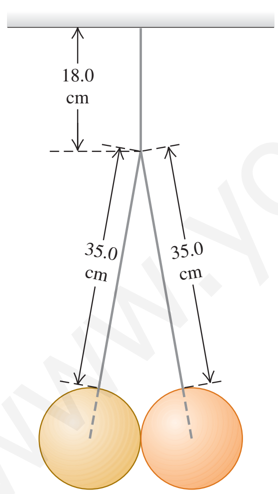
5.78. Si el coeficiente de fricción estática entre una mesa y una cuerda gruesa uniforme es μ_s, ¿qué fracción de la cuerda puede colgar por el borde de la mesa sin que la cuerda resbale?

5.79. Una caja de 30.0 kg está inicialmente en reposo en la plataforma de una camioneta de 1500 kg. El coeficiente de fricción estática entre la caja y la plataforma es de 0.30; y el de fricción cinética, de 0.20. Antes de cada una de las aceleraciones que se dan en seguida, la camioneta viaja hacia el norte con rapidez constante. Obtenga la magnitud y dirección de la fuerza de fricción que actúa sobre la caja, cuando la camioneta adquiere una aceleración de *a*) 2.20 m/s^2 al norte y de *b*) 3.40 m/s^2 al sur.

5.80. Tribunal del tránsito. Imagine que a usted se le cita a comparecer como testigo experto, en el juicio sobre una infracción de tránsito. Los hechos son los siguientes. Un conductor frenó violentamente y se detuvo con aceleración constante. Las mediciones de sus neumáticos y de las marcas de derrapamiento sobre el pavimento indican que el auto recorrió 192 ft antes de detenerse y que el coeficiente de fricción cinética entre el camino y sus neumáticos era de 0.750. El cargo es que el conductor iba a exceso de velocidad en una zona de 45 mi/h. Él se declara inocente. ¿Cuál es su conclusión, culpable o inocente? ¿Qué tan rápido iba en el momento de aplicar los frenos?

5.81. Dos esferas idénticas de 15.0 kg y de 25.0 cm de diámetro están suspendidas de dos cables de 35.0 cm, como se indica en la figura 5.67. El sistema completo está unido a un solo cable de 18.0 cm y las superficies de las esferas son perfectamente lisas. *a*) Obtenga la tensión en cada uno de tres los cables. *b*) ¿Qué tanto empuja cada esfera sobre la otra?

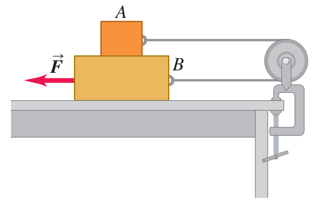
Figura 5.67 Problema 5.81.



5.82. Pérdida de carga. Una caja de 12.0 kg descansa en el piso plano de un camión. Los coeficientes de fricción entre la caja y el piso son $\mu_s = 0.19$ y $\mu_k = 0.15$. El camión se detiene ante un letrero de alto y luego arranca con aceleración de 2.20 m/s^2. Si la caja está a 1.80 m del borde trasero del camión cuando éste arranca, ¿cuánto tardará la caja en caerse por atrás del camión? ¿Qué distancia recorrerá el camión en ese tiempo?

5.83. El bloque *A* de la figura 5.68 pesa 1.40 N, y el bloque *B* pesa 4.20 N. El coeficiente de fricción cinética entre todas las superficies es de 0.30. Calcule la magnitud de la fuerza horizontal $\vec{F}$ necesaria para arrastrar *B* a la izquierda con rapidez constante, si *A* y *B* están conectados por un cordón ligero y flexible que pasa por una polea fija sin fricción.

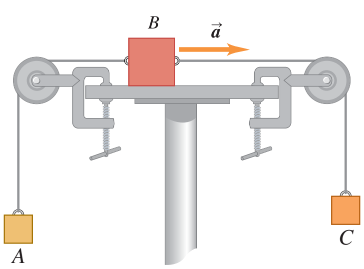
Figura 5.68 Problema 5.83.



5.84. Imagine que forma parte de un grupo de diseñadores para una exploración futura del planeta Marte, donde $g = 3.7$ m/s^2. Una exploradora saldrá de un vehículo que viaja horizontalmente a 33 m/s, cuando esté a una altura de 1200 m sobre la superficie, y luego caerá libremente durante 20 s. En ese momento, un sistema portátil avanzado de propulsión (PAPS, por las siglas de *portable advanced propulsion system*) ejercerá una fuerza constante que reducirá la rapidez de la exploradora a cero en el instante en que toque la superficie. La masa total (exploradora, traje, equipo y PAPS) es de 150 kg. Suponga que el cambio de masa del PAPS es insignificante. Determine las componentes horizontal y vertical de la fuerza que el PAPS deberá ejercer, y durante cuánto tiempo deberá ejercerla. Desprecie la resistencia del aire.

5.85. El bloque *A* de la figura 5.69 tiene masa de 4.00 kg, y el bloque *B*, de 12.0 kg. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque *B* y la superficie horizontal es de 0.25. *a*) ¿Qué masa tiene el bloque *C* si *B* se mueve a la derecha con aceleración de 2.00 m/s^2? *b*) ¿Qué tensión hay en cada cuerda en tal situación?

Figura 5.69 Problema 5.85.



5.86. Dos bloques conectados por un cordón que pasa por una polea pequeña sin fricción descansan en planos sin fricción (figura 5.70). *a*) ¿Hacia dónde se moverá el sistema cuando los bloques se suelten del reposo? *b*) ¿Qué aceleración tendrán los bloques? *c*) ¿Qué tensión hay en el cordón?

Figura 5.70 Problema 5.86.

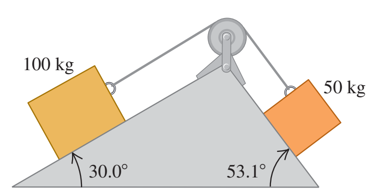


Figura 32 Problema 40.

parte trasera de un camión-grúa. El cable forma un ángulo de 27° con el plano inclinado. ¿Cuál es la mayor distancia que el automóvil puede ser arrastrado en los primeros 7.5 s después de arrancar desde el reposo si el cable tiene una resistencia a la rotura de 4.6 kN? Desprecie todas las fuerzas resistivas sobre el automóvil. Véase la figura 33.

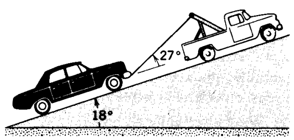


Figura 33 Problema 42.

43. Una caja de 110 kg está siendo empujada a velocidad constante por la rampa de 34° que se muestra en la figura 34. *(a)* ¿Qué fuerza horizontal *F* se requiere? *(b)* ¿Cuál es la fuerza ejercida por la rampa sobre la caja?

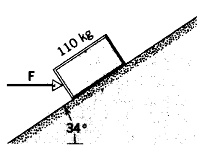


Figura 34 Problema 43.

44. Un reciente avión a chorro de 26 tons de la fuerza aérea de Estados Unidos (Fig. 35) requiere una velocidad en el aire de 280 ft/s para el despegue. Su propio motor desarrolla un empuje de 24,000 lb. El avión va a despegar desde un portaviones con una pista de vuelo de 300 ft. ¿Qué fuerza debe ser ejercida por la catapulta del portaviones? Suponga que la catapulta y el motor del avión ejercen una fuerza constante a lo largo de los 300 ft del despegue.

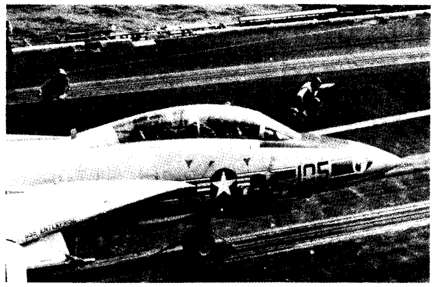


Figura 35 Problema 44.

45. Una nave de descenso se aproxima a la superficie de Calisto, uno de los satélites (lunas) del planeta Júpiter (Fig. 36). Si el motor de la nave proporciona un empuje hacia arriba de 3260 N, la nave desciende a velocidad constante. Calisto no tiene atmósfera. Si el empuje hacia arriba es de 2200 N, la nave acelera hacia abajo a razón de 0.390 m/s². *(a)* ¿Cuál es el peso de la nave en descenso en la vecindad de la superficie de Calisto? *(b)* ¿Cuál es la masa de la nave? *(c)* ¿Cuál es la aceleración debida a la gravedad cerca de la superficie de Calisto?

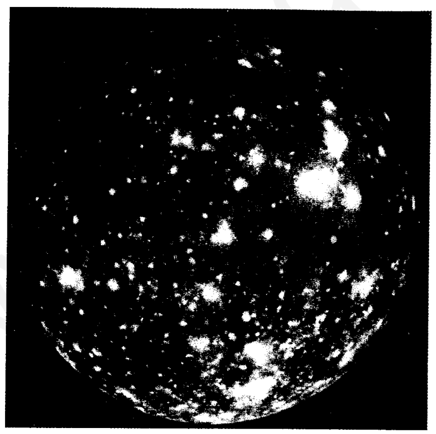


Figura 36 Problema 45.

46. Años atrás, las barcazas que viajaban por los canales eran arrastradas por caballos como se muestra en la figura 37. Supongamos que el caballo está ejerciendo una fuerza de 7900 N a un ángulo de 18° con la dirección del movimiento de la barcaza, la cual navega en línea recta por el canal. La masa de la barcaza es de 9500 kg y su aceleración es de 0.12 m/s². Calcule la fuerza ejercida por el agua sobre la barcaza.

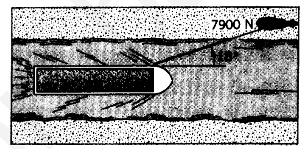


Figura 37 Problema 46.

47. Un cohete y su carga útil tienen una masa total de 51,000 kg. ¿Cuál es el empuje del motor del cohete cuando *(a)* el cohete está "flotando" sobre la plataforma de lanzamiento, justo después del encendido, y *(b)* cuando el cohete está acelerando hacia arriba a razón de 18 m/s²?

48. Un avión de combate a chorro despega a un ángulo de 27.0° con la horizontal, acelerando a 2.62 m/s². El peso del avión es de 79,300 N. Halle *(a)* el empuje *T* del motor del avión y *(b)* la fuerza ascensional *L* ejercida por el aire perpendicularmente a las alas; véase la figura 38. Desprecie la resistencia del aire.

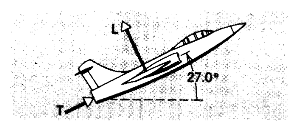


Figura 38 Problema 48

49. Un globo de investigación con una masa total *M* está descendiendo verticalmente con una aceleración *a* hacia abajo (Véase la Fig. 39.) ¿Cuánto lastre debe ser arrojado de la canastilla para dar al globo una aceleración *a hacia arriba*, suponiendo que la fuerza ascensional del aire sobre el globo no cambie?

50. Un cohete con masa de 3030 kg se dispara estando en reposo desde el terreno con un ángulo de elevación de 58.0°. El motor ejerce un empuje de 61.2 kN a un ángulo constante de 58.0° con la horizontal durante 48.0 s y luego el motor se detiene. Desprecie la masa del combustible consumido y desprecie la fuerza aerodinámica de resistencia. Calcule *(a)* la altitud del cohete cuando el motor se detiene, y *(b)* la distancia total desde el punto de disparo hasta el impacto.

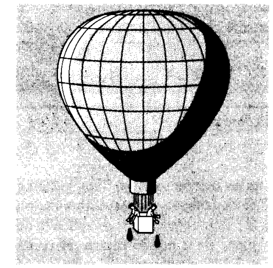


Figura 39 Problema 49.

51. Un bloque, de masa m, se desliza hacia abajo en un plano inclinado sin fricción que forma un ángulo θ con el piso de un elevador. Halle su aceleración con relación al plano en los casos siguientes. *(a)* El elevador desciende a velocidad constante v. *(b)* El elevador asciende a velocidad constante v. *(c)* El elevador desciende con una aceleración a. *(d)* El elevador desciende con una deceleración a. *(e)* El cable del elevador se rompe. *(f)* En la parte *(c)* de arriba, cuál es la fuerza ejercida sobre el bloque por el plano inclinado?

Sección 5-11 Más aplicaciones de las leyes de Newton

52. Refiérase a la figura 18. Sea m_1 = 4.30 kg y m_2 = 1.80 kg. Halle *(a)* la aceleración de los dos bloques, y *(b)* la tensión en la cuerda.

53. Un hombre de 110 kg desciende al suelo desde una altura de 12 m sujetando una cuerda que pasa por una polea sin fricción atada a un saco de arena de 74 kg. *(a)* ¿A qué velocidad alcanza el hombre el suelo? *(b)* ¿Podría haber hecho algo para reducir la velocidad con que alcanza el suelo?

54. Un chango de 11 kg está trepando por una cuerda carente de masa que está unida a un tronco de 15 kg y pasa sobre una rama de un árbol (¡sin fricción!). ¿Con qué aceleración mínima deberá trepar el chango por la cuerda de modo que pueda elevar al tronco de 15 kg desde el suelo? Si, después de que el tronco se haya elevado, el chango deja de trepar y se cuelga de la cuerda, ¿cuál será ahora *(b)* la aceleración del chango y *(c)* la tensión en la cuerda?

55. Tres bloques están unidos como se muestra en la figura 40 sobre una mesa horizontal carente de fricción y son jalados hacia la derecha con una fuerza T_3 = 6.5 N. Si m_1 = 1.2 kg, m_2 = 2.4 kg, y m_3 = 3.1 kg, calcule *(a)* la aceleración del sistema y *(b)* las tensiones T_1 y T_2. Trace una analogía de los cuerpos que están siendo jalados en tándem, tal como si una locomotora jalara de un tren de carros acoplados.

56. Dos bloques están en contacto sobre una mesa carente de fricción. Se aplica una fuerza horizontal a un bloque, como

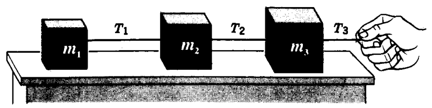


Figura 40 Problema 55.

se muestra en la figura 41. (*a*) Si m_1 = 2.3 kg, m_2 = 1.2 kg, y F = 3.2 N, halle la fuerza de contacto entre los dos bloques. (*b*) Demuestre que si se aplica la misma fuerza F a m_2 en lugar de a m_1, la fuerza de contacto entre los bloques es 2.1 N, el cual no es el mismo valor derivado en (*a*). Explique.

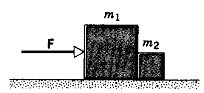


Figura 41 Problema 56.

57. La figura 42 muestra tres cajas con masas m_1 = 45.2 kg, m_2 = 22.8 kg, y m_3 = 34.3 kg sobre una superficie horizontal carente de fricción. (*a*) ¿Qué fuerza horizontal F se necesita para empujar las cajas hacia la derecha, como si fueran una sola unidad, con una aceleración de 1.32 m/s²? (*b*) Halle la fuerza ejercida por m_2 sobre m_3. (*c*) Y por m_1 sobre m_2.

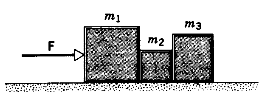


Figura 42 Problema 57.

58. Una cadena que consta de cinco eslabones, cada uno con una masa de 100 g, se levanta verticalmente con una aceleración constante de 2.50 m/s², como se muestra en la figura 43. Halle (*a*) las fuerzas que actúan entre eslabones adyacentes, (*b*) la fuerza F ejercida en el eslabón superior por el agente que eleva la cadena, y (*c*) la fuerza *neta* en cada eslabón.

Figura 43 Problema 58.

59. Un bloque de masa m_1 = 3.70 kg está sobre un plano inclinado de ángulo θ = 28.0°, y unido por una cuerda sobre una polea pequeña, sin fricción y sin masa, a un segundo bloque de masa m_2 = 1.86 kg que cuelga verticalmente (véase la figura 44), (*a*) ¿cuál es la aceleración de cada bloque? (*b*) Halle la tensión en la cuerda.

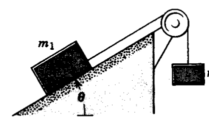


Figura 44 Problema 59.

60. Un paracaidista de 77 kg experimenta una aceleración hacia abajo de 2.5 m/s² poco después de abrirse el paracaídas. La masa del paracaídas es de 5.2 kg. (*a*) Halle la fuerza hacia arriba ejercida en el paracaídas por el aire. (*b*) Calcule la fuerza hacia abajo ejercida por el paracaidista.

61. Un elevador consta de una cabina (*A*), el contrapeso (*B*), el mecanismo de maniobra (*C*), y el cable y las poleas que se muestran en la figura 45. La masa de la cabina es de 1000 kg y la masa del contrapeso es de 1400 kg. Desprecie la fricción y las masas del cable y de las poleas. El elevador acelera hacia arriba a razón de 2.30 m/s² y el contrapeso acelera hacia abajo en una cantidad igual. ¿Cuáles son los valores de las tensiones (*a*) T_1 y (*b*) T_2? (*c*) ¿Cuál es la fuerza ejercida sobre el cable por el mecanismo?

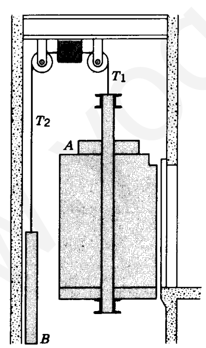


Figura 45 Problema 61.

62. Un helicóptero de 15,000 kg está elevando un vehículo de 4500 kg con una aceleración hacia arriba de 1.4 m/s². Calcule (*a*) la fuerza vertical que el aire ejerce sobre las paletas del helicóptero, y (*b*) la tensión en el cable de soporte superior; véase la figura 46.

Figura 46 Problema 62.

63. Alguien ejerce una fuerza F directamente hacia arriba sobre el eje de la polea que se muestra en la figura 47. Considere que la polea y el cable carecen de masa y que el buje carece de fricción. Dos objetos, m_1 de 1.2 kg de masa y m_2 de 1.9 kg de masa, están unidos como se muestra a los extremos opuestos del cable, el cual pasa sobre la polea. El objeto m_2 está en contacto con el piso. (*a*) ¿cuál es el valor más grande que la fuerza F puede tener de modo que m_2 permanezca en reposo sobre el piso? (*b*) ¿Cuál es la tensión en el cable cuando la fuerza F hacia arriba sea de 110 N? (*c*) Con la tensión determinada en la parte (*b*), ¿Cuál es la aceleración de m_1?

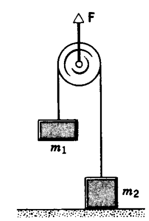


Figura 47 Problema 63.

64. Dos partículas, cada una de masa m, están unidas por un cordel delgado de longitud $2L$, como se muestra en la figura 48. Una fuerza uniforme **F** se aplica en el punto medio del cordel (x = 0) formando un ángulo recto con la posición inicial del cordel. Demuestre que la aceleración de cada masa en dirección a 90° con **F** está dada por

$$a_x = \frac{F}{2m}\frac{x}{(L^2 - x^2)^{1/2}}$$

donde x es la distancia perpendicular de una de las partículas desde la línea de acción de **F**. Discuta la situación cuando x = L.

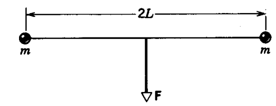


Figura 48 Problema 64.

65. Un bloque de masa M es jalado a lo largo de una superficie horizontal sin fricción por un cable de masa m como se muestra en la figura 49. Se aplica una fuerza horizontal **P** a un extremo del cable. (*a*) Demuestre que el cable *debe* combarse, aun cuando sólo sea en una cantidad imperceptible. Luego, suponiendo que la comba sea despreciable, halle (*b*) la aceleración del cable y del bloque, (*c*) la fuerza que el cable ejerce sobre el bloque, y (*d*) la tensión del cable en su punto medio.

Figura 49 Problema 65.

66. La figura 50 muestra una sección de un sistema alpino de vagones movidos por la tracción de un cable. La masa máxima permitida de cada vagón con ocupantes es de 2800 kg. Los vagones, que viajan sobre un cable de soporte, son jalados por un segundo cable unido a cada torre. ¿Cuál es la diferencia de tensión entre secciones adyacentes del cable de tracción si los vagones son acelerados hacia arriba con una inclinación de 35° a razón de 0.81 m/s²?

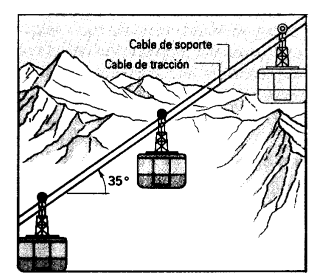


Figura 50 Problema 66.

67. El hombre de la figura 51 pesa 180 lb; la plataforma y la polea sin fricción unida a ella pesan un total de 43 lb.

hombre aplica una fuerza horizontal en lugar de vertical, ¿qué fuerza mínima, adicional a la fuerza de 412 N del primer hombre, deberá ejercer para hacer que se mueva la caja?

11. Un bloque de 7.96 kg descansa sobre un plano inclinado a 22° respecto a la horizontal, como lo muestra la figura 27. El coeficiente de fricción estática es de 0.25, mientras que el coeficiente de fricción cinética es de 0.15. (*a*) ¿Cuál es la fuerza F mínima, paralela al plano, que impedirá que el bloque se deslice por el plano hacia abajo? (*b*) ¿Cuál es la fuerza F necesaria para mover al bloque hacia arriba a velocidad constante?

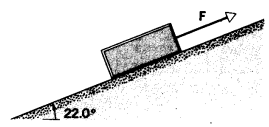


Figura 27 Problema 11.

12. Un estudiante desea determinar los coeficientes de fricción estática y cinética entre una caja y un tablón. Coloca la caja sobre el tablón y gradualmente eleva un extremo del tablón. Cuando el ángulo de inclinación respecto a la horizontal alcanza 28.0°, la caja comienza a deslizarse y desciende 2.53 m por el tablón en 3.92 s. Halle los coeficientes de fricción.

13. Una persona desea apilar arena sobre un área circular en su patio. El radio del círculo es R. No debe apilarse arena en la parte de alrededor del círculo; véase la figura 28. Demuestre que el mayor volumen de arena que puede ser apilado de esta manera es $\pi\mu_s R^3/3$, donde μ_s es el coeficiente de fricción estática de arena contra arena. (El volumen de un cono es $Ah/3$, donde A es el área de la base y h es la altura.)

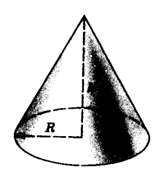


Figura 28 Problema 13.

14. El calor de fricción generado por el esquí al moverse es el principal factor que promueve el deslizamiento al esquiar. El esquí se pega en el arranque, pero una vez en movimiento fundirá la nieve bajo él. El hecho de encerar el esquí lo hace repelente al agua y reduce la fricción con la película de agua. Una revista reporta que un nuevo tipo de esquí de plástico es aun más repelente al agua y que, en una pendiente suave de 230 m en los Alpes, un esquiador redujo su tiempo de 61 a 42 s con los nuevos esquíes. Suponiendo una pendiente de 3.0°, calcule el coeficiente de fricción cinética para cada caso.

15. Un bloque se desliza por un plano inclinado con un ángulo de pendiente θ a velocidad constante. Luego es lanzado hacia arriba por el mismo plano con una velocidad inicial v_0. (*a*) ¿A qué distancia subirá por el plano antes de llegar al reposo? (*b*) ¿Se deslizará de nuevo hacia abajo?

16. Un trozo de hielo se desliza desde el reposo por un plano inclinado rugoso de 33.0° en el doble del tiempo que le toma deslizarse por otro plano igual, pero sin fricción, de la misma longitud. Halle el coeficiente de fricción cinética entre el hielo y el plano inclinado rugoso.

17. En la figura 29, A es un bloque de 4.4 kg y B es un bloque de 2.6 kg. Los coeficientes de fricción estática y cinética entre A y la mesa son de 0.18 y 0.15. (*a*) Determine la masa mínima del bloque C que debe colocarse sobre A para evitar que se deslice. (*b*) El bloque C es levantado súbitamente de A. ¿Cuál es la aceleración del bloque A?

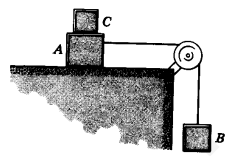


Figura 29 Problema 17.

18. Un bloque de 4.8 kg que está sobre un plano inclinado a 39° recibe la acción de una fuerza horizontal de 46 N (véase la Fig. 30). El coeficiente de fricción cinética entre el bloque y el plano es de 0.33. (*a*) ¿Cuál es la aceleración del bloque cuando se mueve hacia arriba por el plano? (*b*) Con la fuerza horizontal aplicada todavía, ¿qué tanto subirá el bloque por el plano si tiene una velocidad inicial hacia arriba de 4.3 m/s? (*c*) ¿Qué le sucede al bloque después de que ha llegado al punto más alto?

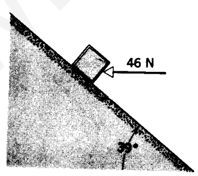


Figura 30 Problema 18.

19. Un bloque de acero de 12 kg está en reposo sobre una mesa horizontal. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y la mesa es de 0.52. (*a*) ¿Cuál es la magnitud de la fuerza horizontal que haría que el bloque empezara a moverse? (*b*) ¿Cuál es la magnitud de una fuerza que actuase hacia arriba formando 62° con la horizontal que hiciera que el bloque inicie su movimiento? (*c*) Si la fuerza actúa hacia abajo formando un ángulo de 62° con la horizontal, ¿a qué magnitud puede llegar sin que haga que el bloque se mueva?

20. El mango de un trapeador de masa m forma un ángulo θ con la dirección vertical; véase la figura 31. Sea μ_k el coeficiente de fricción cinética entre el trapeador y el piso y μ_s el coeficiente de fricción estática. Desprecie la masa del mango. (*a*) Halle la magnitud de la fuerza F dirigida a lo largo del mango necesaria para deslizar al trapeador a velocidad uniforme por el piso. (*b*) Demuestre que si θ es más pequeño que cierto ángulo θ_0, no puede hacerse que el trapeador se deslice por el piso, no importa qué tan grande sea la fuerza ejercida a lo largo del mango. ¿Cuál es el ángulo θ_0?

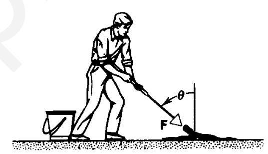


Figura 31 Problema 20.

21. Un obrero arrastra una caja de 150 lb por un piso jalando de ella por medio de una cuerda inclinada a 17° con respecto a la horizontal. El coeficiente de fricción estática es de 0.52 y el coeficiente de fricción cinética es de 0.35. (*a*) ¿Qué tensión se requiere en la cuerda para hacer que la caja comience a moverse? (*b*) ¿Cuál es la aceleración inicial de la caja?

22. Un alambre se romperá cuando la tensión exceda de 1.22 kN. Si el alambre, no necesariamente horizontal, se emplea para arrastrar una caja por el piso, ¿cuál es el peso más grande que puede ser movido si el coeficiente de fricción estática es de 0.35?

23. La figura 32 muestra la sección ttransversal de un camino cortado en la ladera de una montaña. La línea llena AA' representa un plano de estratificación débil en el cual es posible un deslizamiento. El bloque B directamente arriba del camino está separado de la roca ladera arriba por una grieta grande (llamada *juntura*), de manera tal que sólo la fuerza de fricción entre el bloque y la probable superficie de falla impide el deslizamiento. La masa del bloque es de 1.8×10^7 kg, el ángulo de inclinación del plano de la falla es de 24°, y el coeficiente de fricción estática entre el bloque y el plano es de 0.63. (*a*) Demuestre que el bloque no se deslizará. (*b*) En la juntura se filtra el agua, ejerciendo una fuerza hidrostática F paralela a la inclinación del bloque. ¿Qué valor mínimo de F provocaría un deslizamiento?

24. El bloque B de la figura 33 pesa 712 N. El coeficiente de fricción estática entre el bloque B y la mesa es de 0.25.

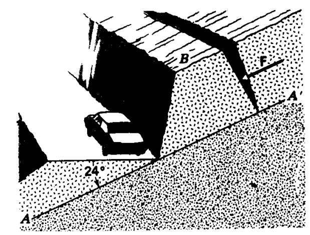


Figura 32 Problema 23.

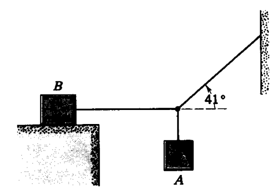


Figura 33 Problema 24.

Halle el peso máximo del bloque A con el que el sistema se mantendrá en equilibrio.

25. El bloque m_1 de la figura 34 tiene una masa de 4.20 kg y el bloque m_2 tiene una masa de 2.30 kg. El coeficiente de fricción cinética entre m_2 y el plano horizontal es de 0.47. El plano inclinado carece de fricción. Halle (*a*) la aceleración de los bloques y (*b*) la tensión en la cuerda.

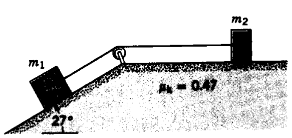


Figura 34 Problema 25.

26. En la figura 35, el objeto B pesa 94.0 lb y el objeto A pesa 29.0 lb. Entre el objeto B y el plano el coeficiente de fricción estática es de 0.56 y el coeficiente de fricción cinética es de 0.25. (*a*) Halle la aceleración del sistema si B está inicialmente en reposo. (*b*) Halle la aceleración si B se mueve por el plano hacia arriba. (*c*) ¿Cuál es la aceleración si B se mueve por el plano hacia abajo? El plano tiene una inclinación de 42.0°.

27. Una caja se desliza hacia abajo por una canal inclinada y en ángulo recto como se muestra en la figura 36. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque y el material que componen la canal es μ_k. Halle la aceleración de la caja.

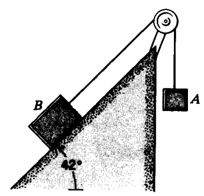


Figura 35 Problema 26.

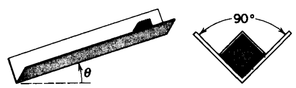


Figura 36 Problema 27.

28. Los dos bloques, m = 16 kg y M = 88 kg, mostrados en la figura 37 pueden moverse libremente. El coeficiente de fricción estática entre los bloques es μ_s = 0.38, pero la superficie bajo M carece de fricción. ¿Cuál es la fuerza horizontal mínima F necesaria para mantener a m contra M?

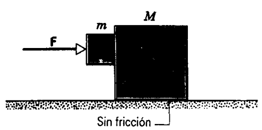


Figura 37 Problema 28.

29. En la figura 38 se muestran dos objetos, con masas m_1 = 1.65 kg y m_2 = 3.22 kg, unidos por una varilla carente de masa paralela al plano inclinado por el que ambos se deslizan hacia abajo arrastrando m_2 a m_1. El ángulo del plano inclinado es θ = 29.5°. El coeficiente de fricción cinética entre m_1 y el plano inclinado es μ_1 = 0.226; entre m_2 y el plano inclinado el coeficiente correspondiente es μ_2 = 0.127. Calcule (*a*) la aceleración común de los dos objetos y (*b*) la tensión en la varilla. (*c*) ¿Cuáles serán las respuestas a (*a*) y (*b*) cuando m_2 arrastra a m_1?

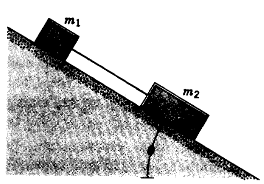


Figura 38 Problema 29.

30. Un bloque de 4.40 kg está colocado sobre otro bloque de 5.50 kg. Con objeto de hacer que el bloque de arriba se deslice sobre el de abajo, que se mantiene fijo, debe aplicarse sobre el bloque de arriba una fuerza horizontal de 12.0 N. El conjunto de bloques es ahora situado sobre una mesa horizontal carente de fricción; véase la figura 39. Halle (*a*) la fuerza horizontal máxima F que puede ser aplicada al bloque inferior de modo que ambos bloques se muevan juntos, (*b*) la aceleración resultante de los bloques, y (*c*) el coeficiente de fricción estática entre los bloques.

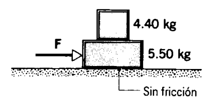


Figura 39 Problema 30.

31. Una losa de 42 kg descansa sobre un piso sin fricción. Un bloque de 9.7 kg descansa a su vez sobre la losa, como en la figura 40. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y la losa es de 0.53, mientras que el coeficiente de fricción cinética es de 0.38. El bloque de 9.7 kg recibe la acción de una fuerza horizontal de 110 N. ¿Cuáles son las aceleraciones resultantes de (*a*) el bloque y (*b*) la losa?

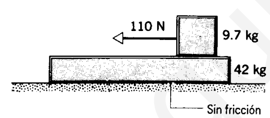


Figura 40 Problema 31.

Sección 6.3 La dinámica del movimiento circular uniforme

32. Durante una carrera olímpica de trineos, un equipo europeo toma una curva de 25 ft de radio a una velocidad de 60 mi/h. ¿Qué aceleración experimentan los contendientes (*a*) en ft/s² y (*b*) en unidades de g?

33. Un auto de 2400 lb (= 10.7 kN) que viaja a 30 mi/h (= 13.4 m/s) intenta tomar una curva no peraltada con un radio de 200 ft (= 61.0 m). (*a*) ¿Qué fuerza de fricción se requiere para mantener al auto en su trayectoria circular? (*b*) ¿Qué coeficiente de fricción estática mínimo se requiere entre las llantas y la carretera?

34. Una curva circular de una carretera está diseñada para un tráfico que transita a 60 km/h (= 37 mi/h). (*a*) Si el radio de la curva es de 150 m (= 490 ft), ¿cuál es el ángulo correcto de peralte de la carretera? (*b*) Si la curva no estuviera peraltada, ¿cuál sería el coeficiente de fricción mínimo entre las llantas y la carretera que evitaría que el tráfico patine a esta velocidad?

35. Usted conduce un auto a una velocidad de 85 km/h cuando nota una barrera a través de la carretera a 62 m adelante. (*a*) ¿Cuál es el coeficiente mínimo de fricción estática entre las llantas y la carretera que le permitiría detenerse sin llegar a la barrera? (*b*) Suponga que conduce a 85 km/h en un gran estacionamiento vacío. ¿Cuál es el coeficiente de fricción estática mínimo que le permitiría hacer girar el auto en un círculo de 62 m de radio y, de esta manera, evitar el choque con un muro situado a 62 m más adelante?

36. Un péndulo cónico consta de un guijarro de 53 g atado a un cordel de 1.4 m. El guijarro oscila en un círculo de 25 cm de radio. (*a*) ¿Cuál es la velocidad del guijarro? (*b*) ¿Cuál es su aceleración? (*c*) ¿Cuál es la tensión en la cuerda?

37. Un ciclista (Fig. 41) viaja en un círculo de 25 m de radio a una velocidad constante de 8.7 m/s. La masa combinada de la bicicleta y el tripulante es de 85 kg. Calcule la fuerza (magnitud y ángulo con la vertical) ejercida por la pista sobre la bicicleta.

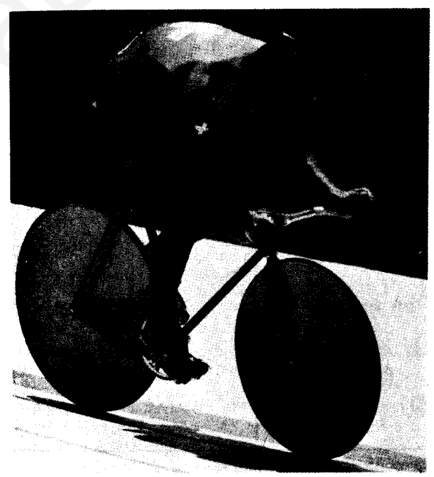


Figura 41 Problema 37.

38. En el modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, el electrón gira en una órbita circular alrededor del núcleo. Si el radio es 5.3×10^{-11} m y el electrón da 6.6×10^{15} rev/s, Halle (*a*) la velocidad del electrón, (*b*) la aceleración del electrón, y (*c*) la fuerza que actúa sobre el electrón. (Esta fuerza es el resultado de la atracción entre el núcleo, cargado positivamente, y el electrón, cargado negativamente.)

39. Un niño coloca una canasta de merienda en el borde exterior de un tiovivo que tiene un radio de 4.6 m y gira una vez cada 24 s. ¿Qué tan grande deberá ser el coeficiente de fricción estática para que la canasta permanezca sobre el tiovivo?

40. Un disco de masa m que está sobre una mesa sin fricción está atado a un cilindro colgante de masa M por medio de un cordón que pasa por un orificio de la mesa (véase la Fig. 42). Halle la velocidad con que debe moverse el disco en un círculo de radio r para que el cilindro permanezca en reposo.

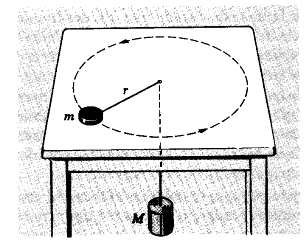


Figura 42 Problema 40.

41. El manual del conductor afirma que un conductor que viaje a 48 km/h y quiera detenerse tan rápidamente como sea posible viajará 10 m antes de que ponga el pie sobre el freno. El auto viaja 21 m más antes de llegar al reposo. (*a*) ¿Qué coeficiente de fricción es supuesto en estos cálculos? (*b*) ¿Cuál es el radio mínimo para tomar una curva a 48 km/h sin patinar?

42. Una curva peraltada de una carretera circular está diseñada para que el tráfico se mueva a razón de 95 km/h. El radio de la curva es de 210 m. El tráfico se mueve a lo largo de la carretera a razón de 52 km/h en un día tormentoso. (*a*) ¿Cuál es el coeficiente de fricción mínimo entre las llantas y la carretera que permita que los automóviles tomen la curva sin patinar? (*b*) Con este valor del coeficiente de fricción, ¿cuál es la velocidad mayor a la que puede ser tomada la curva sin que haya un patinaje?

43. Un estudiante de 150 lb que viaja en una rueda Ferris que gira uniformemente tiene un peso aparente de 125 lb en el punto más alto. (*a*) ¿Cuál es el peso aparente del estudiante en el punto más bajo? (*b*) ¿Cuál sería el peso aparente del estudiante en el punto más alto si la velocidad de la rueda Ferris se duplicara?

44. Un auto se mueve a velocidad constante sobre una carretera recta pero montañosa. Una sección tiene una cresta y un valle del mismo radio de 250 m; véase la figura 43. (*a*) Cuando el auto pasa sobre la cresta, la fuerza normal sobre el auto es un medio del peso de 16 kN del auto. ¿Cuál será la fuerza normal sobre el auto al pasar por el fondo del valle? (*b*) ¿Cuál es la velocidad máxima a que el auto puede moverse sin abandonar la carretera en la parte más alta de la cresta? (*c*) Moviéndose a la velocidad hallada en (*b*), ¿cuál sería la fuerza normal sobre el auto cuando se mueve por el fondo del valle?

Figura 43 Problema 44.

45. Sobre una tornamesa horizontal y plana colocamos una pequeña moneda. Según se observa, la tornamesa da exactamente tres revoluciones en 3.3 s. (*a*) ¿Cuál es la velocidad de la moneda cuando gira sin deslizamiento a una distancia de 5.2 cm del centro de la tornamesa? (*b*) ¿Cuál es la aceleración (magnitud y dirección) de la moneda en la parte (*a*)? (*c*) ¿Cuál es la fuerza de fricción que actúa sobre la moneda en la parte (*a*) si la moneda tiene una masa de 1.7 g? (*d*) ¿Cuál es el coeficiente de fricción estática entre la moneda y la tornamesa si se observa que la moneda se desliza fuera de la tornamesa cuando está a más de 12 cm del centro de la tornamesa?

46. Un objeto pequeño se coloca a 13.0 cm del centro de una tornamesa de fonógrafo. Se observa que permanece sobre la tornamesa cuando gira a razón de $33\frac{1}{3}$ rev/min pero se desliza hacia afuera cuando gira a razón de 45.0 rev/min. ¿Entre qué límites deberá estar el coeficiente de fricción estática entre el objeto y la superficie de la tornamesa?

47. Un aeroplano está volando en un círculo horizontal a una velocidad de 482 km/h. Las alas del aeroplano están inclinadas a 38.2° respecto a la horizontal; véase la figura 44. Halle el radio del círculo en el cual está volando el aeroplano. Suponga que la fuerza centrípeta es proporcionada enteramente por la fuerza de ascenso perpendicular a la superficie de las alas.

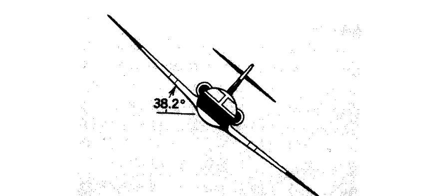


Figura 44 Problema 47.

48. Un rabihorcado vuela remontándose en una trayectoria circular horizontal. Se estima que su ángulo de inclinación es de 25° y el pájaro emplea 13 s en completar un círculo. (*a*) ¿A qué velocidad está volando el pájaro? (*b*) ¿Cuál es el radio del círculo? (Véase "The Amateur Scientist", por Jearl Walker, *Scientific American*, Marzo 1985, pág. 122.)

49. Cierto cordón puede soportar una tensión máxima de 9.2 lb sin romperse. Un niño ata una piedra de 0.82 lb a un extremo y, manteniendo el otro extremo, hace girar a la piedra en un círculo vertical de 2.9 ft de radio, aumentando lentamente la velocidad hasta que el cordón se rompe. (*a*) ¿En qué lugar de su trayectoria está la piedra cuando se rompe el cordón? (*b*) ¿Cuál es la velocidad de la piedra al romperse el cordón?

50. Un modelo de aeroplano de 0.75 kg de masa, vuela a velocidad constante en un círculo horizontal en el extremo de un cordel de 33 m y a una altura de 18 m. El otro extremo del cordel está amarrado al suelo. El aeroplano da 4.4 rev/min y la fuerza ascensional es perpendicular a las alas sin peralte. (*a*) ¿Cuál es la aceleración del aeroplano? (*b*) ¿Cuál es la tensión en la cuerda? (*c*) ¿Cuál es la fuerza ascensional producida por las alas del aeroplano?

51. Supongamos que el kilogramo patrón pesaría exactamente 9.80 N al nivel del mar en el ecuador si la Tierra no girase. Entonces, tenga en cuenta el hecho de que la Tierra gira, de modo que este objeto se mueve en un círculo de 6370 km de radio (el radio de la Tierra) en un día. (*a*) Determine la fuerza centrípeta necesaria para mantener al kilogramo patrón en movimiento en su trayectoria circular. (*b*) Halle la fuerza ejercida por el kilogramo patrón sobre una báscula de resorte de la cual esté suspendido en el ecuador (su peso aparente).

52. Una bola de 1.34 kg está unida a una varilla vertical rígida por medio de dos cordones sin masa, cada uno de 1.70 m de longitud. Los cordones están unidos a la varilla con una separación entre sí de 1.7 m (aparte). El sistema está girando con respecto al eje de la varilla, quedando ambos cordones tirantes y formando un triángulo equilátero con la varilla, como se muestra en la figura 45. La tensión en el cordón superior es de 35.0 N. (*a*) Halle la tensión en el cordón inferior. (*b*) Calcule la fuerza neta sobre la bola en el instante mostrado en la figura. (*c*) ¿Cuál es la velocidad de la bola?

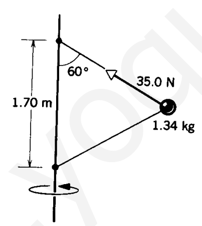


Figura 45 Problema 52.

53. Un pequeñísimo cubo de masa m se halla en el interior de un embudo (véase la Fig. 46) que gira alrededor de un eje vertical a una razón constante de v revoluciones por segundo. La pared del embudo forma un ángulo θ con la horizontal. El coeficiente de fricción estática entre el cubo y el embudo es μ, y el centro del cubo está a una distancia r del eje de rotación. Halle (*a*) los valores mayor y (*b*) menor de v para los cuales el cubo no se moverá con respecto al embudo.

54. A causa de la rotación de la Tierra, una plomada puede no colgar exactamente en la dirección de la fuerza de gravedad de la Tierra sobre la plomada, sino que se desvía ligeramente de esa dirección. (*a*) Demuestre que la desviación θ en radianes en un punto con latitud L está dado por

donde R es el radio de la Tierra y T es el periodo de la rotación de la Tierra. (*b*) ¿En qué latitud adquiere la desviación un máximo? ¿De cuánto es esta desviación? (*c*) ¿Cuál es la desviación en los polos? ¿Y en el ecuador?

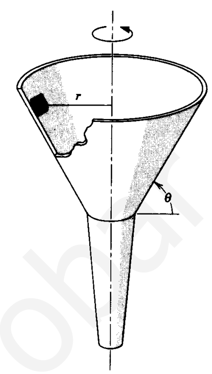


Figura 46 Problema 53.

Sección 6-5 Fuerzas dependientes del tiempo: métodos analíticos

55. La posición de una partícula de 2.17 kg de masa que viaje en línea recta está dada por

$$x = 0.179t^4 - 2.08t^2 + 17.1.$$

donde x está en metros y t está en segundos. Halle (*a*) la velocidad, (*b*) la aceleración, y (*c*) la fuerza sobre la partícula en el tiempo t = 7.18 s.

56. Una partícula de masa m está sujeta a una fuerza neta $\mathbf{F}(t)$ dada por

$$\mathbf{F}(t) = F_0 \qquad \mathbf{i}$$

esto es, $F(t)$ es igual a F_0 en t = 0 y disminuye linealmente hasta cero en el tiempo T. La partícula pasa por el origen x = 0 con una velocidad $v_0\mathbf{i}$. Demuestre que en el instante $t = T$ en que $F(t)$ se anula, la velocidad v y la distancia x recorrida están dadas por

$$v(T) = v_0 + \tfrac{1}{2}a_0 T,$$

$$x(T) = v_0 T + \tfrac{1}{3}a_0 T^2$$

donde $a_0 = F_0/m$ es la aceleración inicial. Compare estos resultados con las ecuaciones 15 y 19 del capítulo 2.

57. Una partícula de masa m está en reposo en x = 0. Al tiempo t = 0 se aplica una fuerza dada por $F = F_0 e^{-t/T}$ en la dirección $+x$; F_0 y T son constantes. Cuando $t = T$ se retira la fuerza. En este instante en que la fuerza se retira, (*a*) ¿cuál es la velocidad de la partícula, y (*d*) dónde está?

Sección 6-7 Fuerzas de arrastre y el movimiento de proyectiles

58. Un pequeño guijarro de 150 g está a 3.4 km de profundidad en el océano y cae a una velocidad terminal constante de 25 m/s. ¿Qué fuerza ejerce el agua sobre el guijarro al caer?

59. Un objeto se deja caer desde el reposo. Halle la velocidad terminal suponiendo que la fuerza de arrastre está dada por $D = bv^2$.

60. ¿Cuánto tiempo le toma al objeto del problema muestra 5 llegar a la mitad de su velocidad terminal?

61. A partir de la tabla 2, calcule el valor de b para la gota de agua, suponiendo que la fuerza de arrastre está dada por $D = bv$. La densidad del agua es de 1.0 g/cm³.

62. Una locomotora acelera a un tren de 23 vagones a lo largo de una vía a nivel. Cada vagón tiene una masa de 48.6 tons métricas y está sujeto a una fuerza de arrastre $f = 243v$, donde v es la velocidad en m/s y la fuerza f está en N. En el instante en que la velocidad del tren es de 34.5 km/h, la aceleración es de 0.182 m/s². (*a*) Calcule la tensión en el cople situado entre el primer vagón y la locomotora. (*b*) Suponga que esta tensión es la fuerza mayor que la locomotora puede ejercer sobre el tren. ¿Cuál, entonces, es la mayor pendiente en la que la locomotora pueda jalar al tren a razón de 34.5 km/h? (1 ton métrica = 1000 kg.)

63. Un globo aerostático desciende en aire tranquilo a una velocidad constante de 1.88 m/s. El peso total del globo, incluyendo la carga útil, es de 10.8 kN. Se ejerce sobre el globo una fuerza ascensional constante de 10.3 kN. El aire ejerce también una fuerza de arrastre dada por $D = bv^2$, donde v es la velocidad del globo y b es una constante. La tripulación arroja 26.5 kg del lastre. ¿Cuál será la velocidad constante de descenso del globo?

64. Repita el problema 63, pero esta vez suponga que la fuerza de arrastre está dada por $D = bv$. Nótese que la constante b deberá ser reevaluada.

65. Una barcaza de masa m está navegando por un canal a velocidad v_i cuando sus motores se detienen. La fuerza de arrastre D en el agua está dada por $D = bv$. (*a*) Halle la expresión del tiempo requerido para que la barcaza reduzca su velocidad a v_f. (*b*) Evalúe numéricamente el tiempo para que una barcaza de 970 kg, que navega inicialmente a razón de 32 km/h, reduzca su velocidad a 8.3 km/h; el valor de b es de 68 N · s/m.

66. Consideremos la caída del objeto del problema muestra 5. (*a*) Halle la aceleración en función del tiempo. ¿Cuál es la aceleración en un t pequeño; en un t grande? (*b*) Halle la distancia recorrida por el objeto en su caída, en función del tiempo.

67. Suponiendo que la fuerza de arrastre D esté dada por $D = bv$. (*a*) Demuestre que la distancia y_{95} a través de la cual debe caer un objeto desde el reposo hasta alcanzar el 95% de su velocidad terminal está dada por

$$y_{95} = (v_T^2\ /g)(\ln 20 - \tfrac{19}{20})$$

donde v_T es la velocidad terminal. (*Sugerencia*: Use el resultado de $y(t)$ ob ‿nido en el problema 66.) (*b*) Usando la velocidad terminal de 42 m/s para la bola de béisbol dada en la tabla 2, calcule la distancia al 95%. ¿Por qué no concuerda este resultado con el valor listado en la tabla 2?

Proyectos para la computadora

68. La sección 6-6 describe una técnica numérica para integrar la segunda ley de Newton y obtener una tabla que dé la posición y la velocidad de un objeto en una secuencia de tiempos. Divida el periodo desde algún tiempo inicial t_0 a algún tiempo final t_f en N intervalos pequeños Δt. Si x_b, v_b, y F_b son la coordenada, la velocidad, y la fuerza del inicio de un intervalo, entonces $x_e = x_b + v_b\Delta t$ y $v_e = v_b + (F_b/m)\Delta t$ dan las estimaciones de la coordenada y la velocidad al final. Estos valores se usan después como la coordenada y la velocidad al inicio del intervalo siguiente. Cuanto más pequeño sea Δt, mejor será la estimación, pero Δt no podrá ser demasiado pequeño o, de lo contrario, se perderán cifras significativas durante el cálculo. La fuerza puede ser una función de la posición, de la velocidad y del tiempo. La función explícita se determina por la situación física, y una vez que es conocida se usan los valores de x_b, v_b, y t_b para evaluar F_b. Escriba un programa para la computadora o diseñe una hoja de cálculo para llevar a cabo la integración. Usted alimentará con x_0, v_0, t_0, Δt, y N. He aquí un ejemplo a tratar.

Una persona, comenzando desde el reposo, empuja una caja a lo largo de un piso rugoso con una fuerza dada por $F = 200e^{-0.15t}$, donde F está en newton y t en segundos. La fuerza disminuye exponencialmente porque la persona se cansa. En tanto que la caja se mueve, una fuerza de fricción constante de 80 N se opone al movimiento. (*a*) ¿Cuánto tarda, después de haber arrancado, en detenerse la caja? (*b*) ¿A qué distancia llega? Obtenga una precisión de 2 cifras significativas.

Para propósitos de integración divida el tiempo entre $t = 0$ y $t = 15$ s en 1500 intervalos de 0.01 s de duración cada uno. No es necesario exhibir o imprimir la coordenada y la velocidad al final de cada intervalo. En la primera corrida, exhiba los resultados al final de cada 100 intervalos. En corridas posteriores quizá desee usted exhibir los resultados para intervalos más pequeños dentro de un margen limitado. Una vez que se ha generado la tabla de resultados, busque los dos valores de la velocidad que encierran a $v_e = 0$. Si los valores de x son iguales a 2 cifras significativas, habrá usted terminado. Si no lo son, repita el cálculo con un intervalo de exhibición menor, o quizá con un intervalo de integración menor.

69. Una pelota de 150 g se lanza directamente hacia arriba desde el borde de un acantilado a una velocidad inicial de 25 m/s. En el trayecto hacia abajo no toca el borde del acantilado y continúa cayendo al terreno que se encuentra 300 m más abajo. Además de estar sujeta a la fuerza de la gravedad, lo está a una fuerza de resistencia del aire dada por $F_D = -0.0150v$, donde F_D está en newton y v está en m/s. (*a*) ¿Cuánto tiempo está la pelota en el aire? (*b*) ¿Cuál es su velocidad justamente antes de que alcance el terreno? (*c*) ¿Cuál es la razón de esta velocidad y su velocidad terminal?

Use un programa de computación o una hoja de cálculo para integrar la segunda ley de Newton (para sugerencias, véase la sección 6-6 y el problema anterior). Use un intervalo de integración de 0.001 s y exhiba la coordenada y la velocidad para cada 0.1 s desde $t = 0$ hasta $t = 12$ s. Esto daría una precisión de 2 cifras significativas.

70. Un proyectil de 2.5 kg se dispara desde el suelo a una velocidad inicial de 150 m/s, y un ángulo de 40° sobre la horizontal. Además de la fuerza de la gravedad está sujeto a una fuerza de resistencia del aire $\mathbf{F}_D = -0.30\mathbf{v}$, donde $\mathbf{F}_D$ está en newton y $\mathbf{v}$ en m/s. Integre numéricamente la segunda ley de Newton desde $t = 0$ (el momento del disparo) hasta $t = 20$ s. Tome un intervalo de integración de 0.001 s pero muestre resultados para cada 0.5 s. Deberá considerar tanto las coordenadas x y y como las componentes de la velocidad. Use $a_x = -(b/m)v_x$ y $a_y = -g-(b/m)v_y$, donde b es el coeficiente de arrastre. Vea los proyectos de computación anteriores. (*a*) Trace la trayectoria y contra x desde el disparo hasta el tiempo en que el proyectil cae al suelo. Nótese que la trayectoria no es simétrica con respecto al punto más alto como lo sería si la resistencia del aire no existiera. Use la gráfica o lista de valores para calcular: (*b*) el tiempo en que el proyectil alcanza el punto más alto de su trayectoria y las coordenadas de ese punto; (*c*) el tiempo en que aterriza, su alcance, y su velocidad justo antes de aterrizar. (*d*) Compare estas cantidades con los valores que tendría si no hubiese una resistencia del aire. ¿Cómo influye la resistencia del aire en la altura del punto más alto? ¿Cómo influye en el alcance? Cómo influye en la velocidad del momento del impacto?

71. La resistencia del aire puede influir significativamente en el ángulo de disparo para el cual un proyectil tenga el alcance máximo. Para ver esta influencia considere un proyectil de 2.5 kg disparado desde el suelo con una velocidad inicial de 150 m/s y suponga que la fuerza del aire está dada por $\mathbf{F}_D = -0.30\mathbf{v}$, donde $\mathbf{F}_D$ está en newton y $\mathbf{v}$ está en m/s. Para cada uno de los ángulos de disparo 25°, 30°, 35°, y 40°, integre numéricamente la segunda ley de Newton con un intervalo de integración de 0.001 s. Muestre los resultados para cada 0.5 s desde $t = 0$ (el momento del disparo) hasta $t = 25$ s. Véanse los proyectos de computación anteriores. Use los resultados para calcular el alcance. ¿Para cuál de estos ángulos de disparo es más grande el alcance?

72. La velocidad de un proyectil sujeto a la resistencia del aire se acerca a su velocidad terminal. Suponga que la fuerza neta está dada por $-mg\mathbf{j}-b\mathbf{v}$, donde b es el coeficiente de arrastre y se elige que el eje y sea positivo en dirección hacia arriba. A la velocidad terminal $\mathbf{v}_T$ la fuerza neta se anula, de modo que $\mathbf{v}_T = -(mg/b)\mathbf{j}$. Nótese que no tiene una componente horizontal. El proyectil cae finalmente directo hacia abajo.

Para "observar" a un proyectil que se acerca a su velocidad terminal puede usarse un programa de computadora o una hoja de cálculo. Considere un proyectil de 2.5 kg disparado a una velocidad inicial de 150 m/s, a un ángulo de 40° sobre la horizontal. Sea $b = 0.50$ kg/s el coeficiente de arrastre. Integre numéricamente la segunda ley de Newton y muestre los resultados para cada 0.5 s desde $t = 0$ (el momento del disparo) hasta el tiempo en que la componente y de la velocidad sea un 90% de v_T. Trace $v_x(t)$ y $v_y(t)$ en la misma gráfica. Nótese que v_x tiende a 0 cuando v_y se aproxima a v_T.

73. Cuando el efecto del aire sobre un proyectil se toma en cuenta, las coordenadas están dadas por

$$x(t) = (v_{0x}/b)(1 - e^{-bt})$$
$$y(t) = (1/b^2)(g + bv_{0y})(1 - e^{-bt}) - (g/b)t,$$

donde se elige que la dirección de y positiva sea hacia arriba y el origen sea el punto de disparo. El coeficiente de arrastre b nos habla de la fuerza de interacción entre el aire y el proyectil. Diferencie las expresiones de las coordenadas para demostrar que las componentes de la velocidad están dadas por $v_x = v_{0x}e^{-bt}$ y $v_y = (1/b)(g + bv_{0y})e^{-bt} - g/b$ y que las componentes de la aceleración están dadas por $a_x = -bv_{0x}e^{-bt}$ y $a_y = -(g + bv_{0y})e^{-bt}$. Escriba un programa de computación o una hoja de cálculo para calcular las coordenadas, las componentes de la velocidad, y las componentes de la aceleración al final de cada intervalo de tiempo de duración Δt desde el tiempo t_1 hasta el tiempo t_2.

Use ahora el programa para investigar la influencia del aire sobre un proyectil disparado desde el suelo con una velocidad inicial de 50 m/s, y un ángulo de elevación de 25° sobre la horizontal. (*a*) Sea $b = 0.10\ \text{s}^{-1}$ y use el programa para hallar las coordenadas del punto más elevado, la velocidad, y la aceleración cuando el proyectil está allí. Comience usando el programa para evaluar las coordenadas, la velocidad, y la aceleración al final de cada 0.1 s desde $t = 0$ hasta $t = 4.5$ s. Para obtener una precisión de 2 cifras significativas puede hacerse más corto el intervalo en las series posteriores. Una vez que se haya obtenido una respuesta nótese que el punto más elevado se alcanza en menos tiempo que en ausencia de resistencia del aire, que el punto más elevado es más bajo y más cercano al punto de disparo, y que la velocidad es menor. (*b*) Para ver si la tendencia continúa, repita el cálculo con $b = 0.20\ \text{s}^{-1}$. (*c*) ¿Cómo es afectado por el aire el alcance del proyectil? Sea $b = 0.10\ \text{s}^{-1}$ y use el programa para hallar el alcance (el valor de x cuando $y = 0$). Repita con $b = 0.20\ \text{s}^{-1}$. (*d*) ¿Cómo afecta el aire a la velocidad, justo antes del aterrizaje? Use el programa con $b = 0.10\ \text{s}^{-1}$, luego con $0.20\ \text{s}^{-1}$. Recuérdese que, en ausencia de arrastre, cada componente de la velocidad tiene el mismo valor que en el momento del disparo. (*e*) Nótese que las ecuaciones predicen que $a_x = -bv_x$ y $a_y = -g-bv_y$. Use estas relaciones para explicar por qué $a_y = -g$ en el punto más elevado; por qué a_x no es cero en ningún momento, y por qué a_y disminuye de magnitud, justo antes del aterrizaje, si b aumenta.