

P17.27. Tenemos suerte de que la Tierra no esté en equilibrio térmico con el Sol (cuya temperatura superficial es de 5800 K). Pero, ¿por qué no lo está?

P17.28. Cuando hay escasez de energía, algunas revistas recomiendan mantener las casas a temperatura constante día y noche para ahorrar combustible. El argumento es que, al apagar la calefacción de noche, las paredes, techos, etcétera, se enfrían y deberán volver a calentarse en la mañana. Así, al mantener la temperatura constante, estas partes de la casa no se enfriarán y no tendrán que volver a calentarse. ¿Tiene sentido este argumento? ¿Realmente se ahorraría energía siguiendo ese consejo?

Ejercicios

Sección 17.2 Termómetros y escalas de temperatura

17.1. Convierta las siguientes temperaturas Celsius a Fahrenheit: *a*) -62.8°C , la temperatura más baja registrada en Norteamérica (3 de febrero de 1947, Snag, Yukón); *b*) 56.7°C , la temperatura más alta registrada en Estados Unidos (10 de julio de 1913, Death Valley, California); *c*) 31.1°C , la temperatura promedio anual más alta del mundo (Lugh Ferrandi, Somalia).

17.2. Calcule las temperaturas Celsius que corresponden a: *a*) una noche de invierno en Seattle (41.0°F); *b*) un caluroso día de verano en Palm Springs (107.0°F); *c*) un frío día de invierno en el norte de Manitoba (-18.0°F).

17.3. Mientras está de vacaciones en Italia, usted ve en la televisión local en una mañana veraniega que la temperatura se elevará de los 18°C actuales a 39°C . ¿Cuál es el incremento correspondiente en la escala de temperatura Fahrenheit?

17.4. Dos vasos de agua, *A* y *B*, están inicialmente a la misma temperatura. La temperatura del agua del vaso *A* se aumenta 10°F ; y la del vaso *B*, 10°K . ¿Cuál vaso está ahora a mayor temperatura? Explique su respuesta.

17.5. Se coloca una botella de refresco en un refrigerador y se deja ahí hasta que su temperatura haya bajado 10.0°K . Calcule el cambio de temperatura en *a*) $^{\circ}\text{F}$ y *b*) $^{\circ}\text{C}$.

17.6. *a*) El 22 de enero de 1943, la temperatura en Spearfish, Dakota del Sur, se elevó de -4.0°F a 45.0°F en sólo dos minutos. ¿Cuál fue el cambio de la temperatura en grados Celsius? *b*) La temperatura en Browning, Montana, fue de 44.0°F el 23 de enero de 1916. El día siguiente la temperatura se desplomó a -56°C . ¿Cuál fue el cambio de temperatura en grados Celsius?

17.7. *a*) Usted se siente mal y le dicen que tiene una temperatura de 40.2°C . ¿Cuál es su temperatura en $^{\circ}\text{F}$? ¿Debería preocuparse? *b*) El reporte meteorológico matutino en Sydney indica una temperatura actual de 12°C . ¿Cuál es la temperatura en $^{\circ}\text{F}$?

Sección 17.3 Termómetros de gas y la escala Kelvin

17.8. *a*) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Celsius coinciden. *b*) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Kelvin coinciden.

17.9. Convierta las siguientes temperaturas récord a la escala Kelvin: *a*) la temperatura más baja registrada en los 48 estados contiguos de Estados Unidos (-70.0°F en Rogers Pass, Montana, el 20 de enero de 1954); *b*) la temperatura más alta en Australia (127.0°F en Cloncurry, Queensland, el 16 de enero de 1889); *c*) la temperatura más baja registrada en el hemisferio norte (-90.0°F en Verkhoyansk, Siberia, en 1892).

17.10. Convierta las siguientes temperaturas Kelvin a las escalas Celsius y Fahrenheit: *a*) la temperatura al medio día en la superficie

de la Luna (400°K); *b*) la temperatura en la parte alta de las nubes de la atmósfera de Saturno (95°K); *c*) la temperatura en el centro del Sol ($1.55 \times 10^7^{\circ}\text{K}$).

17.11. El nitrógeno líquido es un material relativamente barato que a menudo se utiliza para realizar divertidas demostraciones de física a baja temperatura. El gas nitrógeno experimenta licuefacción a una temperatura de -346°F . Convierta esta temperatura a: *a*) $^{\circ}\text{C}$ y *b*) $^{\circ}\text{K}$.

17.12. Un termómetro de gas registró una presión absoluta correspondiente a 325 mm de mercurio, estando en contacto con agua en el punto triple. ¿Qué presión indicará en contacto con agua en el punto de ebullición normal?

17.13. La presión de un gas al punto triple del agua es de 1.35 atm. Si este volumen permanece constante, ¿cuál será su presión a la temperatura a la que el CO_2 se solidifica?

17.14. Al igual que la escala Kelvin, la *escala Rankine* es una escala absoluta de temperatura: el cero absoluto es cero grados Rankine (0°R). Sin embargo, las unidades de esta escala tienen el mismo tamaño que las de la escala Fahrenheit, no las de la escala Celsius. Dé el valor numérico de la temperatura del punto triple del agua en la escala Rankine.

17.15. Termómetro de gas de volumen constante. Usando un termómetro de gas, un experimentador determinó que la presión en el punto triple del agua (0.01°C) era $4.80 \times 10^4 \text{ Pa}$; y en el punto de ebullición normal del agua (100°C), $6.50 \times 10^4 \text{ Pa}$. *a*) Suponiendo que la presión varía linealmente con la temperatura, use estos datos para calcular la temperatura Celsius en la que la presión del gas sería cero (es decir, obtenga la temperatura Celsius del cero absoluto). *b*) ¿El gas de este termómetro obedece con precisión la ecuación (17.4)? Si así fuera y la presión a 100°C fuera $6.50 \times 10^4 \text{ Pa}$, ¿qué presión habría medido el experimentador a 0.01°C ? (Como veremos en la sección 18.1, la ecuación (17.4) sólo es exacta para gases a muy baja densidad.)

Sección 17.4 Expansión térmica

17.16. El edificio más alto del mundo, de acuerdo con ciertos estándares arquitectónicos, es el Taipei 101 en Taiwán, con una altura de 1671 pies. Suponga que esta altura se midió en un fresco día primaveral, cuando la temperatura era de 15.5°C . Este edificio podría utilizarse como una especie de termómetro gigante en un día caluroso de verano, midiendo con cuidado su altura. Suponga que usted realiza esto y descubre que el Taipei 101 es 0.471 ft más alto que su altura oficial. ¿Cuál es la temperatura, suponiendo que el edificio está en equilibrio térmico con el aire y que toda su estructura está hecha de acero?

17.17. El puente Humber de Inglaterra tiene el claro individual más largo del mundo (1410 m). Calcule el cambio de longitud de la cubierta de acero del claro, si la temperatura aumenta de -5.0°C a 18.0°C .

17.18. Ajuste estrecho. Los remaches de aluminio para construcción de aviones se fabrican un poco más grandes que sus agujeros y se enfrían con “hielo seco” (CO_2 sólido) antes de insertarse. Si el diámetro de un agujero es de 4.500 mm, ¿qué diámetro debe tener un remache a 23.0°C para que su diámetro sea igual al del agujero cuando se enfría a -78.0°C , la temperatura del hielo seco? Suponga que el coeficiente de expansión es constante, con el valor dado en la tabla 17.1.

17.19. Un centavo de dólar tiene 1.9000 cm de diámetro a 20.0°C , y está hecho de una aleación (principalmente zinc) con un coeficiente de expansión lineal de $2.6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. ¿Qué diámetro tendría: en un día caluroso en Death Valley (48.0°C)? ¿Y en una noche fría en las montañas de Groenlandia (-53.0°C)?

17.20. Un domo geodésico construido con una estructura de aluminio está muy cerca de ser un hemisferio perfecto; su diámetro mide 55.0 m en un día de invierno a una temperatura de -15°C . ¿Cuánto más

espacio interior tiene el domo en el verano, cuando la temperatura es de 35 °C?

17.21. Una varilla metálica tiene 40.125 cm de longitud a 20.0 °C, y 40.148 cm a 45.0 °C. Calcule el coeficiente medio (promedio) de expansión lineal para la varilla en este intervalo de temperatura.

17.22. Un cilindro de cobre está inicialmente a 20.0 °C. ¿A qué temperatura su volumen aumentará en un 0.150%?

17.23. La densidad del agua es de 999.73 kg/m³ a una temperatura de 10 °C, y de 958.38 kg/m³ a 100 °C. Calcule el coeficiente medio de expansión de volumen para el agua en ese intervalo de temperatura.

17.24. Un tanque de acero se llena totalmente con 2.80 m³ de etanol cuando tanto el tanque como el etanol están a 32.0 °C. Una vez que el tanque y el contenido se hayan enfriado a 18.0 °C, ¿qué volumen adicional de etanol podrá meterse en el tanque?

17.25. Un frasco de vidrio con volumen de 1000.00 cm³ a 0.0 °C se llena al tope con mercurio a esta temperatura. Si el frasco y el mercurio se calientan a 55.0 °C, se derraman 8.95 cm³ de mercurio. Si el coeficiente de expansión de volumen del mercurio es de $18.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, calcule el coeficiente de expansión de volumen del vidrio.

17.26. a) Si un área medida en la superficie de un cuerpo sólido es A_0 a cierta temperatura inicial y cambia en ΔA cuando la temperatura cambia en ΔT , demuestre que

$$\Delta A = (2\alpha) A_0 \Delta T$$

donde α es el coeficiente de expansión lineal. b) Una lámina circular de aluminio tiene 55.0 cm de diámetro a 15.0 °C. ¿Cuánto cambia el área de una cara de la lámina cuando la temperatura aumenta a 27.5 °C?

17.27. Un operario hace un agujero de 1.35 cm de diámetro en una placa de acero a una temperatura de 25.0 °C. ¿Qué área transversal tendrá el agujero a) a 25.0 °C; y b) si la placa se calienta a 175 °C? Suponga que el coeficiente de expansión lineal es constante dentro de este intervalo. (Sugerencia: véase el ejercicio 17.26.)

17.28. Imagine que acaba de comenzar a trabajar como ingeniero mecánico en Motores, S.A. y le encargaron diseñar pistones de latón que se deslizarán dentro de cilindros de acero. Los motores en los que se usarán los pistones operarán a temperaturas entre 20 °C y 150 °C. Suponga que los coeficientes de expansión son constantes dentro de ese intervalo de temperaturas. a) Si el pistón apenas cabe dentro del cilindro a 20 °C, ¿los motores podrán operar a temperaturas más altas? Explique su respuesta. b) Si los pistones cilíndricos tienen un diámetro de 25.000 cm a 20 °C, ¿qué diámetro mínimo deberán tener los cilindros a esa temperatura, para que los pistones operen a 150 °C?

17.29. El diámetro exterior de un frasco de vidrio y el diámetro interior de su tapa de hierro miden ambos 725 mm a temperatura ambiente (20.0 °C). ¿Cuál será la diferencia de diámetro entre la tapa y el frasco, si la tapa se deja brevemente bajo agua caliente hasta que su temperatura alcance los 50.0 °C, sin que la temperatura del vidrio sufra alguna alteración?

17.30. Una varilla de latón tiene 185 cm de longitud y 1.60 cm de diámetro. ¿Qué fuerza debe aplicarse a cada extremo para impedir que la varilla se contraiga al enfriarse de 120 °C a 10 °C?

17.31. a) Un alambre con longitud de 1.50 m a 20.0 °C se alarga 1.90 cm al calentarse a 420.0 °C. Calcule su coeficiente medio de expansión lineal para este intervalo de temperatura. b) El alambre se tiende sin tensión a 420.0 °C. Calcule el esfuerzo en él si se enfría a 20.0 °C sin permitir que se contraiga. El módulo de Young del alambre es de $2.0 \times 10^{11} \text{ Pa}$.

17.32. Los rieles de acero para un tren se tienden en segmentos de 12.0 m de longitud, colocados extremo con extremo en un día de invierno en que la temperatura es de -2.0 °C. a) ¿Cuánto espacio debe dejarse

entre rieles adyacentes para que apenas se toquen en verano, cuando la temperatura suba a 33.0 °C? b) Si los rieles se tienden en contacto, ¿a qué esfuerzo se someterán un día de verano en el que la temperatura sea 33.0 °C?

Sección 17.5 Cantidad de calor

17.33. Una tetera de aluminio de 1.50 kg que contiene 1.80 kg de agua se pone en la estufa. Si no se transfiere calor al entorno, ¿cuánto calor debe agregarse para elevar la temperatura de 20.0 °C a 85.0 °C?

17.34. Tratando de mantenerse despierto para estudiar toda la noche, un estudiante prepara una taza de café colocando una resistencia eléctrica de inmersión de 200 W en 0.320 kg de agua. a) ¿Cuánto calor debe agregarse al agua para elevar su temperatura de 20.0 °C a 80.0 °C? b) ¿Cuánto tiempo se requiere? Suponga que toda la potencia se invierte en calentar el agua.

17.35. Imagine que le dan una muestra de metal y le piden determinar su calor específico. Pesa la muestra y obtiene un valor de 28.4 N. Añade con mucho cuidado $1.25 \times 10^4 \text{ J}$ de energía calorífica a la muestra, y observa que su temperatura aumenta 18.0 °C. ¿Qué calor específico tiene la muestra?

17.36. Pérdida de calor al respirar. Cuando hace frío, un mecanismo importante de pérdida de calor del cuerpo humano es la energía invertida en calentar el aire que entra en los pulmones al respirar. a) En un frío día de invierno cuando la temperatura es de -20 °C, ¿cuánto calor se necesita para calentar a la temperatura corporal (37 °C) los 0.50 L de aire intercambiados con cada respiración? Suponga que la capacidad calorífica específica del aire es de $1200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ y que 1.0 L de aire tiene una masa de $1.3 \times 10^{-3} \text{ kg}$. b) ¿Cuánto calor se pierde por hora si se respira 20 veces por minuto?

17.37. Al correr, un estudiante de 70 kg genera energía térmica a razón de 1200 W. Para mantener una temperatura corporal constante de 37 °C, esta energía debe eliminarse por sudor u otros mecanismos. Si tales mecanismos fallaran y no pudiera salir calor del cuerpo, ¿cuánto tiempo podría correr el estudiante antes de sufrir un daño irreversible? (Nota: las estructuras proteínicas del cuerpo se dañan irreversiblemente a 44 °C o más. La capacidad calorífica específica del cuerpo humano es de alrededor de $3480 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, poco menos que la del agua; la diferencia se debe a la presencia de proteínas, grasas y minerales, cuyo calor específico es menor que el del agua.)

17.38. Al pintar la punta de una antena de 225 m de altura, un trabajador deja caer accidentalmente una botella de agua de 1.00 L de su lonchera. La botella cae sobre unos arbustos en el suelo y no se rompe. Si una cantidad de calor igual a la magnitud del cambio de energía mecánica de la botella pasa al agua, ¿cuánto aumentará su temperatura?

17.39. Una caja con fruta, con masa de 35.0 kg y calor específico de $3650 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ baja deslizándose por una rampa de 8.00 m de longitud, que está inclinada 36.9 °C bajo la horizontal. a) Si la caja estaba en reposo arriba de la rampa y tiene una rapidez de 2.50 m/s en la base, ¿cuánto trabajo efectuó la fricción sobre ella? b) Si una cantidad de calor igual a la magnitud de dicho trabajo pasa a la fruta y ésta alcanza una temperatura final uniforme, ¿qué magnitud tiene el cambio de temperatura?

17.40. Un tren subterráneo de 25,000 kg viaja inicialmente a 15.5 m/s y frena para detenerse en una estación; ahí permanece el tiempo suficiente para que sus frenos se enfríen. Las dimensiones de la estación son 65.0 m de largo, 20.0 m de ancho y 12.0 de alto. Suponiendo que todo el trabajo para detener el tren que realizan los frenos se transfiere como calor de manera uniforme a todo el aire en la estación, ¿en cuánto se eleva la temperatura del aire en la estación? Tome la densidad del aire como 1.20 kg/m^3 y su calor específico como $1020 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.

17.41. Un clavo que se clava en una tabla sufre un aumento de temperatura. Si suponemos que el 60% de la energía cinética de un martillo de 1.80 kg que se mueve a 7.80 m/s se transforma en calor, que fluye hacia el clavo y no sale de él, ¿cuánto aumentará la temperatura de un clavo de aluminio de 8.00 g golpeado 10 veces?

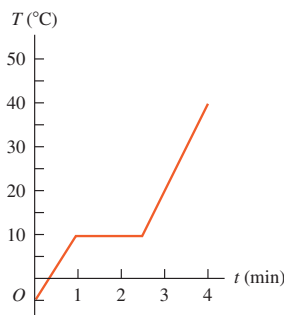
17.42. Un técnico mide el calor específico de un líquido desconocido sumergiendo en él una resistencia eléctrica. La energía eléctrica se convierte en calor transferido al líquido durante 120 s con tasa constante de 65.0 W. La masa del líquido es de 0.780 kg y su temperatura aumenta de 18.55 °C a 22.54 °C. a) Calcule el calor específico promedio del líquido en este intervalo de temperatura. Suponga que la cantidad de calor que se transfiere al recipiente es despreciable y que no se transfiere calor al entorno. b) Suponga que no es posible despreciar la transferencia de calor del líquido al recipiente o al entorno en este experimento. ¿El resultado de a) es mayor o menor que el calor específico promedio real del líquido? Explique su respuesta.

17.43. Se agregan 8950 J de calor a 3.00 moles de hierro. a) Determine el aumento de temperatura del hierro. b) Si se añade la misma cantidad de calor a 3.00 kg de hierro, ¿cuánto subirá su temperatura? c) Compare los resultados de los incisos a) y b) y explique la diferencia.

Sección 17.6 Calorimetría y cambios de fase

17.44. Imagine que trabaja como físico e introduce calor en una muestra sólida de 500 g a una tasa de 10.0 kJ/min mientras registra su temperatura en función del tiempo. La gráfica de sus datos se muestra en la figura 17.30. a) Calcule el calor latente de fusión del sólido. b) Determine los valores específicos de los estados sólido y líquido del material.

Figura 17.30 Ejercicio 17.44.



17.45. Un trozo de 500.0 g de un metal desconocido, que ha estado en agua hirviendo durante varios minutos, se deja caer rápidamente en un vaso de espuma de poliestireno, que contiene 1.00 kg de agua a temperatura ambiente (20.0 °C). Después de esperar y agitar suavemente durante 5.00 minutos, se observa que la temperatura del agua ha alcanzado un valor constante de 22.0 °C. a) Suponiendo que el vaso absorbe una cantidad despreciable de calor y que no se pierde calor al entorno, ¿qué calor específico tiene el metal? b) ¿Qué es más útil para almacenar calor, este metal o un peso igual de agua? Explique su respuesta. c) Suponga que el calor absorbido por el vaso no es despreciable. ¿Qué tipo de error tendría el calor específico calculado en el inciso a) (sería demasiado grande, demasiado pequeño o correcto)? Explique su respuesta.

17.46. Antes de someterse a su examen médico anual, un hombre de 70.0 kg cuya temperatura corporal es de 37.0 °C consume una lata entera de 0.355 L de una bebida gaseosa (principalmente agua) que está a 12.0 °C. a) Determine su temperatura corporal una vez alcanzado el equilibrio. Desprecie cualquier calentamiento por el metabolismo del hombre. El calor específico del cuerpo del hombre es de 3480 J/kg · K. b) ¿El cambio en su temperatura corporal es lo bastante grande como para medirse con un termómetro médico?

17.47. En la situación descrita en el ejercicio 17.46, el metabolismo del hombre hará que, en algún momento, la temperatura de su cuerpo (y de la bebida que consumió) vuelva a 37.0 °C. Si su cuerpo desprende energía a una tasa de 7.00×10^3 kJ/día (la *tasa metabólica basal*, TMB), ¿cuánto tardará en hacerlo? Suponga que toda la energía despendida se invierte en elevar la temperatura.

17.48. Una bandeja para hacer hielo con masa despreciable contiene 0.350 kg de agua a 18.0 °C. ¿Cuánto calor (en J, cal y Btu) debe extraerse para enfriar el agua a 0.00 °C y congelarla?

17.49. ¿Cuánto calor (en J, cal y Btu) se requiere para convertir 12.0 g de hielo a -10.0 °C en vapor a 100.0 °C?

17.50. Un recipiente abierto con masa despreciable contiene 0.550 kg de hielo a -15.0 °C. Se aporta calor al recipiente a una tasa constante de 800 J/min durante 500 min. a) ¿Después de cuántos minutos comienza a fundirse el hielo? b) ¿Cuántos minutos después de iniciado el calentamiento, la temperatura comienza a elevarse por encima de 0.0 °C? c) Dibuje una curva que indique la temperatura en función del tiempo transcurrido.

17.51. La capacidad de los acondicionadores de aire comerciales a veces se expresa en “toneladas”: las toneladas de hielo (1 ton = 2000 lb) que la unidad puede generar a partir de agua a 0 °C en 24 h. Exprese la capacidad de un acondicionador de 2 ton en Btu/h y en watts.

17.52. Quemaduras de vapor contra quemaduras de agua. ¿Cuánto calor entra en su piel si recibe el calor liberado por a) 25.0 g de vapor de agua que inicialmente está a 100.0 °C, al enfriarse a la temperatura de la piel (34.0 °C)? b) 25.0 g de agua que inicialmente está a 100.0 °C al enfriarse a 34.0 °C? c) ¿Qué le dice esto acerca de la severidad relativa de las quemaduras con vapor y con agua caliente?

17.53. ¿Qué rapidez inicial debe tener una bala de plomo a 25 °C, para que el calor desarrollado cuando se detiene sea apenas suficiente para derretirla? Suponga que toda la energía mecánica inicial de la bala se convierte en calor y que no fluye calor de la bala a su entorno. (Un rifle ordinario tiene una rapidez de salida mayor que la rapidez del sonido en aire, que es de 347 m/s a 25.0 °C.)

17.54. La evaporación del sudor es un mecanismo importante para controlar la temperatura de algunos animales de sangre caliente. a) ¿Qué masa de agua debe evaporarse de la piel de un hombre de 70.0 kg para enfriar su cuerpo 1.00 °C? El calor de vaporización del agua a la temperatura corporal de 37 °C es de 2.42×10^6 J/kg · K. La capacidad calorífica específica del cuerpo humano es de 3480 J/kg · K (véase el ejercicio 17.37). b) ¿Qué volumen de agua debe beber el hombre para reponer la que evaporó? Compárelo con el volumen de una lata de bebida gaseosa (355 cm³).

17.55. “El barco del desierto”: Los camellos necesitan muy poca agua porque pueden tolerar cambios relativamente grandes en su temperatura corporal. Mientras que las personas mantienen su temperatura corporal constante dentro de un intervalo de 1 a 2 °C, un camello deshidratado deja que su temperatura corporal baje a 34.0 °C de noche y suba a 40.0 °C de día. Para ver lo eficaz que es este mecanismo para ahorrar agua, calcule cuántos litros de agua tendría que beber un camello de 400 kg, si tratara de mantener su temperatura corporal en 34.0 °C mediante evaporación de sudor durante el día (12 h), en vez de dejar que suba a 40.0 °C. (Nota: la capacidad calorífica específica de un camello u otro mamífero es la de una persona

representativa, $3480 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. El calor de vaporización del agua a 34°C es de $2.42 \times 10^6 \text{ J/kg}$.)

17.56. Un asteroide con diámetro de 10 km y una masa de $2.60 \times 10^5 \text{ kg}$ choca contra la Tierra a una rapidez de 32.0 km/s y cae en el Océano Pacífico. Si el 1.00% de la energía cinética del asteroide se destina a hacer que entre en ebullición el agua del océano (suponga que la temperatura inicial del agua es de 10.0°C), ¿cuál es la masa de agua que se evaporará por completo como resultado de la colisión? (Para comparar, la masa del agua contenida en el Lago Superior es aproximadamente de $2 \times 10^{15} \text{ kg}$.)

17.57. Se abre la puerta de un refrigerador, y el aire a temperatura ambiente (20.0°C) llena el compartimiento de 1.50 m^3 . Un pavo de 10.0 kg, también a temperatura ambiente, se coloca en el interior del refrigerador y se cierra la puerta. La densidad del aire es de 1.20 kg/m^3 y su calor específico es de $1020 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Suponga que el calor específico de un pavo, al igual que el del ser humano, es de $3480 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. ¿Cuánto calor debe eliminar el refrigerador de su compartimiento para que el aire y el pavo alcancen el equilibrio térmico a una temperatura de 5.00°C ? Suponga que no hay intercambio de calor con el ambiente circundante.

17.58. Un técnico de laboratorio pone una muestra de 0.0850 kg de un material desconocido, que está a 100.0°C , en un calorímetro cuyo recipiente, inicialmente a 19.0°C , está hecho con 0.150 kg de cobre y contiene 0.200 kg de agua. La temperatura final del calorímetro es de 26.1°C . Calcule el calor específico de la muestra.

17.59. Un vaso aislado con masa despreciable contiene 0.250 kg de agua a 75.0°C . ¿Cuántos kilogramos de hielo a -20.0°C deben ponerse en el agua para que la temperatura final del sistema sea 30.0°C ?

17.60. Un frasco de vidrio (capacidad calorífica = $2800 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$) con masa de 6.0 g que contiene una muestra de 16.0 g de una enzima con capacidad calorífica de $2250 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ se enfría en un baño de hielo que contiene agua y 0.120 kg de hielo. ¿Cuánto hielo se derrite para enfriar la muestra, desde la temperatura ambiente (19.5°C) hasta la temperatura del baño de hielo?

17.61. Un lingote de plata de 4.00 kg se saca de un horno a 750.0°C y se coloca sobre un gran bloque de hielo a 0.0°C . Suponiendo que todo el calor cedido por la plata se usa para fundir hielo, ¿cuánto hielo se funde?

17.62. Un calorímetro de cobre de 0.100 kg contiene 0.160 kg de agua y 0.0180 kg de hielo en equilibrio térmico a presión atmosférica. Si 0.750 kg de plomo a 255°C se dejan caer en el calorímetro, ¿qué temperatura final se alcanza? Suponga que no se pierde calor al entorno.

17.63. Un recipiente con paredes térmicamente aisladas contiene 2.40 kg de agua y 0.450 kg de hielo, todo a 0.0°C . El tubo de salida de una caldera en la que hierve agua a presión atmosférica se inserta en el agua del recipiente. ¿Cuántos gramos de vapor deben condensarse dentro del recipiente (que también está a presión atmosférica), para elevar la temperatura del sistema a 28.0°C ? Desprecie el calor transferido al recipiente.

Sección 17.7 Mecanismos de transferencia de calor

17.64. Use la ecuación (17.21) para demostrar que las unidades en el SI de la conductividad térmica son: $\text{W/m} \cdot \text{K}$.

17.65. Suponga que la varilla de la figura 17.23a es de cobre, tiene 45.0 cm de longitud y área transversal de 1.25 cm^2 . Sea $T_H = 100.0^\circ\text{C}$ y $T_C = 0.0^\circ\text{C}$. a) Calcule el gradiente de la temperatura a lo largo de la varilla en el estado de equilibrio final. b) Calcule la corriente de calor en la varilla en el estado en equilibrio final. c) Calcule la temperatura de la varilla a 12.0 cm de su extremo izquierdo en el estado de equilibrio final.

17.66. Un extremo de una varilla metálica aislada se mantiene a 100.0°C , y el otro se mantiene a 0.00°C con una mezcla hielo-agua. La varilla tiene 60.0 cm de longitud y área transversal de 1.25 cm^2 . El calor conducido por la varilla funde 8.50 g de hielo en 10.0 min . Calcule la conductividad térmica k del metal.

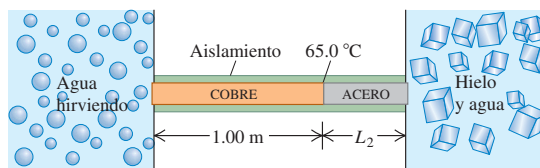
17.67. Un carpintero construye una pared exterior con una capa de madera ($k = 0.080 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) de 3.0 cm de espesor externa y una capa de espuma de poliestireno ($k = 0.010 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) de 2.2 cm de espesor interna. La temperatura de la superficie interior es de 19.0°C , y la exterior, -10.0°C . a) Calcule la temperatura en la unión entre la madera y la espuma de poliestireno. b) Calcule la tasa de flujo de calor por metro cuadrado a través de esta pared.

17.68. Un horno de cocina eléctrico tiene un área de pared total de 1.40 m^2 y está aislado con una capa de fibra de vidrio de 4.00 cm de espesor. La superficie interior de la fibra de vidrio está a 175°C , y la exterior, a 35.0°C . La fibra de vidrio tiene una conductividad térmica de $0.040 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. a) Calcule la corriente de calor en el aislante, tratándolo como una plancha con un área de 1.40 m^2 . b) ¿Qué aporte de potencia eléctrica requiere el elemento calentador para mantener esta temperatura?

17.69. El plafón de una habitación tiene un área de 125 ft^2 , y está aislado con un valor R de $30 \text{ (ft}^2 \cdot \text{F}^\circ \cdot \text{h/Btu)}$. La superficie que da a la habitación se mantiene a 69°F , y la que da al desván, a 35°F . Calcule el flujo de calor (en Btu y joules) al desván a través del plafón en 5.0 h .

17.70. Una varilla, larga y aislada está en contacto térmico perfecto para evitar pérdidas de calor por sus costados, en un extremo con agua hirviendo (a presión atmosférica) y con una mezcla agua-hielo en el otro (figura 17.31). La varilla consiste en un tramo de 1.00 m de cobre (con un extremo en contacto con vapor de agua) y el otro, unido a tope con un tramo L_2 de acero (con un extremo en contacto con la mezcla hielo-agua). Ambos tramos tienen una área transversal de 4.00 cm^2 . La temperatura en la unión cobre-acero es de 65.0°C una vez que se alcanza el estado de equilibrio. a) ¿Cuánto calor por segundo fluye del baño de vapor a la mezcla hielo-agua? b) ¿Qué longitud L_2 tiene el tramo de acero?

Figura 17.31 Ejercicio 17.70.



17.71. Una olla con base de acero de 8.50 mm de espesor y área de 0.150 m^2 descansa en una estufa caliente. El agua dentro de la olla está a 100.0°C y se evaporan 0.390 kg cada 3.00 min . Calcule la temperatura de la superficie inferior de la olla, que está en contacto con la estufa.

17.72. Imagine que le piden diseñar una varilla cilíndrica de acero de 50.0 cm de longitud, con sección transversal circular, que conducirá 150 J/s desde un horno a 400.0°C a un recipiente con agua hirviendo que está a 1 atmósfera. ¿Qué diámetro debe tener la varilla?

17.73. Una ventana tiene dimensiones de $1.40 \times 2.50 \text{ m}$ y está hecha de vidrio de 5.20 mm de espesor. En un día de invierno, la temperatura exterior es de -20.0°C , mientras que la confortable temperatura en el interior es de 19.5°C . a) ¿A qué tasa se ha perdido calor a través de la ventana por conducción? b) ¿A qué tasa se perdería el calor a través de la ventana, si usted la cubriera con una capa de papel (conductividad térmica de 0.0500) de 0.750 mm de espesor?

17.74. Calcule la tasa de radiación de energía por unidad de área de un cuerpo negro a: a) 273 K y b) 2730 K.

17.75. Calcule la tasa neta de pérdida de calor por radiación en el ejemplo 17.16 (sección 17.7) si la temperatura del entorno es de 5.0 °C.

17.76. La emisividad del tungsteno es de 0.350. Una esfera de tungsteno con radio de 1.50 cm se suspende dentro de una cavidad grande evacuada, cuyas paredes están a 290.0 K. ¿Qué aporte de potencia se requiere para mantener la esfera a una temperatura de 3000.0 K, si se desprecia la conducción de calor por los soportes?

17.77. Tamaño de un filamento de bombilla. La temperatura de operación del filamento de tungsteno de una lámpara incandescente es de 2450 K, y su emisividad es de 0.350. Calcule el área superficial del filamento de una lámpara de 150 W, si toda la energía eléctrica consumida por la lámpara es radiada por el filamento en forma de ondas electromagnéticas. (Sólo una fracción de la radiación aparece como luz visible.)

17.78. El tamaño de las estrellas. La superficie caliente luminosa de las estrellas emite energía en forma de radiación electromagnética. Es una buena aproximación suponer $e = 1$ para estas superficies. Calcule los radios de las estrellas siguientes (supóngalas esféricas): a) Rigel, la estrella azul brillante de la constelación de Orión, que radia energía a una tasa de 2.7×10^{32} W y tiene una temperatura superficial de 11,000 K; b) Procyon B (visible sólo con un telescopio), que radia energía a una tasa de 2.1×10^{23} W y tiene temperatura superficial de 10,000 K. c) Compare sus respuestas con el radio de la Tierra, el del Sol y la distancia entre la Tierra y el Sol. (Rigel es un ejemplo de estrella *supergigante*; Procyon B es un ejemplo de estrella *enana blanca*.)

Problemas

17.79. Imagine que propone una nueva escala de temperatura en la que las temperaturas se dan en °M. Defina 0.0 °M como el punto de fusión normal del mercurio; y 100.0 °M, como el punto de ebullición normal del mercurio. a) Exprese el punto de ebullición normal del agua en °M. b) ¿A cuántos °C correspondería un cambio de temperatura de 10.0 M°?

17.80. Suponga que pudiera construirse un aro de acero ajustado al ecuador terrestre a una temperatura de 20.0 °C. ¿Cuánto se separaría el aro del suelo, si la temperatura del aro aumentara 0.500 °C?

17.81. A una temperatura absoluta T_0 , un cubo tiene lados de longitud L_0 y su densidad es ρ_0 . El cubo está hecho de un material con coeficiente de expansión de volumen β . a) Demuestre que, si la temperatura aumenta a $T_0 + \Delta T$, la densidad del cubo es aproximadamente

$$\rho \approx \rho_0(1 - \beta\Delta T)$$

(Sugerencia: use la expresión $(1 + x)^n \approx 1 + nx$, válida para $|x| \ll 1$.) Explique por qué este resultado aproximado sólo es válido si ΔT es mucho menor que $1/\beta$, y por qué cabe esperar que así suceda en general. b) Un cubo de cobre mide 1.25 cm por lado a 20.0 °C. Calcule su cambio de volumen y densidad, cuando su temperatura aumenta a 70.0 °C.

17.82. Un peso de 250 kg cuelga del techo atado con un alambre delgado de cobre. En su modo fundamental, este alambre vibra a la frecuencia del concierto (440 Hz). Después se incrementa la temperatura del alambre en 40 °C. a) ¿Cuánto cambiará la frecuencia fundamental? ¿Aumentará o disminuirá? b) Calcule el cambio porcentual de la rapidez de la onda en el alambre. c) Calcule el cambio porcentual de la longitud de la onda estacionaria fundamental en el alambre. ¿Aumentará o disminuirá?

17.83. Imagine que está preparando un aderezo para pasta y tiene una taza medidora cilíndrica de 10.0 cm de altura hecha de vidrio ordinario

$[\beta = 2.7 \times 10^{-5} (\text{C}^\circ)^{-1}]$ llena con aceite de oliva $[\beta = 6.8 \times 10^{-4} (\text{C}^\circ)^{-1}]$ hasta una altura de 1.00 mm por debajo del borde de la taza. En un principio, la taza y el aceite están a temperatura ambiente (22.0 °C). El teléfono suena y usted se olvida del aceite de oliva, que por descuido dejó calentando sobre la estufa encendida. La taza y el aceite se calientan lentamente, y tienen la misma temperatura. ¿A qué temperatura comenzará a derramarse el aceite?

17.84. Use la figura 17.12 para determinar el coeficiente de expansión de volumen aproximado del agua a 2.0 °C y a 8.0 °C.

17.85. Un péndulo de Foucault consiste en una esfera de latón con un diámetro de 35.0 cm, suspendida de un cable de acero de 10.5 m de largo (ambas mediciones se hicieron a 20.0 °C). Por una negligencia en el diseño, la esfera oscilante libra el suelo por una distancia de sólo 2.00 mm, cuando la temperatura es de 20.0 °C. ¿A qué temperatura la esfera comenzará a rozar el suelo?

17.86. Usted vierte 108 cm³ de etanol, a una temperatura de -10.0 °C, en un cilindro graduado inicialmente a 20.0 °C, llenándolo hasta el borde superior. El cilindro está hecho de vidrio con un calor específico de 840 J/kg · K y un coeficiente de expansión de volumen de $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$; su masa es de 0.110 kg. La masa del etanol es de 0.0873 kg. a) ¿Cuál será la temperatura final del etanol, una vez que se alcanza el equilibrio térmico? b) ¿Cuánto etanol se desbordará del cilindro antes de alcanzar el equilibrio térmico?

17.87. Una varilla metálica de 30.0 cm de longitud se expande 0.0650 cm cuando se calienta de 0.0 °C a 100.0 °C. Una varilla de otro metal con la misma longitud se expande 0.0350 cm con el mismo aumento de temperatura. Una tercera varilla, también de 30.0 cm, se compone de tramos de los metales anteriores unidos extremo con extremo y se expande 0.0580 cm entre 0.0 °C y 100.0 °C. Calcule la longitud de cada tramo de la barra compuesta.

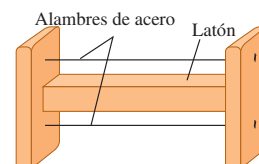
17.88. Una fresca mañana de sábado (4.0 °C), una piloto llena los tanques de su Pitts S-2C (un avión biplaza para acrobacias) hasta su capacidad máxima de 106.0 L. Antes de volar el domingo por la mañana, cuando la temperatura es otra vez de 4.0 °C, la piloto revisa el nivel de combustible y encuentra sólo 103.4 L de gasolina en los tanques. Se da cuenta de que el sábado en la tarde hizo calor, y que la expansión térmica de la gasolina hizo que el combustible faltante saliera por la ventila del tanque. a) ¿Qué temperatura máxima (en °C) alcanzaron el combustible y el tanque esa tarde? El coeficiente de expansión de volumen de la gasolina es de $9.5 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, y el tanque es de aluminio. b) Si quería tener el máximo de combustible disponible para su vuelo, ¿con cuántos litros debió llenar el tanque la piloto?

17.89. a) La ecuación (17.12) da el esfuerzo requerido para mantener constante la longitud de una varilla cuando su temperatura cambia. Demuestre que, si se permite que la longitud cambie una cantidad ΔL cuando la temperatura cambia una cantidad ΔT , el esfuerzo será igual a

$$\frac{F}{A} = Y \left(\frac{\Delta L}{L_0} - \alpha \Delta T \right)$$

donde F es la tensión en la varilla, L_0 es su longitud original, A es el área de la sección transversal, α es su coeficiente de expansión lineal y Y es su módulo de Young. b) Una barra de latón gruesa tiene proyecciones en sus extremos (figura 17.32).

Figura 17.32 Problema 17.89. Dos alambres finos de acero, tendidos entre las proyecciones, tienen tensión cero cuando el sistema está a 20 °C. Calcule el esfuerzo de tensión en los alambres, si el sistema se calienta a 140 °C. Haga supuestas simplificaciones si es necesario, pero especifíquelas.



17.90. Una varilla de acero con 0.350 m de longitud y una de aluminio con 0.250 m de longitud, ambas con el mismo diámetro, se colocan extremo con extremo entre soportes rígidos sin esfuerzo inicial en ellas. Ahora se incrementa 60.0°C su temperatura. Calcule el esfuerzo en cada varilla. (*Sugerencia:* la longitud de la varilla combinada no cambia, pero las longitudes de las varillas individuales sí. Véase el problema 17.89.)

17.91. Un anillo de acero con diámetro interior de 2.5000 in a 20.0°C se calienta y se ensambla alrededor de un eje de latón con diámetro exterior de 2.5020 in a 20.0°C . a) ¿A qué temperatura debe calentarse el anillo durante el ensamble? b) Si el anillo y el eje se enfrían juntos, digamos con aire líquido, ¿a qué temperatura se saldrá el anillo del eje?

17.92. Esfuerzo de volumen por un aumento de temperatura. a) Demuestre que, si un objeto sometido a presión se calienta sin dejar que se expanda, el aumento de presión es

$$\Delta p = \beta \Delta T$$

donde se supone que el módulo de volumen B y el coeficiente de expansión de volumen promedio β son positivos y constantes. b) ¿Qué presión se necesita para evitar que un bloque de acero se expanda, si se calienta de 20.0°C a 35.0°C ?

17.93. Un líquido se encierra en un cilindro metálico provisto de un pistón del mismo metal. Inicialmente el sistema está a una presión de 1.00 atm ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) y a 30.0°C . Se empuja el pistón hacia abajo, hasta que la presión sobre el líquido se incrementa en 50.0 atm y se fija en esta posición. Calcule la nueva temperatura a la que la presión del líquido será otra vez 1.00 atm. Suponga que el cilindro tiene resistencia suficiente para que su volumen no se altere por los cambios de presión, sólo por los de temperatura. Use el resultado del problema 17.92. (*Sugerencia:* véase la sección 11.4.)

Compresibilidad del líquido: $k = 8.50 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$

Coeficiente de expansión de volumen del líquido: $\beta = 4.80 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$

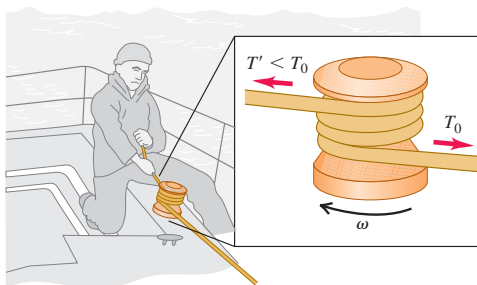
Coeficiente de expansión de volumen del metal: $\beta = 3.90 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

17.94. Usted enfría un trozo de hierro al rojo vivo (temperatura de 745°C) dejándolo caer en una taza aislada con masa insignificante, que contiene 75.0 g de agua a 20.0°C . Suponiendo que no hay intercambio de calor con los alrededores, a) ¿cuál será la temperatura final del agua y b) cuál será la masa final del hierro y del agua que quede?

17.95. Reingreso de naves espaciales. Una nave espacial de aluminio tiene una rapidez orbital de 7700 m/s. a) Calcule la relación entre su energía cinética y la energía requerida para elevar su temperatura de 0°C a 600°C . (El punto de fusión del aluminio es de 660°C . Suponga una capacidad calorífica constante de $910 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.) b) Analice la importancia de su respuesta para el problema del reingreso de una nave tripulada en la atmósfera terrestre.

17.96. Un cabrestante es un tambor o cilindro giratorio sobre el que desliza una cuerda para amplificar de manera considerable su tensión, al tiempo que se mantienen libres sus extremos (figura 17.33). Puesto que la tensión adicional es causada por fricción, se genera energía térmica. a) Si la diferencia de tensión entre los extremos de la cuerda es de 520.0 N y el cabrestante tiene 10.0 cm de diámetro y gira una vez cada 0.900 s, calcule la tasa de generación de energía térmica. ¿Por qué no importa el número de vueltas? b) Si el cabrestante es de hierro y tiene una masa de 6.00 kg, ¿con qué rapidez aumenta su temperatura? Suponga que la temperatura en el cabrestante es uniforme y que toda la energía térmica generada fluye hacia él.

Figura 17.33 Problema 17.96.



17.97. Ley de Debye T^3 . A temperaturas muy bajas, la capacidad calorífica molar de la sal de roca varía con la temperatura como T^3 según la ley de Debye:

$$C = k \frac{T^3}{\Theta^3}$$

donde $k = 1940 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ y $\Theta = 281 \text{ K}$. a) ¿Cuánto calor se requiere para elevar la temperatura de 1.50 mol de sal de roca de 10.0 K a 40.0 K ? (*Sugerencia:* use la ecuación (17.18) en la forma $dQ = nC dT$ e integre.) b) Calcule la capacidad calorífica molar media en este intervalo. c) Calcule la capacidad calorífica molar verdadera a 40.0 K .

17.98. Una persona con masa de 70.0 kg está sentada en una tina de 190.0 cm por 80.0 cm. Antes de entrar ella, el agua tenía 10.0 cm de profundidad. El agua está a 37.0°C . Suponga que el agua se enfriara espontáneamente para formar hielo a 0.0°C y que toda la energía liberada se usara para lanzar al pobre bañista verticalmente hacia arriba. ¿Qué altura alcanzaría? (Como veremos en el capítulo 20, la conservación de la energía permite este suceso pero lo prohíbe la segunda ley de la termodinámica.)

17.99. Aire caliente en una clase de física. a) Un estudiante típico que escucha atentamente una clase de física produce 100 W de calor. ¿Cuánto calor desprende un grupo de 90 estudiantes de física, en una aula durante una clase de 50 min? b) Suponga que toda la energía térmica del inciso a) se transfiere a los 3200 m^3 de aire del aula. El aire tiene un calor específico de $1020 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ y una densidad de 1.20 kg/m^3 . Si nada de calor escapa y el sistema de aire acondicionado está apagado, ¿cuánto aumentará la temperatura del aire durante tal clase? c) Si el grupo está en examen, la producción de calor por estudiante aumenta a 280 W. ¿Cuánto aumenta la temperatura en 50 min en este caso?

17.100. La capacidad calorífica molar de cierta sustancia varía con la temperatura, según la ecuación empírica:

$$C = 29.5 \text{ J/mol} \cdot \text{K} + (8.20 \times 10^{-3} \text{ J/mol} \cdot \text{K}^2) T$$

¿Cuánto calor se necesita para calentar 3.00 mol de la sustancia de 27°C a 227°C ? (*Sugerencia:* use la ecuación (17.18) en la forma $dQ = nC dT$ e integre.)

17.101. Para su cabaña campestre, usted decide construir un primitivo refrigerador de espuma de poliestireno y planea mantener fresco el interior con un bloque de hielo, cuya masa inicial es de 24.0 kg. La caja tiene dimensiones de $0.500 \text{ m} \times 0.800 \text{ m} \times 0.500 \text{ m}$. El agua del hielo derretido se recolecta en el fondo de la caja. Suponga que el bloque de hielo está a 0.00°C y que la temperatura exterior es de 21.0°C . Si la tapa de la caja vacía nunca se abre y usted desea que el interior de la caja permanezca a 5.00°C durante una semana exacta-

mente, hasta que el hielo se derrita, ¿cuál debe ser el grosor la espuma de poliestireno?

17.102. Calefacción con agua caliente o con vapor. En un sistema casero de calefacción por agua caliente se alimenta agua a 70.0°C (158.0°F) a los radiadores, de donde sale a 28.0°C . El sistema se va a reemplazar por uno de vapor de agua, en el que el vapor a presión atmosférica se condensa en los radiadores, saliendo de éstos a 35.0°C (95.0°F). ¿Cuántos kilogramos de vapor suministrarán la misma cantidad de calor que suministraba 1.00 kg de agua caliente en el primer sistema?

17.103. Un calorímetro de cobre con masa de 0.446 kg contiene 0.0950 kg de hielo. El sistema está inicialmente a 0.0°C . a) Si a la lata se agregan 0.0350 kg de vapor de agua a 100°C y 1.00 atm de presión, ¿qué temperatura final alcanzará la lata del calorímetro y su contenido? b) A la temperatura final, ¿cuántos kilogramos habrá de hielo, cuántos de agua líquida y cuántos de vapor?

17.104. Un recipiente de espuma de poliestireno de masa insignificante contiene 1.75 kg de agua y 0.450 kg de hielo. Más hielo, proveniente de un refrigerador a -15.0°C , se agrega a la mezcla en el recipiente, y cuando se alcanza el equilibrio térmico, la masa total del hielo en el recipiente es de 0.778 kg. Suponiendo que no hay intercambio de calor con los alrededores, ¿cuál es la masa de hielo que se agregó?

17.105. En un recipiente de masa despreciable, se agregan 0.0400 kg de vapor de agua a 100°C y presión atmosférica a 0.200 kg de agua a 50.0°C . a) Si no se transfiere calor con el entorno, ¿qué temperatura final alcanzará el sistema? b) A la temperatura final, ¿cuántos kilogramos hay de vapor de agua y cuántos de agua líquida?

17.106. Un tubo conduce desde un calorímetro de 0.150 kg hasta un matraz donde hierve agua a presión atmosférica. El calorímetro tiene calor específico de $420\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ que originalmente contiene 0.340 kg de agua a 15.0°C . Se permite que se condense vapor en el calorímetro a presión atmosférica hasta que su temperatura sube a 71.0°C , después de lo cual la masa total del calorímetro y su contenido es de 0.525 kg. Calcule el calor de vaporización del agua con estos datos.

17.107. Un trabajador vierte 1.250 kg de plomo fundido a una temperatura de 365.0°C en 0.5000 kg de agua a una temperatura de 75.00°C , en un recipiente aislado de masa insignificante. Suponiendo que no hay pérdida de calor hacia los alrededores, calcule la masa de plomo y del agua remanente en el recipiente cuando los materiales alcanzan el equilibrio térmico.

17.108. Un método experimental para medir la conductividad térmica de un material aislante consiste en construir una caja del material y medir el aporte de potencia a un calentador eléctrico dentro de la caja, que mantiene el interior a una temperatura medida por encima de la de la superficie exterior. Suponga que en un aparato así se requiere un aporte de potencia de 180 W para mantener la superficie interior de la caja 65.0°C (aprox. 120°F) por encima de la temperatura de la superficie exterior. El área total de la caja es de 2.18 m^2 , y el espesor de la pared es de 3.90 cm. Calcule la conductividad térmica del material en unidades del SI.

17.109. Efecto de una ventana en una puerta. Un carpintero construye una puerta de madera sólida de $2.00\text{ m} \times 0.95\text{ m} \times 5.0\text{ cm}$. Su conductividad térmica es $k = 0.120\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Las películas de aire en las superficies interior y exterior de la puerta tienen la misma resistencia térmica combinada, que un espesor adicional de 1.8 cm de madera sólida. La temperatura interior es de 20.0°C , y la exterior, de -8.0°C . a) Calcule la tasa de flujo de calor a través de la puerta. b) ¿En qué factor aumenta el flujo de calor, si en la puerta se coloca una ventana cuadrada de 0.500 m por lado? El vidrio tiene un espesor de 0.450 cm y una conductividad térmica de $0.80\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Las películas de aire junto al cristal tienen una resistencia térmica total igual a la de otros 12.0 cm de vidrio.

17.110. Un plafón de madera con resistencia térmica R_1 se cubre con una capa de aislante con resistencia térmica R_2 . Demuestre que la resistencia térmica efectiva de la combinación es $R = R_1 + R_2$.

17.111. Calcule la relación entre las razones de pérdida de calor a través de una ventana de un solo cristal con un área de 0.15 m^2 y a través de una ventana de doble cristal con la misma área. Cada cristal tiene un espesor de 4.2 mm, y el espacio entre los dos cristales de la ventana doble es de 7.0 mm. El vidrio tiene una conductividad térmica de $0.80\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Las películas de aire en las superficies interior y exterior de ambas ventanas tienen una resistencia térmica combinada de $0.15\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

17.112. Se sueldan varillas de cobre, latón y acero para formar una "Y". El área transversal de cada varilla es 2.00 cm^2 . El extremo libre de la varilla de cobre se mantiene a 100.0°C ; y los extremos libres de las varillas de latón y acero, a 0.0°C . Suponga que no hay pérdida de calor por los costados de las varillas, cuyas longitudes son: cobre, 13.0 cm; latón, 18.0 cm; acero, 24.0 cm. a) ¿Qué temperatura tiene el punto de unión? b) Calcule la corriente de calor en cada una de las varillas.

17.113. Tiempo que tarda un lago en cubrirse de hielo. a) Cuando la temperatura del aire está por debajo de 0°C , el agua en la superficie de un lago se congela para formar una plancha de hielo. ¿Por qué no se congela todo el volumen del lago? b) Demuestre que el espesor del hielo formado en la superficie de un lago es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, si el calor de fusión del agua que se congela en la cara inferior de la capa de hielo atraviesa dicha capa por conducción. c) Suponiendo que la superficie de arriba del hielo está a -10°C y que la de abajo está a 0°C , calcule el tiempo que tardará en formarse una capa de hielo de 25 cm de espesor. d) Si el lago del inciso c) tiene una profundidad uniforme de 40 m, ¿cuánto tardaría en congelarse totalmente? ¿Es probable que eso ocurra?

17.114. Una varilla tiene inicialmente una temperatura uniforme de 0°C . Un extremo se mantiene a 0°C y el otro se pone en contacto con un baño de vapor a 100°C . La superficie de la varilla está aislada de modo que el calor sólo puede fluir longitudinalmente por la varilla, que tiene un área transversal de 2.50 cm^2 , longitud de 120 cm, conductividad térmica de $380\text{ W/m}\cdot\text{K}$, densidad de $1.00 \times 10^4\text{ kg/m}^3$ y calor específico de $520\text{ J/kg}\cdot\text{K}$. Considere un elemento cilíndrico corto de la varilla de 1.00 cm de longitud. a) Si el gradiente de temperatura en el extremo más frío de este elemento es de 140°C/cm , ¿cuántos joules de energía térmica fluyen por este extremo cada segundo? b) Si la temperatura media del elemento está aumentando a una tasa de 0.250°C/s , calcule el gradiente de temperatura en el otro extremo del elemento.

17.115. Una cabaña rústica tiene un piso cuya área es de $3.50\text{ m} \times 3.00\text{ m}$. Sus paredes, que miden 2.50 m de alto, están hechas de madera (conductividad térmica de $0.0600\text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 1.80 cm de grosor y están aisladas con 1.50 cm de un material sintético. Cuando la temperatura exterior es de 2.00°C , es necesario calentar la habitación a una tasa de 1.25 kW para mantener su temperatura a 19.0°C . Calcule la conductividad térmica del material aislante. Desprecie la pérdida de calor a través del techo y el piso. Suponga que las superficies interna y externa de la pared tienen la misma temperatura que el aire en el interior y afuera de la cabaña.

17.116. La tasa de energía radiante que llega del Sol a la atmósfera superior de la Tierra es de cerca de 1.50 kW/m^2 . La distancia de la Tierra al Sol es de $1.50 \times 10^{11}\text{ m}$, y el radio del Sol es de $6.96 \times 10^8\text{ m}$. a) Calcule la tasa de radiación de energía por unidad de área de la superficie solar. b) Si el Sol radia como cuerpo negro ideal, ¿qué temperatura superficial tiene?

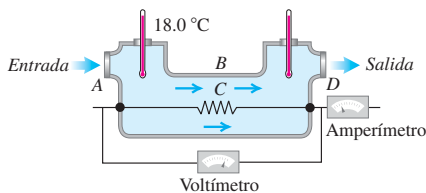
17.117. Termo para helio líquido. Un físico usa una lata cilíndrica de metal de 0.250 m de altura y 0.090 m de diámetro para guardar helio líquido a 4.22 K ; a esa temperatura, el calor de vaporización del helio es de $2.09 \times 10^4\text{ J/kg}$. La lata está rodeada por completo de

paredes que se mantienen a la temperatura del nitrógeno líquido a 77.3 K, con un vacío entre la lata y dichas paredes. ¿Cuánto helio se pierde por hora? La emisividad de la lata metálica es de 0.200. La única transferencia de calor entre la lata y las paredes es por radiación.

17.118. Expansión térmica de un gas ideal. a) La presión p , volumen V , número de moles n y temperatura Kelvin T de un gas ideal están relacionados por la ecuación $pV = nRT$, donde R es una constante. Demuestre que el coeficiente de expansión de volumen de un gas ideal es igual al recíproco de la temperatura Kelvin, si la expansión es a presión constante. b) Compare los coeficientes de expansión de volumen del cobre y el aire a una temperatura de 20 °C. Suponga que el aire puede tratarse como gas ideal y que la presión se mantiene constante.

17.119. Un ingeniero está perfeccionando un calentador de agua eléctrico que suministra agua caliente continuamente. En la figura 17.34 se muestra un diseño de prueba. El agua fluye a una tasa de 0.500 kg/min, el termómetro de entrada registra 18.0 °C, el voltímetro marca 120 V y el amperímetro indica 15.0 A [lo que corresponde a un aporte de potencia de entrada de $(120 \text{ V}) \times (15.0 \text{ A}) = 1800 \text{ W}$]. a) Cuando por fin se alcanza un estado estable, ¿qué marca el termómetro de salida? b) ¿Por qué no necesitamos considerar la capacidad calorífica mc del aparato en sí?

Figura 17.34 Problema 17.119.



17.120. Cuando un hámster ingiere alimento. La producción de energía de un animal en actividad se denomina tasa metabólica basal (TMB) y es una medida de la conversión de energía de alimentos en otras formas de energía. Un calorímetro sencillo para medir la TMB consiste en una caja aislada provista de un termómetro para medir la temperatura del aire, el cual tiene una densidad de 1.20 kg/m^3 y una capacidad calorífica específica de $1020 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Un hámster de 50.0 g se coloca en un calorímetro que contiene 0.0500 m^3 de aire a temperatura ambiente. a) Cuando el hámster está corriendo en una rueda, la temperatura del aire del calorímetro sube 1.60 °C cada hora. ¿Cuánto calor genera el hámster al correr una hora? Suponga que todo este calor pasa al aire del calorímetro. Desprecie el calor que pasa a las paredes de la caja y al termómetro, y suponga que no se transfiere calor al entorno. b) Suponiendo que el hámster convierte semillas en calor con una eficiencia del 10% y que las semillas tienen un valor energético de 24 J/g , ¿cuántos gramos de semillas debe comer el hámster cada hora para obtener la energía calculada en el inciso a)?

17.121. Las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida contienen aproximadamente el 1.75% del agua total (por masa) de la superficie terrestre; los océanos contienen un 97.5%, y el otro 0.75% es agua subterránea. Suponga que las capas de hielo, actualmente se encuentran a una temperatura media aproximada de -30 °C , de algún modo resbalan hacia el océano y se derriten. ¿Cuál sería la disminución de temperatura del océano que se produciría como resultado de ello? Suponga que la temperatura media del agua del océano es actualmente de 5.00 °C .

Problemas de desafío

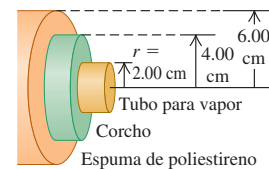
17.122. a) Un casco esférico tiene radios interior y exterior a y b , respectivamente, y las temperaturas en las superficies interior y exterior

son T_2 y T_1 respectivamente. La conductividad térmica del material del casco es k . Deduzca una ecuación para la corriente total de calor a través del casco. b) Deduzca una ecuación para la variación de temperatura dentro del casco del inciso a); es decir, calcule T en función de r , la distancia al centro del casco. c) Un cilindro hueco tiene longitud L , radio interior a y radio exterior b , y las temperaturas en las superficies interior y exterior son T_2 y T_1 , respectivamente. (El cilindro podría representar una tubería de agua caliente aislada, por ejemplo.) La conductividad térmica del material del cilindro es k . Deduzca una ecuación para la corriente total de calor a través de las paredes del cilindro. d) Para el cilindro del inciso c), deduzca una ecuación para la variación de temperatura dentro de las paredes del cilindro. e) Para el casco esférico del inciso a) y el cilindro hueco del inciso c), demuestre que la ecuación para la corriente total de calor en cada caso se reduce a la ecuación (17.21) para flujo de calor lineal, cuando el casco o cilindro es muy delgado.

17.123. Una tubería de vapor de agua de 2.00 cm de radio, que lleva vapor a 140 °C , está rodeada por una camisa cilíndrica con radios interior y exterior de 2.00 cm y 4.00 cm, respectivamente, hecha con un tipo de corcho cuya conductividad térmica es de $4.00 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Ésta está rodeada a la vez por una camisa cilíndrica de espuma de poliestireno con conductividad térmica de $1.00 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot \text{K}$ y radios interior y exterior de 4.00 cm y 6.00 cm, respectivamente (figura 17.35).

La superficie exterior de la espuma de poliestireno está en contacto con aire a 15 °C . Suponga que esta superficie exterior tiene una temperatura de 15 °C . a) Calcule la temperatura para un radio de 4.00 cm (la unión entre las dos capas aislantes). b) Calcule la tasa total de transferencia de calor hacia afuera de un tramo de 2.00 m de tubería. (Sugerencia: use la expresión encontrada en el inciso c) del problema de desafío 17.122.)

Figura 17.35 Problema de desafío 17.123.



17.124. Suponga que ambos extremos de la varilla de la figura 17.23 se mantienen a una temperatura de 0 °C y que la distribución de temperatura inicial a lo largo de la varilla está dada por $T = (100 \text{ °C}) \sin \pi x/L$, donde x se mide desde el extremo izquierdo de la varilla. Sea la varilla de cobre, con longitud $L = 0.100 \text{ m}$ y área de sección transversal de 1.00 cm^2 . a) Muestre la distribución inicial de temperatura en un diagrama. b) Determine la distribución final de temperatura después de mucho tiempo. c) Dibuje curvas que, en su opinión, representen la distribución de temperatura en instantes intermedios. d) Determine el gradiente de temperatura inicial en los extremos de la varilla. e) Calcule la corriente de calor inicial desde los extremos de la varilla hacia los cuerpos que están en contacto con ellos. f) ¿Qué corriente de calor inicial hay en el centro de la varilla? Explique. ¿Qué corriente de calor hay en este punto en un instante posterior? g) ¿Qué valor tiene la difusividad térmica $k/\rho c$ del cobre, y en qué unidad se expresa? (Aquí, k es la conductividad térmica, $\rho = 8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ es la densidad y c es el calor específico.) h) Determine la rapidez inicial de cambio de la temperatura en el centro de la varilla. i) ¿Cuánto tiempo tardaría el centro de la varilla en alcanzar su temperatura final si la temperatura sigue disminuyendo con esa rapidez? (Este tiempo se llama tiempo de relajación de la varilla.) j) Por las gráficas del inciso c), ¿cabría esperar que la rapidez de cambio de la temperatura en el punto medio se mantenga constante, aumente o disminuya en función del tiempo? k) Determine la rapidez inicial de cambio de la temperatura en un punto de la varilla situado a 2.5 cm de su extremo izquierdo.

17.125. Cambio de temperatura en un reloj. Un reloj de péndulo está diseñado para marcar un segundo en cada oscilación de lado a lado del péndulo (periodo de 2 s). a) ¿Se adelanta un reloj de péndulo cuando hace calor y se atrasa cuando hace frío, o al revés? Explique su razonamiento. b) Cierta reloj de péndulo da la hora correcta a 20.0 °C .