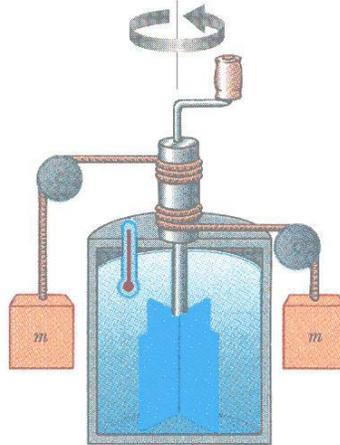


PROBLEMAS

Calor y energía térmica

1. Considere el aparato de Joule descrito en la figura. Las dos masas son de 1.50 kg cada una y el tanque se llena con 200 g de agua. ¿Cuál es el aumento de la temperatura del agua después de que las masas descienden una distancia de 3.00 m?



Solución:

Suponiendo que toda la energía potencial se convierte en calor, el aumento en la temperatura es

$$\Delta T = 2mgh/m_{\text{agua}}C = 2(1.5 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(3 \text{ m})/(0.2 \text{ kg})(1480 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}) = 0.29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Una persona de 80 kg que intenta de bajar de peso desea subir una montaña para quemar el equivalente a una gran rebanada de pastel de chocolate tasada en 700 calorías (alimenticias). ¿Cuánto debe ascender la persona?

Solución:

$$mgh = Q = 700 \times 10^3 \text{ cal} \times 1.480 \text{ J/cal} = 1036 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\text{la altura } h = Q/mg = (1036 \times 10^3 \text{ J})/(80 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2) = 1,320 \text{ m.}$$

3. El agua en la parte superior de las cataratas del Niágara tiene una temperatura de 10°C. Si ésta cae una distancia total de 50 m y toda su energía potencial se emplea para calentar el agua, calcule la temperatura del agua en el fondo de la catarata.

Solución:

$$\text{Energía potencial: } E_p = mgh$$

$$\text{Calor absorbido por el agua para elevar su temperatura: } Q = mC\Delta T$$

$$\text{La energía potencial se transforma en calor: } E_p = Q$$

$$mC\Delta T = mgh$$

$$\Delta T = gh/C = (9.81 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m})/4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} = 0.117 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f - T_i = 0.117$$

$$T_f = T_i + 0.117 = 10.117 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Capacidad calorífica, calor específico y calor latente

4. ¿Cuántas calorías de calor son necesarias para aumentar la temperatura de 3.0 kg de aluminio de 20°C a 50°C.

Solución:

$$Q = mC_{Al}\Delta T = (3000 \text{ g})(0.215 \text{ cal/g } ^\circ\text{C})(50 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C}) = 19,350 \text{ calorías.}$$

5. La temperatura de una barra de plata aumenta 10.0°C cuando absorbe 1.23 kJ de calor. La masa de la barra es de 525 g. Determine el calor específico de la plata.

Solución:

$$Q = mC_{Hg}\Delta T$$

Despejando C_{Hg}

$$C_{Hg} = Q/m\Delta T = (1230 \text{ J})/(525 \text{ g})(10 ^\circ\text{C}) = 0.234 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$$

6. Si 100 g de agua a 100°C se vierten dentro de una taza de aluminio de 20 g que contiene 50 g de agua a 20°C, ¿cuál es temperatura de equilibrio del sistema?

Solución:

Sean $m_1 = 100 \text{ g}$, $m_2 = 50 \text{ g}$, $m_3 = 20 \text{ g}$, $C_a = 1 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C}$, el calor específico del agua, $C_{hg} = 0.215 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C}$, el calor específico del aluminio y T_f la temperatura final del sistema:

$$Q_{100g} = Q_{50g} + Q_{20g}$$

$$m_1C_a(100 ^\circ\text{C} - T_f) = m_2C_a(T_f - 20 ^\circ\text{C}) + m_3C_{hg}(T_f - 20 ^\circ\text{C})$$

Despejando T_f , se obtiene

$$T_f = \frac{m_1C_a100^\circ\text{C} + m_2C_a20^\circ\text{C} + m_3C_{hg}20^\circ\text{C}}{m_1C_a + m_2C_a + m_3C_{hg}}$$

Sustituyendo los valores de los parámetros conocidos, se obtiene que

$$T_f = 78.3 ^\circ\text{C}$$

7. ¿Cuál es la temperatura de equilibrio final cuando 10 g de leche a 10°C se agregan a 160 g de café a 90°C? (Suponga que las capacidades caloríficas de los dos líquidos son las mismas que las del agua, e ignore la capacidad calorífica del recipiente).

Solución:

Sea $m_{leche} = 10 \text{ g}$, $T_{leche} = 10^\circ\text{C}$, C_{leche} la capacidad calorífica de la leche, $m_{cafe} = 160 \text{ g}$, C_{cafe} la capacidad calorífica del café, $T_{cafe} = 90^\circ\text{C}$, T_f , la temperatura final de la mezcla. El balance de energía nos da como resultado que

$$m_{leche}C_{leche}(T_f - T_{leche}) = m_{cafe}C_{cafe}(T_{cafe} - T_f)$$

Despejando la temperatura final de la mezcla, T_f , resulta

$$T_f = \frac{m_{\text{leche}} C_{\text{leche}} T_{\text{leche}} + m_{\text{cafe}} C_{\text{cafe}} T_{\text{cafe}}}{m_{\text{leche}} C_{\text{leche}} + m_{\text{cafe}} C_{\text{cafe}}}$$

como $C_{\text{leche}} = C_{\text{cafe}}$, la ecuación se simplifica a la siguiente

$$T_f = \frac{m_{\text{leche}} T_{\text{leche}} + m_{\text{cafe}} T_{\text{cafe}}}{m_{\text{leche}} + m_{\text{cafe}}}$$

sustituyendo los valores, de obtiene

$$T_f = 85.29^\circ\text{C}$$

8. a) Un calorímetro contiene 500 ml de agua a 30°C y 25 g de hielo a 0°C . Determine la temperatura final del sistema. b) Repita el inciso a) si 250 g de hielo están presentes inicialmente a 0°C .

Solución:

(a) Sean $m_1 = 500$ g, $m_2 = 25$ g, T_f la temperatura final del sistema, $C_a = 4.186$ J/g $^\circ\text{C}$, el calor específico del agua, $L_f = 3.33 \times 10^2$ J/g el calor latente de fusión del hielo. El balance térmico es el siguiente:

calor cedido por el agua a 30°C = calor de fusión del hielo + calor absorbido por $m_1 + m_2$ para alcanzar su temperatura de equilibrio. Es decir,

$$Q_{m1} = Q_{m2} + Q_{Lf}$$

Q_{m1} debe de ser mayor que Q_{Lf} .

$$m_1 C_a (30^\circ\text{C} - T_f) = m_2 C_a (T_f - 0^\circ\text{C}) + m_2 L_f$$

Despejando la temperatura final:

$$T_f = \frac{m_1 C_a 30^\circ\text{C} - m_2 L_f}{m_1 C_a + m_2 C_a}$$

Sustituyendo los valores de los parámetros conocidos, se obtiene

$$T_f = 24.8^\circ\text{C}$$

9. Una herradura de hierro de 1.5 kg inicialmente a 600°C se sumerge en una cubeta que contiene 20 kg de agua a 25°C . ¿Cuál es la temperatura final? (Ignore la capacidad calorífica del recipiente.)

Solución: 29.6°C

10. La temperatura del aire en áreas costeras se ve influida considerablemente por el gran calor específico del agua. Una razón es que el calor liberado cuando 1 metro cúbico de agua se enfría 1.0°C aumentará la temperatura de un volumen enormemente más grande de aire en 1.0°C . Calcule este volumen de aire. El calor específico del aire es aproximadamente 1.0 kJ/kg $^\circ\text{C}$. Considere la densidad del aire igual a 1.25 kg/m 3 .

11. Si 200 g de agua están contenidos en un recipiente de aluminio de 300 g a 10°C y 100 g adicionales de agua a 100°C se vierten en el recipiente, ¿cuál es la temperatura de equilibrio final del sistema?

Solución: 34.7°C

12. Un estudiante inhala aire a 22°C y exhala aire a 37°C. El volumen promedio del aire en una respiración es de 200 cm³. Ignore la evaporación del agua en el aire y calcule la cantidad de calor absorbido en un día por el aire respirado por el estudiante. La densidad del aire es aproximadamente igual a 1.25 kg/m³, y el calor específico del aire es 1 000J/kg°C.

13. ¿Cuánto calor debe agregarse a 20 g de aluminio a 20°C para fundirlo completamente?

Solución:

Sea $m = 20$ g, $C_{Al} = 0.9$ J/g el calor específico del aluminio, T_f la temperatura de fusión del aluminio, $T_i = 20$ °C y $L_f = 397$ J/g, el calor latente de fusión del aluminio:

$$Q = mC_{Al}(T_f - T_i) + mL_f$$

$$Q = (20 \text{ g})(0.9 \text{ J/g})(660 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) + (20 \text{ g})(397 \text{ J/g °C}) = 19,460 \text{ J.}$$

14. un recipiente aislado contiene vapor saturado que se enfría cuando fluye agua fría por un tubo que pasa por el recipiente. La temperatura del agua que entra es de 273 K. Cuando la velocidad del flujo es de 3.0 m/s, la temperatura del agua que sale es igual a 303 K. Determine la temperatura del agua saliente cuando la velocidad de flujo se reduce a 2.0 m/s. Suponga que la tasa de condensación permanece invariable.

15. Un calentador de agua funciona por medio de potencia solar. Si el colector solar tiene un área de 6.0 m² y la potencia entregada por la luz solar es de 550 W /m², ¿cuánto tarda en aumentar la temperatura de 1.0 m³ de agua de 20°C a 60°C?

Solución: 50.7 ks

16. Un bloque de cobre de 1.0 kg a 20°C se sumerge en un gran recipiente de nitrógeno líquido a 77 K. ¿Cuántos kilogramos de nitrógeno hierven en el momento en que el cobre alcanza 77 K? (El calor específico del cobre es 0.092 cal/g°C. El calor latente de vaporización del nitrógeno es 48 cal/g.)

17. ¿Cuánto calor se necesita para evaporar un cubo de hielo de 1.0 g inicialmente a 0°C? El calor latente de fusión del hielo es 80 cal/g y el calor latente de vaporización del agua es 540 cal/g.

Solución:

$$Q = mL_f + mC\Delta T + mL_v$$

$$Q = (1 \text{ g})(80 \text{ cal/g}) + (1 \text{ g})(1 \text{ cal/g °C})(100 \text{ °C} - 0 \text{ °C}) + (1 \text{ g})(540 \text{ cal/g})$$

$$Q = 80 \text{ cal} + 100 \text{ cal} + 540 \text{ cal}$$

$$Q = 720 \text{ cal}$$

18. Con un litro de agua a 30°C se prepara té helado. ¿Cuánto hielo a 0°C debe agregarse para reducir la temperatura del té a 10°C?

Solución:

Sea $m = 1$ kg, la masa de 1 litro, m_h la masa del hielo que se va a fundir, C la capacidad calorífica del agua, $T_i = 30^\circ\text{C}$, $T_f = 10^\circ\text{C}$ y $L_f = 80,000$ cal/kg. Entonces,
 $mC(T_i - T_f) = m_h L_f + m_h C(T_f - 0^\circ\text{C})$
 Despejando m_h , se obtiene:

$$m_h = \frac{mC(T_i - T_f)}{L_f + CT_f}$$

sustituyendo los valores de los parámetros, se obtiene:

$$m_h = \frac{(1 \text{ kg})(1000 \text{ cal/kg } ^\circ\text{C})(30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{80,000 \text{ cal/kg} + (1000 \text{ cal/kg } ^\circ\text{C})(10^\circ\text{C})}$$

$$m_h = 0.222 \text{ kg}$$

19. Cuando un conductor frena un automóvil. La fricción entre los tambores y las balatas de los frenos convierten la energía cinética del auto en calor. Si un automóvil de 1500 kg que viaja a 30 m/s se detiene, ¿cuánto aumenta la temperatura en cada uno de los cuatro tambores de hierro de 8 kg de los frenos? (Ignore la pérdida térmica hacia los alrededores.)

Solución: 47.1°C

20. si 90.0 g de plomo fundido a 327.3°C . se vierten en una pieza de 300.0 g fundida de hierro inicialmente a 20.0°C . ¿cuál es la temperatura final del sistema? (Suponga que no hay pérdidas de calor.)

21. En un recipiente aislado se agregan 250 g de hielo a 0°C a 600 g de agua a 18°C . a) ¿Cuál es la temperatura final del sistema? b) ¿Qué cantidad de hielo queda cuando el sistema alcanza el equilibrio?

Solución: (a) 0°C , (b) 115 g

22. Un cubo de hielo de 50 g a -20.0°C se sumerge en un recipiente de agua a 0.0°C . ¿Qué cantidad de agua se congela sobre el hielo?

23. Un clavo de hierro se clava dentro de un bloque de hielo por medio de un solo golpe de martillo. La cabeza de éste tiene una masa de 0.50 kg y una velocidad inicial de 2.0 m/s. El clavo y el martillo se encuentran en reposo después del golpe. ¿Cuánto hielo se funde? Suponga que la temperatura del clavo es 0.0°C antes y después.

Solución: 2.99 mg

24. Dos balas de plomo de 5.0 g. ambas a temperatura de 20°C . Chocan de frente cuando cada una se mueve a 500 m/s. Suponiendo una colisión perfectamente inelástica y ninguna pérdida de calor hacia la atmósfera, describa el estado final del sistema de las dos balas.

25. Un centavo de cobre de 3.0 g a 25°C se sumerge 50 m en la tierra. a) Si 60% de la energía potencial se emplea en aumentar la energía interna,

determine su temperatura final. b) ¿El resultado final depende de la masa del centavo? Explique.

Solución: (a) 25.760 °C, (b) no

26. El lago Erie contiene cerca de $4.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$ de agua. a) ¿Cuánto calor se necesita para elevar la temperatura de ese volumen de agua de 11°C a 12°C? b) ¿Aproximadamente cuántos años tomaría suministrar esta cantidad de calor empleando la salida completa de una central eléctrica de 1000 MW?

27. Una bala de plomo de 3.0 g se desplaza a 240 m/s cuando se incrusta en un bloque de hielo a 0°C. Si todo el calor generado funde el hielo, ¿qué cantidad de hielo se derrite? (El calor latente de fusión para el hielo es de 80 Kcal. /Kg y el calor específico del plomo es de 0.030 kcal. / Kg°C.)

Solución: 0.258 g, si la bala esta a 0°C

Trabajo y calor en procesos termodinámicos

28. Un mol de un gas ideal se calienta lentamente de modo que pasa del estado (P_0, V_0) al estado ($3P_0, 3V_0$). Este cambio ocurre de tal manera que la presión del gas es directamente proporcional al volumen. a) ¿Cuánto trabajo se efectúa en el proceso? b) ¿Cómo se relaciona la temperatura del gas con su volumen durante este proceso?

29. Un gas se expande de I a F a lo largo de tres posibles trayectorias, como se indica en la figura P29. Calcule el trabajo en joules realizado por el gas a lo largo de las trayectorias IAF; IF e IBF.

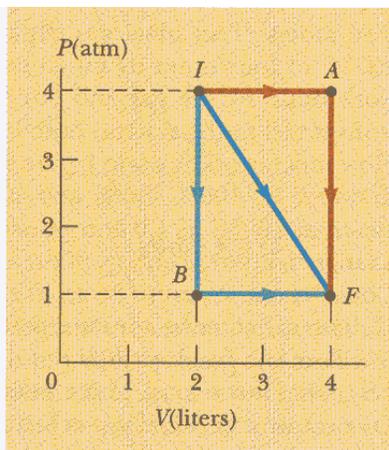


Figura P20.29

Solución: 810 J, 506 J, 203 J

El trabajo en la trayectoria IBF es

$$W_{IBF} = W_{IB} + W_{BF} = 0 + p(V_f - V_i)$$

$$W_{IBF} = (1 \text{ atm})(4 \text{ L} - 2 \text{ L}) = (1 \text{ atm})(2 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$W_{IBF} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa})(2 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 202.6 \text{ J}$$

El trabajo en la trayectoria IAF es

$$W_{IAF} = W_{IA} + W_{AF} =$$

$$W_{IAF} = p(V_f - V_i) + 0$$

$$W_{IAF} = (4 \text{ atm})(4 \text{ L} - 2 \text{ L}) = (4 \text{ atm})(2 \text{ L})$$

$$W_{IAF} = (4 \times 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa})(2 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$W_{IAF} = 810.6 \text{ J.}$$

El trabajo en la trayectoria IF es

$$W_{IF} = (0.5)(p_f - p_i)(V_f - V_i) + (1 \text{ atm})(V_f - V_i)$$

$$W_{IF} = (0.5)(1.0 \text{ atm} - 4.0 \text{ atm})(2\text{L} - 4\text{L}) + (1 \text{ atm})(4\text{L} - 2\text{L})$$

$$W_{IF} = (3 \text{ atm L}) + (2 \text{ atm L}) =$$

$$W_{IF} = 5 \text{ atm L}$$

$$W_{IF} = 5 \times 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{IF} = 506.6 \text{ J.}$$

30. Gas en un recipiente está a una presión de 1.5 atm y un volumen de 4.0 m³. ¿Cuál es el trabajo efectuado por el gas si a) se expande a presión constante hasta el doble de su volumen inicial, y b) se comprime a presión constante hasta un cuarto de su volumen inicial?

31. Un gas ideal está encerrado en un cilindro que tiene un émbolo móvil en la parte superior. El émbolo tiene una masa de 8 000 g y un área de 5.0 Cm², y se puede mover libremente hacia arriba y hacia abajo, manteniendo constante la presión del gas. ¿Cuánto trabajo se hace cuando la temperatura de 0.20 moles del gas se eleva de 20°C a 300°C?

Solución:

Se tiene que el trabajo a presión constante es

$$W = p(V_f - V_i)$$

Por otro lado, el gas ideal cumple la relación

$$pV = nRT$$

Despejando V, se tiene que

$$V_i = nRT_i/p$$

$$V_f = nRT_f/p$$

Sustituyendo en la expresión para el trabajo, se tiene

$$W = nR(T_f - T_i)$$

$$W = (0.2 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(280 \text{ K})$$

$$W = 465.6 \text{ J}$$

32. Un gas ideal se somete a un proceso termodinámico que consta de dos etapas isobáricas y de dos isotérmicas, como se muestra en la figura P32. Demuestre que el trabajo neto hecho durante las cuatro etapas es

$$W_{\text{neto}} = P_1(V_2 - V_1) \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

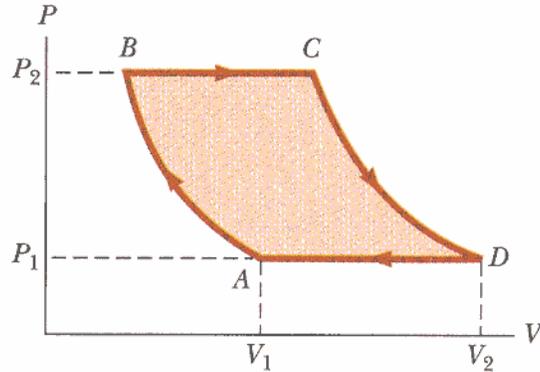


Figura P32

33. Una muestra de gas ideal se expande al doble de su volumen original de 1.0 m^3 en un proceso cuasiestático para el cual $p = \alpha V^2$, con $\alpha = 5.0 \text{ atm/m}^6$ como se muestra en la figura P33. ¿Cuánto trabajo fue hecho por el gas en expansión?

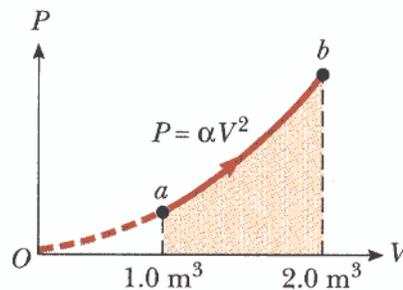


Figura P33

Solución: 1.18 MJ

34. Un gas ideal a TPE (1 atm y 0°C) se lleva por un proceso en el que el volumen se expande de 25 L a 80 L . Durante este proceso la presión varía inversamente a medida que el volumen se eleva al cuadrado, $p = 0.5 \alpha V^2$

a) Determine la constante α en unidades del SI. b) Encuentre la presión y temperatura finales. c) Determine una expresión general para el trabajo hecho por el gas durante este proceso. d) Calcule el trabajo real en joules efectuado por el gas en este proceso.

35. Un mol de un gas ideal realiza 3000 J de trabajo sobre los alrededores conforme se expande isotérmicamente hasta una presión final de 1 atm y un volumen de 25 L . Determine a) el volumen inicial, y b) la temperatura del gas.

Solución:

(b) Como se trata de un gas, se cumple que

$$pV = nRT$$

despejando la temperatura T , se obtiene

$$T = pV/nR$$

$$T = (1 \text{ atm})(25 \text{ L})/(1 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})$$

$$T = (1.01325 \times 10^5 \text{ Pa})(25 \times 10^{-3} \text{ m}^3)/(1 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})$$

$$T = 304.66 \text{ K}$$

$$T = 305 \text{ K}$$

(a) Por otro lado, el trabajo a temperatura constante está dado por

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

sustituyendo $p = nRT/V$ e integrando se obtiene

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Despejando el volumen inicial V_i se obtiene

$$V_i = V_f e^{\frac{-W}{nRT}}$$

Sustituyendo los valores

$$V_i = (25 \text{ L}) e^{\frac{3000 \text{ J}}{(1 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(305 \text{ K})}}$$

$$V_i = (25 \text{ L}) e^{-1.183}$$

Finalmente:

$$V_i = 7.66 \text{ L}$$

La primera ley de la termodinámica

36. Un gas ideal se somete a proceso cíclico como el mostrado en la figura P36 de A a B a C y de regreso a A. a) Dibuje un diagrama PV para este ciclo e identifique las etapas durante las cuales se absorbe calor y aquellas durante las cuales se emite calor. b) ¿Cuál es el resultado completo del ciclo en función de U, Q y W?

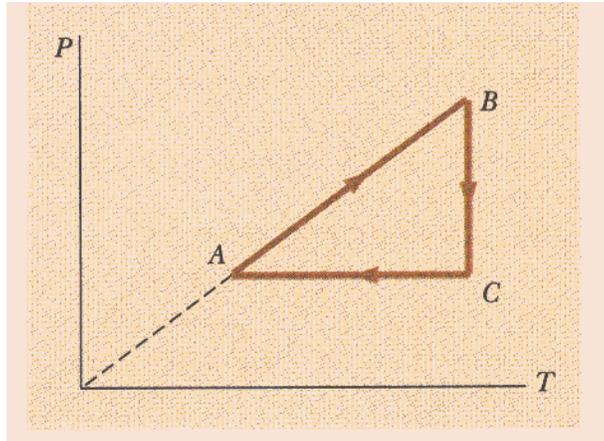


Figura P36

37. Un gas es comprimido a una presión constante de 0.80 atm. De 9.0 L a 2.0 L. En el proceso, 400 J de energía térmica salen del gas. ¿Cuál es el trabajo efectuado por el gas? b) ¿Cuál es el cambio en su energía interna?

Solución:

(a) El trabajo a presión constante está dado por

$$W = p(V_f - V_i)$$

$$W = (0.80 \text{ atm})(2.0 \text{ L} - 9.0 \text{ L})$$

$$W = (0.80 \times 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa})(-7.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$W = -567.4 \text{ J}$$

(b) De acuerdo con la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 400 \text{ J} - (-567.4 \text{ J})$$

$$\Delta U = 167.4 \text{ J}$$

38. Un sistema termodinámico experimenta un proceso en el cual su energía interna disminuye 500 J. Si al mismo tiempo se hacen 220 J de trabajo sobre el sistema, encuentre la energía térmica transferida a o desde él.

Solución:

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica,

$$\Delta U = Q - W$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = -500 \text{ J} + 220 \text{ J}$$

$$Q = -280 \text{ J}$$

39. Un gas se lleva a través del proceso cíclico descrito en la figura P39. a) Encuentre la energía térmica neta transferida al sistema durante un ciclo completo. b) Si se invierte el ciclo, es decir, el proceso se efectúa a lo largo de ACBA, ¿cuál es la energía térmica neta que se transfiere por ciclo?

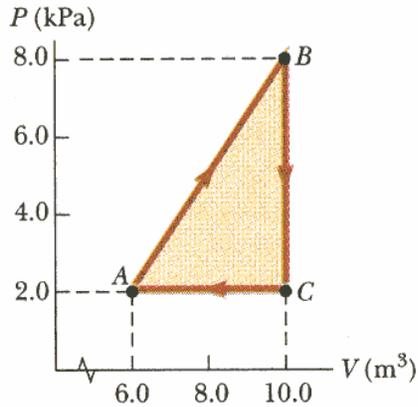


Figura P39

Solución: (a) 12.0 kJ, (b) -12.0 kJ

40. Un sistema gaseoso sigue el proceso que se indica en la figura P40. De A a B, el proceso es adiabático, y de B a C es isobárico con 100 kJ de flujo de calor hacia el sistema. De C a D, el proceso es isotérmico, y de D a A es isobárico con 150 kJ de flujo de calor hacia fuera del sistema. Determine la diferencia en la energía interna $U_B - U_A$.

P (atm)

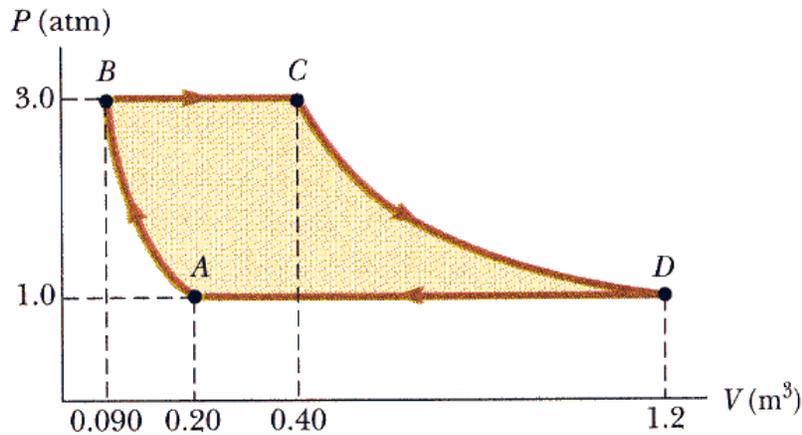


Figura P40

Aplicaciones de la primera ley de la termodinámica

41. Cinco moles de un gas ideal se expanden isotérmicamente a 127°C hasta cuatro veces su volumen inicial. Encuentre a) el trabajo hecho por el gas, y b) la energía térmica transferida al sistema, ambos en joules.

Solución: (a) 23.1 kJ, (b) 23.1 kJ

(a) Para un gas ideal se tiene que $pV = nRT$

El trabajo efectuado por el gas cuando se expande es

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV$$

como la expansión ocurre a temperatura constante

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Sustituyendo los valores de los parámetros, resulta que

$$W = (5 \text{ moles}) (8.3145 \text{ J/mol K})(400.15 \text{ K}) \ln(4)$$

$$W = 23061 \text{ J}$$

(b) De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, el cambio en la energía interna es

$$\Delta U = Q - W = 0 - 23061 = -23061 \text{ J.}$$

42. ¿Cuánto trabajo efectúa el vapor cuando 1.0 mol de agua a 100°C hierve y se convierte en 1 mol de vapor a 100 °C y 1.0 atm de presión? Determine el cambio en la energía interna del vapor conforme se produce el cambio de estado. Considere al vapor como un gas ideal.

43. Se calienta helio a presión constante de 273 K a 373 K. Si el gas realiza 20.0J de trabajo durante el proceso, ¿cuál es la masa del helio?

Solución:

Tenemos que $W = 20 \text{ J}$. Pero, el trabajo a presión constante está dado por

$$W = p(V_f - V_i)$$

Por otro lado, en un gas ideal se cumple que

$$pV = nRT$$

despejando el volumen, se obtiene

$$V_i = nRT_i/p$$

$$V_f = nRT_f/p$$

Sustituyendo en la expresión para W y despejando n , se tiene

$$n = W/(R)(T_f - T_i) = (20 \text{ J})/(8.3145 \text{ J/mol K})(373 \text{ K} - 273 \text{ K})$$

$$n = 0.024 \text{ mol}$$

$$\text{masa} = n \times m_{\text{atmica}}$$

$$\text{masa} = (0.024 \text{ mol})(4.0026 \text{ g/mol})$$

$$\text{masa} = 0.0962 \text{ g}$$

44. Un mol de un gas ideal se calienta a presión constante de modo que su temperatura se triplica. Luego se calienta el gas a temperatura constante de manera que su volumen se triplica. Encuentre la razón entre el trabajo efectuado durante el proceso isotérmico y el realizado durante el proceso isobárico.

Solución:

Durante el proceso isobárico, el trabajo es

$$W_{\text{isobarico}} = nR\Delta T = nR(3T_i - T_i) = 2nRT_i$$

Durante el proceso isotérmico, el trabajo es

$$W_{\text{isotermico}} = p\Delta V = p(3V_i - V_i) = 2pV_i.$$

$$W_{\text{isobarico}}/W_{\text{isotermico}} = 2nRT_i/2pV_i = 1 \text{ ya que } pV = nRT$$

45. Un gas ideal inicialmente a 300 K se somete a una expansión isobárica (presión constante) a 2.50 kPa. Si el volumen aumenta de 1.00 m³ a 3.00 m³, y se transfieren al gas 12.5 kJ de energía térmica, calcule a) el cambio en su energía interna, y b) su temperatura final.

Solución:

(a) El trabajo a presión constante (isobarico) es

$$W = p(V_f - V_i)$$

$$W = (2500 \text{ Pa})(3.0 \text{ m}^3 - 1 \text{ m}^3) = 5000 \text{ J}$$

El cambio en energía interna es

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 12500 \text{ J} - 5000 \text{ J}$$

$$\Delta U = 7500 \text{ J}$$

(b) La temperatura del gas se obtiene usando las relaciones $pV_1 = nRT_1$, $pV_2 = nRT_2$. Dividiendo una ecuación entre la otra se obtiene $V_1/V_2 = T_1/T_2$.

Despejando T_2 , se obtiene

$$T_2 = V_2 T_1 / V_1$$

$$T_2 = (3 \text{ m}^3)(300 \text{ K}) / (1 \text{ m}^3)$$

$$T_2 = 900 \text{ K}$$

46. Dos moles de gas helio inicialmente a 300 K y 0.40 atm se comprimen isotérmicamente a 1.2 atm. Encuentre a) el volumen final del gas, b) el trabajo hecho por el gas, y c) la energía térmica transferida. Considere que el helio se comporta como un gas ideal.

Solución:

(a) Se tiene que en un gas ideal $pV = nRT$. Despejando el volumen, se obtiene

$$V = nRT/p$$

$$V_f = (2 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(300 \text{ K}) / (1.2 \text{ atm})$$

$$V_f = (2 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(300 \text{ K}) / (1.2 \times 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa})$$

$$V_f = 0.041 \text{ m}^3 = 41 \text{ L}$$

Igualmente, el volumen inicial es

$$V_i = (2 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(300 \text{ K}) / (0.4 \text{ atm})$$

$$V_i = 123 \text{ L}$$

(b) El trabajo hecho por el gas, a temperatura constante es (vease la solución al problema 41)

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$W = (2 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(300 \text{ K}) \ln(1/3)$$

$$W = - 5480.6 \text{ J}$$

(c) $Q = 0$, ya que $\Delta T = 0$.

47. Un mol de vapor de agua a 373 K se enfría a 283 K. El calor entregado por el vapor del agua que se enfría lo absorben 10 moles de un gas ideal, y esta absorción de calor ocasiona que el gas se expanda a una temperatura constante de 273 K. Si el volumen final del gas ideal es 20.0 L, determine su volumen inicial.

Solución:

Sea $W = m_w C_w (T_i - T_f)$, la energía cedida por el mol de agua cuando pasa de $T_i = 373 \text{ K}$ a $T_f = 283 \text{ K}$. Esta energía se absorbe por 10 moles de gas ideal a temperatura constante y el trabajo que se realiza es $\int_{V_i}^{V_f} p dV = n_{\text{gas}} R T_{\text{gas}} \ln \frac{V_f}{V_i}$.

Igualando esta última expresión con la energía cedida por 1 mol de vapor de agua, tenemos

$$W = n_{\text{gas}} R T_{\text{gas}} \ln \frac{V_f}{V_i}. \text{ Despejando } V_i \text{ se obtiene que}$$

$$V_i = V_f e^{-\frac{W}{n_{\text{gas}} R T_{\text{gas}}}},$$

donde $W = m_w C_w (T_i - T_f) = (18 \text{ g})(4.186 \text{ J/g K})(373 \text{ K} - 283 \text{ K}) = 6781.32 \text{ J}$

Así mismo, $n_{\text{gas}} R T_{\text{gas}} = (10 \text{ mol})(8.3145 \text{ J/mol K})(273 \text{ K}) = 22698.6 \text{ J}$. Por lo tanto

$$V_i = (20 \text{ L})e^{-0.2987} = 14.8 \text{ L}$$

48. Durante una expansión controlada, la presión de un gas es

$$P = 12e^{-bV} \text{ atm} \quad b = \frac{1}{12 \text{ m}^3}$$

Donde el volumen está en m^3 (Fig. P48). Determine el trabajo efectuado cuando el gas se expande de 12 m^3 a 36 m^3 .

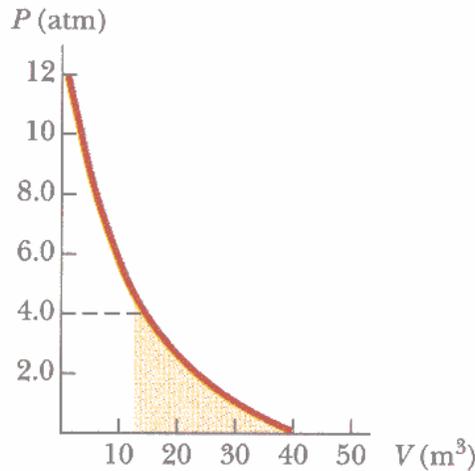


Figura P48

Solución:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV = \int_{V_i}^{V_f} 12e^{-bV} dV$$

$$W = -\frac{12 \times (1.01325 \times 10^5)}{b} [e^{-bV_f} - e^{-bV_i}]$$

Sustituyendo los valores

$$W = -(1.01325 \times 10^5) [e^{-3} - e^{-1}] = 31,897 \text{ J}$$

49. Un bloque de 1.0 kg de aluminio se calienta a presión atmosférica de manera tal que su temperatura aumenta de 22°C a 40°C. Encuentre a) el trabajo realizado por el aluminio, b) la energía térmica que se le entrega, y c) el cambio en su energía interna.

Solución: (a) 48.6 mJ, (b) 16.2 kJ, (c) 16.2 kJ

50. En la figura P50, el cambio en la energía interna de un gas que pasa de A a C es +800 J. El trabajo efectuado a lo largo de la trayectoria ABC es +500 J. a) ¿Cuánta energía debe entregarse al sistema cuando va de A a C pasando por B? b) Si la presión en el punto A es cinco veces la del punto C, ¿cuál es el trabajo que hace el sistema al ir de C a D? c) ¿Cuál es la energía que se intercambia con los alrededores cuando el ciclo va de C a A? d) Si el cambio en la energía interna al ir del punto D al punto A es +500 J, ¿cuánta energía térmica debe entregarse al sistema cuando va del punto C al punto D?

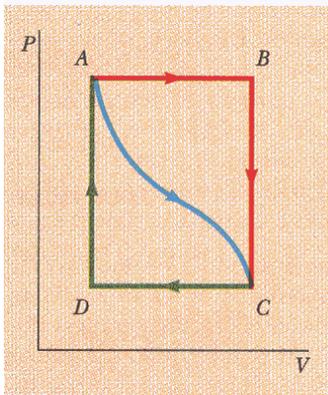


Figura P50

51. Helio con un volumen inicial de 1.00 litro y una presión inicial de 10.0 atm se expande hasta un volumen final de 1.00 m³. La relación entre la presión y el volumen durante la expansión es PV = constante. Determine a) el valor de la constante, b) la presión final, y c) el trabajo hecho por el helio durante la expansión.

Solución: (a) 10.0 L atm, (b) 0.0100 atm, (c) 7.0 kJ

Transferencia de calor

52. El cristal de una ventana tiene un área de 3.0 m² y un espesor de 0.60 cm. Si la diferencia de temperatura entre sus caras es de 25°C, ¿cuánto calor por hora fluye a través de la ventana?

53. Una ventana de cristal térmico de 6.0 m² de área está constituido con dos hojas de vidrio, cada una de 4.0 mm de espesor separadas por un espacio de

aire de 5.0 mm. Si el interior está a 20°C y el exterior a -30°C, ¿cuál es la pérdida de calor a través de la ventana?

Solución: 1.34 kW

54. Una barra de plata de 30.0 cm. de longitud y 1.00 cm² de área de sección transversal es utilizada para transferir calor de un depósito a 100.0°C a uno a 0.0°C. ¿Cuánto calor se trasfiere por segundo?

Solución:

$$\frac{Q}{\Delta T} = H = -kA \frac{dT}{dx} = (427 \text{ W/m } ^\circ\text{C})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(100 \text{ } ^\circ\text{C}/0.3 \text{ m}) = 14.23 \text{ J/s}$$

55. Una barra de oro está en contacto térmico con una barra de plata de la misma longitud y área (Fig. P55). Un extremo de la barra compuesta se mantiene a 80.0°C mientras que el extremo opuesto está a 30.0°C. Cuando el flujo de calor alcanza el estado estable, encuentre la temperatura en la unión.

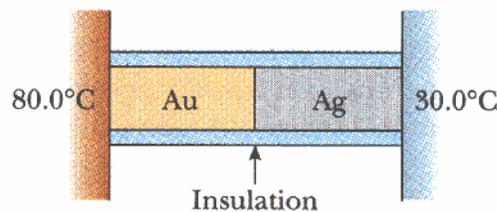


Figura P55

Solución: 51.0 °C

56. Dos barras de la misma longitud pero de diferentes materiales y áreas de sección transversal se ponen una al lado de la otra, como en la figura P56. Determine la velocidad de flujo de calor en términos de la conductividad térmica, y el área de cada barra. Generalice esto a varias barras.

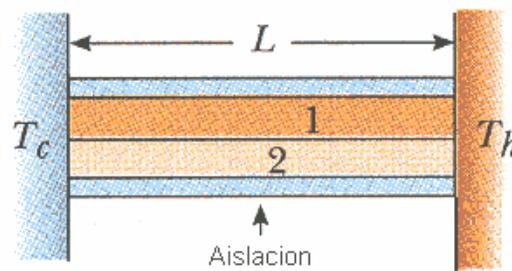


Figura P56

57. El muro de ladrillos ($k = 0.80 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) de un edificio tiene dimensiones de 4.0 m X 10.0 m y su espesor es de 15 cm. ¿Cuánto calor (en joules) fluye a través del muro en un periodo de 12 h cuando las temperaturas promedio interior y exterior son, respectivamente, 20°C y 5°C?

Solución:

Tenemos que el flujo de calor es

$$\frac{Q}{\Delta T} = H = -kA \frac{dT}{dx} = (0.80 \text{ W/m } ^\circ\text{C})(40 \text{ m}^2)(15 \text{ } ^\circ\text{C}/0.15 \text{ m}) = 3200 \text{ W}$$

$$Q = H\Delta T = (3200 \text{ W})(12 \times 3600 \text{ s}) = 138.2 \times 10^6 \text{ J} = 138.2 \text{ MJ.}$$

58. Un tubo de vapor se cubre con un material aislante de 1.5 cm de espesor y conductividad térmica de 0.200 cal/cm^oC. ¿Cuánto calor se pierde cada segundo cuando el vapor está a 200°C y el aire circundante se encuentra a 20°C? El tubo tiene una circunferencia de 20 cm y una longitud de 50 m. ignore las pérdidas a través de los extremos del tubo.

59. una caja con una área de superficie total de 1.20 m² y una pared de 4.00 cm. de espesor esta hecha con un material aislante. Un calefactor eléctrico de 10.0 W dentro de la caja mantiene la temperatura interior de 15 °C arriba de la temperatura exterior encuentre la conductividad térmica *k* del material aislante

Solución:

De la ecuación $\frac{Q}{\Delta T} = H = -kA \frac{dT}{dx}$ despejamos *k* y obtenemos

$$k = -\frac{H}{A \frac{dT}{dx}}$$

$$k = \frac{10 \text{ W}}{(1.2 \text{ m}^2) \left(\frac{15 \text{ } ^\circ\text{C}}{0.04 \text{ m}} \right)} = 0.0222 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

60. Una caja de estireno tiene un área de superficie de 0.80 m² y un espesor de pared de 2.0 cm. La temperatura interior es de 5°C y la exterior de 25°C. Si son necesarias 8.0 h para que 5.0 kg de hielo se fundan en el recipiente; determine la conductividad térmica del estireno.

61. El techo de una casa construido para absorber la radiación solar incidente sobre él tiene un área de 7.0 m x 10.0 m. La radiación solar en la superficie terrestre es de 840 W / m². En promedio, los rayos solares forman un ángulo de 60° con el plano del techo. a) Si 15% de la energía incidente se convierte en potencia eléctrica útil, ¿cuántos kilowatts-hora por día de energía útil brinda esta fuente? Suponga que el Sol brilla durante un promedio de 8.0 h/día. b) si el usuario residencial promedio paga 6 centavos de dólar por kWh, ¿cual es el ahorro económico con esta fuente energética por día?

Solución: (a) 61.1 kWh, (b) \$3.67

62. La superficie del Sol tiene una temperatura de aproximadamente 5800 K. Si se toma el radio del Sol como 6.96 x 10⁸ m, calcule la energía total radiada por el Sol diariamente. (Suponga *e* = 1.)

63. Calcule el valor *R* de a) una ventana hecha con un solo cristal de 1/8 pulg de espesor, y b) una ventana de cristal térmico formada con dos cristales individuales, cada uno de 1/8 pulg de espesor y separados por un espacio de

aire de 1/4 pulg. c) ¿En qué factor se reduce la pérdida de calor si se utiliza la ventana térmica en lugar de la ventana de un solo cristal?

Solución: (a) $0.89 \text{ pies}^2 \text{ } ^\circ\text{F h/BTU}$, (b) $1.85 \text{ pies}^2 \text{ } ^\circ\text{F h/BTU}$, (c) 2.08

PROBLEMAS ADICIONALES

64. Un recipiente para cocinar sobre un quemador con su llama baja contiene 10.0 kg de agua y una masa desconocida de hielo en equilibrio a 0°C en el tiempo $t = 0$. La temperatura de la mezcla se mide en varios tiempos y el resultado se grafica en la figura P64. Durante los primeros 50 min. la mezcla permanece en 0°C . Entre el minuto 50 y el 60, la temperatura aumenta a 2.0°C . Ignore la capacidad calorífica del recipiente y determine la masa inicial del hielo.

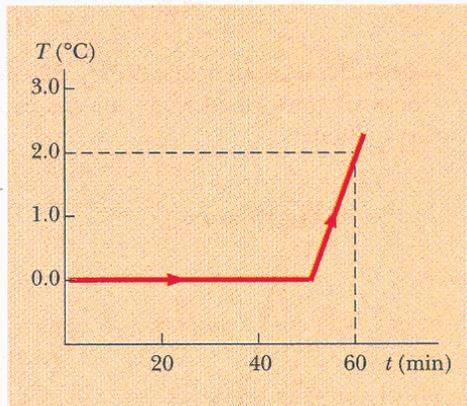


Figura P64

65. Alrededor de un cráter formado por un meteorito de hierro se fundieron 75.0 kg de roca debido al impacto. La roca tiene un calor específico de $0.800 \text{ Kcal. /kg. } ^\circ\text{C}$, un punto de fusión de 500°C y un calor latente de fusión de 48.0 kcal/kg . La temperatura original del suelo era de 0.0°C . Si el meteorito golpea el suelo mientras se mueve a 600 m/s , ¿cuál es la masa mínima del meteorito? Suponga que se libera calor hacia la roca no fundida de los alrededores o a la atmósfera durante el impacto. Ignore la capacidad calorífica del meteorito.

Solución: 781 kg

66. un calorímetro de flujo un aparato que se utiliza para medir el calor específico de un líquido la técnica consiste en medir la diferencia de temperatura entre los puntos de entrada y de salida de una corriente de líquido que fluye mientras se agrega calor a una tasa conocida en un experimento particular, un líquido de 0.78 g/cm^3 de densidad fluye por el calorímetro a una tasa de $4.0 \text{ cm}^3/\text{s}$. En estado estable se establece una diferencia de temperaturas de 4.8°C entre los puntos de entrada y de salida cuando se suministra calor a razón de 30 J/s . ¿cual es el calor específico del líquido?

67. Un mol de un gas ideal inicialmente a 300 K se enfría a volumen constante de modo que la presión final es un cuarto de la presión inicial. Después el gas

se expande a presión constante hasta que alcanza la temperatura inicial. Determine el trabajo realizado por el gas.

Solución: 1.87 kJ

68. Una calentadora eléctrica está hirviendo, y la potencia eléctrica consumida por el agua de ella es de 1.0 kW. Suponiendo que la presión del vapor en la calentadora es igual a la presión atmosférica, determine la velocidad a la cual el vapor de agua sale por el pico, el cual tiene un área de sección transversal 2.0 cm^2 .

69. Una barra de aluminio de 0.50 m de largo y un área de sección transversal de 2.5 cm^2 se introduce en un recipiente aislado térmicamente que contiene helio líquido a 4.2 K. La barra está inicialmente a 300 K. a) Si una mitad de la barra se introduce en el helio, ¿cuántos litros de helio hervirán durante el tiempo en que la mitad introducida se enfría a 4.2 K? (Suponga que la mitad superior no se enfría.) b) Si la parte superior de la barra se mantiene a 300 K, ¿cuál es la tasa de ebullición aproximada del helio líquido después de que la mitad inferior ha llegado a 4.2 K? (Observe que el aluminio tiene una conductividad térmica de $31 \text{ J/s}\cdot\text{cm}\cdot\text{K}$ a 4.2 K, un calor específico de $0.21 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ y una densidad de 2.7 g/cm^3 . Consulte el ejemplo 20.5 para los datos del helio.)

Solución: (a) 16.8 L, (b) 0.351 L/s

70. Un tubo térmico de 0.025 m de diámetro y 0.30 m de longitud puede transferir 3600 J de calor por segundo con una diferencia de temperatura entre los extremos de 10°C . ¿Cómo se compara este rendimiento con la transferencia de calor de una barra de plata sólida de las mismas dimensiones si la conductividad térmica de la plata es $k = 427 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$? (La plata es el mejor conductor térmico de todos los metales.)

71. Una bala de plomo de 5.00 g que se mueve a 300 m/s choca con una placa de acero plana y se detiene. Si la colisión es inelástica, ¿se fundirá la bala? El plomo tiene un punto de fusión de 327°C , un calor específico de $0.128 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$ y un calor latente de fusión de 24.5 J/g .

Solución: La bala se funde parcialmente

72. La conductividad térmica promedio de las paredes (incluidas las ventanas) y del techo de la casa de la figura P72 es $0.48 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$, y su espesor promedio es de 21.0 cm. La casa se calienta con gas natural, el cual tiene un calor de combustión (calor entregado por metro cúbico de gas quemado) de $9,300 \text{ kcal/m}^3$. ¿Cuántos metros cúbicos de gas deben quemarse cada día para mantener una temperatura interior de 25.0°C si la temperatura exterior es 0.0°C ? Ignore la radiación y las pérdidas de calor a través del suelo.

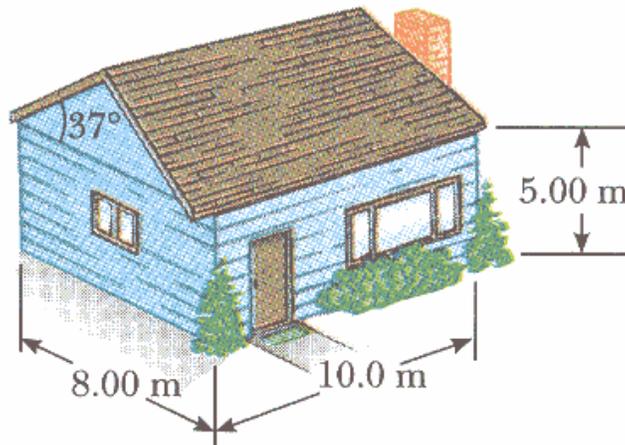


Figura P72

73. Una clase de 10 estudiantes en examen tiene una salida de potencia por estudiante de casi 200 W. Suponga que la temperatura inicial del cuarto es 20°C y que las dimensiones son 6.0 m por 3.0 m. ¿Cuál es la temperatura del cuarto después de 1.0 h si todo el calor permanece en el aire del salón y no se añade nada más por medio de una fuente exterior? El calor específico del aire es de $837 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ y su densidad aproximada es de $1.3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$.

Solución: 44.5°C

74. Un gas ideal inicialmente a P_0 , V_0 y T_0 efectúa un ciclo como el que se describe en la figura P74. a) Encuentre el trabajo neto hecho por el gas por ciclo. b) ¿Cuál es el calor neto agregado al sistema por ciclo? c) Obtenga un valor numérico para el trabajo neto hecho por ciclo por 1 mol de gas inicialmente a 0°C .

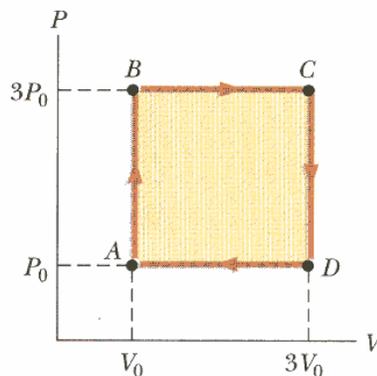


Figura P74

75. Un submarino de investigación para un pasajero tiene un casco esférico de hierro de 1.50 m de radio exterior y 2.00 cm de espesor, forrado con hule de igual espesor. Si el submarino navega por aguas del Ártico (temperatura de 0°C) y la tasa total de calor liberado dentro de la pequeña nave (incluyendo el

calor metabólico del ocupante) es de 1500W, encuentre la temperatura de equilibrio del interior.

Solución: 5.46 °C

76. Una placa de hierro está sostenida contra una rueda de hierro de modo que una fuerza de fricción de deslizamiento de 50.0 N actúa entre las dos piezas metálicas. La velocidad relativa a la cual las dos superficies se deslizan una sobre la otra es de 40.0 m/s. a) Calcule la tasa a la cual la energía mecánica se convierte en energía térmica. b) La placa y la rueda tienen ambas una masa de 5.00 kg y cada una recibe 50% de la energía térmica. Si durante 10.0 s el sistema opera como se describió y se deja que cada objeto alcance una temperatura interna uniforme, ¿cuál es el aumento de temperatura que se produce?

77. Un recipiente en la forma de un cascarón esférico tiene un radio interior a y un radio exterior h . La pared tiene una conductividad térmica k . Si el interior se mantiene a una temperatura T_1 y el exterior se encuentra a una temperatura T_2 , muestre que la tasa de flujo de calor entre las superficies es

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{4\pi kab}{b - a} \right) (T_1 - T_2)$$

78. El interior de un cilindro hueco se mantiene a una temperatura T_a mientras que el exterior está a una temperatura inferior, T_b (Fig. P78). La pared del cilindro tiene una conductividad térmica k . Ignore los efectos en los extremos y demuestre que la tasa de flujo de calor de la pared interior a la pared exterior en la dirección radial es

$$\frac{dQ}{dt} = 2\pi Lk \left[\frac{T_a - T_b}{\ln(b/a)} \right]$$

(Sugerencia: El gradiente de temperatura es dT/dr . Observe que la corriente de calor radial pasa por un cilindro concéntrico de área $2\pi rL$.)

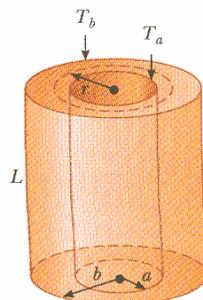


Figura P.78

79. La sección de pasajeros de un avión a reacción (jet) comercial tiene la forma de un tubo cilíndrico de 35 m de largo y 2.5 m de radio interior. Sus paredes están forradas con un material aislante de 6.0 cm de espesor y de 4 x

10^{-5} cal/s.cm.°C de conductividad térmica. El interior se mantiene a 25°C mientras que el exterior está a -35°C. ¿Qué tasa de calefacción es necesaria para mantener esta diferencia de temperatura? (Emplee el resultado del problema 78.)

Solución: 9.32 kW

80. Una botella térmica en la forma de un cilindro tiene una radio interior de 4.0 cm, radio exterior de 4.5 cm y longitud de 30.0 cm. Las paredes aislantes tienen una conductividad térmica igual a 2.0×10^{-5} cal/s.cm.°C. Un litro de café caliente a 90°C se vierte dentro de la botella. Si la pared exterior permanece a 20°C, ¿cuánto tardará el café en enfriarse hasta 50°C? (Emplee el resultado del problema 78 y suponga que el café tiene las mismas propiedades que el agua.)

81. Una "estufa solar" se compone de un espejo reflejante curvo que concentra la luz solar sobre el objeto que se quiere calentar (Fig. P81). La potencia solar por unidad de área que llega a la Tierra en alguna localidad es de 600 W/m^2 , y la estufa tiene un diámetro de 0.60 m. Suponiendo que 40% de la energía incidente se convierte en energía térmica, ¿cuánto tiempo tardaría en hervir completamente 0.50 litros de agua inicialmente a 20°C? (Ignore la capacidad calorífica del recipiente.)

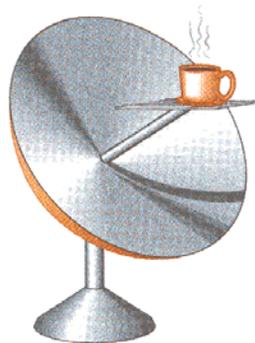


Figura P81

Solución: 5.31 h

82. Un estanque cuya agua está a 0°C se cubre con una capa de hielo de 4.0 cm de espesor. Si la temperatura del aire permanece constante en -10°C, ¿cuánto tiempo transcurrirá antes de que el espesor del hielo sea de 8.0 cm? (*Sugerencia:* Para resolver este problema utilice la ecuación

$$\frac{dQ}{dt} = kA \frac{\Delta T}{x}$$

y observe que el calor incremental dQ extraído del agua a través del espesor x de hielo es la cantidad necesaria para congelar un espesor dx de hielo. Es decir, $dQ = L_p A dx$, donde p es la densidad del hielo, A es el área y L es el calor latente de congelación.)