PROBLEMAS RESUELTOS PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

CAPITULO 20 FISICA I

CUARTA, QUINTA, SEXTA Y SEPTIMA EDICION SERWAY

Raymond A. Serway

20.1 Calor y energía interna
20.2 Calor especifico y calorimetría
20.3 Calor latente
20.4 Trabajo y calor en procesos termodinámicos

Erving Quintero Gil
Ing. Electromecánico
Bucaramanga – Colombia
2010

Para cualquier inquietud o consulta escribir a:
quintere@hotmail.com
quintere@gmail.com
quintere2006@yahoo.com

Problema 1. En su luna de miel, James Joule viajó de Inglaterra a Suiza. Trató de verificar su idea de la convertibilidad entre energía mecánica y energía interna al medir el aumento en temperatura del agua que caía de una catarata. Si el agua de una catarata alpina tiene una temperatura de 10°C y luego cae 50 m (como las cataratas del Niágara) , ¿qué temperatura máxima podría esperar joule que hubiera en el fondo de las cataratas?

P20.1 Taking $m = 1.00$ kg, we have

$$\Delta U_g = mgh = (1.00\text{ kg})(9.80\text{ m/s}^2)(50.0\text{ m}) = 490\text{ J}.$$

But $\Delta U_g = Q = mc\Delta T = (1.00\text{ kg})(4\,186\text{ J/kg}\cdot°\text{C})\Delta T = 490\text{ J}$ so $\Delta T = 0.117°\text{C}$

$$T_f = T_i + \Delta T = \boxed{(10.0 + 0.117)°\text{C}}$$

Problema 2. Considere el aparato de joule descrito en la figura 20,1. La masa de cada uno de los dos bloques es de 1.5 kg, y el tanque aislado se llena con 200 g de agua. ¿Cuál es el aumento de la temperatura del agua después que los bloques caen una distancia de 3 m?

P20.2 The container is thermally insulated, so no energy flows by heat:

$$Q = 0$$

and $\Delta E_{\text{int}} = Q + W_{\text{input}} = 0 + W_{\text{input}} = 2mgh$

The work on the falling weights is equal to the work done on the water in the container by the rotating blades. This work results in an increase in internal energy of the water:

$$2mgh = \Delta E_{\text{int}} = m_{\text{water}} c\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{2mgh}{m_{\text{water}}c} = \frac{2 \times 1.50\text{ kg}(9.80\text{ m/s}^2)(3.00\text{ m})}{0.200\text{ kg}(4\,186\text{ J/kg}\cdot°\text{C})} = \frac{88.2\text{ J}}{837\text{ J/°C}}$$

$$= \boxed{0.105°\text{C}}$$

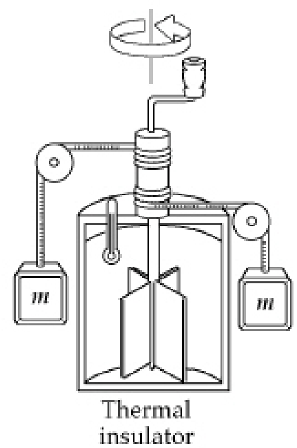


FIG. P20.2

Sección 20.2 Calor específico y calorimetría

Problema 3. La temperatura de una barra de plata sube 10°C cuando absorbe 1.23 kj de energía por calor. La masa de la barra es de 525 g. Determine el calor específico de la plata.

P20.3 $\Delta Q = mc_{\text{silver}}\Delta T$

$$1.23\text{ kJ} = (0.525\text{ kg})c_{\text{silver}}(10.0°\text{C})$$

$$c_{\text{silver}} = \boxed{0.234\text{ kJ/kg}\cdot°\text{C}}$$

Problema 4. Una muestra de 50 gr de cobre está a 25°C. Si 200 j de energía se le agregan por calor, ¿cuál es la temperatura final del cobre?

P20.4 From $Q = mc\Delta T$

we find $\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{1\,200 \text{ J}}{0.050\,0 \text{ kg}(387 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})} = 62.0°\text{C}$

Thus, the final temperature is $\boxed{87.0°\text{C}}$.

Problema 5. El uso sistemático de energía solar puede dar un gran ahorro en el costo de calefacción de espacios en invierno para una casa típica de la región norte central de Estados Unidos. Si la casa tiene buen aislamiento, es posible modelarla como que pierde energía por calor de manera continua a razón de 6000 W en un día de abril, cuando la temperatura promedio exterior es de 4°C, y cuando el sistema de calefacción convencional no se usa en absoluto. El colector pasivo de energía solar puede estar formado simplemente por ventanas muy grandes en una alcoba que mire hacia el sur. La luz solar que brille durante el día es absorbida por el piso, paredes interiores y otros objetos del cuarto, elevándose así su temperatura a 38°C. Cuando baja el sol, las cortinas o persianas aislantes *se* cierran sobre las ventanas. Durante el periodo entre las 5:00 p.m. y las 7:00 a.m. la temperatura de la casa bajará, y se necesita una "masa térmica" suficientemente grande para evitar que baje demasiado. La masa térmica puede ser una gran cantidad de piedra (con calor específico de 850]/kg.^{o}C) en el piso y las paredes interiores expuestas a la luz solar. ¿Qué masa de piedra se necesita si la temperatura no debe descender por abajo de 18°C durante la noche?

***P20.5** We imagine the stone energy reservoir has a large area in contact with air and is always at nearly the same temperature as the air. Its overnight loss of energy is described by

$$\mathcal{P} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t}$$

$$m = \frac{\mathcal{P}\Delta t}{c\Delta T} = \frac{(-6\,000 \text{ J/s})(14 \text{ h})(3\,600 \text{ s/h})}{(850 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(18°\text{C} - 38°\text{C})} = \frac{3.02 \times 10^8 \text{ J}\cdot\text{kg}\cdot°\text{C}}{850 \text{ J}(20°\text{C})} = \boxed{1.78 \times 10^4 \text{ kg}}$$

Problema 6. El láser Nova del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, en California, se usa en estudios para iniciar una fusión nuclear controlada (sección 23.4 del volumen II). Puede entregar una potencia de 1.60 X 10^{13} W durante un intervalo de tiempo de 2.50 ns. Compare su energía de salida en uno de estos intervalos con la energía necesaria para hacer que se caliente una olla de té de 0.8 kg de agua de 20°C a 100°C.

***P20.6** The laser energy output:

$$\mathcal{P}\Delta t = \left(1.60 \times 10^{13} \text{ J/s}\right)2.50 \times 10^{-9} \text{ s} = 4.00 \times 10^4 \text{ J}.$$

The teakettle input:

$$Q = mc\Delta T = 0.800 \text{ kg}(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})80°\text{C} = 2.68 \times 10^5 \text{ J}.$$

Problema 7. Una herradura de hierro de 1.5 kg inicialmente a 600°C se deja caer en una cubeta que contiene 20 kg de agua a 25°C. ¿Cuál es la temperatura final? (Pase por alto la capacidad calorífica del recipiente, y suponga que la insignificante cantidad de agua se hierve.)

P20.7 $Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$

$$(mc\Delta T)_{\text{water}} = -(mc\Delta T)_{\text{iron}}$$

$$20.0 \text{ kg}(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(T_f - 25.0°\text{C}) = -(1.50 \text{ kg})(448 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(T_f - 600°\text{C})$$

$$T_f = \boxed{29.6°\text{C}}$$

Problema 8. Una taza de aluminio de 200 gr de masa contiene 800 gr. de agua en equilibrio térmico a 80°C. La combinación de taza y agua se enfría uniformemente de modo que la temperatura desciende en 1.5°C por minuto. ¿A qué ritmo se remueve energía por calor? Exprese su respuesta en watts.

P20.8 Let us find the energy transferred in one minute.

$$Q = \left[m_{\text{cup}}c_{\text{cup}} + m_{\text{water}}c_{\text{water}}\right]\Delta T$$

$$Q = \left[(0.200 \text{ kg})(900 \text{ J/kg}\cdot°\text{C}) + (0.800 \text{ kg})(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})\right](-1.50°\text{C}) = -5\,290 \text{ J}$$

If this much energy is removed from the system each minute, the rate of removal is

$$\mathcal{P} = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{5\,290 \text{ J}}{60.0 \text{ s}} = 88.2 \text{ J/s} = \boxed{88.2 \text{ W}}.$$

Problema 9. Un calorímetro de aluminio con masa de 100 gr. contiene 250 gr. de agua. El calorímetro y el agua están en equilibrio térmico a 10°C. Dos bloques metálicos se ponen en el agua. Uno es una pieza de cobre de 50 gr. a 80°C. El otro bloque tiene una masa de 70 gr. y está originalmente a una temperatura de 100°C. Todo el sistema se estabiliza a una temperatura final de 20°C. (a) Determine el calor específico de la muestra desconocida. (b) Calcule el material desconocido, usando los datos de la tabla 20.1.

P20.9 (a) $Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$

$$(m_w c_w + m_c c_c)(T_f - T_c) = -m_{\text{Cu}}c_{\text{Cu}}(T_f - T_{\text{Cu}}) - m_{unk}c_{unk}(T_f - T_{unk})$$

where w is for water, c the calorimeter, Cu the copper sample, and unk the unknown.

$$\left[250 \text{ g}(1.00 \text{ cal/g}\cdot°\text{C}) + 100 \text{ g}(0.215 \text{ cal/g}\cdot°\text{C})\right](20.0 - 10.0)°\text{C}$$

$$= -(50.0 \text{ g})(0.092\,4 \text{ cal/g}\cdot°\text{C})(20.0 - 80.0)°\text{C} - (70.0 \text{ g})c_{unk}(20.0 - 100)°\text{C}$$

$$2.44 \times 10^3 \text{ cal} = (5.60 \times 10^3 \text{ g}\cdot°\text{C})c_{unk}$$

or $c_{unk} = \boxed{0.435 \text{ cal/g}\cdot°\text{C}}$.

(b) The material of the sample is $\boxed{\text{beryllium}}$.

Problema 10. Una moneda de cobre de 3 gr. a 25°C se deja caer 50 m al suelo. (a) Suponiendo que 60 % del cambio en energía potencial del sistema formado por el centavo y nuestro planeta se va a aumentar la energía interna del centavo, determine su temperatura final. (b) ¿Qué pasaría si? ¿Este resultado depende de la masa del centavo? Explique.

P20.10 (a) $(f)(mgh) = mc\Delta T$

$$\frac{(0.600)(3.00\times10^{-3}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(50.0\ \text{m})}{4.186\ \text{J/cal}} = (3.00\ \text{g})(0.092\,4\ \text{cal/g}\cdot{}^\circ\text{C})(\Delta T)$$

$\Delta T = 0.760^\circ\text{C}$; $\boxed{T = 25.8^\circ\text{C}}$

(b) $\boxed{\text{No}}$. Both the change in potential energy and the heat absorbed are proportional to the mass; hence, the mass cancels in the energy relation.

Problema 11. Una combinación de 0.25 kg de agua a 20°C, 0.4 kg de aluminio a 26°C, y 0.1 kg de cobre a 100°C se mezclan en un recipiente aislado al que se deja llegar al equilibrio térmico. Soslaye cualquier transferencia de energía hacia o desde el recipiente y determine la temperatura final de la mezcla.

***P20.11** We do not know whether the aluminum will rise or drop in temperature. The energy the water can absorb in rising to 26°C is $mc\Delta T = 0.25\ \text{kg}\ 4\,186\frac{\text{J}}{\text{kg}\ {}^\circ\text{C}}6^\circ\text{C} = 6\,279\ \text{J}$. The energy the copper can put out in dropping to 26°C is $mc\Delta T = 0.1\ \text{kg}\ 387\frac{\text{J}}{\text{kg}\ {}^\circ\text{C}}74^\circ\text{C} = 2\,864\ \text{J}$. Since $6\,279\ \text{J} > 2\,864\ \text{J}$, the final temperature is less than 26°C. We can write $Q_h = -Q_c$ as

$$Q_{\text{water}} + Q_{\text{Al}} + Q_{\text{Cu}} = 0$$

$$0.25\ \text{kg}\ 4\,186\frac{\text{J}}{\text{kg}\ {}^\circ\text{C}}(T_f - 20^\circ\text{C}) + 0.4\ \text{kg}\ 900\frac{\text{J}}{\text{kg}\ {}^\circ\text{C}}(T_f - 26^\circ\text{C})$$

$$+0.1\ \text{kg}\ 387\frac{\text{J}}{\text{kg}\ {}^\circ\text{C}}(T_f - 100^\circ\text{C}) = 0$$

$$1\,046.5T_f - 20\,930^\circ\text{C} + 360T_f - 9\,360^\circ\text{C} + 38.7T_f - 3\,870^\circ\text{C} = 0$$

$$1\,445.2T_f = 34\,160^\circ\text{C}$$

$$T_f = \boxed{23.6^\circ\text{C}}$$

Problema 12. Si se vierte agua con una m_h a una temperatura T_h en una taza de aluminio de masa m_{Al} que contiene una masa m_c de agua a T_c donde $T_h > T_c$ ¿cuál es la temperatura de equilibrio del sistema?

P20.12 $Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$

$$m_{\text{Al}}c_{\text{Al}}(T_f - T_c) + m_c c_w (T_f - T_c) = -m_h c_w (T_f - T_h)$$

$$(m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w)T_f - (m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w)T_c = -m_h c_w T_f + m_h c_w T_h$$

$$(m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w + m_h c_w)T_f = (m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w)T_c + m_h c_w T_h$$

$$T_f = \boxed{\frac{(m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w)T_c + m_h c_w T_h}{m_{\text{Al}}c_{\text{Al}} + m_c c_w + m_h c_w}}$$

Problema 13. Un calentador de agua se opera con energía solar. Si el colector solar tiene un área de 6 m^2 y la intensidad entregada por la luz solar es de 550 W /m^2, ¿cuánto tarda en aumentar la temperatura de 1 m^3 de agua de 20°C a 60°C?

P20.13 The rate of collection of energy is $\mathscr{P} = 550\ \text{W/m}^2\left(6.00\ \text{m}^2\right) = 3\,300\ \text{W}$. The amount of energy required to raise the temperature of 1 000 kg of water by 40.0°C is:

$$Q = mc\Delta T = 1\,000\ \text{kg}\left(4\,186\ \text{J/kg}\cdot°\text{C}\right)\left(40.0°\text{C}\right) = 1.67 \times 10^8\ \text{J}$$

Thus, $\mathscr{P}\Delta t = 1.67 \times 10^8\ \text{J}$

or $\Delta t = \dfrac{1.67 \times 10^8\ \text{J}}{3\,300\ \text{W}} = \boxed{50.7\ \text{ks}} = 14.1\ \text{h}$.

Problema 14. Dos recipientes térmicamente aislados están conectados por un estrecho tubo equipado con una válvula que inicialmente está cerrada. Uno de los recipientes, de 16.8 L de volumen, contiene oxígeno a una temperatura de 300 K y una presión de 1.75 atm. El otro, de 22.4 L de volumen, contiene oxígeno a una temperatura de 450 K y una presión de 2.25 atm. Cuando la válvula se abre, los gases de los dos recipientes se mezclan, y la temperatura y presión se hacen uniformes en todo el sistema. (a) ¿Cuál es la temperatura final? (b) ¿Cuál es la presión final?

***P20.14** Vessel one contains oxygen according to $PV = nRT$:

$$n_c = \frac{PV}{RT} = \frac{1.75\left(1.013 \times 10^5\ \text{Pa}\right)16.8 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}{8.314\ \text{Nm/mol}\cdot\text{K}\ 300\ \text{K}} = 1.194\ \text{mol}.$$

Vessel two contains this much oxygen:

$$n_h = \frac{2.25\left(1.013 \times 10^5\right)22.4 \times 10^{-3}}{8.314(450)}\ \text{mol} = 1.365\ \text{mol}.$$

(a) The gas comes to an equilibrium temperature according to

$$(mc\Delta T)_{\text{cold}} = -(mc\Delta T)_{\text{hot}}$$

$$n_c Mc\left(T_f - 300\ \text{K}\right) + n_h Mc\left(T_f - 450\ \text{K}\right) = 0$$

The molar mass M and specific heat divide out:

$$1.194T_f - 358.2\ \text{K} + 1.365T_f - 614.1\ \text{K} = 0$$

$$T_f = \frac{972.3\ \text{K}}{2.559} = \boxed{380\ \text{K}}$$

(b) The pressure of the whole sample in its final state is

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{2.559\ \text{mol}\ 8.314\ \text{J}\ 380\ \text{K}}{\text{mol K}(22.4 + 16.8) \times 10^{-3}\ \text{m}^3} = \boxed{2.06 \times 10^5\ \text{Pa}} = 2.04\ \text{atm}.$$

Sección 20.3 Calor latente

Problema 15. ¿Cuánta energía se requiere para cambiar un cubo de hielo de 40 gr. de hielo a -10°C a vapor a 110°C?

P20.15 The heat needed is the sum of the following terms:

$$Q_{\text{needed}} = (\text{heat to reach melting point}) + (\text{heat to melt}) + (\text{heat to reach melting point}) + (\text{heat to vaporize}) + (\text{heat to reach } 110°\text{C})$$

Thus, we have

$$Q_{\text{needed}} = 0.040\,0 \text{ kg}\Big[(2\,090 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(10.0°\text{C}) + \left(3.33\times10^{5} \text{ J/kg}\right) + (4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(100°\text{C}) + \left(2.26\times10^{6} \text{ J/kg}\right) + (2\,010 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(10.0°\text{C})\Big]$$

$$Q_{\text{needed}} = \boxed{1.22\times10^{5} \text{ J}}$$

Problema 16. Un calorímetro de cobre de 50 gr. contiene 250 gr. de agua a 20°C. ¿Cuánto vapor debe condensarse en el agua si la temperatura final del sistema debe llegar a 50°C?

P20.16 $Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$

$$(m_w c_w + m_c c_c)(T_f - T_i) = -m_s\left[-L_v + c_w(T_f - 100)\right]$$

$$\left[0.250 \text{ kg}(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C}) + 0.050\,0 \text{ kg}(387 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})\right](50.0°\text{C} - 20.0°\text{C})$$

$$= -m_s\left[-2.26\times10^{6} \text{ J/kg} + (4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(50.0°\text{C} - 100°\text{C})\right]$$

$$m_s = \frac{3.20\times10^{4} \text{ J}}{2.47\times10^{6} \text{ J/kg}} = 0.012\,9 \text{ kg} = \boxed{12.9 \text{ g steam}}$$

Problema 17. Una bala de plomo de 3 gr. a 30°C es disparada a una rapidez de 240 m/s en un gran bloque de hielo a 0°C, en el que queda incrustada. ¿Qué cantidad de hielo se derrite?

P20.17 The bullet will not melt all the ice, so its final temperature is 0°C.

Then $\left(\frac{1}{2}mv^2 + mc|\Delta T|\right)_{\text{bullet}} = m_w L_f$

where m_w is the melt water mass

$$m_w = \frac{0.500\left(3.00\times10^{-3} \text{ kg}\right)(240 \text{ m/s})^2 + 3.00\times10^{-3} \text{ kg}(128 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(30.0°\text{C})}{3.33\times10^{5} \text{ J/kg}}$$

$$m_w = \frac{86.4 \text{ J} + 11.5 \text{ J}}{333\,000 \text{ J/kg}} = \boxed{0.294 \text{ g}}$$

Problema 18. Vapor a 100°C se agrega a hielo a 0°C. (a) Encuentre la cantidad de hielo derretido y la temperatura final cuando la masa del vapor sea 10 gr. y la masa del hielo sea 50 gr. (b) ¿Qué pasaría si? Repita cuando la masa del vapor sea 1 gr. y la masa del hielo sea 50 gr.

P20.18 (a) $Q_1 =$ heat to melt all the ice $= (50.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}) = 1.67 \times 10^4 \text{ J}$

$Q_2 =$ (heat to raise temp of ice to 100°C)

$= (50.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(100°\text{C}) = 2.09 \times 10^4 \text{ J}$

Thus, the total heat to melt ice and raise temp to 100°C $= 3.76 \times 10^4$ J

$$Q_3 = \begin{array}{c}\text{heat available}\\ \text{as steam condenses}\end{array} = (10.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}) = 2.26 \times 10^4 \text{ J}$$

Thus, we see that $Q_3 > Q_1$, but $Q_3 < Q_1 + Q_2$.

Therefore, all the ice melts but $T_f < 100°\text{C}$. Let us now find T_f

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

$$(50.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}) + (50.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(T_f - 0°\text{C})$$

$$= -(10.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(-2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}) - (10.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(T_f - 100°\text{C})$$

From which, $\boxed{T_f = 40.4°\text{C}}$.

(b) $Q_1 =$ heat to melt all ice $= 1.67 \times 10^4$ J [See part (a)]

$$Q_2 = \begin{array}{c}\text{heat given up}\\ \text{as steam condenses}\end{array} = (10^{-3} \text{ kg})(2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}) = 2.26 \times 10^3 \text{ J}$$

$$Q_3 = \begin{array}{c}\text{heat given up as condensed}\\ \text{steam cools to 0°C}\end{array} = (10^{-3} \text{ kg})(4\,186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})(100°\text{C}) = 419 \text{ J}$$

Note that $Q_2 + Q_3 < Q_1$. Therefore, the final temperature will be 0°C with some ice remaining. Let us find the mass of ice which must melt to condense the steam and cool the condensate to 0°C.

$$mL_f = Q_2 + Q_3 = 2.68 \times 10^3 \text{ J}$$

Thus, $m = \dfrac{2.68 \times 10^3 \text{ J}}{3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}} = 8.04 \times 10^{-3} \text{ kg} = 8.04 \text{ g}$.

Therefore, there is $\boxed{\text{42.0 g of ice left over}}$.

Problema 19. Un bloque de 1 kg de cobre a 20°C se pone en un gran recipiente de nitrógeno líquido a 77.3 K. ¿Cuántos kilogramos de nitrógeno hierven para cuando el cobre llega a 77.3K? (El calor específico del cobre es 0.092 cal/g.°C. El calor latente de vaporización del nitrógeno es 48 gal/g.)

P20.19 $Q = m_{\text{Cu}} c_{\text{Cu}} \Delta T = m_{\text{N}_2} (L_{\text{vap}})_{\text{N}_2}$

$$1.00 \text{ kg}(0.092\,0 \text{ cal/g}\cdot°\text{C})(293 - 77.3)°\text{C} = m(48.0 \text{ cal/g})$$

$$m = \boxed{0.414 \text{ kg}}$$

Problema 20. Suponga que un granizo a o°C cae en aire a una temperatura uniforme de o°C y cae sobre una banqueta que también está a esta temperatura. ¿De qué altura inicial debe caer el granizo para que se derrita por completo al impacto?

*P20.20 The original gravitational energy of the hailstone-Earth system changes entirely into additional internal energy in the hailstone, to produce its phase change. No temperature change occurs, either in the hailstone, in the air, or in sidewalk. Then

$$mgy = mL$$

$$y = \frac{L}{g} = \frac{3.33\times 10^{5}\ \text{J/kg}}{9.8\ \text{m/s}^2}\left(\frac{1\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2}{1\ \text{J}}\right) = \boxed{3.40\times 10^{4}\ \text{m}}$$

Problema 21. En un recipiente aislado, 250 gr. de hielo a 0 ^{0}C se agregan a 600 gr. de agua a 18°C. (a) ¿Cuál es la temperatura final del sistema? (b) ¿Cuánto hielo resta cuando el sistema llega al equilibrio?

P20.21 (a) Since the heat required to melt 250 g of ice at 0°C *exceeds* the heat required to cool 600 g of water from 18°C to 0°C, the final temperature of the system (water + ice) must be $\boxed{0°\text{C}}$.

(b) Let m represent the mass of ice that melts before the system reaches equilibrium at 0°C.

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

$$mL_f = -m_w c_w (0°\text{C} - T_i)$$

$$m\left(3.33\times 10^{5}\ \text{J/kg}\right) = -(0.600\ \text{kg})(4\,186\ \text{J/kg}\cdot°\text{C})(0°\text{C} - 18.0°\text{C})$$

$$m = 136\ \text{g, so the ice remaining} = 250\ \text{g} - 136\ \text{g} = \boxed{114\ \text{g}}$$

22. Problema de repaso. Dos veloces balas de plomo, cada una de 5 gr. de masa y a una temperatura de 20°C, chocan de frente a una rapidez de 500 m/s cada una. Si se supone una colisión perfectamente inelástica y no hay pérdida de energía por calor a la atmósfera, describa el estado final del sistema formado por las dos balas.

P20.22 The original kinetic energy all becomes thermal energy:

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = 2\left(\frac{1}{2}\right)\left(5.00\times 10^{-3}\ \text{kg}\right)(500\ \text{m/s})^2 = 1.25\ \text{kJ}.$$

Raising the temperature to the melting point requires

$$Q = mc\Delta T = 10.0\times 10^{-3}\ \text{kg}(128\ \text{J/kg}\cdot°\text{C})(327°\text{C} - 20.0°\text{C}) = 393\ \text{J}.$$

Since $1\,250\ \text{J} > 393\ \text{J}$, the lead starts to melt. Melting it all requires

$$Q = mL = \left(10.0\times 10^{-3}\ \text{kg}\right)\left(2.45\times 10^{4}\ \text{J/kg}\right) = 245\ \text{J}.$$

Since $1\,250\ \text{J} > 393 + 245\ \text{J}$, it all melts. If we assume $\boxed{\text{liquid lead}}$ has the same specific heat as solid lead, the final temperature is given by

$$1.25\times 10^{3}\ \text{J} = 393\ \text{J} + 245\ \text{J} + 10.0\times 10^{-3}\ \text{kg}(128\ \text{J/kg}\cdot°\text{C})(T_f - 327°\text{C})$$

$$\boxed{T_f = 805°\text{C}}$$

Sección 20.4 Trabajo y calor en procesos termodinámicos

Problema 23. Una muestra de gas ideal se expande al doble de su volumen original de 1 m^3 en un proceso cuasiestático para el cual P = αV^2, con α = 5 atm/m^6, como se ve en la figura P20.23. ¿Cuánto trabajo es realizado sobre el gas en expansión?

P20.23 $W_{if} = -\int_i^f P\,dV$

The work done on the gas is the negative of the area under the curve $P = \alpha V^2$ between V_i and V_f.

$$W_{if} = -\int_i^f \alpha V^2 dV = -\frac{1}{3}\alpha\left(V_f^3 - V_i^3\right)$$

$$V_f = 2V_i = 2\left(1.00\ \text{m}^3\right) = 2.00\ \text{m}^3$$

$$W_{if} = -\frac{1}{3}\left[\left(5.00\ \text{atm/m}^6\right)\left(1.013\times10^5\ \text{Pa/atm}\right)\right]\left[\left(2.00\ \text{m}^3\right)^3 + \left(1.00\ \text{m}^3\right)^3\right] = \boxed{-1.18\ \text{MJ}}$$

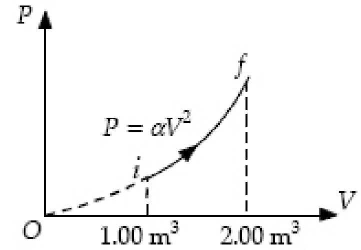


FIG. P20.23

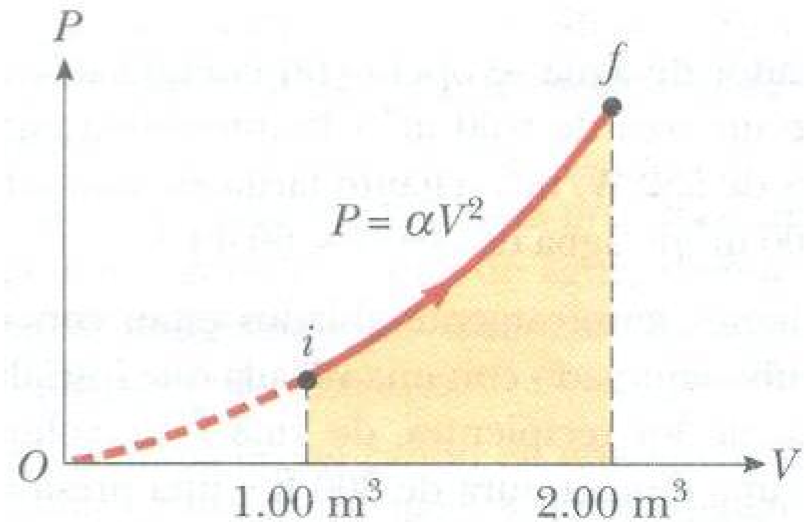


Figura P20.23

Problema 24. (a) Determine el trabajo realizado sobre un fluido que se expande de i a ∫ como se indica en la figura P20.24. (b) ¿Qué pasaría si? ¿Cuánto trabajo es realizado sobre el fluido si se comprime de ∫ a i a lo largo de la misma trayectoria?

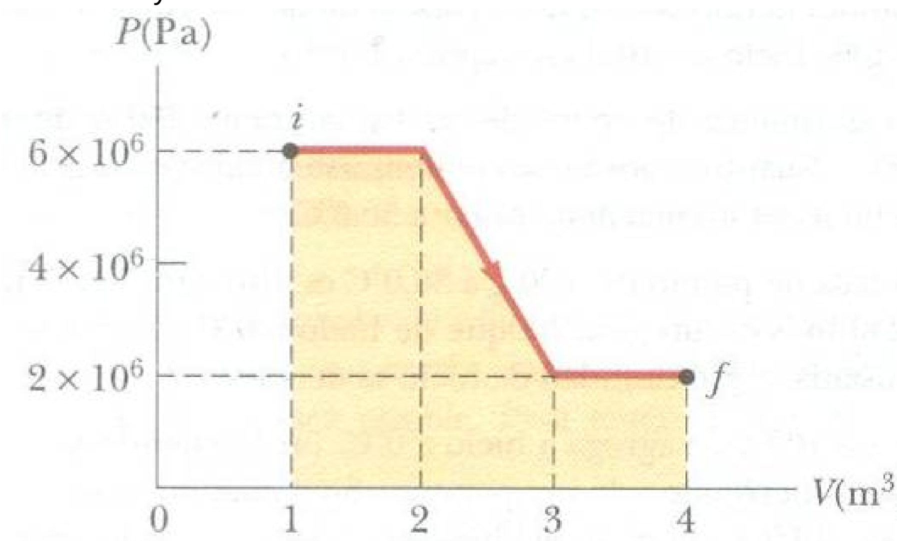


Figura P20.24

P20.24 (a) $W = -\int P dV$

$$W = -\left(6.00\times10^{6}\ \text{Pa}\right)(2.00-1.00)\ \text{m}^3 + -\left(4.00\times10^{6}\ \text{Pa}\right)(3.00-2.00)\ \text{m}^3 + -\left(2.00\times10^{6}\ \text{Pa}\right)(4.00-3.00)\ \text{m}^3$$

$$W_{i\to f} = \boxed{-12.0\ \text{MJ}}$$

(b) $W_{f\to i} = \boxed{+12.0\ \text{MJ}}$

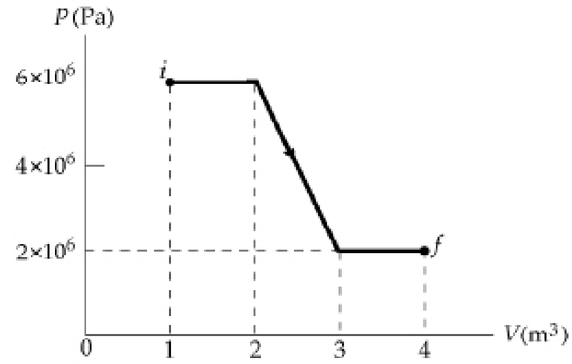


FIG. P20.24

Problema 25. Un gas ideal está encerrado en un cilindro con un émbolo movible sobre él. El émbolo tiene una masa de 8000 gr. y un área de 5 cm^2 y está libre para subir y bajar, manteniendo constante la presión del gas. ¿Cuánto trabajo se realiza sobre el gas cuando la temperatura de 0.2 mol del gas se eleva de 20°C a 300°C?

P20.25 $W = -P\Delta V = -P\left(\frac{nR}{P}\right)(T_f - T_i) = -nR\Delta T = -(0.200)(8.314)(280) = \boxed{-466\ \text{J}}$

Problema 26. Un gas ideal está encerrado en un cilindro que tiene un émbolo sobre él. El émbolo tiene una masa m y un área A y está libre para subir y bajar, manteniendo constante la presión del gas. ¿Cuánto trabajo se realiza sobre el gas cuando la temperatura de n moles del gas se eleva de T_1 a T_2?

P20.26 $W = -\int_i^f P dV = -P\int_i^f dV = -P\Delta V = -nR\Delta T = \boxed{-nR(T_2 - T_1)}$

Problema 27. Un mol de un gas ideal se calienta lentamente de modo que del estado PV (P_i V_i) a ($3P_i$ $3V_i$) en forma tal que la presión es directamente proporcional al volumen. (a) ¿Cuánto trabajo se realiza sobre el gas en el proceso? (b) ¿Cómo está relacionada temperatura del gas con su volumen durante este proceso?

P20.27 During the heating process $P = \left(\frac{P_i}{V_i}\right)V$.

(a) $W = -\int_i^f P dV = -\int_{V_i}^{3V_i}\left(\frac{P_i}{V_i}\right)V dV$

$$W = -\left(\frac{P_i}{V_i}\right)\frac{V^2}{2}\Bigg|_{V_i}^{3V_i} = -\frac{P_i}{2V_i}\left(9V_i^2 - V_i^2\right) = \boxed{-4P_iV_i}$$

(b) $PV = nRT$

$$\left[\left(\frac{P_i}{V_i}\right)V\right]V = nRT$$

$$\boxed{T = \left(\frac{P_i}{nRV_i}\right)V^2}$$

Temperature must be proportional to the square of volume, rising to nine times its original value.

Sección 20.5 Primera ley de la termodinámica

Problema 28. Un gas se comprime a una presión constante de 0.8 atm de 9 L a 2 L. En el proceso, 400 J de energía salen del gas por calor. (a) ¿Cuál es el trabajo realizado sobre el gas? (b) ¿Cuál el cambio en su energía interna?

P20.28 (a) $W = -P\Delta V = -(0.800\ \text{atm})(-7.00\ \text{L})\left(1.013\times10^{5}\ \text{Pa/atm}\right)\left(10^{-3}\ \text{m}^3/\text{L}\right) = \boxed{+567\ \text{J}}$

(b) $\Delta E_{\text{int}} = Q + W = -400\ \text{J} + 567\ \text{J} = \boxed{167\ \text{J}}$

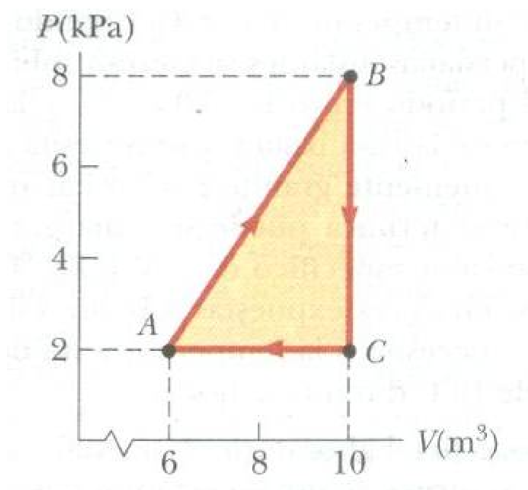
Problema 29. Un sistema termodinámico experimenta un proceso en el que energía interna disminuye en 500J. Al mismo tiempo, 220 J de trabajo se realizan sobre el sistema. Encuentre la energía transferida hacia o desde él por calor.

P20.29 $\Delta E_{\text{int}} = Q + W$

$Q = \Delta E_{\text{int}} - W = -500\ \text{J} - 220\ \text{J} = \boxed{-720\ \text{J}}$

The negative sign indicates that positive energy is transferred *from* the system by heat.

Problema 30. Un gas es llevado a través del proceso cíclico descrito en la figura P20.30. (a) Encuentre la energía neta transferida al sistema por calor durante un ciclo completo. (b) ¿Qué pasaría si? Si el ciclo se invierte, es decir, el proceso sigue la trayectoria *ACBA,* ¿cuál la energía neta de entrada por ciclo por calor?



P20.30 (a) $Q = -W =$ Area of triangle

$Q = \frac{1}{2}\left(4.00\ \text{m}^3\right)(6.00\ \text{kPa}) = \boxed{12.0\ \text{kJ}}$

(b) $Q = -W = \boxed{-12.0\ \text{kJ}}$

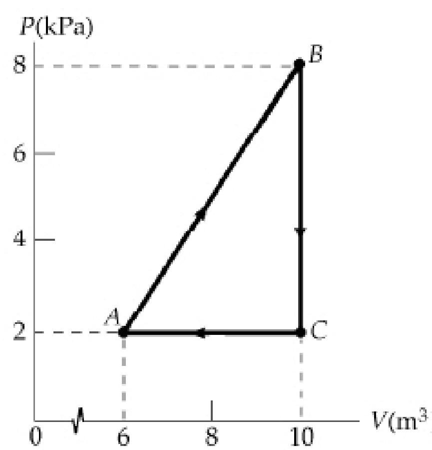
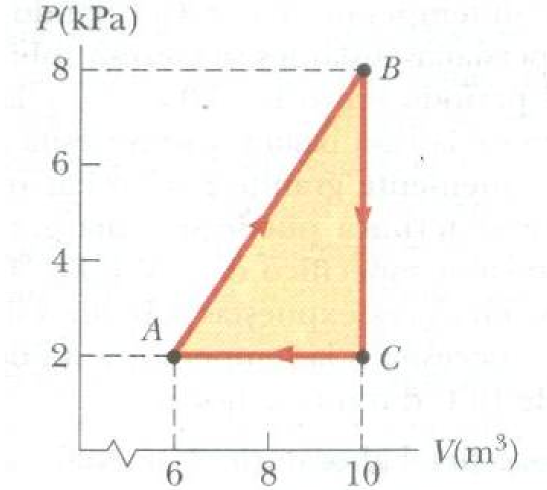


FIG. P20.30

Problema 31. Considere el proceso cíclico descrito en la figura P20.30. Si Q negativo para el proceso BC y ΔE_{int} es negativo para el proceso CA, ¿cuáles son los signos de Q, Wy ΔE_{int} que están asociados con cada proceso?



P20.31

	Q	W	ΔE_{int}	
BC	$-$	0	$-$	$(Q = \Delta E_{int}$ since $W_{BC} = 0)$
CA	$-$	$+$	$-$	$(\Delta E_{int} < 0$ and $W > 0$, so $Q < 0)$
AB	$+$	$-$	$+$	$(W < 0,\ \Delta E_{int} > 0$ since $\Delta E_{int} < 0$ for $B \to C \to A$; so $Q > 0)$

Problema 32. Una muestra de un gas ideal pasa por el proceso que se muestra en la figura P20.32. De A a B, el proceso es adiabático; de B a C es isobárico con 100 kJ de energía entrando al sistema por calor. De C a D, el proceso es isotérmico; de D a A, es isobárico con 150 kJ de energía saliendo del sistema por calor. Determine la Diferencia en energía interna $E_{intB} - E_{intA}$

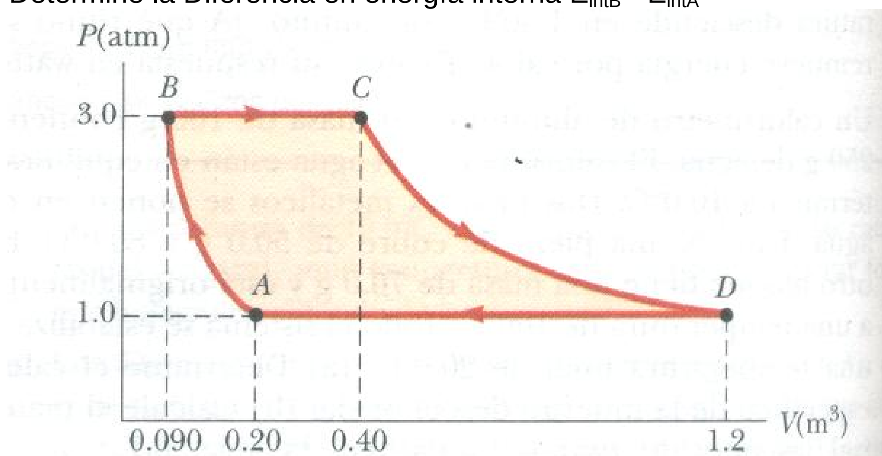


Figura P20.32

P20.32 $W_{BC} = -P_B(V_C - V_B) = -3.00 \text{ atm}(0.400 - 0.090\,0) \text{ m}^3$

$= -94.2 \text{ kJ}$

$\Delta E_{int} = Q + W$

$E_{int,\,C} - E_{int,\,B} = (100 - 94.2) \text{ kJ}$

$E_{int,\,C} - E_{int,\,B} = 5.79 \text{ kJ}$

Since T is constant,

$E_{int,\,D} - E_{int,\,C} = 0$

$W_{DA} = -P_D(V_A - V_D) = -1.00 \text{ atm}(0.200 - 1.20) \text{ m}^3$

$= +101 \text{ kJ}$

$E_{int,\,A} - E_{int,\,D} = -150 \text{ kJ} + (+101 \text{ kJ}) = -48.7 \text{ kJ}$

Now, $E_{int,\,B} - E_{int,\,A} = -\left[\left(E_{int,\,C} - E_{int,\,B}\right) + \left(E_{int,\,D} - E_{int,\,C}\right) + \left(E_{int,\,A} - E_{int,\,D}\right)\right]$

$E_{int,\,B} - E_{int,\,A} = -\left[5.79 \text{ kJ} + 0 - 48.7 \text{ kJ}\right] = \boxed{42.9 \text{ kJ}}$

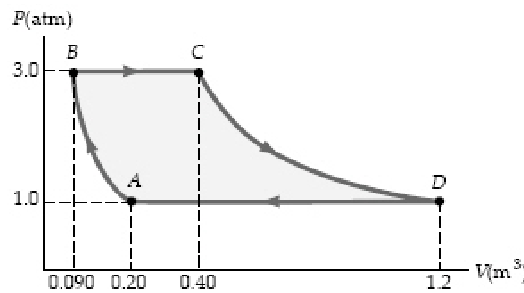


FIG. P20.32

Problema 33. Una muestra de un gas ideal está en un cilindro vertical equipado con un émbolo. Cuando 5.79 kJ de energía se transfieren al gas por para elevar su temperatura, el peso sobre el émbolo se ajusta de modo que el estado del gas cambia del punto A al punto B a lo largo del semicírculo que se ilustra en la figura P20.33. Encuentre el cambio en energía interna del gas.

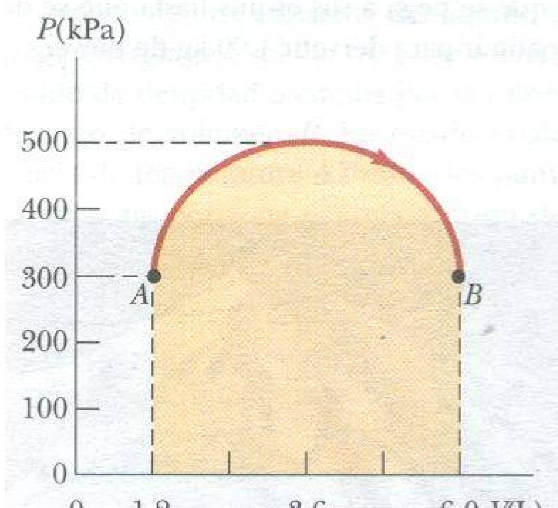


Figura P20.33

*P20.33 The area of a true semicircle is $\frac{1}{2}\pi r^2$. The arrow in Figure P20.33 looks like a semicircle when the scale makes 1.2 L fill the same space as 100 kPa. Its area is

$$\frac{1}{2}\pi(2.4\text{ L})(200\text{ kPa}) = \frac{1}{2}\pi\left(2.4\times10^{-3}\text{ m}^3\right)\left(2\times10^5\text{ N/m}^2\right).$$

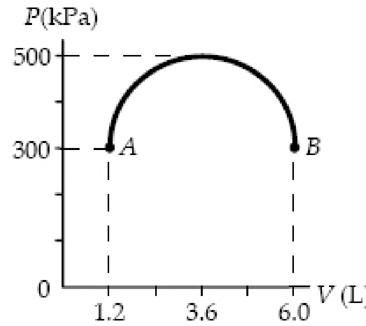


FIG. P20.33

The work on the gas is

$$\begin{aligned}W &= -\int_A^B P\,dV = -\text{area under the arch shown in the graph}\\ &= -\left(\frac{1}{2}\pi 2.4(200)\text{ J} + 3\times10^5\text{ N/m}^2\ 4.8\times10^{-3}\text{ m}^3\right)\\ &= -(754\text{ J} + 1\,440\text{ J}) = -2\,190\text{ J}\end{aligned}$$

$$\Delta E_{\text{int}} = Q + W = 5\,790\text{ J} - 2\,190\text{ J} = \boxed{3.60\text{ kJ}}$$

Sección 20.6 Algunas aplicaciones de la primera ley de la termodinámica

Problema 34. Un mol de un gas ideal realiza 3000 J de trabajo sobre su entor- cuando se expande de manera isotérmica a una presión final 1.00 atril y volumen de 25.0 L. Determine (a) el volumen ini- y (b) la temperatura del gas.

P20.34 (a) $$W = -nRT\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = -P_fV_f\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$\text{so } V_i = V_f\exp\left(+\frac{W}{P_fV_f}\right) = (0.025\,0)\exp\left[\frac{-3\,000}{0.025\,0\left(1.013\times10^5\right)}\right] = \boxed{0.007\,65\text{ m}^3}$$

(b) $$T_f = \frac{P_fV_f}{nR} = \frac{1.013\times10^5\text{ Pa}\left(0.025\,0\text{ m}^3\right)}{1.00\text{ mol}(8.314\text{ J/K}\cdot\text{mol})} = \boxed{305\text{ K}}$$

Problema 35. Un gas ideal inicialmente a 300 K experimenta una expansión bárica a 2.50 kPa. Si ei volumen aumenta de 1.00 m3 a 3.00 m^3 12.5 k] se transfieren al gas por calor, ¿cuáles son (a) el cambio I su energía interna y (b) su temperatura final?

P20.35 (a) $$\Delta E_{\text{int}} = Q - P\Delta V = 12.5\text{ kJ} - 2.50\text{ kPa}(3.00-1.00)\text{ m}^3 = \boxed{7.50\text{ kJ}}$$

(b) $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{V_2}{V_1}T_1 = \frac{3.00}{1.00}(300\text{ K}) = \boxed{900\text{ K}}$$

Problema 36. Un bloque de 1 kg de aluminio se caliente a presión atmosférica de modo que su temperatura aumenta de 22°C a 40°C. Encuentre (a) el trabajo realizado sobre el aluminio, (b) la energía agregada a él por calor, y (c) el cambio en su energía interna.

P20.36 (a) $W = -P\Delta V = -P\left[3\alpha V \Delta T\right]$

$$= -\left(1.013\times 10^{5}\ \text{N/m}^2\right)\left[3\left(24.0\times 10^{-6}\,{}^\circ\text{C}^{-1}\right)\left(\frac{1.00\ \text{kg}}{2.70\times 10^{3}\ \text{kg/m}^3}\right)(18.0\,{}^\circ\text{C})\right]$$

$$W = \boxed{-48.6\ \text{mJ}}$$

(b) $Q = cm\Delta T = (900\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(1.00\ \text{kg})(18.0\,{}^\circ\text{C}) = \boxed{16.2\ \text{kJ}}$

(c) $\Delta E_{\text{int}} = Q + W = 16.2\ \text{kJ} - 48.6\ \text{mJ} = \boxed{16.2\ \text{kJ}}$

Problema 37. ¿Cuánto trabajo se realiza sobre el vapor cuando 1 mol de agua a 100°C hierve y se convierte en 1 mol de vapor a 100°C a 1 atril de presión? Suponiendo que el vapor se comporta co- mo gas ideal, determine el cambio en energía interna del mate- .rial cuando se vaporiza.

P20.37 $W = -P\Delta V = -P(V_s - V_w) = -\dfrac{P(nRT)}{P} + P\left[\dfrac{18.0\ \text{g}}{\left(1.00\ \text{g/cm}^3\right)\left(10^{6}\ \text{cm}^3/\text{m}^3\right)}\right]$

$$W = -(1.00\ \text{mol})(8.314\ \text{J/K}\cdot\text{mol})(373\ \text{K}) + \left(1.013\times 10^{5}\ \text{N/m}^2\right)\left(\frac{18.0\ \text{g}}{10^{6}\ \text{g/m}^3}\right) = \boxed{-3.10\ \text{kJ}}$$

$$Q = mL_v = 0.018\,0\ \text{kg}\left(2.26\times 10^{6}\ \text{J/kg}\right) = 40.7\ \text{kJ}$$

$$\Delta E_{\text{int}} = Q + W = \boxed{37.6\ \text{kJ}}$$

Problema 38. Un gas ideal inicialmente a *P;.* Vi y *Ti* se lleva por un ciclo como \se ve en la figura P20.38. (a) Encuentre el trabajo neto realizado sobre el gas por ciclo. (b) ¿Cuál es la energía neta agregada por calor al sistema por ciclo? (c) Obtenga un valor numérico para el trabajo neto realizado por ciclo para 1 mol de gas inicialmente a 0°C.

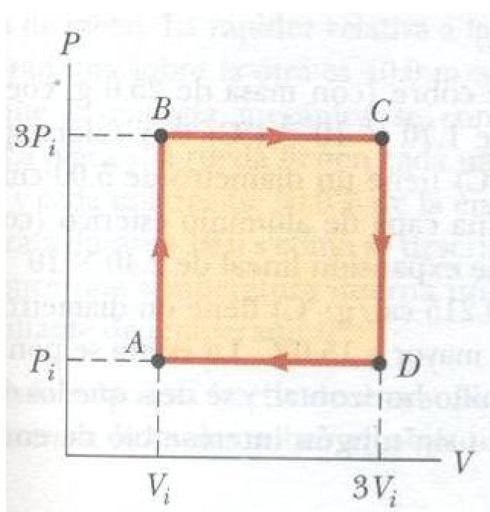


Figura P20.38

P20.38 (a) The work done during each step of the cycle equals the negative of the area under that segment of the PV curve.

$$W = W_{DA} + W_{AB} + W_{BC} + W_{CD}$$

$$W = -P_i(V_i - 3V_i) + 0 - 3P_i(3V_i - V_i) + 0 = \boxed{-4P_iV_i}$$

(b) The initial and final values of T for the system are equal. Therefore, $\Delta E_{\text{int}} = 0$ and $Q = -W = \boxed{4P_iV_i}$.

(c) $W = -4P_iV_i = -4nRT_i = -4(1.00)(8.314)(273) = \boxed{-9.08\text{ kJ}}$

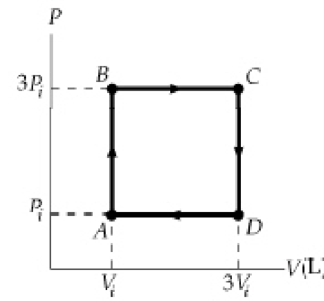


FIG. P20.38

Problema 39. Una muestra de 2 moles de helio inicialmente a 300 K y 0.4 atm se comprime de manera isotérmica a 1.2 atm. Observando que el helio se comporta como gas ideal, encuentre (a) el volumen final del gas, (b) el trabajo realizado sobre el gas, y (c) la energía transferida por calor.

P20.39 (a) $P_iV_i = P_fV_f = nRT = 2.00\text{ mol}(8.314\text{ J/K}\cdot\text{mol})(300\text{ K}) = 4.99 \times 10^3\text{ J}$

$$V_i = \frac{nRT}{P_i} = \frac{4.99 \times 10^3\text{ J}}{0.400\text{ atm}}$$

$$V_f = \frac{nRT}{P_f} = \frac{4.99 \times 10^3\text{ J}}{1.20\text{ atm}} = \frac{1}{3}V_i = \boxed{0.041\,0\text{ m}^3}$$

(b) $W = -\int P\,dV = -nRT\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = -\left(4.99 \times 10^3\right)\ln\left(\frac{1}{3}\right) = \boxed{+5.48\text{ kJ}}$

(c) $\Delta E_{\text{int}} = 0 = Q + W$

$Q = \boxed{-5.48\text{ kJ}}$

Problema 40. En la figura P20.40, el cambio en energía interna de un gas que se lleva de *A* a C es +800 J. El trabajo realizado sobre el gas a lo largo de la trayectoria *ABC* es -500 J. (a) ¿Cuánta energía debe agregarse al sistema por calor cuando pasa de A a *B* a C? (b) Si la presión en el punto *A* es cinco veces la del punto C, ¿cuál es el trabajo realizado sobre el sistema al pasar de C a *D?* (c) ¿Cuál es el intercambio de energía con el entorno por calor cuando el ciclo pasa de C a *A* a lo largo de la trayectoria verde? (d) Si el cambio en energía interna al pasar del punto *D* al punto *A* es +500 J, ¿cuánta energía debe agregarse al sistema por calor cuando pasa del punto C al punto *D?*

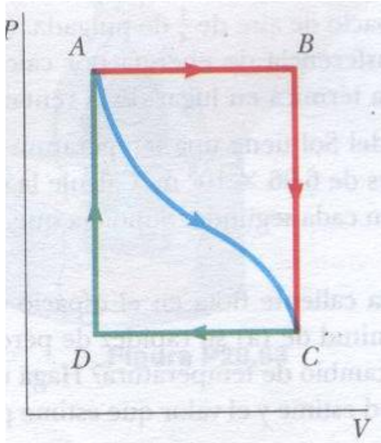


Figura P20.40

P20.40 $\Delta E_{\text{int},\,ABC} = \Delta E_{\text{int},\,AC}$ (conservation of energy)

(a) $\Delta E_{\text{int},\,ABC} = Q_{ABC} + W_{ABC}$ (First Law)

$Q_{ABC} = 800\text{ J} + 500\text{ J} = \boxed{1\,300\text{ J}}$

(b) $W_{CD} = -P_C \Delta V_{CD}$, $\Delta V_{AB} = -\Delta V_{CD}$, and $P_A = 5P_C$

Then, $W_{CD} = \frac{1}{5} P_A \Delta V_{AB} = -\frac{1}{5} W_{AB} = \boxed{100\text{ J}}$

(+ means that work is done on the system)

(c) $W_{CDA} = W_{CD}$ so that $Q_{CA} = \Delta E_{\text{int},\,CA} - W_{CDA} = -800\text{ J} - 100\text{ J} = \boxed{-900\text{ J}}$

(− means that energy must be removed from the system by heat)

(d) $\Delta E_{\text{int},\,CD} = \Delta E_{\text{int},\,CDA} - \Delta E_{\text{int},\,DA} = -800\text{ J} - 500\text{ J} = -1\,300\text{ J}$

and $Q_{CD} = \Delta E_{\text{int},\,CD} - W_{CD} = -1\,300\text{ J} - 100\text{ J} = \boxed{-1\,400\text{ J}}$

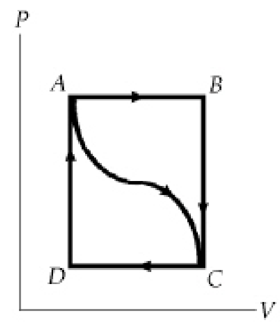


FIG. P20.40

Sección 20.7 Mecanismos de transferencia de energía

Problema 41. Una caja con un área superficial total de 1.2 m^2 y un grosor de pared de 4 cm. está hecha de un material aislante. Un calentador eléctrico de 10 W dentro de la caja mantiene la temperatura interior a 15°C sobre la temperatura exterior. Encuentre la conductividad térmica **k** del material aislante.

P20.41 $\mathcal{P} = kA\frac{\Delta T}{L}$

$$k = \frac{\mathcal{P}L}{A\Delta T} = \frac{10.0\text{ W}(0.040\,0\text{ m})}{1.20\text{ m}^2(15.0°\text{C})} = \boxed{2.22 \times 10^{-2}\ \text{W/m}\cdot°\text{C}}$$

Problema 42. Una ventana de hojas de vidrio tiene un área de 3 m^2 y un grosor de 0.6 cm. Si la diferencia de temperatura entre sus caras es 25°C, ¿cuál es la rapidez de transferencia de energía por conducción a través de la ventana?

P20.42 $$\mathcal{P} = \frac{kA\Delta T}{L} = \frac{(0.800\ \text{W/m}\cdot°\text{C})(3.00\text{ m}^2)(25.0°\text{C})}{6.00 \times 10^{-3}\text{ m}} = 1.00 \times 10^4\ \text{W} = \boxed{10.0\text{ kW}}$$

Problema 43. Una barra de oro está térmicamente en contacto con una barra de plata de la misma longitud y área (figura P20.43). Un extremo de la barra combinada se mantiene a 80°C mientras que el extremo opuesto está a 30°C. Cuando la transferencia de energía llega a un estado estable, ¿cuál es la temperatura en la unión?

80 ^{0}C

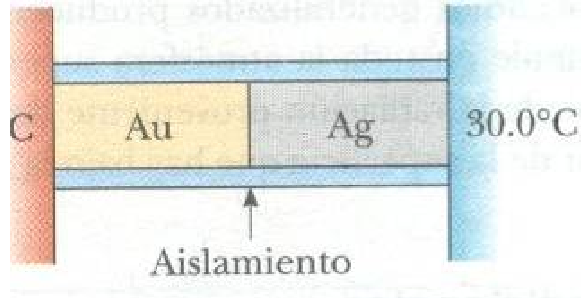


Figura P20.43

P20.43 In the steady state condition, $\mathcal{P}_{Au} = \mathcal{P}_{Ag}$

so that $k_{Au}A_{Au}\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)_{Au} = k_{Ag}A_{Ag}\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)_{Ag}$

In this case $A_{Au} = A_{Ag}$

$\Delta x_{Au} = \Delta x_{Ag}$

$\Delta T_{Au} = (80.0 - T)$

and $\Delta T_{Ag} = (T - 30.0)$

where T is the temperature of the junction.

Therefore, $k_{Au}(80.0 - T) = k_{Ag}(T - 30.0)$

And $\boxed{T = 51.2°\text{C}}$

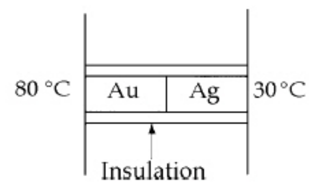


FIG. P20.43

Problema 44. Una ventana térmica con un área de 6 m^2 está hecha de dos capas de vidrio, cada una de 4 mm de grosor, y separadas una de otra por un espacio de aire de 5 mm. Si la superficie interior está a 20°C y la exterior está a -30°C, ¿cuál es la rapidez de transferencia de energía por conducción a través de la ventana?

P20.44 $$\mathcal{P} = \frac{A\Delta T}{\sum_i \frac{L_i}{k_i}} = \frac{(6.00\ \text{m}^2)(50.0°\text{C})}{\left[2(4.00\times 10^{-3}\ \text{m})\right]/\left[0.800\ \text{W/m}\cdot°\text{C}\right] + \left[5.00\times 10^{-3}\ \text{m}\right]/\left[0.023\,4\ \text{W/m}\cdot°\text{C}\right]} = \boxed{1.34\ \text{kW}}$$

Problema 45. Un transistor de potencia es un dispositivo electrónico de estado sólido. Suponga que la energía que entra al dispositivo a razón de 1.50 W por transmisión eléctrica hace que aumente la energía interna. El área superficial del transistor es tan pequeña, que tiende a sobrecalentarse. Para evitar sobrecalentamiento, el transistor está unido a un enorme disipador metálico de calor con aletas. La temperatura del disipador de calor permanece constante a 35°C bajo condiciones de estado estable. El transistor está eléctricamente aislado del disipador por una hoja rectangular de mica que mide 8.25 mm por 6.25 mm, y 0.0852 mm de grueso. La conductividad térmica de la mica es igual a 0.0753 W /m. ^{o}C. ¿Cuál es la temperatura de operación del transistor?

*P20.45 We suppose that the area of the transistor is so small that energy flow by heat from the transistor directly to the air is negligible compared to energy conduction through the mica.

$$\mathcal{P} = kA\frac{(T_h - T_c)}{L}$$

$$T_h = T_c + \frac{\mathcal{P}L}{kA} = 35.0°\text{C} + \frac{1.50\text{ W}(0.085\,2\times10^{-3}\text{ m})}{(0.075\,3\text{ W/m}\cdot°\text{C})(8.25\times6.25)10^{-6}\text{ m}^2} = \boxed{67.9°\text{C}}$$

Problema 46. Calcule el valor *R* de (a) una ventana hecha de una sola hoja de vidrio plano de 1/8 de pulgada de grueso, y (b) una ventana térmica hecha de dos hojas de 1/8 de pulgada de grueso cada una, separadas por un espacio de aire de ¼ de pulgada. (c) ¿Por qué factor se reduce la transferencia de energía por calor por la ventana, al usar la ventana térmica en lugar de la ventana de una sola hoja?

P20.46 From Table 20.4,

(a) $R = \boxed{0.890\text{ ft}^2\cdot°\text{F}\cdot\text{h/Btu}}$

(b) The insulating glass in the table must have sheets of glass less than $\frac{1}{8}$ inch thick. So we estimate the *R*-value of a 0.250-inch air space as $\frac{0.250}{3.50}$ times that of the thicker air space. Then for the double glazing

$$R_b = \left[0.890 + \left(\frac{0.250}{3.50}\right)1.01 + 0.890\right]\frac{\text{ft}^2\cdot°\text{F}\cdot\text{h}}{\text{Btu}} = \boxed{1.85\frac{\text{ft}^2\cdot°\text{F}\cdot\text{h}}{\text{Btu}}}.$$

(c) Since A and $(T_2 - T_1)$ are constants, heat flow is reduced by a factor of $\frac{1.85}{0.890} = \boxed{2.08}$.

Problema 47. La superficie del Sol tiene una temperatura de unos 5800 K El radio del Sol es de 6.96 X 10^8 m. Calcule la energía total irradiada por el Sol en cada segundo. Suponga que la emisividad del Sol es 0.965.

P20.47 $\mathcal{P} = \sigma AeT^4 = \left(5.669\,6\times10^{-8}\text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4\right)\left[4\pi\left(6.96\times10^8\text{ m}\right)^2\right](0.965)(5\,800\text{ K})^4$

$\mathcal{P} = \boxed{3.77\times10^{26}\text{ W}}$

Problema 48. Una gran pizza caliente flota en el espacio exterior. ¿Cuál es el orden de magnitud de (a) su rapidez de pérdida de energía? (b) su rapidez de cambio de temperatura? Haga una lista de las cantidades que usted estime y el valor que estime para cada una.

P20.48 Suppose the pizza is 70 cm in diameter and $\ell = 2.0$ cm thick, sizzling at 100°C. It cannot lose heat by conduction or convection. It radiates according to $\mathscr{P} = \sigma AeT^4$. Here, A is its surface area,

$$A = 2\pi r^2 + 2\pi r\ell = 2\pi(0.35 \text{ m})^2 + 2\pi(0.35 \text{ m})(0.02 \text{ m}) = 0.81 \text{ m}^2.$$

Suppose it is dark in the infrared, with emissivity about 0.8. Then

$$\mathscr{P} = \left(5.67\times10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4\right)\left(0.81 \text{ m}^2\right)(0.80)(373 \text{ K})^4 = 710 \text{ W} \boxed{\sim 10^3 \text{ W}}.$$

If the density of the pizza is half that of water, its mass is

$$m = \rho V = \rho\pi r^2\ell = \left(500 \text{ kg/m}^3\right)\pi(0.35 \text{ m})^2(0.02 \text{ m}) = 4 \text{ kg}.$$

Suppose its specific heat is $c = 0.6 \text{ cal/g}\cdot°\text{C}$. The drop in temperature of the pizza is described by:

$$Q = mc\left(T_f - T_i\right)$$
$$\mathscr{P} = \frac{dQ}{dt} = mc\frac{dT_f}{dt} - 0$$
$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{\mathscr{P}}{mc} = \frac{710 \text{ J/s}}{(4 \text{ kg})(0.6\cdot4186 \text{ J/kg}\cdot°\text{C})} = 0.07 \text{ °C/s} \boxed{\sim 10^{-1} \text{ K/s}}$$

Problema 49. El filamento de tungsteno de cierta bombilla eléctrica de 100 W irradia 2 W de luz. (Los otros 98 W son liberados por convección y conducción.) El filamento tiene un área superficial de 0.25 mm^2 y una emisividad de 0.95. Encuentre la temperatura del filamento. (El punto de fusión del tungsteno es 3683K)

P20.49 $\mathscr{P} = \sigma AeT^4$

$$2.00 \text{ W} = \left(5.67\times10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4\right)\left(0.250\times10^{-6} \text{ m}^2\right)(0.950)T^4$$
$$T = \left(1.49\times10^{14} \text{ K}^4\right)^{1/4} = \boxed{3.49\times10^3 \text{ K}}$$

Problema 50. Al mediodía, el Sol genera 1000 W por cada metro cuadrado de un camino asfaltado. Si el asfalto caliente pierde energía sólo por radiación, ¿cuál es su temperatura de equilibrio?

P20.50 We suppose the earth below is an insulator. The square meter must radiate in the infrared as much energy as it absorbs, $\mathscr{P} = \sigma AeT^4$. Assuming that $e = 1.00$ for blackbody blacktop:

$$1\,000 \text{ W} = \left(5.67\times10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4\right)\left(1.00 \text{ m}^2\right)(1.00)T^4$$

$T = \left(1.76\times10^{10} \text{ K}^4\right)^{1/4} = \boxed{364 \text{ K}}$ (You can cook an egg on it.)

Problema 51. La intensidad de la radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera de la Tierra es 1340 W/m^2. La temperatura de nuestro planeta es afectada por el llamado efecto invernadero de la atmósfera. Ese efecto hace que la emisividad de la Tierra para luz visible sea más alta que su emisividad para luz infrarroja. Por comparación, considere un cuerpo esférico sin atmósfera, situado a la misma distancia del Sol que la Tierra. Suponga que su emisividad es la misma para toda clase de ondas electromagnéticas y que su temperatura es uniforme sobre su superficie. Identifique el área proyectada sobre la cual absorbe luz solar y el área superficial sobre la cual irradia. Calcule su temperatura de equilibrio. Fría, ¿verdad? Su cálculo aplica a (a) el promedio de temperatura de la Luna, (b) astronautas en peligro mortal a bordo de la dañada nave espacial *Apolo* 13, y (c) catástrofe mundial sobre la Tierra si incendios generalizados producen una capa de hollín que se acumule en toda la atmósfera superior, de modo que la mayor parte de la radiación proveniente del Sol fuera absorbida ahí en lugar de la superficie que hay bajo la atmósfera.

P20.51 The sphere of radius R absorbs sunlight over the area of its day hemisphere, projected as a flat circle perpendicular to the light: πR^2. It radiates in all directions, over area $4\pi R^2$. Then, in steady state,

$$\mathcal{P}_{\text{in}} = \mathcal{P}_{\text{out}}$$
$$e\left(1\,340\ \text{W/m}^2\right)\pi R^2 = e\sigma\left(4\pi R^2\right)T^4$$

The emissivity e, the radius R, and π all cancel.

Therefore, $T = \left[\dfrac{1\,340\ \text{W/m}^2}{4\left(5.67\times10^{-8}\ \text{W/m}^2\cdot\text{K}^4\right)}\right]^{1/4} = \boxed{277\ \text{K}} = 4°\text{C}$.

Problemas adicionales

Problema 52. Nitrógeno líquido con una masa de 100 gr. a 77.3 K se agita en un vaso que contiene 200 gr. de agua a 5°C. Si el nitrógeno sale de la solución tan pronto como se convierte en gas, ¿cuánta agua se congela? (El calor latente de vaporización del nitrógeno es 48 cal/g, y el calor latente de la fusión de agua es 79.6 cal/g.)

P20.52 77.3 K = –195.8°C is the boiling point of nitrogen. It gains no heat to warm as a liquid, but gains heat to vaporize:

$$Q = mL_v = (0.100\ \text{kg})\left(2.01\times10^5\ \text{J/kg}\right) = 2.01\times10^4\ \text{J}.$$

The water first loses heat by cooling. Before it starts to freeze, it can lose

$$Q = mc\Delta T = (0.200\ \text{kg})(4\,186\ \text{J/kg}\cdot°\text{C})(5.00°\text{C}) = 4.19\times10^3\ \text{J}.$$

The remaining $\left(2.01\times10^4 - 4.19\times10^3\right)\text{J} = 1.59\times10^4\ \text{J}$ that is removed from the water can freeze a mass x of water:

$$Q = mL_f$$
$$1.59\times10^4\ \text{J} = x\left(3.33\times10^5\ \text{J/kg}\right)$$
$$x = 0.047\,7\ \text{kg} = \boxed{47.7\ \text{g}}\ \text{of water can be frozen}$$

Problema 53. Un esquiador a campo traviesa de 75 kg se mueve por la nieve (figura P20.53). El coeficiente de fricción entre los esquíes y nieve es 0.2. Suponga que toda la nieve bajo sus esquíes está o°C y que toda la energía interna generada por fricción se agrega a la nieve, que se pega a sus esquís hasta que se derrite. ¿Cuán tiene que patinar para derretir 1 kg de nieve?

Nathan Bilow/Leo de Wys, Inc.

Figura P20.53

P20.53 The increase in internal energy required to melt 1.00 kg of snow is

$$\Delta E_{\text{int}} = (1.00 \text{ kg})\left(3.33\times10^{5} \text{ J/kg}\right) = 3.33\times10^{5} \text{ J}$$

The force of friction is $f = \mu n = \mu m g = 0.200(75.0 \text{ kg})\left(9.80 \text{ m/s}^2\right) = 147 \text{ N}$

According to the problem statement, the loss of mechanical energy of the skier is assumed to be equal to the increase in internal energy of the snow. This increase in internal energy is

$$\Delta E_{\text{int}} = f\Delta r = (147 \text{ N})\Delta r = 3.33\times10^{5} \text{ J}$$

and $\Delta r = \boxed{2.27\times10^{3} \text{ m}}$.

Problema 54. En un frío día de invierno, una persona compra castañas asadas de un vendedor callejero. En el bolsillo de su abrigo corto con capucha usted pone el cambio que el vendedor le da, las monedas son de 9 gr. de cobre a -12°C. Su bolsillo ya contiene 14 gr. de monedas de plata a 30°C. Un corto tiempo después la temperatura de las monedas de cobre es de 4°C y está aumentando a razón de 0.5°C/s. En este tiempo, (a) ¿cuál es la temperatura de las monedas de plata, y (b) a qué ritmo está cambiando?

P20.54 (a) The energy thus far gained by the copper equals the energy loss by the silver. Your down parka is an excellent insulator.

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

or $$m_{\text{Cu}}c_{\text{Cu}}\left(T_f - T_i\right)_{\text{Cu}} = -m_{\text{Ag}}c_{\text{Ag}}\left(T_f - T_i\right)_{\text{Ag}}$$

$$(9.00\text{ g})(387\text{ J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(16.0^\circ\text{C}) = -(14.0\text{ g})(234\text{ J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})\left(T_f - 30.0^\circ\text{C}\right)_{\text{Ag}}$$

$$\left(T_f - 30.0^\circ\text{C}\right)_{\text{Ag}} = -17.0^\circ\text{C}$$

so $$T_{f,\text{ Ag}} = \boxed{13.0^\circ\text{C}}.$$

(b) Differentiating the energy gain-and-loss equation gives: $m_{\text{Ag}}c_{\text{Ag}}\left(\dfrac{dT}{dt}\right)_{\text{Ag}} = -m_{\text{Cu}}c_{\text{Cu}}\left(\dfrac{dT}{dt}\right)_{\text{Cu}}$

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{\text{Ag}} = -\frac{m_{\text{Cu}}c_{\text{Cu}}}{m_{\text{Ag}}c_{\text{Ag}}}\left(\frac{dT}{dt}\right)_{\text{Cu}} = -\frac{9.00\text{ g}(387\text{ J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})}{14.0\text{ g}(234\text{ J/kg}\cdot{}^\circ\text{C})}(+0.500\,{}^\circ\text{C/s})$$

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{\text{Ag}} = \boxed{-0.532\,{}^\circ\text{C/s}} \quad \text{(negative sign} \Rightarrow \text{ decreasing temperature)}$$

Problema 55. Una varilla de aluminio de 0.5 m de largo y área de sección transversal de 2.5 cm^2 se inserta en un recipiente térmicamente aislado que contiene helio líquido a 4.2 K. La varilla está inicialmente a 300 K. (a) Si la mitad de la varilla se inserta en el helio, ¿cuántos litros de helio hierven para el tiempo en que la mitad insertada se enfría a 4.20 K? (Suponga que la mitad superior no se enfría todavía). (b) Si el extremo superior de la varilla se mantiene a 300 K, ¿cuál es la rapidez aproximada de ebullición del helio líquido después que la mitad inferior ha llegado a 4.2 K? (El aluminio tiene conductividad térmica de 31 j/s .cm. K a 4.2 K; pase por alto su variación de temperatura. El aluminio tiene un calor específico de 0.21 cal/g.^{o}C y densidad de 2.7 g/ cm^3. La densidad del helio líquido es 0.125 g/cm^3.)

P20.55 (a) Before conduction has time to become important, the energy lost by the rod equals the energy gained by the helium. Therefore,

$$(mL_v)_{\text{He}} = (mc|\Delta T|)_{\text{Al}}$$

or $$(\rho V L_v)_{\text{He}} = (\rho V c|\Delta T|)_{\text{Al}}$$

so $$V_{\text{He}} = \frac{(\rho V c|\Delta T|)_{\text{Al}}}{(\rho L_v)_{\text{He}}}$$

$$V_{\text{He}} = \frac{(2.70\ \text{g/cm}^3)(62.5\ \text{cm}^3)(0.210\ \text{cal/g}\cdot{}^\circ\text{C})(295.8^\circ\text{C})}{(0.125\ \text{g/cm}^3)(2.09\times 10^4\ \text{J/kg})(1.00\ \text{cal}/4.186\ \text{J})(1.00\ \text{kg}/1\,000\ \text{g})}$$

$$V_{\text{He}} = 1.68\times 10^4\ \text{cm}^3 = \boxed{16.8\ \text{liters}}$$

(b) The rate at which energy is supplied to the rod in order to maintain constant temperatures is given by

$$\mathcal{P} = kA\left(\frac{dT}{dx}\right) = (31.0\ \text{J/s}\cdot\text{cm}\cdot\text{K})(2.50\ \text{cm}^2)\left(\frac{295.8\ \text{K}}{25.0\ \text{cm}}\right) = 917\ \text{W}$$

This power supplied to the helium will produce a "boil-off" rate of

$$\frac{\mathcal{P}}{\rho L_v} = \frac{(917\ \text{W})(10^3\ \text{g/kg})}{(0.125\ \text{g/cm}^3)(2.09\times 10^4\ \text{J/kg})} = 351\ \text{cm}^3/\text{s} = \boxed{0.351\ \text{L/s}}$$

Problema 56. Un anillo de cobre (con masa de 25 g, .coeficiente de expansión lineal de 1.7 X 10^{-5} $(^{O}C)^{-l}$, y calor específico de 9.24 X 10^{-2} cal/g.^{o}C) tiene un diámetro de 5 cm a su temperatura de 15°C. Una capa de aluminio esférico (con masa de 10.9 gr. coeficiente de expansión lineal de 2.4 X 10^{-5} $(^{O}C)^{-l}$. y calor específico de 0.215 cal/g.^{o}C) tiene un diámetro de 5.01 cm a una temperatura mayor a 15°C. La esfera se pone en la parte superior de un anillo horizontal, y se deja que los dos lleguen al equilibrio térmico sin ningún intercambio de energía con el entorno. Tan pronto como la esfera y el anillo alcanzan el equilibrio térmico, la esfera apenas pasa por el anillo. Encuentre (a) la temperatura de equilibrio, y (b) la temperatura inicial de la esfera.

***P20.56** At the equilibrium temperature T_{eq} the diameters of the sphere and ring are equal:

$$d_s + d_s\alpha_{\text{Al}}\left(T_{\text{eq}} - T_i\right) = d_r + d_r\alpha_{\text{Cu}}\left(T_{\text{eq}} - 15°\text{C}\right)$$

$$5.01 \text{ cm} + 5.01 \text{ cm}\left(2.40\times10^{-5} \ 1/°\text{C}\right)\left(T_{\text{eq}} - T_i\right) = 5.00 \text{ cm} + 5.00 \text{ cm}\left(1.70\times10^{-5} \ 1/°\text{C}\right)\left(T_{\text{eq}} - 15°\text{C}\right)$$

$$0.01°\text{C} + 1.202\,4\times10^{-4}T_{\text{eq}} - 1.202\,4\times10^{-4}T_i = 8.5\times10^{-5}T_{\text{eq}} - 1.275\times10^{-3}\,°\text{C}$$

$$1.127\,5\times10^{-2}\,°\text{C} + 3.524\times10^{-5}T_{\text{eq}} = 1.202\,4\times10^{-4}T_i$$

$$319.95°\text{C} + T_{\text{eq}} = 3.412\,0T_i$$

At the equilibrium temperature, the energy lost is equal to the energy gained:

$$m_s c_{\text{Al}}\left(T_{\text{eq}} - T_i\right) = -m_r c_{\text{Cu}}\left(T_{\text{eq}} - 15°\text{C}\right)$$

$$10.9 \text{ g } 0.215 \ \text{cal/g}\cdot°\text{C}\left(T_{\text{eq}} - T_i\right) = -25 \text{ g } 0.092\,4 \ \text{cal/g}\cdot°\text{C}\left(T_{\text{eq}} - 15°\text{C}\right)$$

$$2.343\,5T_{\text{eq}} - 2.343\,5T_i = 34.65°\text{C} - 2.31T_{\text{eq}}$$

$$4.653\,5T_{\text{eq}} = 34.65°\text{C} + 2.343\,5T_i$$

Solving by substitution,

$$4.653\,5\left(3.412\,0T_i - 319.95°\text{C}\right) = 34.65°\text{C} + 2.343\,5T_i$$

$$15.877\,7T_i - 1\,488.89°\text{C} = 34.65°\text{C} + 2.343\,5T_i$$

(b) $$T_i = \frac{1\,523.54°\text{C}}{13.534} = \boxed{113°\text{C}}$$

(a) $$T_{\text{eq}} = -319.95 + 3.412\,0(112.57) = \boxed{64.1°\text{C}}$$