A medida que un esquiador se desliza por una colina, el sistema esquiador–nieve–Tierra experimenta cambios en energía cinética, en relación con la rapidez del esquiador; la energía potencial, en proporción con la altitud del esquiador; y la energía interna, en relación con la temperatura de los esquíes, la nieve y el aire. Si la energía total de este sistema se evaluara en varios instantes durante este proceso, el resultado sería el mismo en todo momento. Una aplicación del *principio de conservación de la energía*, a analizar en este capítulo, es que la energía total de un sistema aislado permanece constante. (© aaleksander/ Shutterstock)

8 Conservación de energía

En el capítulo 7 se presentaron tres métodos para almacenar energía en un sistema: energía cinética, asociada con el movimiento de los integrantes del sistema; energía potencial, determinada por la configuración del sistema y energía interna, que se relaciona con la temperatura del sistema.

Ahora se considera el análisis de situaciones físicas aplicando la aproximación de energía para dos tipos de sistemas: sistemas *no aislados* y *aislados*. Para sistemas no aislados se investigarán formas en que la energía cruza la frontera del sistema, lo que resulta en un cambio en la energía total del sistema. Este análisis conduce a un principio muy importante llamado *conservación de energía*. El principio de conservación de la energía se extiende más allá de la física y se aplica a organismos biológicos, sistemas tecnológicos y situaciones de ingeniería.

En los sistemas aislados la energía no cruza la frontera del sistema. Para dichos sistemas, la energía total del sistema es constante. Si dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, se aplica la *conservación de energía mecánica* para resolver varios problemas.

Las situaciones que suponen la transformación de energía mecánica en energía interna debido a fuerzas no conservativas requieren un manejo especial. Se investigan los procedimientos para estos tipos de problemas.

Por último, se reconoce que la energía puede cruzar las fronteras de un sistema en diferentes cantidades. La rapidez de transferencia de energía se describe con la cantidad *potencia*.

8.1 El sistema no aislado: conservación de energía

Como se ha visto, un objeto que se representa como partícula pueden actuar fuerzas diferentes, resultando un cambio en su energía cinética. Esta situación muy simple es el primer ejemplo del modelo de un **sistema no aislado**, en él la energía cruza la frontera del sistema durante cierto intervalo de tiempo debido a una interacción con el medio ambiente. Este escenario es común en problemas de física. Si un sistema no interactúa con su medio ambiente, es un sistema aislado, que se estudiará en la sección 8.2.

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 8.1

El calor no es una forma de energía

Por lo general la palabra *calor* se usa mal. El calor es un método de *transferencia* de energía, *no* una forma de almacenamiento de energía. En consecuencia, frases tales como "contenido de calor", "el calor del verano" y "el calor que escapó" representan usos de esta palabra que son inconsistentes con la definición física. Véase el capítulo 20.

El teorema trabajo–energía cinética del capítulo 7 es el primer ejemplo de una ecuación de energía adecuada para un sistema no aislado. En el caso de dicho teorema, la interacción del sistema con su entorno es el trabajo invertido por la fuerza externa, y la cantidad que cambia en el sistema es la energía cinética.

Hasta el momento sólo se ha visto una forma de transferir energía a un sistema: trabajo. Enseguida se mencionan otras formas de transferencia de energía hacia o desde un sistema. Los detalles de estos procesos se estudiarán en otras secciones del libro. En la figura 8.1 se ilustran mecanismos para transferir energía y se resumen del modo siguiente.

El **trabajo**, como aprendió en el capítulo 7, es un método para transferir energía hacia un sistema mediante la aplicación de una fuerza al sistema y causar un desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza (figura 8.1a).

Las **ondas mecánicas** (capítulos 16–18) son un medio de transferencia de energía al facilitar que una perturbación se propague a través del aire u otro medio. Es el método mediante el que la energía (que usted detecta como sonido) deja su radio reloj a través de la bocina y entra a sus oídos para estimular el proceso de audición (figura 8.1b). Otros ejemplos de ondas mecánicas son las ondas sísmicas y las ondas oceánicas.

El **calor** (capítulo 20) es un mecanismo de transferencia de energía que se activa mediante una diferencia de temperatura entre dos regiones del espacio. Por ejemplo, el mango de una cuchara dentro de una taza con café se calienta porque los electrones y átomos en movimiento constante en la parte sumergida de la cuchara chocan con los más lentos en la parte cercana del mango (figura 8.1c). Dichas partículas se mueven más rápido debido a las colisiones y chocan con el siguiente grupo de partículas lentas. Por lo tanto, la energía interna del mango de la cuchara se eleva a causa de la transferencia de energía debida a este proceso de colisión.

La **transferencia de materia** (capítulo 20) involucra situaciones en las cuales la materia cruza físicamente la frontera de un sistema, transportando energía. Los ejemplos inclu-

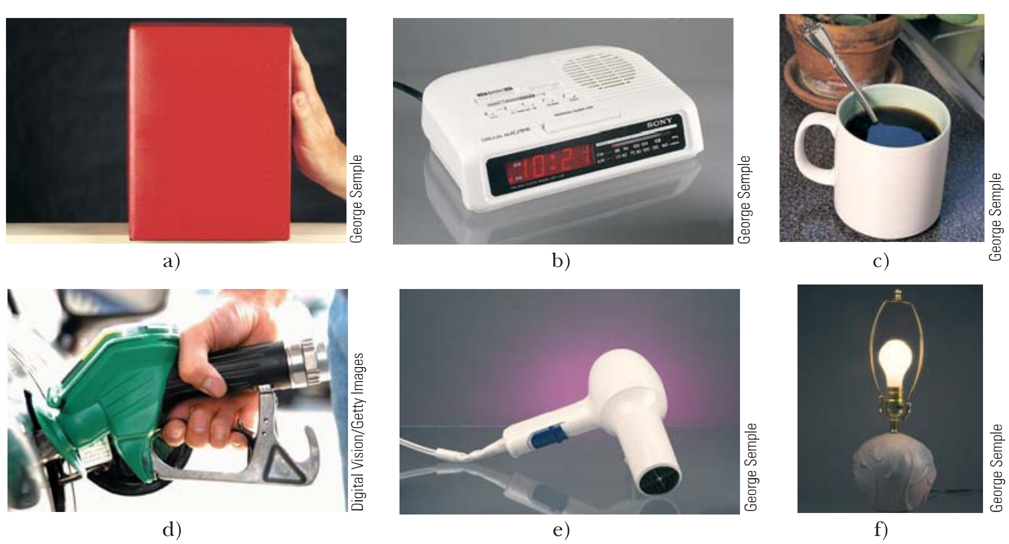


Figura 8.1 Mecanismos de transferencia de energía. a) La energía se transfiere hacia el bloque mediante *trabajo*; b) la energía deja el radio desde la bocina mediante *ondas mecánicas*; c) la energía se transfiere hacia el mango de la cuchara mediante *calor*; d) la energía entra al tanque de gasolina del automóvil mediante *transferencia de materia*; e) la energía entra a la secadora mediante *transmisión eléctrica*; y f) la energía sale del foco mediante *radiación electromagnética*.

yen llenar el tanque de su automóvil con gasolina (figura 8.1d) y transportar energía a las habitaciones de su hogar mediante circulación de aire caliente del horno, un proceso llamado *convección*.

La **transmisión eléctrica** (capítulos 27 y 28) es la transferencia de energía mediante corrientes eléctricas. Es como se transfiere energía en su secadora de pelo (figura 8.1e), sistema de sonido o cualquier otro dispositivo eléctrico.

La **radiación electromagnética** (capítulo 34) se refiere a las ondas electromagnéticas como la luz, microondas y ondas de radio (figura 8.1f). Los ejemplos de este método de transferencia incluyen cocinar una papa en su horno de microondas y la energía luminosa que viaja del Sol hacia la Tierra a través del espacio.[1]

Una característica central de la aproximación de energía es la noción de que no se puede crear ni destruir energía, la energía siempre *se conserva*. Esta característica se ha comprobado en incontables experimentos, y ningún experimento ha demostrado jamás que este enunciado sea incorrecto. Debido a eso, **si la cantidad total de energía en un sistema cambia, sólo es porque la energía cruzó la frontera del sistema mediante un mecanismo de transferencia, como alguno de los métodos mencionados anteriormente**. Este enunciado general del principio de **conservación de la energía** se describe matemáticamente como la **ecuación de conservación de energía** del modo siguiente:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \sum T \qquad \textbf{(8.1)}$$

◀ Conservación de energía

donde E_{sistema} es la energía total del sistema, incluidos todos los métodos de almacenamiento de energía (cinética, potencial e interna) y T (por *transferencia*) es la cantidad de energía transferida a través de la frontera del sistema mediante algún mecanismo. Dos de los mecanismos de transferencia tienen notaciones simbólicas bien establecidas. Para trabajo, $T_{\text{trabajo}} = W$, como se discutió en el capítulo 7, y para calor, $T_{\text{calor}} = Q$, como se define en el capítulo 20. Los otros cuatro integrantes de la lista no tienen símbolos establecidos, así que se les llamará T_{OM} (ondas mecánicas), T_{TM} (transferencia de materia), T_{TE} (transmisión eléctrica) y T_{RE} (radiación electromagnética).

La expansión completa de la ecuación 8.1 es

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{\text{OM}} + T_{\text{TM}} + T_{\text{TE}} + T_{\text{RE}} \qquad \textbf{(8.2)}$$

que es la representación matemática básica de la versión energética del **modelo de sistema no aislado**. (En capítulos posteriores se verán otras versiones, incluida la cantidad de movimiento lineal y la cantidad de movimiento angular.) En la mayoría de los casos, la ecuación 8.2 se reduce a una mucho más simple, porque algunos de los términos son cero. Si, para un sistema conocido, todos los términos en el lado derecho de la ecuación de conservación de energía son cero, el sistema es un *sistema aislado*, que se estudia en la siguiente sección.

En teoría la ecuación de conservación de energía no es más complicada que llevar cuentas sanas en su chequera. Si su cuenta es el sistema, el cambio en el saldo para un mes determinado es la suma de todas las transferencias: depósitos, retiros, comisiones, intereses y cheques expedidos. ¡Puede resultarle útil pensar en la energía como la *moneda de la naturaleza*!

Suponga que se aplica una fuerza a un sistema no aislado y el punto de aplicación de la fuerza se mueve a través de un desplazamiento. Por lo tanto suponga que el único efecto sobre el sistema es cambiar su rapidez. En este caso, el único mecanismo de transferencia es el trabajo (de modo que el lado derecho de la ecuación 8.2 se reduce sólo a W) y la única clase de energía en el sistema que cambia es la energía cinética (de modo que $\Delta E_{\text{sistema}}$ se reduce sólo a ΔK). Por consiguiente la ecuación 8.2 se convierte en

$$\Delta K = W$$

que es el teorema trabajo–energía cinética. Este teorema es un caso especial del principio más general de conservación de energía. Se verán varios casos especiales en capítulos futuros.

[1] La radiación electromagnética y el trabajo invertido por las fuerzas de campo son los únicos mecanismos de transferencia de energía que no requieren de moléculas del medio ambiente disponibles en la frontera del sistema. Debido a eso, los sistemas rodeados por un vacío (como los planetas) sólo intercambian energía con el medio ambiente mediante estas dos posibilidades.

Pregunta rápida 8.1 ¿Mediante qué mecanismos de transferencia la energía entra y sale de a) su televisor? b) ¿Su podadora a gasolina? c) ¿Su sacapuntas manual?

Pregunta rápida 8.2 Considere un bloque que se desliza sobre una superficie horizontal con fricción. Ignore cualquier sonido que pueda producir el deslizamiento. **i)** Si el sistema es el *bloque*, este sistema es a) aislado, b) no aislado, c) imposible de determinar. **ii)** Si el sistema es la *superficie*, describa el sistema a partir del mismo conjunto de opciones. **iii)** Si el sistema es el *bloque y la superficie*, describa el sistema a partir del mismo conjunto de opciones.

8.2 El sistema aislado

En esta sección se estudia otro escenario muy común en problemas físicos: un **sistema aislado**, en él la energía no cruza la frontera del sistema por ningún método. En primer término se considera una situación gravitacional. Piense en el sistema libro–Tierra de la figura 7.15 en el capítulo anterior. Después de levantar el libro, existe energía potencial gravitacional almacenada en el sistema, que se calcula a partir del trabajo invertido por el agente externo en el sistema, con $W = \Delta U_g$.

Ahora ponga su atención al trabajo invertido solo por la fuerza gravitacional en el libro (figura 8.2) a medida que el libro cae de regreso a su altura original. Mientras el libro cae de y_i a y_f, el trabajo invertido por la fuerza gravitacional en el libro es

$$W_{\text{sobre el libro}} = (m\vec{\mathbf{g}}) \cdot \Delta\vec{\mathbf{r}} = (-mg\hat{\mathbf{j}}) \cdot [(y_f - y_i)\hat{\mathbf{j}}] = mgy_i - mgy_f \qquad \textbf{(8.3)}$$

A partir del teorema trabajo–energía cinética del capítulo 7, el trabajo invertido en el libro es igual al cambio en la energía cinética del libro:

$$W_{\text{sobre el libro}} = \Delta K_{\text{libro}}$$

Se pueden igualar estas dos expresiones para el trabajo invertido en el libro:

$$\Delta K_{\text{libro}} = mgy_i - mgy_f \qquad \textbf{(8.4)}$$

Ahora relacione cada lado de esta ecuación con el *sistema* del libro y la Tierra. Para el lado derecho,

$$mgy_i - mgy_f = -(mgy_f - mgy_i) = -\Delta U_g$$

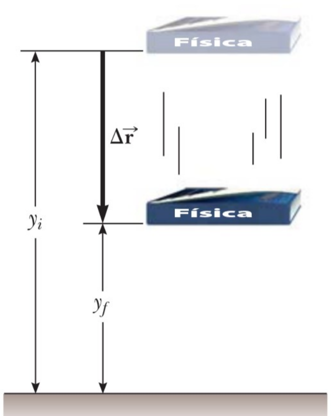


Figura 8.2 El trabajo invertido por la fuerza gravitacional en el libro a medida que el libro cae de y_i a una altura y_f es igual a $mgy_i - mgy_f$.

donde $U_g = mgy$ es la energía potencial gravitacional del sistema. Para el lado izquierdo de la ecuación 8.4, ya que el libro es la única parte del sistema que es móvil, se ve que $\Delta K_{\text{libro}} = \Delta K$, donde K es la energía cinética del sistema. Por lo tanto, con cada lado de la ecuación 8.4 sustituido con su equivalente de sistema, la ecuación se convierte en

$$\Delta K = -\Delta U_g \qquad \textbf{(8.5)}$$

Esta ecuación se manipula para proporcionar un resultado general muy importante para resolver problemas. Primero, el cambio en energía potencial se mueve al lado izquierdo de la ecuación:

$$\Delta K + \Delta U_g = 0$$

El lado izquierdo representa una suma de cambios de la energía almacenada en el sistema. El lado derecho es cero porque no hay transferencias de energía a través de la frontera del sistema; el sistema libro–Tierra está *aislado* del medio ambiente. Esta ecuación se desarrolló para un sistema gravitacional, pero se demuestra su validez para un sistema con cualquier tipo de energía potencial. En consecuencia, para un sistema aislado,

$$\Delta K + \Delta U = 0 \qquad \textbf{(8.6)}$$

En el capítulo 7 se definió la suma de las energías cinética y potencial de un sistema como su energía mecánica:

$$E_{\text{mec}} \equiv K + U \tag{8.7}$$

◀ Energía mecánica de un sistema

donde U representa el total de *todos* los tipos de energía potencial. Ya que el sistema bajo consideración está aislado, las ecuaciones 8.6 y 8.7 dicen que la energía mecánica del sistema se conserva:

$$\Delta E_{\text{mec}} = 0 \tag{8.8}$$

◀ La energía mecánica de un sistema aislado sin fuerzas no conservativas en actuación se conserva

La ecuación 8.8 es un enunciado de la **conservación de energía mecánica** para un sistema aislado sin fuerzas no conservativas en actuación. La energía mecánica en tal sistema se conserva: la suma de las energías cinética y potencial permanece constante.

Si hay fuerzas no conservativas actuando dentro del sistema, la energía mecánica se transforma en energía interna como se discutió en la sección 7.7. Si fuerzas no conservativas actúan en un sistema aislado, la energía total del sistema se conserva aunque no la energía mecánica. En este caso, la conservación de energía del sistema se expresa como

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 0 \tag{8.9}$$

◀ La energía total de un sistema aislado se conserva

donde E_{sistema} incluye todas las energías cinética, potencial e interna. Esta ecuación es el enunciado más general del **modelo de sistema aislado**.

Ahora escriba explícitamente los cambios en energía en la ecuación 8.6:

$$(K_f - K_i) + (U_f - U_i) = 0$$

$$K_f + U_f = K_i + U_i \tag{8.10}$$

Para la situación gravitacional del libro que cae, la ecuación 8.10 se reescribe como

$$\tfrac{1}{2}mv_f^2 + mgy_f = \tfrac{1}{2}mv_i^2 + mgy_i$$

Mientras el libro cae hacia la Tierra, el sistema libro–Tierra pierde energía potencial y gana energía cinética tal que el total de las dos clases de energía siempre permanece constante.

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 8.2

Condiciones para la ecuación 8.10

La ecuación 8.10 sólo es verdadera para un sistema en el que actúan fuerzas conservativas. Se verá cómo manipular fuerzas no conservativas en las secciones 8.3 y 8.4.

Pregunta rápida 8.3 Una roca de masa m se deja caer hacia el suelo desde una altura h. Una segunda roca, con masa $2m$, se deja caer desde la misma altura. Cuando la segunda roca golpea el suelo, ¿cuál es su energía cinética? a) el doble de la primera roca, b) cuatro veces la de la primera roca, c) la misma que en la primera roca, d) la mitad de la primera roca e) imposible de determinar.

Pregunta rápida 8.4 Tres bolas idénticas se lanzan desde lo alto de un edificio, todas con la misma rapidez inicial. Como se muestra en la figura 8.3, la primera se lanza horizontalmente, la segunda a cierto ángulo sobre la horizontal y la tercera a cierto ángulo bajo la horizontal. Desprecie la resistencia del aire y clasifique las magnitudes de velocidad de las bolas en el instante en que cada una golpea el suelo.

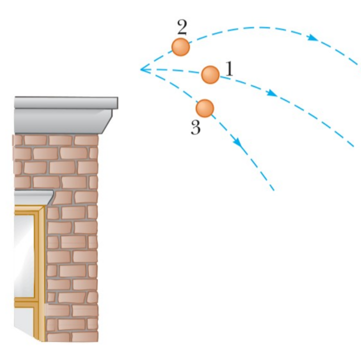


Figura 8.3 (Pregunta rápida 8.4) Tres bolas idénticas se lanzan con la misma rapidez inicial desde lo alto de un edificio.

ESTRATEGIA PARA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Sistemas aislados sin fuerzas no conservativas: conservación de energía mecánica

Muchos problemas en física se resuelven con el principio de conservación de la energía para un sistema aislado. El siguiente procedimiento se debe usar cuando aplique este principio:

1. *Conceptualizar.* Estudie cuidadosamente la situación física y forme una representación mental de lo que ocurre. A medida que se vuelva más hábil al trabajar problemas de energía, comenzará a sentirse cómodo al imaginar las clases de energía que cambian en el sistema.

2. *Categorizar.* Defina su sistema, quizá consista en más de un objeto y puede o no incluir resortes u otras posibilidades para almacenar energía potencial. Determine si se presenta alguna transferencia de energía a través de la frontera de su sistema. Si es así, aplique el modelo de sistema no aislado, $\Delta E_{\text{sistema}} = \Sigma\, T$, de la sección 8.1. Si no, aplique el modelo de sistema aislado, $\Delta E_{\text{sistema}} = 0$.

   Determine si dentro del sistema hay presentes fuerzas no conservativas. Si es así, use las técnicas de las secciones 8.3 y 8.4. Si no, aplique más adelante el principio de conservación de energía mecánica que se reseña.

3. *Analizar.* Elija configuraciones para representar las condiciones inicial y final del sistema. Para cada objeto que cambie elevación, seleccione una posición de referencia para el objeto que defina la configuración cero de energía potencial gravitacional para el sistema. Para un objeto en un resorte, la configuración cero para energía potencial elástica es cuando el objeto está en su posición de equilibrio. Si existe más de una fuerza conservativa, escriba una expresión para la energía potencial asociada con cada fuerza.

   Escriba la energía mecánica inicial total E_i del sistema para alguna configuración como la suma de las energías cinética y potencial asociadas con la configuración. Después escriba una expresión similar para la energía mecánica total E_f del sistema para la configuración final que es de interés. Ya que la energía mecánica se *conserva*, iguale las dos energías totales y resuelva para la cantidad que se desconoce.

4. *Finalizar.* Asegúrese de que sus resultados sean consistentes con su representación mental. También cerciórese de que los valores de sus resultados son razonables y consistentes con experiencias cotidianas.

EJEMPLO 8.1 Bola en caída libre

Una bola de masa m se deja caer desde una altura h sobre el suelo, como se muestra en la figura 8.4.

A) Ignore la resistencia del aire y determine la rapidez de la bola cuando está a una altura y sobre el suelo.

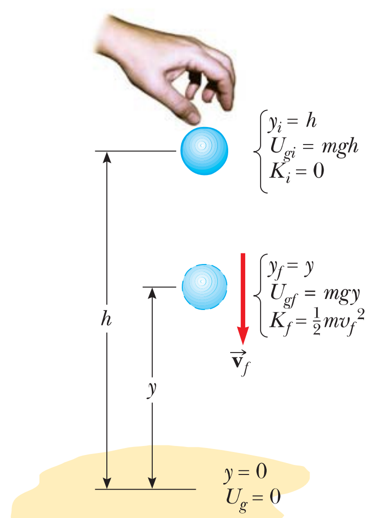


Figura 8.4 (Ejemplo 8.1) Una bola se deja caer desde una altura h sobre el suelo. Al inicio, la energía total del sistema bola–Tierra es energía potencial gravitacional, igual a mgh en relación con el suelo. En la elevación y, la energía total es la suma de las energías cinética y potencial.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La figura 8.4 y la experiencia cotidiana con objetos que caen permiten formar ideas de la situación. Aunque este problema se resuelve fácilmente con las técnicas del capítulo 2, practique la aproximación de energía.

Categorizar El sistema se identifica como la bola y la Tierra. Ya que no hay ni resistencia del aire ni alguna otra interacción entre el sistema y el medio ambiente, el sistema es aislado. La única fuerza entre los integrantes del sistema es la fuerza gravitacional, que es conservativa.

Analizar Ya que el sistema es aislado y no existen fuerzas no conservativas actuando dentro del sistema, se aplica el principio de conservación de energía mecánica al sistema bola–Tierra. En el instante cuando la bola se libera, su energía cinética es $K_i = 0$ y la energía potencial gravitacional del sistema es $U_{gi} = mgh$. Cuando la bola está a una distancia y sobre el suelo, su energía cinética es $K_f = \frac{1}{2}mv_f^2$ y la energía potencial en relación con el suelo es $U_{gf} = mgy$.

Aplique la ecuación 8.10:

$$K_f + U_{gf} = K_i + U_{gi}$$

$$\tfrac{1}{2}mv_f^2 + mgy = 0 + mgh$$

Resuelva para v_f: $$v_f^2 = 2g(h - y) \quad \rightarrow \quad v_f = \sqrt{2g(h - y)}$$

La rapidez siempre es positiva. Si se le pidió hallar la velocidad de la bola, usará el valor negativo de la raíz cuadrada como la componente y para indicar el movimiento hacia abajo.

B) Determine la rapidez de la bola en y si en el instante de liberación ya tiene una rapidez inicial hacia arriba v_i en la altitud inicial h.

SOLUCIÓN

Analizar En este caso, la energía inicial incluye energía cinética igual a $\frac{1}{2}mv_i^2$.

Aplique la ecuación 8.10: $$\tfrac{1}{2}mv_f^2 + mgy = \tfrac{1}{2}mv_i^2 + mgh$$

Resuelva para v_f: $$v_f^2 = v_i^2 + 2g(h - y) \quad \rightarrow \quad v_f = \sqrt{v_i^2 + 2g(h - y)}$$

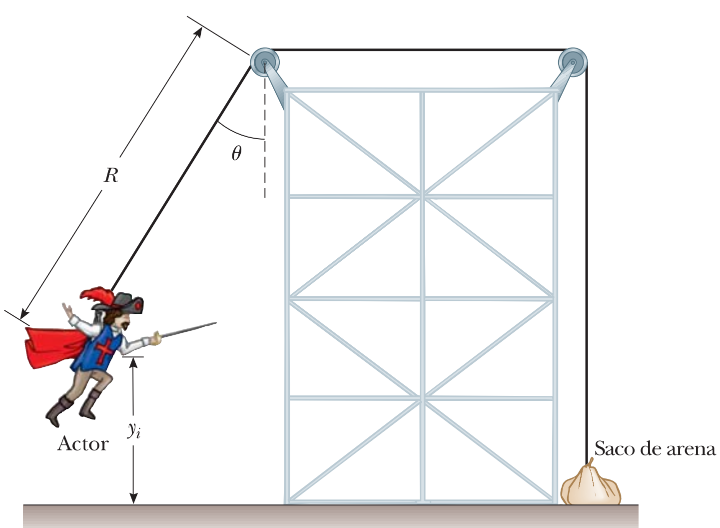
Finalizar Este resultado para la rapidez inicial es consistente con la expresión $v_{yf}^2 = v_{yi}^2 - 2g(y_f - y_i)$ de cinemática, donde $y_i = h$. Además, este resultado es válido incluso si la velocidad inicial está en un ángulo con la horizontal (pregunta rápida 8.4) por dos argumentos: 1) la energía cinética, un escalar, sólo depende de la magnitud de la velocidad; y 2) el cambio en la energía potencial gravitacional del sistema sólo depende del cambio en la posición de la bola en la dirección vertical.

¿Qué pasaría si? ¿Y si la velocidad inicial $\vec{\mathbf{v}}_i$ en inciso B) fuese hacia abajo? ¿Cómo afectaría esto a la rapidez de la bola en la posición y?

Respuesta Puede afirmar que lanzar la bola hacia abajo resultaría en una mayor rapidez en y que si la lanza hacia arriba. Sin embargo, la conservación de la energía mecánica depende de las energías cinética y potencial, que son escalares. En consecuencia, la dirección del vector velocidad inicial no tiene conexión con la rapidez final.

EJEMPLO 8.2 Una gran entrada

Se le pide diseñar un aparato para sostener a un actor de 65 kg de masa que "volará" hacia el escenario durante la representación de una obra. Usted sujeta el arnés del actor a un saco de arena de 130 kg mediante un cable de acero ligero que corre de manera uniforme en dos poleas sin fricción, como en la figura 8.5a. Necesita 3.0 m de cable entre el arnés y la polea más cercana, de modo que quede oculta detrás de una cortina. Para que el aparato funcione, el saco de arena nunca debe levantarse arriba del suelo mientras el actor se balancea desde arriba del escenario hacia el suelo. Llame θ al ángulo inicial que el cable del actor forma con la vertical. ¿Cuál es el valor máximo θ que tiene antes de que el saco de arena se levante del suelo?



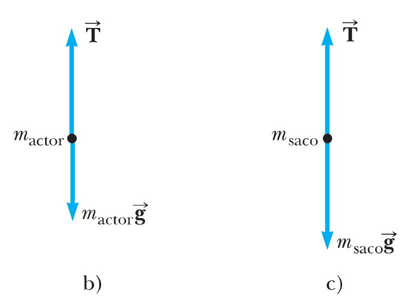


Figura 8.5 (Ejemplo 8.2) a) Un actor usa una armazón para hacer su entrada. b) Diagrama de cuerpo libre para el actor en el fondo de la trayectoria circular. c) Diagrama de cuerpo libre para el saco de arena si la fuerza normal desde el suelo tiende a cero.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Se deben usar muchos conceptos para resolver este problema. Piense lo que sucede conforme el actor se aproxima a la parte baja del balanceo. En la parte baja, el cable es vertical y debe soportar su peso, así como proporcionar aceleración centrípeta de su cuerpo en la dirección hacia arriba. En este punto, la tensión en el cable es la más alta y el saco de arena tiene más probabilidades de levantarse del suelo.

Categorizar Primero, al observar el balanceo del actor desde el punto inicial hasta el punto más bajo, se modela al actor y a la Tierra como un sistema aislado. Se ignora la resistencia del aire, de modo que no hay fuerzas no conservativas en acción. En principio debe estar tentado a modelar el sistema como no aislado, debido a la interacción del sistema con el cable, que está en el entorno. Sin embargo, la fuerza aplicada al actor por el cable siempre es perpendicular a cada elemento del desplazamiento del actor y por tanto no realiza trabajo. En consecuencia, en términos de transferencias de energía a través de la frontera, el sistema está aislado.

Analizar Se aplica el principio de conservación de energía mecánica para el sistema con el fin de encontrar la rapidez del actor a medida que llega al suelo como función del ángulo inicial θ y el radio R de la trayectoria circular que recorre.

Aplique conservación de energía mecánica al sistema actor–Tierra:

$$K_f + U_f = K_i + U_i$$

Sea y_i la altura inicial del actor sobre el suelo y v_f su rapidez en el instante antes de aterrizar. (Observe que $K_i = 0$ porque el actor parte del reposo y que $U_f = 0$ porque la configuración del actor en el suelo se define con energía potencial gravitacional cero.)

$$1)\quad \tfrac{1}{2}m_{\text{actor}}\, v_f^2 + 0 = 0 + m_{\text{actor}}\, g y_i$$

De la geometría en la figura 8.5a, observe que $y_f = 0$, de modo que $y_i = R - R\cos\theta = R(1 - \cos\theta)$. Aplique esta correspondencia en la ecuación 1) y resuelva para v_f^2:

$$2)\quad v_f^2 = 2gR(1 - \cos\theta)$$

Categorizar A continuación, concentrese en el instante cuando el actor está en el punto más bajo. Ya que la tensión en el cable se transfiere como una fuerza aplicada al saco de arena, en este instante el actor se modela como una partícula bajo una fuerza neta.

Analizar Aplique la segunda ley de Newton al actor en la parte baja de su trayectoria, con el diagrama de cuerpo libre de la figura 8.5b como guía:

$$\sum F_y = T - m_{\text{actor}}\, g = m_{\text{actor}}\frac{v_f^{\,2}}{R}$$

$$3)\quad T = m_{\text{actor}}\, g + m_{\text{actor}}\frac{v_f^{\,2}}{R}$$

Categorizar Por último, observe que el saco de arena se levanta del suelo cuando la fuerza hacia arriba que el cable ejerce sobre él supera la fuerza gravitacional que también actúa sobre él; la fuerza normal es cero cuando esto ocurre. Sin embargo, *no* se quiere que el saco de arena se levante del suelo. El saco de arena debe permanecer en reposo, así que se le modela como una partícula en equilibrio.

Analizar Una fuerza T de la magnitud dada por la ecuación 3) se transmite mediante el cable al saco de arena. Si el saco de arena permanece en reposo, pero puede levantarse del suelo si el cable aplica un poco más de fuerza, la fuerza normal sobre él se vuelve cero y la segunda ley de Newton con $a = 0$ dice que $T = m_{\text{saco}}g$, como en la figura 8.5c.

Use esta condición, junto con las ecuaciones 2) y 3):

$$m_{\text{saco}}g = m_{\text{actor}}g + m_{\text{actor}}\frac{2gR(1 - \cos\theta)}{R}$$

Resuelva para $\cos\theta$ y sustituya los parámetros que se proporcionan:

$$\cos\theta = \frac{3m_{\text{actor}} - m_{\text{saco}}}{2m_{\text{actor}}} = \frac{3(65\text{ kg}) - 130\text{ kg}}{2(65\text{ kg})} = 0.50$$

$$\theta = \boxed{60°}$$

Finalizar En este caso se combinaron técnicas de diferentes áreas de estudio, energía y segunda ley de Newton. Además, observe que la longitud R del cable desde el arnés del actor hasta la polea de la izquierda no aparece en la ecuación algebraica final. Por tanto, la respuesta final es independiente de R.

EJEMPLO 8.3 El rifle de juguete cargado por resorte

El mecanismo de lanzamiento de un rifle de juguete consiste en un resorte de constante de resorte desconocida (figura 8.6a). Cuando el resorte se comprime 0.120 m, y se dispara verticalmente el rifle, es capaz de lanzar un proyectil de 35.0 g a una altura máxima de 20.0 m arriba de la posición cuando el proyectil deja el resorte.

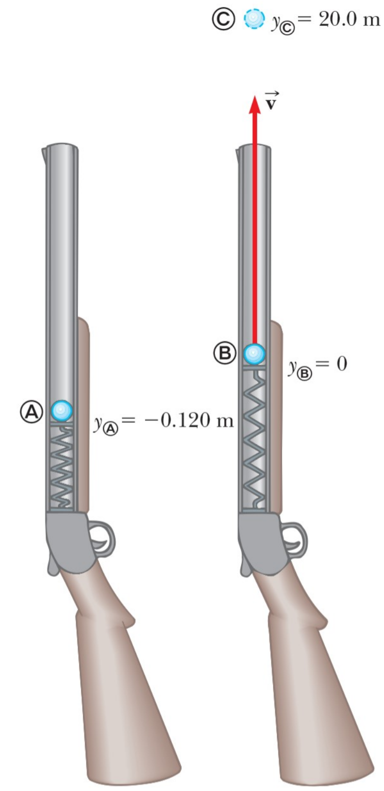


Figura 8.6 (Ejemplo 8.3) Rifle de juguete cargado por resorte a) antes de disparar y b) cuando el resorte se extiende a su longitud relajada.

A) Ignore todas las fuerzas resistivas y determine la constante de resorte.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Piense en el proceso que se ilustra en la figura 8.6. El proyectil parte del reposo, aumenta su velocidad conforme el resorte lo empuja hacia arriba, deja el resorte y después disminuye su velocidad mientras la fuerza gravitacional lo jala hacia abajo.

Categorizar El sistema se identifica como el proyectil, el resorte y la Tierra. Se ignoran la resistencia del aire sobre el proyectil y la fricción en el rifle; de esa manera el sistema se modela como aislado sin fuerzas no conservativas en acción.

Analizar Puesto que el proyectil parte del reposo, su energía cinética inicial es cero. La configuración cero para la energía potencial gravitacional del sistema se elige cuando el proyectil deja el resorte. Para esta configuración, la energía potencial elástica también es cero.

Después de disparar el rifle, el proyectil se eleva a una altura máxima $y_Ⓒ$. La energía cinética final del proyectil es cero.

Escriba una ecuación de conservación de energía mecánica para el sistema, entre los puntos Ⓐ y Ⓒ:

$$K_Ⓒ + U_{gⒸ} + U_{sⒸ} = K_Ⓐ + U_{gⒶ} + U_{sⒶ}$$

Sustituya para cada energía:

$$0 + mgy_Ⓒ + 0 = 0 + mgy_Ⓐ + \tfrac{1}{2}kx^2$$

Resuelva para k:

$$k = \frac{2mg(y_Ⓒ - y_Ⓐ)}{x^2}$$

Sustituya valores numéricos:

$$k = \frac{2(0.035\,0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)[20.0 \text{ m} - (-0.120 \text{ m})]}{(0.120 \text{ m})^2} = \boxed{958 \text{ N/m}}$$

B) Hallar la rapidez del proyectil a medida que se traslada a través de la posición de equilibrio del resorte, como se muestra en la figura 8.6b.

SOLUCIÓN

Analizar La energía del sistema a medida que el proyectil se traslada a través de la posición de equilibrio del resorte, sólo incluye la energía cinética del proyectil $\frac{1}{2}mv_Ⓑ^2$.

Escriba una ecuación de conservación de energía mecánica para el sistema, entre los puntos Ⓐ y Ⓑ:

$$K_Ⓑ + U_{gⒷ} + U_{sⒷ} = K_Ⓐ + U_{gⒶ} + U_{sⒶ}$$

Sustituya para cada energía: $\frac{1}{2}mv_{Ⓑ}^2 + 0 + 0 = 0 + mgy_{Ⓐ} + \frac{1}{2}kx^2$

Resuelva para $v_{Ⓑ}$: $v_{Ⓑ} = \sqrt{\frac{kx^2}{m} + 2gy_{Ⓐ}}$

Sustituya valores numéricos: $v_{Ⓑ} = \sqrt{\frac{(958\ \mathrm{N/m})(0.120\ \mathrm{m})^2}{(0.035\ 0\ \mathrm{kg})} + 2(9.80\ \mathrm{m/s^2})(-0.120\ \mathrm{m})} = 19.8\ \mathrm{m/s}$

Finalizar Este es el primer ejemplo en el que se han incluido dos tipos de energía potencial.

8.3 Situaciones que incluyen fricción cinética

Considere de nuevo el libro de la figura 7.18 que se desliza hacia la derecha sobre la superficie de una mesa pesada y disminuye su velocidad debido a la fuerza de fricción. La fuerza de fricción invierte trabajo porque hay una fuerza y un desplazamiento. Sin embargo, tenga en mente que las ecuaciones para trabajo incluyen el desplazamiento *del punto de aplicación de la fuerza*. En la figura 8.7a se muestra un modelo simple de la fuerza de fricción entre el libro y la superficie. Toda la fuerza de fricción entre el libro y la superficie se representa con dos dientes idénticos que se soldaron puntualmente uno con otro.[2] Un diente se proyecta hacia arriba desde la superficie, el otro hacia abajo desde el libro, y están soldados en los puntos donde se tocan. La fuerza de fricción actúa en la unión de los dos dientes. Piense que el libro se desliza una pequeña distancia d hacia la derecha, como en la figura 8.7b. Ya que los dientes se modelan como idénticos, su unión se mueve hacia la derecha una distancia $d/2$. En consecuencia, el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza de fricción es $d/2$, ¡pero el desplazamiento del libro es d!

En realidad, la fuerza de fricción se dispersa sobre toda el área de contacto de un objeto que se desliza sobre una superficie, de modo que la fuerza no se localiza en un punto. Además, ya que las magnitudes de las fuerzas de fricción en varios puntos cambian constantemente a medida que se presentan los puntos de soldadura individuales, la superficie y el libro se deforman de manera local, y de este modo el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza de fricción no es en absoluto el mismo que el desplazamiento del libro. De hecho, el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza de fricción no es calculable y tampoco lo es el trabajo invertido por la fuerza de fricción.

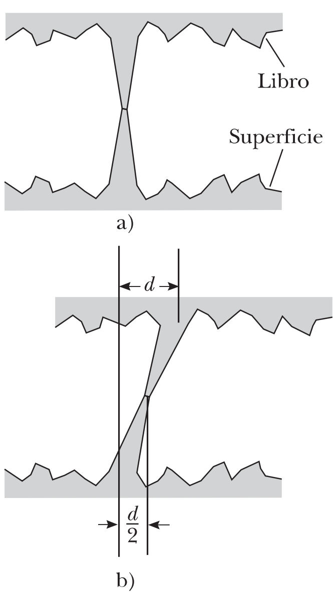


Figura 8.7 a) Un modelo de fricción simplificado entre un libro y una superficie. Toda la fuerza de fricción se modela como aplicada a la interfaz entre dos dientes idénticos que se proyectan del libro y la superficie. b) El libro se mueve hacia la derecha una distancia d. El punto de aplicación de la fuerza de fricción se mueve a través de una desplazamiento de magnitud $d/2$.

El teorema trabajo–energía cinética es válido para una partícula o un objeto que se modela como partícula. No obstante, cuando actúa una fuerza de fricción, no se puede calcular el trabajo invertido por la fricción. Para tales situaciones, la segunda ley de Newton todavía es válida para el sistema aun cuando el teorema trabajo–energía cinética no lo sea. El caso de un objeto no deformable como el libro que se desliza sobre la superficie[3] se puede manejar de una manera relativamente directa.

A partir de una situación en la que fuerzas, incluida la fricción, aplicadas al libro, es posible seguir un procedimiento similar al efectuado en el desarrollo de la ecuación 7.17. Comience por escribir la ecuación 7.8 para todas las fuerzas distintas de la fricción:

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} = \int \left(\sum \vec{\mathbf{F}}_{\text{otras fuerzas}}\right) \cdot d\vec{\mathbf{r}} \qquad (8.11)$$

El $d\vec{\mathbf{r}}$ en esta ecuación es el desplazamiento del objeto porque, para fuerzas distintas de la fricción, bajo la suposición de que dichas fuerzas no deforman el objeto, este desplazamiento es el mismo que el desplazamiento del punto de aplicación de las fuerzas.

[2] La figura 8.7 y su discusión se inspiraron en un artículo clásico acerca de fricción: B.A. Sherwood y W.H. Bernard, "Work and heat transfer in the presence of sliding friction", *American Journal of Physics*, 52 p. 1001, 1984.

[3] La forma global del libro permanece igual, por lo que se dice que es indeformable. Sin embargo, a nivel microscópico, existe deformación de la cara del libro cuando se desliza sobre la superficie.

A cada lado de la ecuación 8.11 se añade la integral del producto escalar de la fuerza de fricción cinética y $d\vec{\mathbf{r}}$:

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} + \int \vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int \left(\sum \vec{\mathbf{F}}_{\text{otras fuerzas}}\right) \cdot d\vec{\mathbf{r}} + \int \vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}}$$

$$= \int \left(\sum \vec{\mathbf{F}}_{\text{otras fuerzas}} + \vec{\mathbf{f}}_k\right) \cdot d\vec{\mathbf{r}}$$

El integrando en el lado derecho de esta ecuación es la fuerza neta $\Sigma\, \vec{\mathbf{F}}$, de modo que

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} + \int \vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int \sum \vec{\mathbf{F}} \cdot d\vec{\mathbf{r}}$$

Al incorporar la segunda ley de Newton $\Sigma\, \vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$ se obtiene

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} + \int \vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int m\vec{\mathbf{a}} \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int m \frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int_{t_i}^{t_f} m \frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} \cdot \vec{\mathbf{v}}\, dt \qquad \textbf{(8.12)}$$

donde se usó la ecuación 4.3 para rescribir $d\vec{\mathbf{r}}$ como $\vec{\mathbf{v}}\, dt$. El producto escalar obedece la regla del producto para la derivación (véase la ecuación B.30 en el apéndice B.6), de modo que la derivada del producto escalar de $\vec{\mathbf{v}}$ consigo misma se puede escribir

$$\frac{d}{dt}(\vec{\mathbf{v}} \cdot \vec{\mathbf{v}}) = \frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} \cdot \vec{\mathbf{v}} + \vec{\mathbf{v}} \cdot \frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} = 2 \frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} \cdot \vec{\mathbf{v}}$$

donde se usó la propiedad conmutativa del producto escalar para justificar la expresión final en esta ecuación. En consecuencia,

$$\frac{d\vec{\mathbf{v}}}{dt} \cdot \vec{\mathbf{v}} = \tfrac{1}{2} \frac{d}{dt}(\vec{\mathbf{v}} \cdot \vec{\mathbf{v}}) = \tfrac{1}{2} \frac{dv^2}{dt}$$

Al sustituir este resultado en la ecuación 8.12 se obtiene

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} + \int \vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}} = \int_{t_i}^{t_f} m\left(\tfrac{1}{2} \frac{dv^2}{dt}\right) dt = \tfrac{1}{2} m \int_{v_i}^{v_f} d(v^2) = \tfrac{1}{2} m v_f^{\,2} - \tfrac{1}{2} m v_i^{\,2} = \Delta K$$

Al observar el lado izquierdo de esta ecuación, observe que, en el marco inercial de la superficie, $\vec{\mathbf{f}}_k$ y $d\vec{\mathbf{r}}$ estarán en direcciones opuestas para cada incremento $d\vec{\mathbf{r}}$ de la trayectoria que sigue el objeto. En consecuencia, $\vec{\mathbf{f}}_k \cdot d\vec{\mathbf{r}} = -f_k\, dr$. Ahora la expresión anterior se convierte en

$$\sum W_{\text{otras fuerzas}} - \int f_k\, dr = \Delta K$$

En el modelo para la fricción, la magnitud de la fuerza de fricción cinética es constante, de modo de f_k se puede sacar de la integral. La integral restante $\int dx$ es simplemente la suma de incrementos de longitud a lo largo de la trayectoria, que es la longitud de trayectoria total d. Por lo tanto,

$$\boxed{\sum W_{\text{otras fuerzas}} - f_k d = \Delta K} \qquad \textbf{(8.13)}$$

o

$$\boxed{K_f = K_i - f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}} \qquad \textbf{(8.14)}$$

La ecuación 8.13 es una forma modificada del teorema trabajo–energía cinética que se aplica cuando una fuerza de fricción actúa sobre un objeto. El cambio en energía cinética es igual al trabajo invertido por todas las fuerzas distintas de la fricción menos un término $f_k d$ asociado con la fuerza de fricción.

Ahora considere el sistema más grande del libro *y* la superficie a medida que el libro frena bajo la influencia de una fuerza de fricción sola. No hay trabajo invertido a través de la frontera de este sistema porque el sistema no interactúa con el medio ambiente. No hay otros tipos de transferencia de energía que ocurran a través de la frontera del sistema, ¡suponiendo que se ignora el inevitable sonido que hace el libro al deslizarse! En este caso, la ecuación 8.2 se convierte en

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

El cambio en energía cinética del sistema libro–superficie es el mismo que el cambio en energía cinética del libro porque el libro es la única parte del sistema que se mueve. Debido a eso, al incorporar la ecuación 8.13 se obtiene

$$-f_k d + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Cambio en la energía interna debida a fricción dentro del sistema ▶

$$\Delta E_{\text{int}} = f_k d \qquad \textbf{(8.15)}$$

Por lo tanto, el aumento de energía interna del sistema es igual al producto de la fuerza de fricción y la longitud de trayectoria en la que se mueve el libro. En resumen, **una fuerza de fricción transforma la energía cinética de un sistema en energía interna, y el aumento en energía interna del sistema es igual a su disminución en energía cinética.**

Pregunta rápida 8.5 Usted viaja a lo largo de una autopista a 65 mi/h. Su automóvil tiene energía cinética. Súbitamente derrapa hasta detenerse debido a un congestionamiento de tránsito. ¿Dónde está la energía cinética que alguna vez tuvo su automóvil? a) Toda está en energía interna en el camino. b) Toda está en energía interna en las llantas. c) Parte de ella se transformó en energía interna y otra parte se transfirió mediante ondas mecánicas. d) Toda se transfirió del automóvil mediante varios mecanismos.

EJEMPLO 8.4 Se jala un bloque sobre una superficie rugosa

Un bloque de 6.0 kg, inicialmente en reposo, se jala hacia la derecha a lo largo de una superficie horizontal mediante una fuerza horizontal constante de 12 N.

A) Encuentre la rapidez del bloque después de que se mueve 3.0 m si las superficies en contacto tienen un coeficiente de fricción cinética de 0.15.

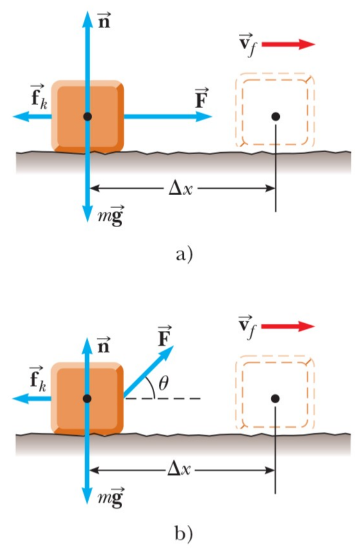


Figura 8.8 (Ejemplo 8.4) a) Se jala un bloque hacia la derecha sobre una superficie rugosa mediante una fuerza horizontal constante. b) La fuerza aplicada está en un ángulo θ con la horizontal.

SOLUCIÓN

Conceptualizar En este caso el ejemplo 7.6 se modifica de tal manera que la superficie ya no es sin fricción. La superficie rugosa aplica una fuerza de fricción sobre el bloque, opuesta a la fuerza aplicada. Como resultado, se espera que la rapidez sea menor que la encontrada en el ejemplo 7.6.

Categorizar El bloque se jala mediante una fuerza y la superficie es rugosa, de modo que el sistema bloque–superficie se representa como no aislado con una fuerza no conservativa en acción.

Analizar La figura 8.8a ilustra esta situación. Ni la fuerza normal ni la fuerza gravitacional realizan trabajo sobre el sistema porque sus puntos de aplicación se desplazan horizontalmente.

Encuentre el trabajo invertido en el sistema por la fuerza aplicada tal como en el ejemplo 7.6:

$$W = F\,\Delta x = (12\text{N})(3.0\text{ m}) = 36\text{ J}$$

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

$$\sum F_y = 0 \;\rightarrow\; n - mg = 0 \;\rightarrow\; n = mg$$

Encuentre la magnitud de la fuerza de fricción:

$$f_k = \mu_k n = \mu_k mg = (0.15)(6.0\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2) = 8.82\text{ N}$$

Hallar la rapidez final del bloque a partir de la ecuación 8.14:

$$\tfrac{1}{2}mv_f^2 = \tfrac{1}{2}mv_i^2 - f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + \frac{2}{m}\left(-f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}\right)}$$

$$= \sqrt{0 + \frac{2}{6.0\text{ kg}}[-(8.82\text{ N})(3.0\text{ m}) + 36\text{ J}]} = \boxed{1.8\text{ m/s}}$$

Finalizar Como se esperaba, este valor es menor que los 3.5 m/s encontrados en el caso del bloque que se desliza sobre una superficie sin fricción (véase el ejemplo 7.6).

B) Suponga que la fuerza $\vec{\mathbf{F}}$ se aplica en un ángulo θ, como se muestra en la figura 8.8b. ¿En qué ángulo se debe aplicar la fuerza para lograr la mayor rapidez posible después de que el bloque se mueve 3.0 m hacia la derecha?

SOLUCIÓN

Conceptualizar Puede suponer que $\theta = 0$ daría la mayor rapidez porque la fuerza tendría la mayor componente posible en la dirección paralela a la superficie. Sin embargo, piense en un ángulo arbitrario distinto de cero. Aunque la componente horizontal de la fuerza se redujera, la componente vertical de la fuerza reduciría la fuerza normal, lo que a su vez reduce la fuerza de fricción, esto sugiere que la rapidez se podría maximizar al jalar en un ángulo distinto de $\theta = 0$.

Categorizar Como en el inciso A), el sistema bloque–superficie se modela como no aislado con una fuerza no conservativa en acción.

Analizar Encuentre el trabajo invertido por la fuerza aplicada, y señalando que $\Delta x = d$ porque la trayectoria seguida por el bloque es una línea recta:

$$W = F\,\Delta x \cos\theta = Fd\cos\theta$$

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

$$\sum F_y = n + F\,\text{sen}\,\theta - mg = 0$$

Resuelva para n:

$$n = mg - F\,\text{sen}\,\theta$$

Aplique la ecuación 8.14 para encontrar la energía cinética final para esta situación:

$$K_f = K_i - f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}$$
$$= 0 - \mu_k n d + Fd\cos\theta = -\mu_k(mg - F\,\text{sen}\,\theta)d + Fd\cos\theta$$

Maximizar la rapidez es equivalente a maximizar la energía cinética final. En consecuencia, derivando K_f respecto de θ e iguale el resultado a cero:

$$\frac{d(K_f)}{d\theta} = -\mu_k(0 - F\cos\theta)d - Fd\,\text{sen}\,\theta = 0$$

$$\mu_k\cos\theta - \text{sen}\,\theta = 0$$

$$\tan\theta = \mu_k$$

Evalúe θ para $\mu_k = 0.15$:

$$\theta = \tan^{-1}(\mu_k) = \tan^{-1}(0.15) = 8.5°$$

Finalizar Note que el ángulo en que la rapidez del bloque es un máximo, de hecho no es $\theta = 0$. Cuando el ángulo supera 8.5°, la componente horizontal de la fuerza aplicada es demasiado pequeña para compensarse mediante la fuerza de fricción reducida y la rapidez del bloque comienza a disminuir de su valor máximo.

EJEMPLO CONCEPTUAL 8.5 **Física útil para conducción segura**

Un automóvil que viaja con una rapidez inicial v se desliza una distancia d hasta detenerse después de aplicar los frenos. Si la rapidez inicial del automóvil es $2v$ en el momento de frenar, estime la distancia que se desliza.

SOLUCIÓN

Se considera que la fuerza de fricción cinética entre el automóvil y la superficie del camino es constante y la misma para ambas magnitudes de velocidad. De acuerdo con la ecuación 8.14, la fuerza de fricción multiplicada por la distancia d es igual a la energía cinética inicial del automóvil (porque $K_f = 0$ y no hay trabajo invertido por otras fuerzas). Si la rapidez se duplica, como lo es en este ejemplo, la energía cinética se cuadruplica. Para una fuerza de fricción determinada, la distancia recorrida es cuatro veces mayor cuando la rapidez inicial se duplica, y por eso la distancia estimada que se desliza el automóvil es $4d$.

EJEMPLO 8.6 Un sistema bloque–resorte

Un bloque de 1.6 kg de masa se une a un resorte horizontal que tiene una constante de fuerza de 1.0×10^3 N/m, como se muestra en la figura 8.9. El resorte se comprime 2.0 cm y después se libera desde el reposo.

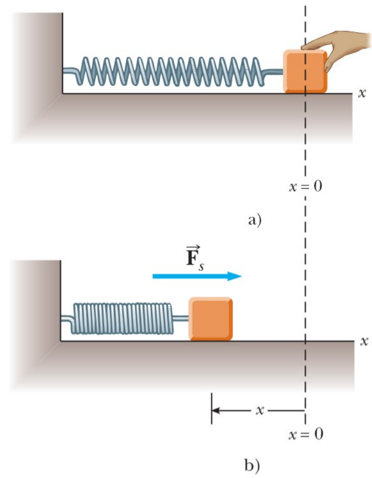


Figura 8.9 (Ejemplo 8.6) a) Un bloque se une a un resorte. El resorte se comprime una distancia x. b) Luego el bloque se libera y el resorte lo empuja hacia la derecha.

A) Calcule la rapidez del bloque mientras pasa a través de la posición de equilibrio $x = 0$ si la superficie no tiene fricción.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Esta situación ya se discutió antes y es fácil visualizar el bloque cuando es empujado hacia la derecha por el resorte y moverse con cierta rapidez.

Categorizar El sistema se identifica como el bloque y se modela como un sistema no aislado.

Analizar En esta situación, el bloque inicia con $v_i = 0$ en $x_i = -2.0$ cm y se quiere encontrar v_f en $x_f = 0$.

Aplique la ecuación 7.11 para encontrar el trabajo invertido por el resorte con $x_{\text{máx}} = x_i = -2.0 \text{ cm} = -2.0 \times 10^{-2}$ m:

$$W_s = \tfrac{1}{2}kx_{\text{máx}}^2 = \tfrac{1}{2}(1.0 \times 10^3 \text{ N/m})(-2.0 \times 10^{-2}\text{ m})^2 = 0.20 \text{ J}$$

En el bloque se consume trabajo y su rapidez cambia. La ecuación de conservación de energía, ecuación 8.2, se reduce al teorema trabajo–energía cinética. Aplique dicho teorema para encontrar la rapidez en $x = 0$:

$$W_s = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_i^2$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + \frac{2}{m}W_s}$$

$$= \sqrt{0 + \frac{2}{1.6 \text{ kg}}(0.20 \text{ J})} = \boxed{0.50 \text{ m/s}}$$

Finalizar Aunque este problema se pudo haber resuelto en el capítulo 7, aquí se presenta para proporcionar contraste con el siguiente inciso B), que requiere las técnicas de este capítulo.

B) Calcule la rapidez del bloque mientras pasa por la posición de equilibrio si una fuerza de fricción constante de 4.0 N retarda su movimiento desde el momento en que se libera.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La respuesta correcta debe ser menor que la encontrada en el inciso A) porque la fuerza de fricción retarda el movimiento.

Categorizar El sistema se identifica como el bloque y la superficie. El sistema no está aislado debido al trabajo consumido por el resorte y hay una fuerza no conservativa en acción: la fricción entre el bloque y la superficie.

Analizar Escriba la ecuación 8.14:

$$1)\quad K_f = K_i - f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}$$

Evalúe $f_k d$:

$$f_k d = (4.0 \text{ N})(2.0 \times 10^{-2}\text{ m}) = 0.080 \text{ J}$$

Evalúe $\Sigma\, W_{\text{otras fuerzas}}$, el trabajo invertido por el resorte, al recordar que en el inciso A) se encontró que era 0.20 J. Use $K_i = 0$ en la ecuación 1) y resuelva para la rapidez final:

$$K_f = 0 - 0.080 \text{ J} + 0.20 \text{ J} = 0.12 \text{ J} = \tfrac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2K_f}{m}} = \sqrt{\frac{2(0.12 \text{ J})}{1.6 \text{ kg}}} = \boxed{0.39 \text{ m/s}}$$

Finalizar Como se esperaba, este valor es menor que los 0.50 m/s encontrados en el inciso A).

¿Qué pasaría si? ¿Y si la fricción aumenta a 10.0 N? ¿Cuál es la rapidez del bloque en $x = 0$?

Respuesta En este caso, el valor de $f_k d$ mientras el bloque se traslada a $x = 0$ es

$$f_k d = (10.0 \text{ N})(2.0 \times 10^{-2} \text{ m}) = 0.20 \text{ J}$$

que es igual en magnitud a la energía cinética en $x = 0$ sin la pérdida debida a fricción. Debido a eso, toda la energía cinética se ha transformado por fricción cuando el bloque llega a $x = 0$, y su rapidez en este punto es $v = 0$.

En esta situación, así como en el inciso B), la rapidez del bloque alcanza un máximo en alguna posición distinta de $x = 0$. El problema 47 le pide ubicar dichas posiciones.

8.4 Cambios en energía mecánica para fuerzas no conservativas

Considere el libro que se desliza a través de la superficie en la sección anterior. A medida que el libro se mueve a través de una distancia d, la única fuerza que realiza trabajo en él es la fuerza de fricción cinética. Esta fuerza causa un cambio $-f_k d$ en la energía cinética del libro, como se describe mediante la ecuación 8.13.

Sin embargo, ahora considere que el libro es parte de un sistema que además presenta un cambio en energía potencial. En este caso, $-f_k d$ es la cantidad por la que cambia la energía *mecánica* del sistema debido a la fuerza de fricción cinética. Por ejemplo, si el libro se mueve sobre un plano inclinado que no tiene fricción, hay un cambio tanto en la energía cinética como en la energía potencial gravitacional del sistema libro–Tierra. En consecuencia,

$$\Delta E_{\text{mec}} = \Delta K + \Delta Ug = -f_k d$$

En general, si actúa una fuerza de fricción dentro de un sistema aislado,

$$\boxed{\Delta E_{\text{mec}} = \Delta K + \Delta U = -f_k d} \qquad \textbf{(8.16)}$$

◄ Cambio en energía mecánica de un sistema debido a fricción dentro del sistema

donde ΔU es el cambio en *todas* las formas de energía potencial. Note que la ecuación 8.16 se reduce a la ecuación 8.10 si la fuerza de fricción es cero.

Si el sistema en el que actúa la fuerza no conservativa es no aislado, la generalización de la ecuación 8.13 es

$$\boxed{\Delta E_{\text{mec}} = -f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}}} \qquad \textbf{(8.17)}$$

ESTRATEGIA PARA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS **Sistemas con fuerzas no conservativas**

Se debe aplicar el siguiente procedimiento cuando enfrente un problema que involucre un sistema en el que actúen fuerzas no conservativas:

1. *Conceptualizar.* Estudie cuidadosamente la situación física y forme una representación mental de lo que ocurre.

2. *Categorizar.* Defina su sistema, que puede consistir de más de un objeto. El sistema podría incluir resortes u otras posibilidades de almacenamiento de energía potencial. Determine si hay presente alguna fuerza no conservativa. Si no, proceda con el principio de conservación de energía mecánica que se reseña en la sección 8.2. Si es así, utilice el procedimiento discutido antes.

   Determine si, a través de las fronteras de su sistema, alguna fuerza distinta de la fricción realiza trabajo alguno. Si es así, aplique la ecuación 8.17 para analizar el problema. Si no, proceda con la ecuación 8.16.

3. *Analizar.* Elija configuraciones para representar las condiciones inicial y final del sistema. Para cada objeto que cambie elevación, seleccione una posición de referencia para el objeto que defina la configuración cero de energía potencial gravitacional para el sistema. Para un objeto en un resorte, la configuración cero para energía potencial elástica es

cuando el objeto está en su posición de equilibrio. Si hay más de una fuerza conservativa, escriba una expresión para la energía potencial asociada con cada fuerza.

Use la ecuación 8.16 o la ecuación 8.17 para establecer una representación matemática del problema. Resuelva para las incógnitas.

4. *Finalizar.* Asegúrese de que sus resultados sean consistentes con su representación mental. También de que los valores de sus resultados sean razonables y consistentes con la experiencia cotidiana.

EJEMPLO 8.7 Caja que se desliza por una rampa

Una caja de 3.00 kg se desliza hacia abajo por un rampa. La rampa mide 1.00 m de largo y está inclinada en un ángulo de 30.0°, como se muestra en la figura 8.10. La caja parte del reposo en lo alto, experimenta una fuerza de fricción constante de 5.00 N de magnitud y continúa su movimiento una corta distancia sobre el piso horizontal, después de dejar la rampa.

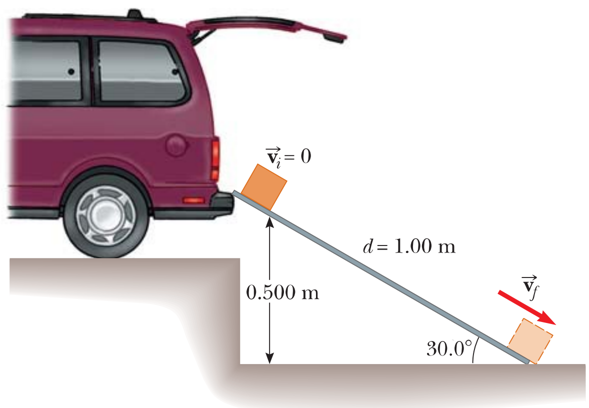


Figura 8.10 (Ejemplo 8.7) Una caja se desliza hacia abajo por una rampa bajo la influencia de la gravedad. La energía potencial del sistema disminuye, mientras que la energía cinética aumenta.

A) Proceda con el planteamiento de energía para determinar la rapidez de la caja en el fondo de la rampa.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Piense en la caja que se desliza por la rampa en la figura 8.10. Mientras más grande sea la fuerza de fricción, más lenta se deslizará la caja.

Categorizar Identifique la caja, la superficie y la Tierra como el sistema. El sistema se clasifica como aislado con una fuerza no conservativa en acción.

Analizar Ya que $v_i = 0$, la energía cinética inicial del sistema, cuando la caja está en lo alto de la rampa, es cero. Si la coordenada y se mide desde la base de la rampa (la posición final de la caja, para la cual se elige que la energía potencial gravitacional del sistema sea cero) con la dirección hacia arriba positiva, por lo tanto $y_i = 0.500$ m.

Evalúe la energía mecánica total del sistema cuando la caja está en lo alto:

$$E_i = K_i + U_i = 0 + U_i = mgy_i$$
$$= (3.00 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(0.500 \text{ m}) = 14.7 \text{ J}$$

Escriba una expresión para la energía mecánica final:

$$E_f = K_f + U_f = \tfrac{1}{2}mv_f^2 + 0$$

Aplique la ecuación 8.16:

$$\Delta E_{\text{mec}} = E_f - E_i = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - mgy_i = -f_k d$$

Resuelva para v_f^2:

$$1)\quad v_f^2 = \frac{2}{m}(mgy_i - f_k d)$$

Sustituya valores numéricos y resuelva para v_f:

$$v_f^2 = \frac{2}{3.00 \text{ kg}}[14.7 \text{ J} - (5.00 \text{ N})(1.00 \text{ m})] = 6.47 \text{ m}^2/\text{s}^2$$
$$v_f = \boxed{2.54 \text{ m/s}}$$

B) ¿A qué distancia se desliza la caja sobre el piso horizontal si continúa experimentando una fuerza de fricción de 5.00 N de magnitud?

SOLUCIÓN

Analizar Esta parte del problema se maneja exactamente igual que el inciso A), pero en este caso se considera que la energía mecánica del sistema consiste sólo en energía cinética, porque la energía potencial del sistema permanece fija.

Evalúe la energía mecánica del sistema cuando la caja deja la parte baja de la rampa:

$$E_i = K_i = \tfrac{1}{2}mv_i^2 = \tfrac{1}{2}(3.00\text{ kg})(2.54\text{ m/s})^2 = 9.68\text{ J}$$

Aplique la ecuación 8.16 con $E_f = 0$:

$$E_f - E_i = 0 - 9.68\text{ J} = -f_k d$$

Resuelva para la distancia d:

$$d = \frac{9.68\text{ J}}{f_k} = \frac{9.68\text{ J}}{5.00\text{ N}} = \boxed{1.94\text{ m}}$$

Finalizar Por comparación, es posible que pretenda calcular la rapidez de la caja en la parte baja de la rampa como un caso en el que la rampa no tiene fricción. Note también que el aumento en energía interna del sistema, a medida que la caja se desliza hacia abajo por la rampa, es 5.00 J. Esta energía se comparte entre la caja y la superficie, y cada una es un poco más caliente que antes.

Advierta además que la distancia d que se desliza el objeto sobre la superficie horizontal es infinita si la superficie no tiene fricción. ¿Esto es consistente con su marco conceptual de la situación?

¿Qué pasaría si? Un trabajador precavido decide que la rapidez de la caja cuando llega a la parte baja de la rampa es tal que su contenido podría dañarse. Por lo tanto, sustituye la rampa con una más larga de tal modo que la nueva rampa forma un ángulo de 25.0° con el suelo. ¿Esta nueva rampa reduce la rapidez de la caja a medida que llega al suelo?

Respuesta Ya que la rampa es más larga, la fuerza de fricción actúa en una distancia mayor y transforma más de la energía mecánica en energía interna. El resultado es una reducción en la energía cinética de la caja y se espera una rapidez menor cuando llegue al suelo.

Encuentre la longitud d de la rampa nueva:

$$\text{sen } 25.0° = \frac{0.500\text{ m}}{d} \quad \rightarrow \quad d = \frac{0.500\text{ m}}{\text{sen } 25.0°} = 1.18\text{ m}$$

Hallar v_f^2 de la ecuación 1) en el inciso A):

$$v_f^2 = \frac{2}{3.00\text{ kg}}[14.7\text{ J} - (5.00\text{ N})(1.18\text{ m})] = 5.87\text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_f = 2.42\text{ m/s}$$

De hecho la rapidez final es menor que en el caso de un ángulo mayor.

EJEMPLO 8.8 Colisión bloque–resorte

A un bloque, que tiene 0.80 kg de masa, se le da una velocidad inicial $v_{Ⓐ} = 1.2$ m/s hacia la derecha y choca con un resorte con masa despreciable y cuya constante de fuerza es $k = 50$ N/m, como se muestra en la figura 8.11.

A) Suponga que la superficie no tiene fricción y calcule la compresión máxima del resorte después del choque.

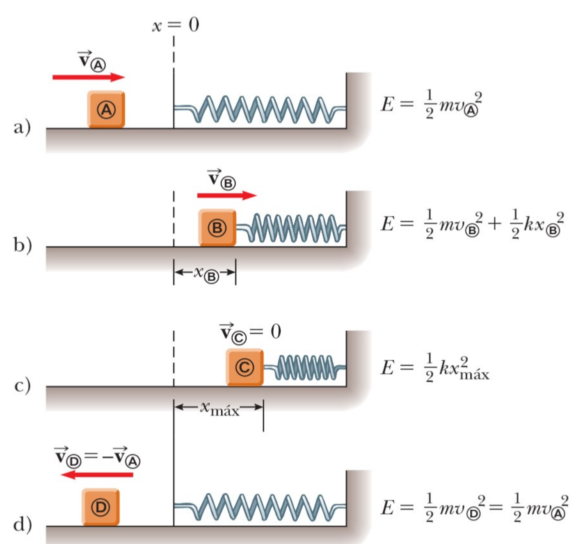


Figura 8.11 (Ejemplo 8.8) Un bloque que se desliza sobre una superficie horizontal uniforme choca con un resorte ligero. a) Al inicio, toda la energía mecánica es energía cinética. b) La energía mecánica es la suma de la energía cinética del bloque y la energía potencial elástica en el resorte. c) La energía es completamente energía potencial. d) La energía se transformó de regreso a energía cinética del bloque. La energía total del sistema permanece constante a lo largo del movimiento.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Las diversas partes de la figura 8.11 ayudan a imaginar lo que hará el bloque en esta situación. Todo el movimiento tiene lugar en un plano horizontal, así que no es necesario considerar cambios en energía potencial gravitacional.

Categorizar El sistema se identifica como el bloque y el resorte. El sistema bloque–resorte está aislado sin fuerzas no conservativas en acción.

Analizar Antes de la colisión, cuando el bloque está en Ⓐ, tiene energía cinética y el resorte no está comprimido, de modo que la energía potencial elástica almacenada en el sistema es cero. Por lo tanto, la energía mecánica total del sistema antes de la colisión es justo $\frac{1}{2}mv_Ⓐ^2$. Después de la colisión, cuando el bloque está en Ⓒ, el resorte está completamente comprimido; ahora el bloque está en reposo y, por eso, tiene energía cinética cero. Sin embargo, la energía potencial elástica almacenada en el sistema tiene su valor máximo $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kx_{\text{máx}}^2$, donde el origen de coordenadas $x = 0$ se elige como la posición de equilibrio del resorte y $x_{\text{máx}}$ es la compresión máxima del resorte, que en este caso es en $x_Ⓒ$. La energía mecánica total del sistema se conserva, porque sobre los objetos del sistema aislado no actúan fuerzas no conservativas.

Escriba una ecuación de conservación de energía mecánica:

$$K_Ⓒ + U_{sⒸ} = K_Ⓐ + U_{sⒶ}$$

$$0 + \tfrac{1}{2}kx_{\text{máx}}^2 = \tfrac{1}{2}mv_Ⓐ^2 + 0$$

Resuelva para $x_{\text{máx}}$ y evalúe:

$$x_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{m}{k}}\,v_Ⓐ = \sqrt{\frac{0.80 \text{ kg}}{50 \text{ N/m}}}(1.2 \text{ m/s}) = \boxed{0.15 \text{ m}}$$

B) Suponga que una fuerza constante de fricción cinética actúa entre el bloque y la superficie, con $\mu_k = 0.50$. Si la rapidez del bloque en el momento que choca con el resorte es $v_Ⓐ = 1.2$ m/s, ¿cuál es la compresión máxima $x_Ⓒ$ en el resorte?

SOLUCIÓN

Conceptualizar Debido a la fuerza de fricción, se espera que la compresión del resorte sea más pequeña que en el inciso A), porque parte de la energía cinética del bloque se transforma en energía interna en el bloque y la superficie.

Categorizar El sistema se identifica como el bloque, la superficie y el resorte. Este sistema está aislado pero ahora involucra una fuerza no conservativa.

Analizar En este caso, la energía mecánica $E_{\text{mec}} = K + U_s$ del sistema *no* se conserva porque una fuerza de fricción actúa en el bloque. A partir del modelo de partícula en equilibrio en la dirección vertical, se ve que $n = mg$.

Evalúe la magnitud de la fuerza de fricción:

$$f_k = \mu_k n = \mu_k mg = 0.50(0.80 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 3.9 \text{ N}$$

Escriba el cambio en la energía mecánica del sistema debido a fricción a medida que el bloque se desplaza de $x = 0$ a $x_Ⓒ$:

$$\Delta E_{\text{mec}} = -f_k x_Ⓒ$$

Sustituya las energías inicial y final:

$$\Delta E_{\text{mec}} = E_f - E_i = (0 + \tfrac{1}{2}kx_Ⓒ^2) - (\tfrac{1}{2}mv_Ⓐ^2 + 0) = -f_k x_Ⓒ$$

Sustituya valores numéricos:

$$\tfrac{1}{2}(50)x_Ⓒ^2 - \tfrac{1}{2}(0.80)(1.2)^2 = -3.9x_Ⓒ$$

$$25x_Ⓒ^2 + 3.9x_Ⓒ - 0.58 = 0$$

Al resolver la ecuación cuadrática para $x_Ⓒ$, se obtiene $x_Ⓒ = 0.093$ m y $x_Ⓒ = -0.25$ m. La raíz con significado físico es $x_Ⓒ = \boxed{0.093 \text{ m.}}$

Finalizar La raíz negativa no aplica a esta situación porque el bloque debe estar a la derecha del origen (valor positivo de x) cuando llegue al reposo. Note que el valor de 0.093 m es menor que la distancia obtenida en el caso sin fricción del inciso A), como se esperaba.

EJEMPLO 8.9 Bloques conectados en movimiento

Dos bloques se conectan mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea sin fricción, como se muestra en la figura 8.12. El bloque de masa m_1 se encuentra en una superficie horizontal y está conectado a un resorte con una constante de fuerza k. El sistema se libera desde el reposo cuando el resorte no está estirado. Si el bloque colgante de masa m_2 cae una distancia h antes de llegar al reposo, calcule el coeficiente de fricción cinética entre el bloque de masa m_1 y la superficie.

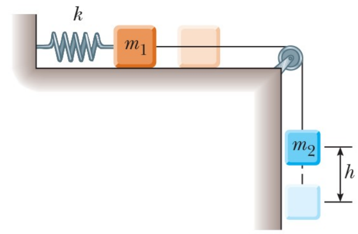


Figura 8.12 (Ejemplo 8.9) A medida que el bloque colgante se mueve desde su elevación más alta hacia la más baja, el sistema pierde energía potencial gravitacional pero gana energía potencial elástica en el resorte. Parte de la energía mecánica se transforma a energía interna debido a fricción entre el bloque deslizante y la superficie.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La palabra clave *reposo* aparece dos veces en el enunciado del problema. Esta palabra sugiere que las configuraciones del sistema asociadas con reposo son buenas candidatas para las configuraciones inicial y final porque la energía cinética del sistema es cero para dichas configuraciones.

Categorizar En esta situación, el sistema consiste en dos bloques, el resorte y la Tierra. El sistema está aislado con una fuerza no conservativa en acción. El bloque deslizante también se modela como una partícula en equilibrio en la dirección vertical, lo que conduce a $n = m_1 g$.

Analizar Es necesario considerar dos formas de energía potencial para el sistema, gravitacional y elástica: $\Delta U_g = U_{gf} - U_{gi}$ es el cambio en la energía potencial gravitacional del sistema y $\Delta U_s = U_{sf} - U_{si}$ es el cambio en la energía potencial elástica del sistema. El cambio en la energía potencial gravitacional del sistema se asocia sólo con el bloque que cae porque la coordenada vertical del bloque que se desliza horizontalmente no cambia. Las energías cinética inicial y final del sistema son cero, de modo que $\Delta K = 0$.

Escriba el cambio en energía mecánica para el sistema:

$$1)\quad \Delta E_{\text{mec}} = \Delta U_g + \Delta U_s$$

Proceder con la ecuación 8.16 para encontrar el cambio en energía mecánica en el sistema debido a fricción entre el bloque que se desliza horizontalmente y la superficie, y señalando que, mientras el bloque colgante cae una distancia h, el bloque con movimiento horizontal avanza la misma distancia h hacia la derecha:

$$2)\quad \Delta E_{\text{mec}} = -f_k h = -(\mu_k n)h = -\mu_k m_1 g h$$

Evalúe el cambio en energía potencial gravitacional del sistema y elija la configuración con el bloque colgante en la posición más baja para representar energía potencial cero:

$$3)\quad \Delta U_g = U_{gf} - U_{gi} = 0 - m_2 g h$$

Evalúe el cambio en la energía potencial elástica del sistema:

$$4)\quad \Delta U_s = U_{sf} - U_{si} = \tfrac{1}{2}kh^2 - 0$$

Sustituya las ecuaciones 2), 3) y 4) en la ecuación 1):

$$-\mu_k m_1 g h = -m_2 g h + \tfrac{1}{2}kh^2$$

Resuelva para μ_k:

$$\mu_k = \frac{m_2 g - \frac{1}{2}kh}{m_1 g}$$

Finalizar Esta configuración representa un método de medición del coeficiente de fricción cinética entre un objeto y cierta superficie.

8.5 Potencia

Considere de nuevo el ejemplo conceptual 7.7, que implicó rodar un refrigerador hacia arriba de una rampa para llegar a una camioneta. Suponga que el hombre no está convencido de que el trabajo es el mismo sin importar la longitud de la rampa y coloca una rampa larga con una suave elevación. Aunque él realiza la misma cantidad de trabajo que alguien que usa una rampa más corta, le toma más tiempo realizar el trabajo porque tiene que mover el refrigerador una mayor distancia. Aunque el trabajo realizado sobre ambas rampas es el mismo, hay *algo* diferente acerca de las tareas: el *intervalo de tiempo* durante el que se realiza el trabajo.

La relación con el tiempo de transferencia de energía se llama **potencia instantánea** $\mathcal{P}$ y se define como sigue:

$$\mathcal{P} \equiv \frac{dE}{dt} \qquad \textbf{(8.18)}$$

◄ Definición de potencia

En esta exposición se contará el trabajo como el método de transferencia de energía, pero tenga en mente que la noción de potencia es válida para *cualquier* medio de transferencia de energía discutido en la sección 8.1. Si una fuerza externa se aplica a un objeto (que se representa como partícula) y si el trabajo invertido por esta fuerza en el objeto en el intervalo de tiempo Δt es W, la **potencia promedio** durante este intervalo es

$$\mathcal{P}_{\text{prom}} = \frac{W}{\Delta t}$$

Debido a eso, en el ejemplo 7.7, aunque se consume el mismo trabajo al rodar el refrigerador por ambas rampas, para la rampa más larga se requiere menos potencia.

Al igual que la definición de velocidad y aceleración, la potencia instantánea es el valor límite de la potencia promedio a medida que Δt tiende a cero:

$$\mathcal{P} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

donde se representó el valor infinitesimal del trabajo invertido mediante dW. De la ecuación 7.3 se encuentra que $dW = \vec{\mathbf{F}} \cdot d\vec{\mathbf{r}}$. En consecuencia, la potencia instantánea se escribe

$$\mathcal{P} = \frac{dW}{dt} = \vec{\mathbf{F}} \cdot \frac{d\vec{\mathbf{r}}}{dt} = \vec{\mathbf{F}} \cdot \vec{\mathbf{v}} \qquad \textbf{(8.19)}$$

donde $\vec{\mathbf{v}} = d\vec{\mathbf{r}}/dt$.

La unidad del SI de potencia es joules por segundo (J/s), también llamado **watt** (W) en honor de James Watt:

Watt ▶

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$$

Una unidad de potencia en el sistema acostumbrado estadounidense es el **caballo de fuerza** (hp):

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 8.3

W, *W* y watts

No confunda el símbolo W para el watt con el símbolo en cursiva *W* para trabajo. También, recuerde que el watt ya representa una relación de transferencia de energía, así que "watts por segundo" no tiene sentido. El watt es *lo mismo que* un joule por segundo.

Ahora se puede definir una unidad de energía (o trabajo) en términos de la unidad de potencia. Un **kilowatt hora** (kWh) es la energía transferida en 1 h en una proporción constante de 1 kW = 1 000 J/s. La cantidad de energía representada por 1 kWh es

$$1 \text{ kWh} = (10^3 \text{ W})(3\,600 \text{ s}) = 3.60 \times 10^6 \text{ J}$$

Un kilowatt hora es una unidad de energía, no de potencia. Cuando usted paga el recibo de la electricidad, usted está comprando energía, y la cantidad de energía transferida por la transmisión eléctrica hacia un hogar durante el periodo representado por el recibo se expresa en kilowatt horas. Por ejemplo, su recibo puede establecer que usted usó 900 kWh de energía durante un mes y que se le cobra en una proporción de 10 centavos por kilowatt hora. Por lo tanto su deuda es de 90 dólares por esta cantidad de energía. Otro ejemplo, suponga que una lámpara se especifica en 100 W. En 1.00 hora de operación, la línea de transmisión eléctrica tendría que transferir energía a la lámpara la cantidad de $(0.100 \text{ kW})(1.00 \text{ h}) = 0.100 \text{ kWh} = 3.60 \times 10^5 \text{ J}$.

EJEMPLO 8.10 Potencia entregada por un motor de elevador

Un ascensor (figura 8.13a) tiene una masa de 1 600 kg y transporta pasajeros con una masa combinada de 200 kg. Una fuerza de fricción constante de 4 000 N retarda su movimiento.

A) ¿Cuánta potencia debe proporcionar un motor para levantar el elevador y a sus pasajeros con una rapidez constante de 3.00 m/s?

SOLUCIÓN

Conceptualizar El motor debe suministrar la fuerza de magnitud T que jale el ascensor hacia arriba.

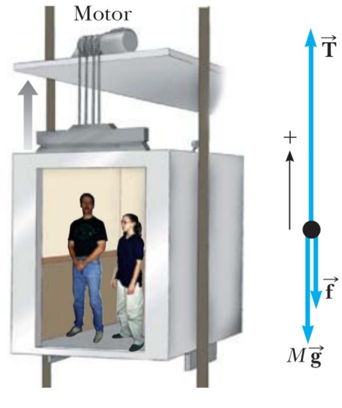


Figura 8.13 (Ejemplo 8.10) a) El motor ejerce una fuerza hacia arriba $\vec{\mathbf{T}}$ en el ascensor. La magnitud de esta fuerza es la tensión T en el cable que conecta la cabina y el motor. Las fuerzas que actúan hacia abajo en la cabina son una fuerza de fricción $\vec{\mathbf{f}}$ y la fuerza gravitacional $\vec{\mathbf{F}}_g = M\vec{\mathbf{g}}$. b) Diagrama de cuerpo libre para el ascensor.

Categorizar La fuerza de fricción aumenta la potencia necesaria para levantar el elevador. El problema establece que la rapidez del elevador es constante: $a = 0$. El elevador se modela como una partícula en equilibrio.

Analizar El diagrama de cuerpo libre en la figura 8.13b especifica la dirección hacia arriba como positiva. La masa *total* M del sistema (carro más pasajeros) es igual a 1 800 kg.

Aplique la segunda ley de Newton a la cabina:

$$\sum F_y = T - f - Mg = 0$$

Resuelva para T:

$$T = f + Mg$$
$$= 4.00 \times 10^3 \text{ N} + (1.80 \times 10^3 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 2.16 \times 10^4 \text{ N}$$

Proceda con la ecuación 8.19 y que $\vec{\mathbf{T}}$ esté en la misma dirección que $\vec{\mathbf{v}}$ para encontrar la potencia:

$$\mathcal{P} = \vec{\mathbf{T}} \cdot \vec{\mathbf{v}} = Tv$$
$$= (2.16 \times 10^4 \text{ N})(3.00 \text{ m/s}) = \boxed{6.48 \times 10^4 \text{ W}}$$

B) ¿Qué potencia debe entregar el motor en el instante en que la rapidez del elevador es v si el motor está diseñado para proporcionar al ascensor una aceleración hacia arriba de 1.00 m/s^2?

SOLUCIÓN

Conceptualizar En este caso, el motor debe proporcionar la fuerza de magnitud T que jala al ascensor hacia arriba con una rapidez creciente. Se espera que se requiera más potencia para hacer lo que en el inciso A), ya que el motor ahora debe realizar la tarea adicional de acelerar la cabina.

Categorizar En este caso, el ascensor se modela como una partícula bajo una fuerza neta porque está acelerando.

Analizar Aplique la segunda ley de Newton a la cabina:

$$\sum F_y = T - f - Mg = Ma$$

Resuelva para T:

$$T = M(a + g) + f$$
$$= (1.80 \times 10^3 \text{ kg})(1.00 \text{ m/s}^2 + 9.80 \text{ m/s}^2) + 4.00 \times 10^3 \text{ N}$$
$$= 2.34 \times 10^4 \text{ N}$$

Use la ecuación 8.19 para obtener la potencia requerida:

$$\mathcal{P} = Tv = \boxed{(2.34 \times 10^4 \text{ N})v}$$

donde v es la rapidez instantánea de la cabina en metros por segundo.

Finalizar Para comparar con el inciso A), sea $v = 3.00$ m/s, que proporciona una potencia de

$$\mathcal{P} = (2.34 \times 10^4 \text{ N})(3.00 \text{ m/s}) = 7.02 \times 10^4 \text{ W}$$

mayor que la potencia encontrada en el inciso A), como se esperaba.

Resumen

DEFINICIONES

Un **sistema no aislado** es uno para el que la energía cruza la frontera del sistema. Un **sistema aislado** es uno para el que la energía no cruza la frontera del sistema.

La **potencia instantánea** $\mathcal{P}$ se define como la proporción de transferencia de energía en el tiempo:

$$\mathcal{P} \equiv \frac{dE}{dt} \qquad \textbf{(8.18)}$$

CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

Para un sistema no aislado, se puede igualar el cambio en la energía total almacenada en el sistema con la suma de todas las transferencias de energía a través de la frontera del sistema, que es un enunciado de **conservación de la energía**. Para un sistema aislado, la energía total es constante.

Si un sistema es aislado y si en los objetos dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, la energía mecánica total del sistema es constante:

$$K_f + U_f = K_i + U_i \qquad \textbf{(8.10)}$$

Si entre los objetos dentro de un sistema actúan fuerzas no conservativas (como la fricción), la energía mecánica no se conserva. En estas situaciones, la diferencia entre la energía mecánica final total y la energía mecánica inicial total del sistema es igual a la energía transformada a energía interna por las fuerzas no conservativas.

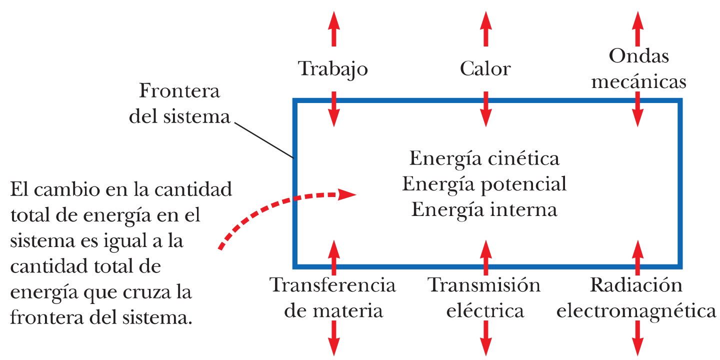
Si una fuerza de fricción actúa dentro de un sistema aislado, la energía mecánica del sistema se reduce y la ecuación apropiada por aplicar es

$$\Delta E_{\text{mec}} = \Delta K + \Delta U = f_k d \qquad \textbf{(8.16)}$$

Si una fuerza de fricción actúa dentro de un sistema no aislado, la ecuación apropiada por aplicar es

$$\Delta E_{\text{mec}} = -f_k d + \sum W_{\text{otras fuerzas}} \qquad \textbf{(8.17)}$$

MODELOS DE ANÁLISIS PARA RESOLVER PROBLEMAS



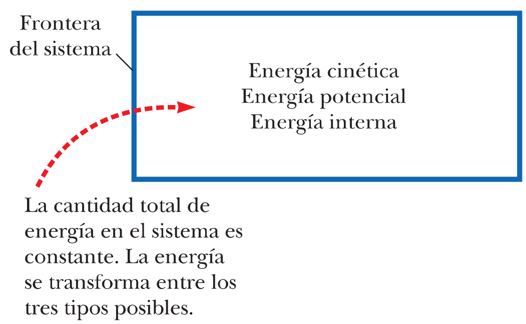
Sistema no aislado (energía). El enunciado más general que describe el comportamiento de un sistema no aislado es la **ecuación de conservación de energía:**

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \sum T \qquad \textbf{(8.1)}$$

Al incluir los tipos de almacenamiento de energía y transferencia de energía que se han discutido se produce

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{\text{OM}} + T_{\text{MT}} + T_{\text{TE}} + T_{\text{RE}} \qquad \textbf{(8.2)}$$

Para un problema específico, esta ecuación por lo general se reduce a un número más pequeño de términos al eliminar los términos que no son adecuados a la situación.



Sistema aislado (energía). La energía total de un sistema aislado se conserva, de modo que

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 0 \qquad \textbf{(8.9)}$$

Si dentro del sistema no actúan fuerzas no conservativas, la energía mecánica del sistema se conserva, de modo que

$$\Delta E_{\text{mec}} = 0 \qquad \textbf{(8.8)}$$

Preguntas

O indica pregunta complementaria.

1. ¿Todo tiene energía? Dé argumentos para su respuesta.
2. **O** Un martinete es un dispositivo que se usa para clavar postes en la Tierra mediante la caída repetida de un objeto pesado sobre ellos. Suponga que el objeto se deja caer desde la misma altura cada vez. ¿En qué factor cambia la energía del sistema martinete–Tierra cuando la masa del objeto a soltar se duplica? a) ½, b) 1: la energía es la misma, c) 2, d) 4.
3. **O** Un tobogán está instalado junto a una alberca en un patio. Dos niños suben a una plataforma en lo alto del tobogán. El niño más pequeño salta recto hacia abajo a la alberca y el niño más grande se desliza desde lo alto del tobogán sin fricción. **i)** Al momento de llegar al agua, en comparación con el niño mayor, ¿la energía cinética del niño pequeño es a) mayor, b) menor o c) igual? **ii)** Al momento de llegar al agua, en comparación con el niño mayor, ¿la rapidez del niño pequeño es a) mayor, b) menor o c) igual? **iii)** Durante los movimientos desde la plataforma al agua, en comparación con el niño mayor, ¿la aceleración promedio del niño pequeño es a) mayor, b) menor o c) igual?
4. **O** a) ¿Un sistema objeto–Tierra puede tener energía cinética y no energía potencial gravitacional? b) ¿Puede tener energía potencial gravitacional y no energía cinética? c) ¿Puede tener ambos tipos de energía al mismo tiempo? d) ¿Puede no tener ninguna?
5. **O** Una bola de arcilla cae libremente hacia el piso duro. No rebota de manera notable, sino que llega al reposo muy rápidamente. ¿En tal caso qué ocurrió con la energía que la bola tenía mientras caía? a) Se usó para producir el movimiento hacia abajo. b) Se transformó de regreso en energía potencial. c) Se transfirió a la bola por calor. d) Está en la bola y el suelo (y paredes) como energía de movimiento hacia abajo invisible. e) La mayor parte se fue en sonido.
6. **O** Sostiene una honda a la longitud de su brazo, jala la ligera banda elástica hacia su barbilla y la suelta para lanzar una piedra horizontalmente con una rapidez de 200 cm/s. Con el mismo procedimiento, dispara un frijol con rapidez de 600 cm/s. ¿Cuál es la relación de la masa del frijol a la masa de la piedra? a) $\frac{1}{9}$, b) $\frac{1}{3}$, c) $1/\sqrt{3}$, d) 1, e) $\sqrt{3}$, f) 3, g) 9.
7. Una persona deja caer una bola desde lo alto de un edificio mientras que otra, en la base, observa su movimiento. ¿Estas dos personas estarán de acuerdo con el valor de la energía potencial gravitacional del sistema bola–Tierra? ¿En el cambio en energía potencial? ¿En la energía cinética?
8. En el capítulo 7 se introdujo el teorema trabajo–energía cinética, $W_{\text{neto}} = \Delta K$. Esta ecuación establece que el trabajo invertido en un sistema aparece como un cambio en energía cinética. Es una ecuación de caso especial, válida si no hay cambios en algún otro tipo de energía como la potencial o la interna. Proporcione ejemplos en los que se invierta trabajo en un sistema pero que el cambio en energía del sistema no sea un cambio en energía cinética.
9. Usted viaja en bicicleta. ¿En qué sentido su bicicleta es impulsada por energía solar?
10. Una bola de boliche está suspendida del techo de un salón de conferencias mediante una fuerte cuerda. La bola se aleja de su posición de equilibrio y se libera del reposo desde la punta de la nariz de la conferencista, como se muestra en la figura P8.10. La conferencista permanece fija. Explique por qué la bola no la golpea en su viaje de retorno. ¿La conferencista estaría a salvo si a la bola se le da un empujón desde su posición de partida en su nariz?

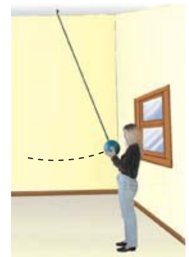


Figura P8.10

11. Un bloque se conecta a un resorte que está suspendido del techo. Si supone que el bloque se pone en movimiento vertical y se ignora la resistencia del aire, describa las transformaciones de energía que se presentan dentro del sistema que consiste del bloque, la Tierra y el resorte.
12. **O** En un laboratorio de modelos de automóviles que derrapan hasta detenerse, se obtuvo la información para seis pistas. Cada una de tres bloques se lanza en dos magnitudes de velocidad inicial diferentes v_i y se deslizan a través de una mesa a nivel a medida que llegan al reposo. Los bloques tienen masas iguales pero difieren en rugosidad y por tanto tienen diferentes coeficientes de fricción cinética μ_k con la mesa. Clasifique los siguientes casos del a) al f) de acuerdo con la distancia de frenado, de mayor a menor. Si la distancia de frenado es la misma en dos casos, déles igual clasificación. a) $v_i = 1$ m/s, $\mu_k = 0.2$, b) $v_i = 1$ m/s, $\mu_k = 0.4$, c) $v_i = 1$ m/s, $\mu_k = 0.8$, d) $v_i = 2$ m/s, $\mu_k = 0.2$, e) $v_i = 2$ m/s, $\mu_k = 0.4$, f) $v_i = 2$ m/s, $\mu_k = 0.8$.
13. ¿Una fuerza de fricción estática puede hacer trabajo? Si no, ¿por qué? Si es sí, proporcione un ejemplo.
14. Describa dispositivos hechos por el hombre diseñados para producir cada una de las siguientes transferencias o transformaciones de energía. Siempre que pueda, también describa un proceso natural en el que se presente el proceso energético. Proporcione detalles para defender sus elecciones, como la identificación del sistema y otra salida de energía si el proceso tiene eficiencia limitada. a) Energía potencial química se transforma en energía interna. b) La energía transferida por transmisión eléctrica se convierte en energía potencial gravitacional. c) Energía potencial elástica se transfiere fuera de un sistema mediante calor. d) La energía transferida por ondas mecánicas realiza trabajo sobre un sistema. e) La energía transportada por ondas electromagnéticas se convierte en energía cinética en un sistema.
15. En la ecuación general de conservación de energía, establezca cuáles términos predominan al describir cada uno de los siguientes dispositivos y procesos. Para un proceso que funciona de manera continua, puede considerar lo que ocurre en un intervalo de tiempo de 10 s. Establezca cuáles términos en la ecuación representan las formas original y final de energía, cuáles serían entradas, y cuáles serían salidas. a) una honda que dispara una piedra, b) un fuego ardiendo, c) un radio portátil en operación, d) un carro que frena hasta detenerse, e) la superficie del Sol brillando visiblemente, f) una persona que salta encima de una silla.

16. **O** En la parte baja de una pista de aire inclinada a un ángulo θ, a un deslizador de masa m se le da un empujón para hacerlo que se deslice una distancia d hacia arriba de la pendiente a medida que frena y se detiene. Luego el deslizador regresa hacia abajo por la pista hasta su punto de partida. Ahora se repite el experimento con la misma rapidez original pero con un segundo deslizador idéntico colocado en la parte superior del primero. El flujo de aire es lo suficientemente intenso como para soportar el par de deslizadores de modo que se mueven libremente sobre la pista. La fricción estática mantiene al segundo deslizador fijo en relación con el primer deslizador a lo largo del movimiento. El coeficiente de fricción estática entre los dos deslizadores es μ_s. ¿Cuál es el cambio en energía mecánica del sistema dos deslizadores–Tierra en el movimiento hacia arriba y abajo de la pendiente después de que el par de deslizadores se libera? Elija una. a) $-2md$, b) $-2\mu_s gd$, c) $-2\mu_s md$, d) $-2\mu_s mg$, e) $-2mg \cos \theta$, f) $-2mgd \cos \theta$, g) $-2\mu_s mgd \cos \theta$, h) $-4\mu_s mgd \cos \theta$, i) $-\mu_s mgd \cos \theta$, j) $-2\mu_s mgd \operatorname{sen} \theta$, k) 0, l) $+2\mu_s mgd \cos \theta$.

17. Un vendedor de automóviles afirma que un motor mejorado de 300 hp es una opción necesaria en un auto compacto en lugar del motor convencional de 130 hp. Suponga que usted tiene la intención de conducir el automóvil dentro de los límites de rapidez ($\leq$ 65 mi/h) en terreno plano. ¿Cómo contrarrestaría esta propaganda comercial?

Problemas

Sección 8.1 El sistema no aislado: conservación de energía

1. Para cada uno de los siguientes sistemas e intervalos de tiempo, escriba la versión reducida y adecuada de la ecuación 8.2, la ecuación de conservación de energía. a) las bobinas de calentamiento en su tostadora durante los primeros cinco segundos después de que enciende la tostadora, b) su automóvil, justo desde antes de que le llene el tanque con gasolina hasta que sale de la gasolinera a 10 mi/h, c) su cuerpo mientras está sentada tranquilamente y come un emparedado de mantequilla de cacahuate y mermelada durante su almuerzo, d) su casa durante cinco minutos de una tarde soleada mientras la temperatura en la casa permanece fija.

Sección 8.2 El sistema aislado

2. A las 11:00 a.m. del 7 de septiembre de 2001, más de un millón de escolares británicos saltaron arriba y abajo durante 1 min. El punto central del plan de estudios del "gran salto" estuvo en los terremotos, pero se integró con muchos otros temas, como el ejercicio, la geografía, la cooperación, la prueba de hipótesis y el establecimiento de registros mundiales. Los estudiantes construyeron sus propios sismógrafos que registraron efectos locales. a) Encuentre la energía convertida en energía mecánica en el experimento. Suponga que 1 050 000 niños, con masa promedio de 36.0 kg, saltaron 12 veces cada uno y elevaron sus centros de masa 25.0 cm cada vez y descansaban brevemente entre un salto y el siguiente. La aceleración de caída libre en Bretaña es 9.81 m/s^2. b) La mayor parte de la energía mecánica se convierte muy rápidamente en energía interna dentro de los cuerpos de los estudiantes y los suelos de los edificios escolares. De la energía que se propaga hacia dentro del área, la mayoría produce vibraciones de "microtemblor" de alta frecuencia que se amortiguan rápidamente y no pueden viajar mucho. Suponga que 0.01% de la energía se transporta lejos mediante una onda sísmica de largo rango. La magnitud de un terremoto en la escala Richter está dada por

$$M = \frac{\log E - 4.8}{1.5}$$

donde E es la energía de la onda sísmica en joules. De acuerdo con este modelo, ¿cuál es la magnitud del temblor de demostración? No se hizo registro de ruido más allá del medio ambiente a ultramar o en el sismógrafo del Wolverton Seismic Vault, en Hampshire.

3. Una bolita perforada se desliza sin fricción alrededor de un bucle (figura P8.3). La bolita se libera desde una altura $h = 3.50R$. a) ¿Cuál es la rapidez de la bolita en el punto Ⓐ? b) ¿Qué tan grande es la fuerza normal sobre la bolita si su masa es 5.00 g?

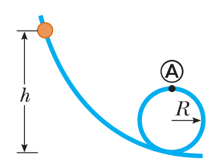


Figura P8.3

4. Una partícula de masa $m = 5.00$ kg se libera desde el punto Ⓐ y se desliza sobre la pista sin fricción que se muestra en la figura P8.4. Determine a) la rapidez de la partícula en los puntos Ⓑ y Ⓒ y b) el trabajo neto invertido por la fuerza gravitacional a medida que la partícula se mueve de Ⓐ a Ⓒ.

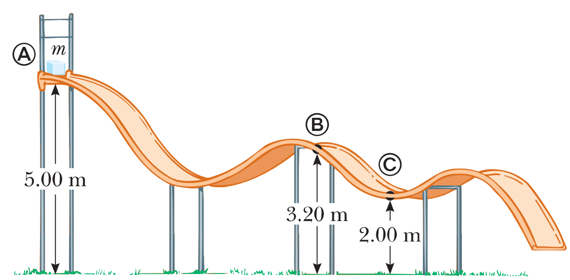


Figura P8.4

5. Un bloque de 0.250 kg de masa se coloca en lo alto de un resorte vertical ligero de constante de fuerza 5 000 N/m y se empuja hacia abajo de modo que el resorte se comprime 0.100 m. Después de que el bloque se libera del reposo, viaja hacia arriba y luego deja el resorte. ¿A qué altura máxima arriba del punto de liberación llega?

6. Un trapecio de circo consiste en una barra suspendida mediante dos cuerdas paralelas, cada una de longitud ℓ, que permiten a los ejecutantes balancearse en un arco circular vertical (figura P8.6). Suponga que una ejecutante con masa m sostiene la barra y salta de una plataforma elevada, partiendo del reposo con las cuerdas en un ángulo θ_i respecto de la vertical. Suponga que el tamaño del cuerpo de la ejecutante es pequeño en

comparación con la longitud ℓ, que no mueve el trapecio para balancearse más alto y que la resistencia del aire es despreciable. a) Demuestre que, cuando las cuerdas forman un ángulo θ con la vertical, la ejecutante debe ejercer una fuerza

$$mg(3 \cos \theta - 2 \cos \theta_i)$$

para estar preparada. b) Determine el ángulo θ_i para que la fuerza necesaria para estar en la parte baja del columpio sea el doble de la fuerza gravitacional que se ejerce sobre la ejecutante.

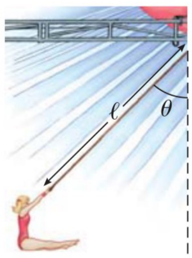


Figura P8.6

7. Dos objetos se conectan mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea ligera sin fricción, como se muestra en la figura P8.7. El objeto de 5.00 kg de masa se libera desde el reposo. Con el modelo de sistema aislado, a) determine la rapidez del objeto de 3.00 kg justo cuando el objeto de 5.00 kg golpea el suelo. b) Encuentre la altura máxima a la que llega el objeto de 3.00 kg.

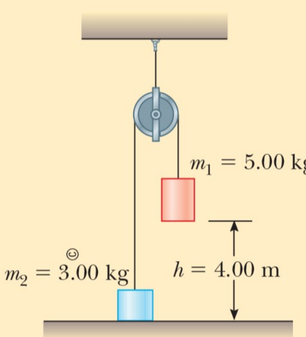


Figura P8.7 Problemas 7 y 8.

8. Dos objetos se conectan mediante una cuerda ligera que pasa sobre una polea ligera sin fricción, como se muestra en la figura P8.7. El objeto de masa m_1 se libera desde el reposo a una altura h. Con el modelo de sistema aislado, a) determine la rapidez de m_2 justo cuando m_1 golpea el suelo. b) Encuentre la altura máxima a la que llega m_2.

9. Una barra ligera rígida mide 77.0 cm de largo. Su extremo superior tiene como pivote un eje horizontal de baja fricción. La barra cuelga recta hacia abajo en reposo con una pequeña bola de gran masa unida a su extremo inferior. Usted golpea la bola y súbitamente le da una velocidad horizontal de modo que se balancea alrededor de un círculo completo. ¿Qué rapidez mínima se requiere en la parte más baja para hacer que la bola recorra lo alto del círculo?

10. Una bola de cañón de 20.0 kg se dispara desde un cañón con rapidez de boquilla de 1 000 m/s con un ángulo de 37.0° con la horizontal. Una segunda bala de cañón se dispara con un ángulo de 90.0°. Aplique el modelo de sistema aislado para encontrar a) la altura máxima que alcanza cada bola y b) la energía mecánica total del sistema bola–Tierra a la altura máxima para cada bola. Sea $y = 0$ en el cañón.

11. Un atrevido planea un salto bungee desde un globo aerostático a 65.0 m en medio de una feria (figura P8.11). Usará una cuerda elástica uniforme, amarrada a un arnés alrededor de su cuerpo, para detener su caída en un punto 10.0 m sobre el suelo. Modele su cuerpo como una partícula y la cuerda como si tuviera masa despreciable y obedeciera la ley de Hooke. En una prueba preliminar, colgando en reposo de una cuerda de 5.00 m de largo, el osado encuentra que el peso de su cuerpo estira la cuerda 1.50 m. Él pretende soltarse desde el reposo en el punto donde el extremo superior de una sección más larga de la cuerda está unida al globo fijo. a) ¿Qué longitud de cuerda debe usar? b) ¿Qué aceleración máxima experimentará?

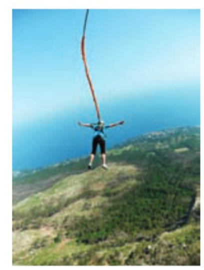


Figura P8.11 Problemas 11 y 46.

12. **Problema de repaso.** El sistema que se muestra en la figura P8.12 consiste de una cuerda ligera inextensible; poleas ligeras sin fricción; y bloques de igual masa. Inicialmente se mantiene en reposo de modo que los bloques están a la misma altura sobre el suelo. Después los bloques se liberan. Encuentre la rapidez del bloque A en el momento en que la separación vertical de los bloques es h.

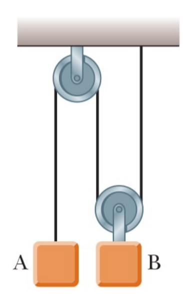


Figura P8.12

Sección 8.3 Situaciones que incluyen fricción cinética

13. Una caja de 40.0 kg, inicialmente en reposo, se empuja 5.00 m a lo largo de un suelo horizontal rugoso, con una fuerza constante horizontal aplicada de 130 N. El coeficiente de fricción entre la caja y el suelo es 0.300. Encuentre: a) el trabajo invertido por la fuerza aplicada, b) el aumento en energía interna en el sistema caja–suelo como resultado de la fricción, c) el

trabajo invertido por la fuerza normal, d) el trabajo invertido por la fuerza gravitacional, e) el cambio en energía cinética de la caja y f) la rapidez final de la caja.

14. Un bloque de 2.00 kg se une a un resorte con constante de fuerza 500 N/m, como se muestra en la figura 7.9. Se jala el bloque 5.00 cm hacia la derecha del equilibrio y se libera desde el reposo. Encuentre la rapidez que tiene el bloque cuando pasa a través del equilibrio si a) la superficie horizontal no tiene fricción y b) el coeficiente de fricción entre el bloque y la superficie es 0.350.

15. Una caja de 10.0 kg de masa se jala hacia arriba de un plano inclinado rugoso con una rapidez inicial de 1.50 m/s. La fuerza del jalón es 100 N paralela al plano, que forma un ángulo de 20.0° con la horizontal. El coeficiente de fricción cinética es 0.400 y la caja se jala 5.00 m. a) ¿Cuánto trabajo invierte la fuerza gravitacional en la caja? b) Determine el aumento en energía interna del sistema caja–plano inclinado debido a fricción. c) ¿Cuánto trabajo invierte la fuerza de 100 N en la caja? d) ¿Cuál es el cambio en energía cinética de la caja? e) ¿Cuál es la rapidez de la caja después de jalarse 5.00 m?

16. ● Un bloque de masa m está sobre una superficie horizontal con la que su coeficiente de fricción cinética es μ_k. El bloque se empuja contra el extremo libre de un resorte ligero con constante de fuerza k, que comprime el resorte una distancia d. Después el bloque se libera desde el reposo de modo que el resorte dispara el bloque a través de la superficie. De las posibles expresiones a) a k) que se mencionan a continuación para la rapidez del bloque después de que se desliza una distancia d, **i)** ¿cuál no puede ser cierta porque es dimensionalmente incorrecta? **ii)** De las restantes, ¿cuál(es) da(n) un resultado incorrecto en el límite a medida que k se vuelve muy grande? **iii)** De los restantes, ¿cuál(es) da(n) un resultado incorrecto en el límite a medida que μ_k tiende a cero? **iv)** De las que quedan, ¿cuál puede descartar por otras razones que especifique? (**v**) ¿Cuál expresión es correcta? **vi)** Evalúe la rapidez en el caso $m = 250$ g, $\mu_k = 0.600$, $k = 18.0$ N/m y $d = 12.0$ cm. Necesitará explicar su respuesta. a) $(kd^2 - \mu_k mgd)^{1/2}$, b) $(kd^2/m - \mu_k g)^{1/2}$, c) $(kd/m - 2\mu_k gd)^{1/2}$, d) $(kd^2/m - gd)^{1/2}$, e) $(kd^2/m - \mu_k^2 gd)^{1/2}$, f) $kd^2/m - \mu_k gd$, g) $(\mu_k kd^2/m - gd)^{1/2}$, h) $(kd^2/m - 2\mu_k gd)^{1/2}$, i) $(\mu_k gd - kd^2/m)^{1/2}$, j) $(gd - \mu_k gd)^{1/2}$, k) $(kd^2/m + \mu_k gd)^{1/2}$.

17. A un trineo de masa m se le da una patada sobre un lago congelado. La patada le imparte una rapidez inicial de 2.00 m/s. El coeficiente de fricción cinética entre el trineo y el hielo es 0.100. Aplique consideraciones energéticas para encontrar la distancia que el trineo se mueve antes de detenerse.

Sección 8.4 Cambios en energía mecánica para fuerzas no conservativas

18. ● En un tiempo t_i, la energía cinética de una partícula es 30.0 J y la energía potencial del sistema al que pertenece es 10.0 J. En algún tiempo posterior t_f, la energía cinética de la partícula es 18.0 J. a) Si sólo fuerzas conservativas actúan sobre la partícula, ¿cuáles son la energía potencial y la energía total en el tiempo t_f? b) Si la energía potencial del sistema en el tiempo t_f es 5.00 J, ¿existen fuerzas no conservativas que actúan sobre la partícula? Explique.

19. El coeficiente de fricción entre el bloque de 3.00 kg y la superficie en la figura P8.19 es 0.400. El sistema parte del reposo. ¿Cuál es la rapidez de la bola de 5.00 kg cuando cae 1.50 m?

20. En su mano, una lanzadora de softball balancea una bola de 0.250 kg de masa alrededor de una trayectoria circular de 60.0 cm de radio antes de liberarla de su mano. La lanzadora

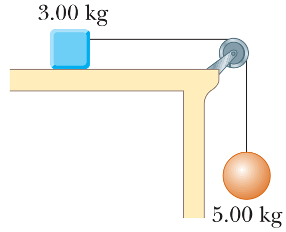


Figura P8.19

mantiene una componente de fuerza en la bola con magnitud constante de 30.0 N en la dirección de movimiento alrededor de la trayectoria completa. La rapidez de la bola en lo alto del círculo es 15.0 m/s. Si la lanzadora libera la bola en la parte más baja del círculo, ¿cuál es su rapidez al liberarla?

21. Un bloque de 5.00 kg se pone en movimiento hacia arriba de un plano inclinado con una rapidez inicial de 8.00 m/s (figura P8.21). El bloque llega al reposo después de viajar 3.00 m a lo largo del plano, que está inclinado en un ángulo de 30.0° con la horizontal. Para este movimiento, determine a) el cambio en la energía cinética del bloque, b) el cambio en la energía potencial del sistema bloque–Tierra y c) la fuerza de fricción que se ejerce sobre el bloque (supuesta constante). d) ¿Cuál es el coeficiente de fricción cinética?

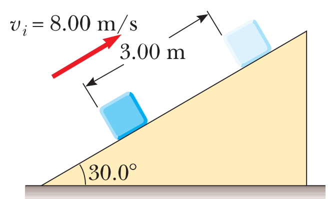


Figura P8.21

22. ● Un paracaidista de 80.0 kg salta de un globo a una altura de 1 000 m y abre el paracaídas a una altitud de 200 m. a) Si supone que la fuerza retardadora total sobre el paracaidista es constante en 50.0 N con el paracaídas cerrado y constante en 3 600 N con el paracaídas abierto, encuentre la rapidez del paracaidista cuando aterriza en el suelo. b) ¿Cree que el paracaidista se lesionará? Explique. c) ¿A qué altura se debe abrir el paracaídas de modo que la rapidez final del paracaidista cuando golpee el suelo sea 5.00 m/s? d) ¿Qué tan real es la suposición de que la fuerza retardadora total es constante? Explique.

23. Un arma de juguete usa un resorte para proyectar una bola de hule suave de 5.30 g. El resorte originalmente se comprime 5.00 cm y tiene una constante de fuerza de 8.00 N/m. Cuando el arma se dispara, la bola se mueve 15.0 cm a través del cañón horizontal del arma y el cañón ejerce una fuerza de fricción constante de 0.032 0 N en la bola. a) ¿Con qué rapidez el proyectil deja el cañón del arma? b) ¿En qué punto la bola tiene rapidez máxima? c) ¿Cuál es esta rapidez máxima?

24. Una partícula se mueve a lo largo de una línea donde la energía potencial de su sistema depende de su posición r, como se grafica en la figura P8.24. En el límite cuando r aumenta sin frontera, $U(r)$ tiende a $+1$ J. a) Identifique cada posición de equilibrio para esta partícula. Indique si cada una es un punto de equilibrio estable, inestable o neutro. b) ¿La partícula estará acotada si la energía total del sistema está, en ese intervalo? Ahora suponga que el sistema tiene energía de -3 J. Determine

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

c) el intervalo de posiciones donde se puede encontrar la partícula, d) su energía cinética máxima, e) la ubicación donde tiene energía cinética máxima y f) la *energía de enlace* del sistema, esto es, la energía adicional que tendría que darse a la partícula para moverla a $r \to \infty$.

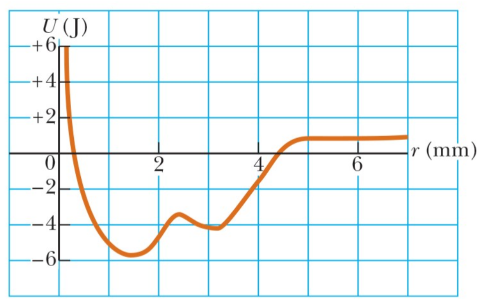


Figura P8.24

25. Un objeto de 1.50 kg se mantiene 1.20 m sobre un resorte vertical relajado sin masa con una constante de fuerza de 320 N/m. Se deja caer el objeto sobre el resorte. a) ¿Cuánto comprime al resorte? b) **¿Qué pasaría si?** ¿Cuánto comprime al resorte si el mismo experimento se realiza sobre la Luna, donde $g = 1.63\ \mathrm{m/s^2}$? c) **¿Qué pasaría si?** Repita el inciso a), pero esta vez suponga que una fuerza de resistencia del aire constante de 0.700 N actúa sobre el objeto durante su movimiento.

26. Un niño en una silla de ruedas (masa total: 47.0 kg) gana una carrera contra un chico en patineta. El niño tiene 1.40 m/s de rapidez en la cresta de una pendiente de 2.60 m de alto y 12.4 m de largo. En la parte más baja de la pendiente su rapidez es 6.20 m/s. Suponga que la resistencia del aire y la resistencia de rodamiento se representan como una fuerza de fricción constante de 41.0 N. Encuentre el trabajo que hizo en empujar hacia adelante sus ruedas durante el viaje colina abajo.

27. Un tablero uniforme de longitud L se desliza a lo largo de un plano horizontal uniforme (sin fricción), como se muestra en la figura P8.27a. Después el tablero se desliza a través de la frontera con una superficie horizontal rugosa. El coeficiente de fricción cinética entre el tablero y la segunda superficie es μ_k. a) Encuentre la aceleración del tablero cuando su extremo frontal recorre una distancia x más allá de la frontera. b) El tablero se detiene en el momento en que su extremo posterior llega a la frontera, como se muestra en la figura P8.27b. Encuentre la rapidez inicial v del tablero.

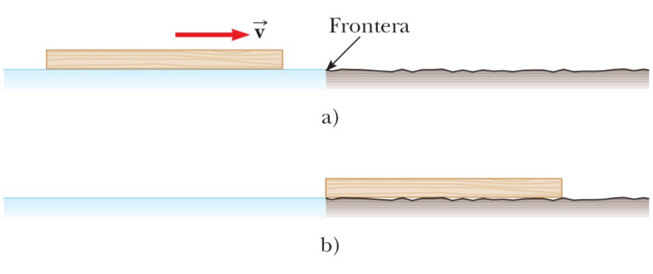


Figura P8.27

Sección 8.5 Potencia

28. El motor eléctrico de un tren a escala acelera al tren desde el reposo a 0.620 m/s en 21.0 ms. La masa total del tren es 875 g. hallar la potencia promedio entregada al tren durante la aceleración.

29. Un marine de 700 N en entrenamiento básico asciende en 8.00 s una soga vertical de 10.0 m con una rapidez constante. ¿Cuál es su potencia desarrollada?

30. El columnista Dave Barry se mofó del nombre "Las grandes ciudades" que adoptaran Grand Forks, Dakota del Norte, y East Grand Forks, Minnesota. En consecuencia los residentes de dichas ciudades nombraron su siguiente edificio municipal en su honor. En la Estación de elevación Dave Barry núm. 16, aguas de drenaje no tratadas se elevan verticalmente 5.49 m, en una proporción de 1 890 000 litros cada día. El desperdicio, de 1 050 kg/m^3 de densidad, entra y sale de la bomba a presión atmosférica, a través de tuberías de igual diámetro. a) Encuentre la potencia mecánica de salida de la estación de elevación de aguas sucias. b) Suponga que un motor eléctrico, que opera continuamente con potencia promedio de 5.90 kW, impulsa la bomba. Encuentre su eficiencia.

31. Haga una estimación de un orden de magnitud de la potencia que aporta el motor de un automóvil para acelerar el auto a rapidez de autopista. Considere su propio automóvil, si usa uno. En su solución, establezca las cantidades físicas que toma como datos y los valores que mide o estima para ellos. La masa del vehículo se proporciona en el manual del propietario. Si no quiere estimar un automóvil, considere un autobús o camión que especifique.

32. Un elevador de 650 kg parte del reposo. Se mueve hacia arriba durante 3.00 s con aceleración constante hasta que llega a su rapidez de crucero de 1.75 m/s. a) ¿Cuál es la potencia promedio del motor del elevador durante este intervalo de tiempo? b) ¿De qué modo se compara esta potencia con la potencia del motor cuando el elevador se mueve a su rapidez de crucero?

33. Una lámpara con eficiencia energética, que toma 28.0 W de potencia, produce el mismo nivel de brillantez que una lámpara convencional que funciona a una potencia de 100 W. El tiempo de vida de la lámpara con eficiencia energética es 10 000 h y su precio de compra es 17.0 dólares, mientras que la lámpara convencional tiene un tiempo de vida de 750 h y cuesta 0.420 dólares por lámpara. Determine el ahorro total que se obtiene al usar una lámpara con eficiencia energética durante su tiempo de vida, en oposición a usar lámparas convencionales durante el mismo intervalo de tiempo. Suponga un costo de energía de 0.080 0 dólares por kilowatt hora.

34. Una motoneta eléctrica tiene una batería capaz de suministrar 120 Wh de energía. Si las fuerzas de fricción y otras pérdidas explican 60.0% del uso de energía, ¿qué cambio en altitud puede lograr un motociclista cuando conduce en terreno montañoso, si el conductor y la motoneta tienen un peso combinado de 890 N?

35. Un furgón cargado tiene una masa de 950 kg y rueda sobre rieles con fricción despreciable. Parte del reposo y un cable conectado a un malacate lo jala por el tiro de una mina. El tiro está inclinado 30.0° sobre la horizontal. El furgón acelera de manera uniforme a una rapidez de 2.20 m/s en 12.0 s y después continúa con rapidez constante. a) ¿Qué potencia debe proporcionar el motor del malacate cuando el furgón se mueve con rapidez constante? b) ¿Qué potencia máxima debe proporcionar el motor del malacate? c) ¿Qué energía total transfirió el motor mediante trabajo para cuando el furgón salió de la pista, que tiene 1 250 m de largo?

36. Por convención la energía se mide en Calorías, así como en joules. Una Caloría en nutrición es una kilocaloría, que se define como 1 kcal = 4 186 J. Metabolizar 1 g de grasa puede liberar 9.00 kcal. Una estudiante decide intentar perder peso mediante el ejercicio. Ella planea subir y bajar corriendo las escaleras de un estadio de futbol tan rápido como pueda y tantas veces como sea necesario. ¿Esta actividad en sí misma es una forma práctica de perder peso? Para evaluar el programa, suponga que ella sube un tramo de 80 escalones, cada uno de 0.150 m de alto, en 65.0 s. Por simplicidad, ignore la energía que usa al bajar (que es pequeña). Suponga que una eficiencia típica para músculos humanos es de 20.0%. Esta afirmación significa que, cuando su cuerpo convierte 100 J de grasa en metabolismo, 20 J realizan trabajo mecánico (en este caso, subir escaleras). El resto va a energía interna adicional. Suponga que la masa de la estudiante es de 50.0 kg. a) ¿Cuántas veces debe correr el tramo de escaleras para perder 1 lb de grasa? b) ¿Cuál es su potencia desarrollada promedio, en watts y en caballos de fuerza, mientras sube corriendo las escaleras?

Problemas adicionales

37. Un muchacho con su patineta se modela como una partícula de 76.0 kg de masa, ubicado en su centro de masa (que se estudiará en el capítulo 9). Como se muestra en la figura P8.37, el muchacho parte del reposo en una posición encorvada en un borde de un medio tubo (punto Ⓐ). El medio tubo es un canal de agua seco, que forma la mitad de un cilindro de 6.80 m de radio con su eje horizontal. En su descenso, el muchacho se mueve sin fricción de modo que su centro de masa se mueve a través de un cuarto de círculo de 6.30 m de radio. a) Encuentre su rapidez en el fondo del medio tubo (punto Ⓑ). b) Encuentre su aceleración centrípeta. c) Encuentre la fuerza normal $n_Ⓑ$ que actúa sobre él en el punto Ⓑ. Inmediatamente después de pasar el punto Ⓑ, se pone de pie y eleva los brazos, lo que eleva su centro de masa de 0.500 m a 0.950 m sobre el concreto (punto Ⓒ). Para explicar la conversión de energía química en mecánica modele sus piernas como realizando trabajo al empujarlo verticalmente hacia arriba, con una fuerza constante igual a la fuerza normal $n_Ⓑ$, sobre una distancia de 0.450 m. (En el capítulo 11 será capaz de resolver este problema con un modelo más preciso.) d) ¿Cuál es el trabajo invertido en el cuerpo del muchacho en este proceso? A continuación, él se desliza hacia arriba con su centro de masa moviéndose en un cuarto de círculo de 5.85 m de radio. Su cuerpo está horizontal cuando pasa el punto Ⓓ, el borde lejano del medio tubo. e) Encuentre su rapidez en esta ubicación. Por último se vuelve balístico y gira mientras su centro de masa se mueve verticalmente. f) ¿A qué altura sobre el punto Ⓓ se eleva? g) ¿Durante qué intervalo de tiempo es aerotransportado antes de bajar, 2.34 m abajo del nivel del punto Ⓓ? *Precaución:* No intente esta acrobacia sin la habilidad y equipo requeridos, o en un canal de drenaje al que no tenga acceso legal.

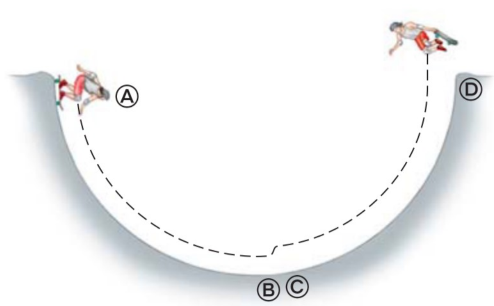


Figura P8.37

38. ● **Problema de repaso.** Como se muestra en la figura P8.38, unacuerda ligera que no se estira cambia de horizontal a vertical a medida que pasa sobre el borde de una mesa. La cuerda conecta un bloque de 3.50 kg, al principio en reposo sobre la mesa horizontal, 1.20 m arriba del suelo, a un bloque colgante de 1.90 kg, al principio a 0.900 m sobre el suelo. Ni la superficie de la mesa ni su borde ejercen una fuerza de fricción cinética. Los bloques comienzan a moverse con rapidez despreciable. Considere los dos bloques más la Tierra como el sistema. a) ¿La energía mecánica del sistema permanece constante entre el instante de liberación y el instante antes de que el bloque colgante golpee el suelo? b) Encuentre la rapidez a la que el bloque deslizante deja el borde de la mesa. c) Ahora suponga que el bloque colgante se detiene permanentemente tan pron-to como llega al suelo pegajoso. ¿La energía mecánica del sistema permanece constante entre el instante de liberación y el instante antes de que el bloque deslizante golpee el suelo? d) Encuentre la rapidez de impacto del bloque deslizante. e) ¿Cuán larga debe ser la cuerda si no se debe tensar mientras el bloque deslizante está en vuelo? f) ¿Se invalidaría su cálculo de rapidez si la cuerda se tensa? g) Incluso con fricción cinética despreciable, el coeficiente de fricción estática entre el bloque más pesado y la mesa es 0.560. Evalúe la fuerza de fricción que actúa sobre este bloque antes de que comience el movimiento. h) ¿El movimiento comenzará por sí solo, o el experimentador debe dar un pequeño golpe al bloque deslizante para que comience? ¿Los cálculos de rapidez todavía son válidos?

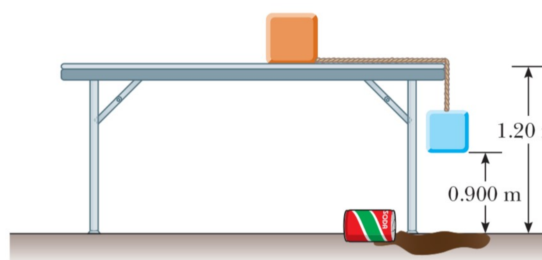


Figura P8.38

39. Una partícula de 4.00 kg se mueve a lo largo del eje x. Su posición varía con el tiempo de acuerdo con $x = t + 2.0t^3$, donde x está en metros y t en segundos. Encuentre: a) la energía cinética en cualquier tiempo t, b) la aceleración de la partícula y la fuerza que actúa sobre ella en el tiempo t, c) la potencia que se entrega a la partícula en el tiempo t y d) el trabajo invertido en la partícula en el intervalo $t = 0$ a $t = 2.00$ s.

40. ● Sin atención del peligro, un niño salta sobre una pila de colchonetas para usarlas como trampolín. Su movimiento entre dos puntos particulares se describe mediante la ecuación de conservación de la energía

$$\tfrac{1}{2}(46.0 \text{ kg})(2.40 \text{ m/s})^2 + (46.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)(2.80 \text{ m} + x) = \tfrac{1}{2}(1.94 \times 10^4 \text{ N/m})x^2$$

a) Resuelva la ecuación para x. b) Componga el enunciado de un problema, incluidos datos, para los que esta ecuación dé la solución. Identifique el significado físico del valor de x.

41. Mientras el conductor pisa el pedal del acelerador, un automóvil de 1 160 kg de masa acelera desde el reposo. Durante los primeros segundos de movimiento, la aceleración del automóvil aumenta con el tiempo de acuerdo con la expresión

$$a = (1.16 \text{ m/s}^3)t - (0.210 \text{ m/s}^4)t^2 + (0.240 \text{ m/s}^5)t^3$$

a) ¿Qué trabajo invierten las ruedas sobre el automóvil durante el intervalo desde $t = 0$ hasta $t = 2.50$ s? b) ¿Cuál es la potencia útil de las ruedas en el instante $t = 2.50$ s?

42. Una partícula de 0.400 kg se desliza alrededor de una pista horizontal. La pista tiene una pared exterior vertical uniforme que forma un círculo con un radio de 1.50 m. A la partícula se le da una rapidez inicial de 8.00 m/s. Después de una revolución, su rapidez cae a 6.00 m/s debido a la fricción con el suelo rugoso de la pista. a) Encuentre la energía transformada de mecánica a interna en el sistema como resultado de la fricción en una revolución. b) Calcule el coeficiente de fricción cinética. c) ¿Cuál es el número total de revoluciones que da la partícula antes de detenerse?

43. Un bloque de 200 g se presiona contra un resorte con 1.40 kN/m de constante de fuerza hasta que el bloque comprime el resorte 10.0 cm. El resorte descansa en la parte baja de una rampa inclinada 60.0° con la horizontal. Mediante consideraciones de energía, determine cuánto se mueve el bloque hacia arriba del plano inclinado antes de detenerse a) si la rampa no ejerce fuerza de fricción en el bloque y b) si el coeficiente de fricción cinética es 0.400.

44. ● Mientras limpia un estacionamiento, un quitanieve empuja una pila cada vez más grande de nieve enfrente de él. Suponga que un automóvil que se mueve a través del aire se modela como un cilindro que empuja una pila creciente de aire enfrente de él. El aire originalmente estacionario se pone en movimiento a la rapidez constante v del cilindro, como se muestra en la figura P8.44. En un intervalo de tiempo Δt, un nuevo disco de aire de masa Δm se debe mover una distancia $v\,\Delta t$ y por tanto se le debe dar una energía cinética $\frac{1}{2}(\Delta m)v^2$. Con el uso de este modelo, muestre que la pérdida de potencia del automóvil debida a resistencia del aire es $\frac{1}{2}\rho A v^3$, y que la fuerza resistiva que actúa sobre el automóvil es $\frac{1}{2}\rho A v^2$, donde ρ es la densidad del aire. Compare este resultado con la expresión empírica $\frac{1}{2}D\rho A v^2$ para la fuerza resistiva.

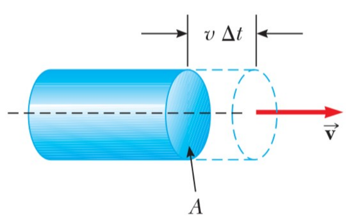


Figura P8.44

45. Un molino de viento, como el que se muestra en la fotografía de apertura del capítulo 7, gira en respuesta a una fuerza de resistencia del aire de alta rapidez, $R = \frac{1}{2}D\rho A v^2$. La potencial disponible es $\mathcal{P} = Rv = \frac{1}{2}D\rho\pi r^2 v^3$, donde v es la rapidez del viento y se supone una cara circular para el molino de viento, de radio r. Tome el coeficiente de arrastre como $D = 1.00$ y la densidad del aire de las primeras páginas de este libro. Para un molino de viento casero que tenga $r = 1.50$ m, calcule la potencia disponible con a) $v = 8.00$ m/s y b) $v = 24.0$ m/s. La potencia entregada al generador está limitada por la eficiencia del sistema, cerca de 25%. En comparación, un hogar estadounidense típico usa alrededor de 3 kW de energía eléctrica.

46. ● Desde el reposo, una persona de 64.0 kg hace un salto bungee desde un globo atado 65.0 m sobre el suelo (figura P8.11). La cuerda bungee tiene masa despreciable y longitud no estirada de 25.8 m. Un extremo se amarra a la canasta del globo aerostático y el otro extremo a un arnés alrededor del cuerpo de la persona. La cuerda se modela como un resorte que obedece la ley de Hooke con una constante de resorte de 81.0 N/m, y el cuerpo de la persona se modela como partícula. El globo no se mueve. a) Exprese la energía potencial gravitacional del sistema persona–Tierra como función de la altura variable y de la persona sobre el suelo. b) Exprese la energía potencial elástica de la cuerda como función de y. c) Exprese la energía potencial total del sistema persona–cuerda–Tierra como función de y. d) Trace una gráfica de energías gravitacional, elástica y potencial total como funciones de y. e) Suponga que la resistencia del aire es despreciable. Determine la altura mínima de la persona sobre el suelo durante su caída. f) ¿La gráfica de energía potencial muestra alguna posición de equilibrio? Si es así, ¿a qué elevaciones? ¿Son estables o inestables? g) Determine la rapidez máxima del saltador.

47. Considere el sistema bloque–resorte–superficie en el inciso B) del ejemplo 8.6. a) ¿En qué posición x del bloque su rapidez es un máximo? b) En la sección **¿Qué pasaría si?** de dicho ejemplo, se exploraron los efectos de una fuerza de fricción aumentada de 10.0 N. ¿En qué posición del bloque su rapidez máxima se presenta en esta situación?

48. ● Hace más de 2 300 años el maestro griego Aristóteles escribió el primer libro llamado *Física*. Puesto en terminología más precisa, este pasaje es del final de su Sección Eta:

> Sea $\mathcal{P}$ la potencia de un agente que causa movimiento; w, la carga movida; d, la distancia cubierta; y Δt, el intervalo de tiempo requerido. En tal caso 1) una potencial igual a $\mathcal{P}$ en un intervalo de tiempo igual a Δt moverá $w/2$ una distancia $2d$, o 2) moverá $w/2$ la distancia dada d en el intervalo de tiempo $\Delta t/2$. Además, si 3) la potencia conocida $\mathcal{P}$ mueve la carga dada w una distancia $d/2$ en el intervalo de tiempo $\Delta t/2$, por lo tanto 4) $\mathcal{P}/2$ moverá $w/2$ la distancia dada d en el intervalo de tiempo dado Δt.

a) Demuestre que las proporciones de Aristóteles se incluyen en la ecuación $\mathcal{P}\Delta t = bwd$, donde b es una constante de proporcionalidad. b) Demuestre que la teoría de movimiento del libro incluye esta parte de la teoría de Aristóteles como un caso especial. En particular, describa una situación en la que sea verdadera, deduzca la ecuación que represente las proporciones de Aristóteles y determine la constante de proporcionalidad.

49. **Problema de repaso.** La masa de un automóvil es 1 500 kg. La forma del cuerpo del automóvil es tal que su coeficiente de arrastre aerodinámico es $D = 0.330$ y el área frontal es 2.50 m^2. Si supone que la fuerza de arrastre es proporcional a v^2 y si ignora otras fuentes de fricción, calcule la potencia requerida para mantener una rapidez de 100 km/h mientras el automóvil asciende una larga colina con 3.20° de pendiente.

50. Una partícula de 200 g se libera desde el reposo en el punto Ⓐ a lo largo del diámetro horizontal en el interior de un tazón hemisférico sin fricción con radio $R = 30.0$ cm (figura P8.50). Calcule a) la energía potencial gravitacional del sistema partícula–Tierra cuando la partícula está en el punto Ⓐ en rela-

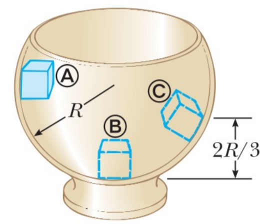


Figura P8.50 Problemas 50 y 51.

ción con el punto Ⓑ, b) la energía cinética de la partícula en el punto Ⓑ, c) su rapidez en el punto Ⓑ y d) su energía cinética y la energía potencial cuando la partícula está en el punto Ⓒ.

51. ● **¿Qué pasaría si?** La partícula descrita en el problema 50 (figura P8.50) se libera desde el reposo en Ⓐ, y la superficie del tazón es rugosa. La rapidez de la partícula en Ⓑ es 1.50 m/s. a) ¿Cuál es su energía cinética en Ⓑ? b) ¿Cuánta energía mecánica se transforma en energía interna a medida que la partícula se mueve de Ⓐ a Ⓑ? c) ¿Es posible determinar el coeficiente de fricción a partir de estos resultados de alguna manera simple? Explique.

52. Suponga que asiste a una universidad estatal que se fundó como escuela de agricultura. Cerca del centro del campus hay un alto silo coronado con un casco hemisférico. El casco no tiene fricción cuando está húmedo. Alguien equilibró una calabaza en el punto más alto del silo. La línea desde el centro de curvatura del casco hacia la calabaza forma un ángulo $\theta_i = 0°$ con la vertical. En una noche lluviosa, mientras está de pie en las cercanías, un soplo de viento hace que la calabaza se comience a deslizar hacia abajo desde el reposo. La calabaza pierde contacto con el casco cuando la línea desde el centro del hemisferio hacia la calabaza forma cierto ángulo con la vertical. ¿Cuál es este ángulo?

53. El zanco saltarín de un niño (figura P8.53) almacena energía en un resorte con una constante de fuerza de 2.50×10^4 N/m. En la posición Ⓐ ($x_Ⓐ = -0.100$ m), la compresión del resorte es un máximo y el niño momentáneamente está en reposo. En la posición Ⓑ ($x_Ⓑ = 0$), el resorte está relajado y el niño se mueve hacia arriba. En la posición Ⓒ, el niño de nuevo está momentáneamente en reposo en lo alto del salto. La masa combinada del niño y el zanco es de 25.0 kg. a) Calcule la energía total del sistema niño–zanco saltarín–Tierra, y considere las energías gravitacional y potencial elástica como cero para $x = 0$. b) Determine $x_Ⓒ$. c) Calcule la rapidez del niño en $x = 0$. d) Determine el valor de x para el que la energía cinética del sistema es un máximo. e) Calcule la rapidez hacia arriba máxima del niño.

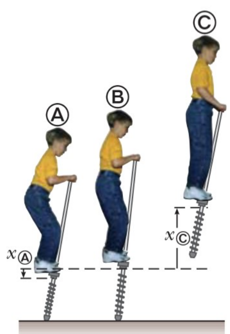


Figura P8.53

54. Un objeto de 1.00 kg se desliza hacia la derecha sobre una superficie que tiene un coeficiente de fricción cinética de 0.250 (figura P8.54). El objeto tiene una rapidez de $v_i = 3.00$ m/s cuando hace contacto con un resorte ligero que tiene una constante de fuerza de 50.0 N/m. El objeto llega al reposo después de que el resorte se comprime una distancia d. En tal caso el objeto se fuerza hacia la izquierda mediante el resorte y continúa moviéndose en dicha dirección más allá de la posición no estirada del resorte. Al final, el objeto llega al reposo una distancia D a la izquierda del resorte no estirado. Encuentre a) la distancia de compresión d, b) la rapidez v en la posición no estirada cuando el objeto es móvil hacia la izquierda y c) la distancia D donde el objeto llega al reposo.

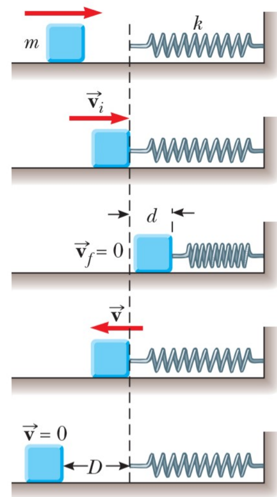


Figura P8.54

55. Un bloque de 10.0 kg se libera desde el punto Ⓐ en la figura P8.55. La pista no tiene fricción excepto por la porción entre los puntos Ⓑ y Ⓒ, que tiene una longitud de 6.00 m. El bloque viaja por la pista, golpea un resorte con 2 250 N/m de constante de fuerza y comprime el resorte 0.300 m desde su posición de equilibrio antes de llegar al reposo momentáneamente. Determine el coeficiente de fricción cinética entre el bloque y la superficie rugosa entre Ⓑ y Ⓒ

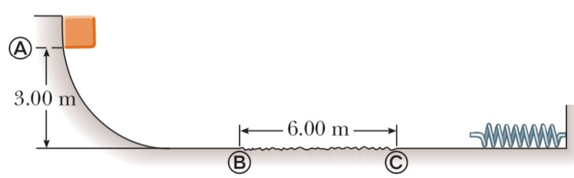


Figura P8.55

56. Una cadena uniforme de 8.00 m de longitud inicialmente yace estirada sobre una mesa horizontal. a) Si supone que el coeficiente de fricción estática entre la cadena y la mesa es 0.600, muestre que la cadena comenzará a deslizarse de la mesa si al menos 3.00 m de ella cuelgan sobre el borde de la mesa. b) Determine la rapidez de la cadena cuando su último eslabón deja la mesa, teniendo en cuenta que el coeficiente de fricción cinética entre la cadena y la mesa es 0.400.

57. Un bloque de 20.0 kg se conecta a un bloque de 30.0 kg mediante una cuerda que pasa sobre una polea ligera sin fricción. El bloque de 30.0 kg se conecta a un resorte que tiene masa despreciable y una constante de fuerza de 250 N/m, como se muestra en la figura P8.57. El resorte no está estirado cuando el sistema está como se muestra en la figura, y el plano inclinado no tiene fricción. El bloque de 20.0 kg se jala 20.0 cm hacia abajo del plano (de modo que el bloque de 30.0 kg está 40.0 cm sobre el suelo) y se libera desde el reposo. Encuentre la rapidez de cada bloque cuando el bloque de 30.0 kg está 20.0 cm arriba del suelo (esto es: cuando el resorte no está estirado).

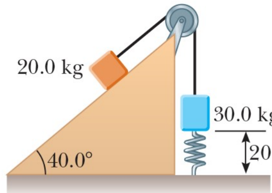


Figura P8.57

58. Jane, cuya masa es 50.0 kg, necesita columpiarse a través de un río (que tiene una anchura D), lleno de cocodrilos cebados con carne humana, para salvar a Tarzán del peligro. Ella debe columpiarse contra un viento que ejerce fuerza horizontal constante $\vec{\mathbf{F}}$, en una liana que tiene longitud L e inicialmente forma un ángulo θ con la vertical (figura P8.58). Considere $D = 50.0$ m, $F = 110$ N, $L = 40.0$ m y $\theta = 50.0°$. a) ¿Con qué rapidez mínima Jane debe comenzar su balanceo para apenas llegar al otro lado? b) Una vez que el rescate está completo, Tarzán y Jane deben columpiarse de vuelta a través del río. ¿Con qué rapidez mínima deben comenzar su balanceo? Suponga que Tarzán tiene una masa de 80.0 kg.

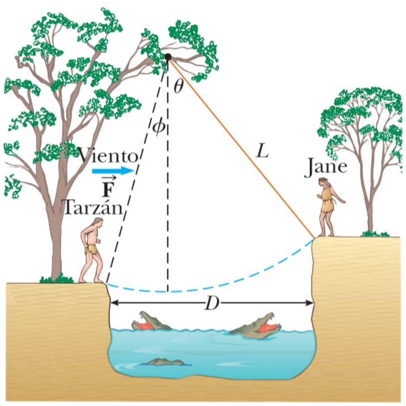


Figura P8.58

59. ● Un bloque de 0.500 kg de masa se empuja contra un resorte horizontal de masa despreciable hasta que el resorte se comprime una distancia x (figura P8.59). La constante de fuerza del resorte es 450 N/m. Cuando se libera, el bloque viaja a lo largo de una superficie horizontal sin fricción al punto B, la parte baja de una pista circular vertical de radio $R = 1.00$ m, y continúa moviéndose a lo largo de la pista. La rapidez del bloque en la parte baja de la pista es $v_B = 12.0$ m/s, y el bloque experimenta una fuerza de fricción promedio de 7.00 N mientras se desliza hacia arriba de la pista. a) ¿Cuál es x? b) ¿Qué rapidez predice para el bloque en lo alto de la pista? c) ¿En realidad el bloque llega a lo alto de la pista, o cae antes de llegar a lo alto?

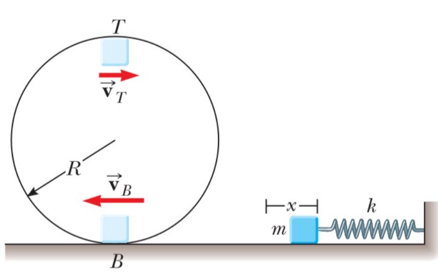


Figura P8.59

60. Una bola de masa $m = 300$ g se conecta mediante una cuerda resistente de longitud $L = 80.0$ cm a un pivote y se mantiene en su lugar con la cuerda vertical. Un viento ejerce fuerza constante F hacia la derecha sobre la bola, como se muestra en la figura P8.60. La bola se libera desde el reposo. El viento hace que se balancee para lograr altura máxima H sobre su punto de partida antes de que se balancee abajo de nuevo. a) Encuentre H como función de F. Evalúe H b) para $F = 1.00$ N y c) para $F = 10.0$ N. ¿Cómo se comporta H d) cuando F tiende a cero e) y cuando F tiende a infinito? f) Ahora considere la altura de equilibrio de la bola con el viento que sopla. Determínela como función de F. Evalúe la altura de equilibrio g) para $F = 10$ N y h) para F que tiende a infinito.

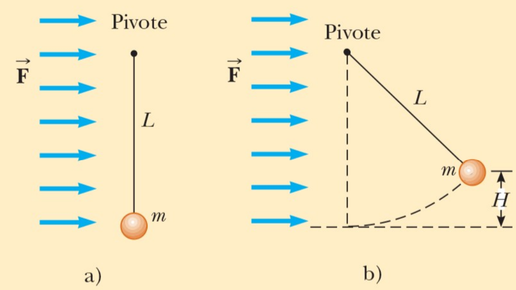


Figura P8.60

61. Un bloque de masa M descansa sobre una mesa. Se amarra al extremo inferior de un resorte vertical ligero. El extremo superior del resorte se amarra a un bloque de masa m. El bloque superior se empuja hacia abajo con una fuerza adicional $3mg$, así que la compresión del resorte es $4mg/k$. En esta configuración, el bloque superior se libera desde el reposo. El resorte se eleva de la mesa al bloque inferior. En términos de m, ¿cuál es el mayor valor posible de M?

62. Un péndulo, que consta de una cuerda ligera de longitud L y un esfera pequeña, se balancean en el plano vertical. La cuerda golpea una clavija ubicada a un distancia d bajo el punto de suspensión (figura P8.62). a) Demuestre que, si la esfera se libera desde una altura por abajo de la clavija, regresará a esta altura después de que la cuerda golpee la clavija. b) Demuestre que, si el péndulo se libera desde la posición horizontal ($\theta = 90°$) y se balancea en un círculo completo con centro en la clavija, el valor mínimo de d debe ser $3L/5$.

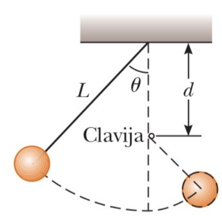


Figura P8.62

63. Una bola gira alrededor de un círculo vertical en el extremo de una cuerda. El otro extremo de la cuerda está fijo en el centro del círculo. Si supone que la energía total del sistema bola–Tierra permanece constante, demuestre que la tensión en la cuerda en la parte baja es mayor que la tensión en lo alto por seis veces el peso de la bola.

64. Un carro de montaña rusa se libera desde el reposo en lo alto de la primera subida y luego se mueve libremente con fricción despreciable. La montaña rusa que se muestra en la figura

P8.64 tiene un bucle circular de radio R en un plano vertical. a) Primero suponga que el carro apenas libra el bucle; en lo alto del bucle, los pasajeros están cabeza abajo y se sienten sin peso. Encuentre la altura requerida del punto de liberación sobre la parte baja del bucle en términos de R. b) Ahora suponga que el punto de liberación está en o arriba de la altura mínima requerida. Demuestre que la fuerza normal sobre el carro en la parte baja del bucle supera la fuerza normal en lo alto del bucle por seis veces el peso del carro. La fuerza normal sobre cada pasajero sigue la misma regla. Puesto que una fuerza normal tan grande es peligrosa y muy incómoda para los pasajeros, las montañas rusas no se construyen con bucles circulares en planos verticales. La figura P6.18 y la fotografía de la página 137 muestran dos diseños actuales.

Figura P8.64

65. **Problema de repaso.** En 1887, en Bridgeport, Connecticut, C.J. Belknap construyó el tobogán de agua que se muestra en la figura P8.65. Un pasajero en un pequeño trineo, de 80.0 kg de masa total, se empuja para arrancar en lo alto del tobogán (punto Ⓐ), con una rapidez de 2.50 m/s. El tobogán tiene 9.76 m de alto en la cima, 54.3 m de largo y 0.51 m de ancho. A lo largo de su longitud, 725 ruedas pequeñas hacen la fricción despreciable. Al momento de dejar el tobogán horizontalmente en su extremo inferior (punto Ⓒ), el pasajero pasa rozando el agua de Long Island Sound por hasta 50 m, "saltando como un guijarro plano", antes de que llegue al reposo y nade a la orilla, jalando su trineo tras de él. De acuerdo con *Scientific American*, "La expresión facial de los novatos que toman su primer deslizamiento venturoso es bastante notoria, y las sen-saciones que experimentan son correspondientemente novedosas y peculiares". a) Encuentre la rapidez del trineo y el pasajero en el punto Ⓒ. b) Modele la fuerza de la fricción del agua como una fuerza retardadora constante que actúa sobre una partícula. Encuentre el trabajo invertido por la fricción del agua para detener al trineo y al pasajero. c) Hallar la magnitud de la fuerza que ejerce el agua sobre el trineo. d) Encuentre la magnitud de la fuerza que el tobogán ejerce sobre el trineo en el punto Ⓑ. e) En el punto Ⓒ, el tobogán es horizontal pero curvo en el plano vertical. Suponga que su radio de curvatura es 20.0 m. Encuentre la fuerza que el tobogán ejerce sobre el trineo en el punto Ⓒ.

Grabado de *Scientific American*, julio de 1888

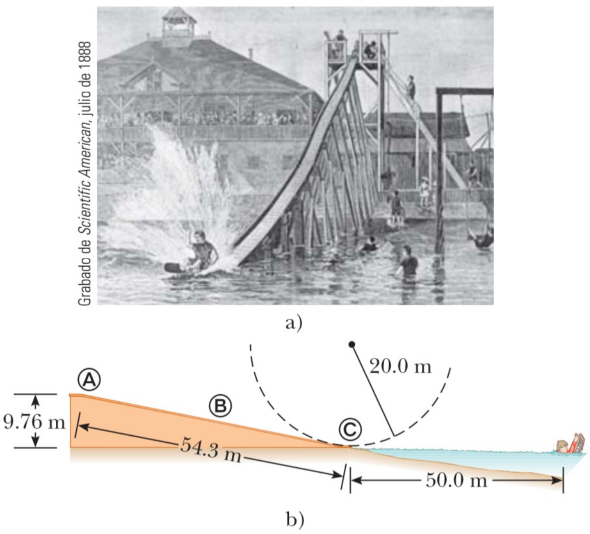


Figura P8.65

66. Considere la colisión bloque–resorte discutida en el ejemplo 8.8. a) En el inciso (B), para la situación en que la superficie ejerce una fuerza de fricción sobre el bloque, demuestre que el bloque nunca llega de regreso a $x = 0$. b) ¿Cuál es el valor máximo del coeficiente de fricción que permitiría al bloque regresar a $x = 0$?

Respuestas a las preguntas rápidas

8.1 a). Para el televisor, la energía entra mediante transmisión eléctrica (a través del cable eléctrico). La energía sale mediante calor (de las superficies calientes hacia el aire), ondas mecánicas (sonido de las bocinas) y radiación electromagnética (de la pantalla). b) Para la podadora de gasolina, la energía entra mediante transferencia de materia (gasolina). La energía sale mediante trabajo (sobre las hojas de pasto), ondas mecánicas (sonido) y calor (de las superficies calientes hacia el aire). c) Para el sacapuntas manual, la energía entra mediante trabajo (de su mano que da vuelta al sacapuntas). La energía sale mediante trabajo (invertido sobre el lápiz), ondas mecánicas (sonido) y calor debido al aumento de temperatura por fricción.

8.2 **i**), b). Para el bloque, la fuerza de fricción de la superficie representa una interacción con el medio ambiente. **ii**), b). Para la superficie, la fuerza de fricción del bloque representa una interacción con el medio ambiente. **iii**), a). Para el bloque y la superficie, la fuerza de fricción es interna al sistema, así que no hay interacción con el medio ambiente.

8.3 a). La roca tiene el doble de energía potencial gravitacional asociada con ella en comparación con la de la roca más ligera. Puesto que la energía mecánica de un sistema aislado se conserva, la roca más de gran masa llegará al suelo con el doble de energía cinética que la roca más ligera.

8.4 $v_1 = v_2 = v_3$. La primera y tercera bolas aceleran después de ser lanzadas, mientras que la segunda bola frena al inicio pero acelera después de llegar a su pico. Las trayectorias de las tres bolas son parábolas, y las bolas tardan diferentes intervalos de tiempo en llegar al suelo porque tienen distintas velocidades iniciales. Sin embargo, las tres bolas tienen la misma rapidez en el momento en que golpean el suelo porque todas parten con la misma energía cinética y porque el sistema bola–Tierra se somete al mismo cambio en energía potencial gravitacional en los tres casos.

8.5 c). Los frenos y el camino son más calientes, así que su energía interna aumentó. Además, el sonido del derrape representa transferencia de energía que se aleja mediante ondas mecánicas.

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