Actividad de ampliación pág. 332

Calcula la temperatura final a la que se establece el equilibrio en una herrería dentro de un recipiente que contiene 4,3 L de agua a 10 °C cuando introducimos en él un trozo de hierro de 750 g que estamos forjando y que se encuentra a 500 °C. ¿Por qué al introducirlo en el agua chisporrotea y sale vapor de agua al mismo tiempo que deja de estar rojo y vuelve a coger su apariencia gris oscura? Utiliza los datos que necesites de la Tabla 8.1.

Solución:

El calor que absorbe el agua se lo suministra el hierro y ambos tienen que alcanzar la misma temperatura final (Principio Cero), por lo que:

$$Q_{abs} = m_{agua}\, c_{e\ agua}\, \Delta T_{agua} = -Q_{ced} = -\, m_{Fe}\, c_{e\ Fe}\, \Delta T_{Fe}$$

$$4{,}3\ \text{kg} \cdot 4180\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 283\ \text{K}) = -\,0{,}75\ \text{kg} \cdot 440\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 773\ \text{K})$$

$$18\,000\ T_f - 5\,100\,000 = 260\,000 - 330\ T_f$$

$$18\,300\ T_f = 5\,360\,000 \Rightarrow T_f = 293\ \text{K} = 20\ °\text{C}.$$

Al principio sale vapor porque el hierro se junta con el agua superficial y como es poca alcanza la temperatura de ebullición. Cuando entra en el agua ya actúa toda ella y lo enfría sin llegar a ebullir. El hierro cambia el color volviendo a su color natural a bajas temperaturas, puesto que muy rápidamente pierde los 500 °C.

Actividad de refuerzo pág. 333

Si sabemos que en un recipiente de 3 L, al calentarlo hasta 200 °C, se alcanza una presión de 2,5 atm, ¿cuántas partículas gaseosas hay en su interior? ¿Cuántos moles de gas? Utiliza como datos el valor de *R* y el número de Avogadro. Si no pudieras utilizar el valor de *R* como dato, ¿con qué otros datos podrías hacer el problema?

Solución:

Aplicando la ecuación $p\ V = n\ R\ T$,

$$n = \frac{p\ V}{R\ T} = \frac{2{,}5\ \text{atm} \cdot 3\ \text{L}}{0{,}082\ \dfrac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 473\ \text{K}} = 0{,}19\ \text{moles}$$

$$0{,}19\ \text{moles} \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \text{partículas mol}^{-1} = 1{,}16 \cdot 10^{23}\ \text{partículas}$$

Con el valor de la constante de Boltzmann podríamos haberlo hecho:

$$R = k_B\ N_A$$

Actividad de ampliación pág. 335

Nos proponemos llevar el gas contenido en un recipiente extensible, inicialmente de 5 L, y a presión atmosférica hasta otra situación donde la presión vale exactamente 2,2 atm y el volumen es de 10 L. ¿Cualquier camino que elijamos necesitará la misma cantidad de trabajo?

Solución:

Podemos empezar pasando de las condiciones iniciales a subir la presión manteniendo el volumen para terminar manteniendo la presión y aumentando el volumen, por lo que el trabajo será:

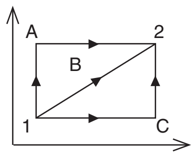
$$W_T = W_1 + W_2 = -p_0\ (V_0 - V_0) + [-p_f\ (V_f - V_0)] = 0 - 2{,}2\ \text{atm} \cdot 101\,300\ \text{Pa atm}^{-1}\ (10\ \text{L} - 5\ \text{L}) \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{L}^{-1} = -1\,100\ \text{J}$$

Ahora invertimos: primero aumento de volumen, luego aumento de presión:

$$W'_T = W'_1 + W'_2 = -p_0\ (V_f - V_0) + [-p_0\ (V_f - V_f)] = -1\ \text{atm} \cdot 101\,300\ \text{Pa atm}^{-1}\ (10\ \text{L} - 5\ \text{L}) \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{L}^{-1} + 0 = -510\ \text{J}$$

Es evidente que los resultados son diferentes, por lo que podemos concluir que el trabajo depende del camino que elijamos para pasar de un punto termodinámico a otro.

Actividad de refuerzo pág. 336



Calcula el trabajo realizado por un gas que transita termodinámicamente del punto 1 al 2 por los tres caminos planteados A, B y C si la presión correspondiente al punto 1 es 0,16 atm y su volumen, 13 L, y la correspondiente al punto 2 es 0,50 atm con un volumen de 70 L. ¿Cuál es el trabajo asociado al ciclo producido cuando el gas evoluciona de 1 a 2 por el camino A y retorna de 2 a 1 por el B?

Solución:

$$W_A = W_{1A} + W_{A2} = -p_0\ (V_0 - V_0) + [-p_f\ (V_f - V_0)] = 0 - 0{,}50\ \text{atm} \cdot 101\,300\ \text{Pa atm}^{-1} \cdot (70\ \text{L} - 13\ \text{L}) \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{L}^{-1} = -2\,900\ \text{J}$$

$$W_B = W_A - \frac{-\Delta p\ \Delta V}{2} = -2\,900\ \text{J} + \frac{0{,}34\ \text{atm} \cdot \dfrac{101\,300\ \text{Pa}}{1\ \text{atm}} \cdot 57\ \text{L} \cdot \dfrac{1\ \text{m}^3}{1\,000\ \text{L}}}{2} = -1\,900\ \text{J}$$

$$W_C = W_{1C} + W_{C2} = -p_0\ (V_f - V_0) + [-p_0\ (V_f - V_f)] = -0{,}16\ \text{atm} \cdot 101\,300\ \text{Pa atm}^{-1} \cdot (70\ \text{L} - 13\ \text{L}) \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{L}^{-1} + 0 = -920\ \text{J}$$

Se podría hacer sólo gráficamente, teniendo en cuenta que el camino A forma un rectángulo, al igual que el C, mientras que el B forma un trapecio.

$$W_{ciclo} = W_A - W_B = -2\,900\ \text{J} - (-1\,900\ \text{J}) = -1\,000\ \text{J}$$

Actividad de ampliación pág. 338

Una bala de plomo de 20 g de masa se dispara a 100 m/s sobre una pared también de plomo, de 2 kg de masa, aislada térmicamente del exterior. Si toda la energía de la bala se invierte en calentar el plomo, ¿qué temperatura alcanzará si se encuentra inicialmente a 20 °C? Si esa energía se le suministra a un cilindro, con un émbolo que contiene 5 L de gas hidrógeno a 1 atm de presión, ¿cuál será el volumen final del gas si la presión es constante?

Obtén los datos que necesites de la Tabla 8.1

Solución:

$$E_c = 1/2\ m\ v^2 = 1/2 \cdot 0{,}02\ \text{kg} \cdot (100\ \text{m/s})^2 = 100\ \text{J}$$

Si toda la energía se transforma en calor,

$$Q = m\ c_e\ \Delta T \Rightarrow 100\ \text{J} = 2{,}02\ \text{kg} \cdot 130\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 0{,}4\ \text{K} \Rightarrow T_f = 20{,}4\ °\text{C}$$

La energía hace que el gas contenido en el émbolo se expansione, y dado que el trabajo es $p\ \Delta V$:

$$100\ \text{J} = 1\ \text{atm} \cdot 101\,300\ \text{Pa/atm} \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = 0{,}99\ \text{L}$$

Ocupará aproximadamente 6 L de volumen.

(Debemos prescindir de signos en el trabajo a estas alturas, al no haber trabajado con isoprocesos.)

Actividades de refuerzo pág. 339

1. Sobre un sistema realizamos un trabajo de 300 J al mismo tiempo que se le suministra un calor de 125 cal. ¿Cuál ha sido la variación en la energía interna del sistema?

Solución:

Aplicando el Primer Principio:

$$\Delta U = Q + W = 125\ \text{cal} \cdot \frac{4{,}18\ \text{J}}{1\ \text{cal}} + 300\ \text{J} = 820\ \text{J}$$

2. Si un sistema realiza un trabajo sobre el entorno al mismo tiempo que recibe calor de éste, ¿podemos afirmar si gana o pierde de energía interna?

Cuando un sistema gaseoso pierde energía interna es porque desciende la temperatura a la que se encuentra. Si un sistema gaseoso realiza un trabajo y al mismo tiempo emite calor al entorno, ¿qué podemos decir que ha sucedido con la temperatura a la que se encuentra?

Solución:

Como $\Delta U = Q + W$, y uno es positivo y el otro negativo, no podemos afirmar si gana o pierde energía interna. Ganará si el calor que recibe es mayor que el trabajo que realiza y perderá en caso contrario, no variando si son iguales.

Como ambos son pérdidas, se hará a costa de la energía interna y, por lo tanto, descenderá la temperatura del sistema.

Actividad de refuerzo pág. 341

Al suministrar 346 cal a un sistema que contiene en una botella de paredes fijas oxígeno gas a 32 °C se observa que la temperatura que alcanza es de 123 °C. ¿Cuál es la masa de gas contenida dentro de la botella? Si el volumen de la botella es 5 L, ¿a qué presión se encontraba inicialmente?

Solución:

El proceso es isocórico, por lo que $W = 0$

$$Q = \Delta U = m\ c_V\ (T_f - T_0)$$

$$m = \frac{Q}{c_V\ \Delta T} = \frac{346\ \text{cal} \cdot \dfrac{4{,}18\ \text{J}}{1\ \text{cal}}}{648\ \dfrac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 91\ \text{K}} = 24{,}5\ \text{g}$$

Aplicando la Ecuación de los gases perfectos:

$$p = \frac{n\ R\ T}{V} = \frac{24{,}5\ \text{g de } O_2 \cdot \dfrac{1\ \text{mol de } O_2}{32\ \text{g de } O_2} \cdot 0{,}082\ \dfrac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 305\ \text{K}}{5\ \text{L}} =$$

$$= 3{,}8\ \text{atm}$$

Actividad de refuerzo pág. 342

Suministramos 2 500 J a un sistema que contiene dentro de un termo 5 moles de nitrógeno gas, inicialmente a 20 °C. ¿Qué temperatura alcanza? Si la presión inicial es 1,2 atm, calcula el volumen inicial del recipiente y representa en un diagrama *p-V* el proceso seguido por el gas (no es necesario que calcules con precisión el punto final, sino sólo el punto inicial y hacia dónde transcurre el proceso).

Solución:

El proceso es adiabático, por lo que $Q = 0$

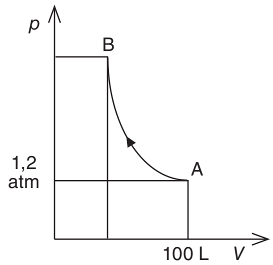
$$W = \Delta U = m\ c_V\ (T_f - T_0)$$

$$T_f = \frac{W}{m\ c_v} + T_0 = \frac{2\,500\ \text{J}}{5\ \text{mol} \cdot \dfrac{0{,}028\ \text{kg de } N_2}{1\ \text{mol}} \cdot 740\ \dfrac{\text{J}}{\text{kg K}}} + 293\ \text{K} = 317\ \text{K}$$

Aplicando la ecuación de los gases perfectos:

$$V = \frac{n\ R\ T}{P} = \frac{5\ \text{moles de } N_2 \cdot 0{,}082\ \dfrac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 293\ \text{K}}{1{,}2\ \text{atm}} = 100\ \text{L}$$

La gráfica que sigue es la siguiente:



Donde lo importante es que disminuye el volumen aumentando fuertemente la presión. El trabajo ha realizado una compresión adiabática.

Evaluación

1. **Un trozo de aluminio de 120 g de masa, que se encuentra a 80 °C, se añade a un recipiente que contiene 250 g de agua a 15 °C. Calcula la temperatura final que tendrá el agua, supuesto que no hay pérdidas de calor al exterior.**

   ***Datos:* Calor específico del aluminio = 895 J kg^{-1} K^{-1}; del agua = 4 180 J kg^{-1} K^{-1}.**

   Solución:

   Teniendo en cuenta que el calor es una energía en tránsito, la cantidad de calor que desprende el aluminio debe ser absorbida por el agua, por lo que $Q_{abs} = -Q_{ced}$.

   Por otro lado, según el Principio Cero, la temperatura final ha de ser la misma, por lo que

   $$Q_{abs} = -Q_{ced} = m_{Al}\ c_{eAl}\ (T_f - T_{0Al}) = -m_{agua}\ c_{e\ agua}\ (T_f - T_{0\ agua})$$

   Por lo que $0{,}12\ \text{kg} \cdot 895\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 353\ \text{K}) =$
   $= -0{,}25\ \text{kg} \cdot 4\,180\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 288\ \text{K})$

   $107\ \text{J K}^{-1} \cdot T_f - 37\,900\ \text{J} = -1\,045\ \text{J K}^{-1} \cdot T_f + 301\,000\ \text{J};$
   $1\,152\ \text{J K}^{-1} \cdot T_f = 339\,000\ \text{J}$

De donde T_f = 294 K = 21 °C

Se podía haber hecho en °C, pero por respetar las unidades hemos preferido pasarlo a K.

2. Calcula el volumen inicial que ocupaba un gas, si se le ha suministrado un trabajo de 300 J para comprimirlo isobáricamente hasta ocupar 20,0 L, a una presión atmosférica de 700 mm de Hg.

Solución:

El trabajo es $W = -p\,\Delta V \iff \Delta V =$

$$= \frac{300\ \text{J} \cdot \dfrac{1\ \text{atm L}}{101{,}3\ \text{J}}}{-700\ \text{mmHg} \cdot \dfrac{1\ \text{atm}}{760\ \text{mmHg}}} = -3{,}2\ \text{L}$$

Como $\Delta V = V_f - V_0 \iff V_0 = V_f - \Delta V$ = 20,0 L − (−3,2 L) = 23,2 L.

3. Determina el calor intercambiado por un sistema en los siguientes casos:

a) **Se expande adiabáticamente entre 3 atm y $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa.**

b) **Se expande isotérmicamente realizando un trabajo de 3 900 J.**

c) **Realiza una transformación isocórica en la que su energía interna se ve disminuida en 1 500 cal. ¿Se encuentra a mayor o menor temperatura? ¿Es una compresión o una expansión?**

Solución:

a) No es necesario hacer cálculos. Un proceso adiabático no intercambia calor: 0 J.

b) Como en un proceso isotérmico no varía la energía interna: $0 = Q - 3\,900$ J. Recibe una cantidad de calor de 3 900 J.

c) En una transformación isocórica no se realiza ni se recibe trabajo: $-1\,500$ cal $= Q + 0$.

Se desprenden 1 500 cal ($Q = -1\,500\ \text{cal} \cdot 4{,}18\ \text{J cal}^{-1} = -6\,270$ J). Como la energía interna disminuye, la temperatura también lo hará. No hay ni compresión ni expansión, ya que el volumen no varía en un proceso isocórico.

4. Calcula en unidades del SI el valor de c_v para el oxígeno, si 38,4 g de este gas absorben 750 J al aumentar su temperatura 30 °C.

Por ser un proceso de cálculo de c_v, el volumen permanece constante y el calor absorbido es igual a $Q_{abs} = m\,c_v\,\Delta T$.

Despejando c_v:

$$c_v = \frac{Q_{abs}}{m\,\Delta T} = \frac{750\ \text{J}}{38{,}4\ \text{g} \cdot \dfrac{1\ \text{kg}}{1\,000\ \text{g}} \cdot 30\ \text{K}} = 651\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$$

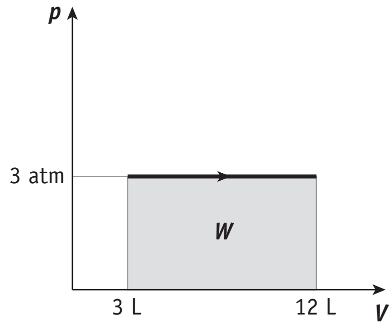
5. Calcula gráficamente el trabajo realizado por un sistema que se encuentra a 3 atm de presión, cuando se expansiona desde 3 L hasta 12 L, siguiendo los siguientes caminos:

a) **Proceso isobárico.**

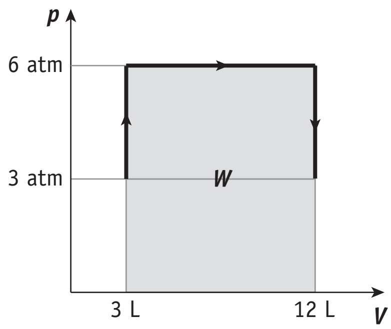
b) **Proceso isocórico donde la presión aumenta al doble, expansión isobárica y proceso isocórico hasta el punto final.**

c) **Va en línea recta del punto (3 L, 3 atm) al punto (12 L, 5 atm).**

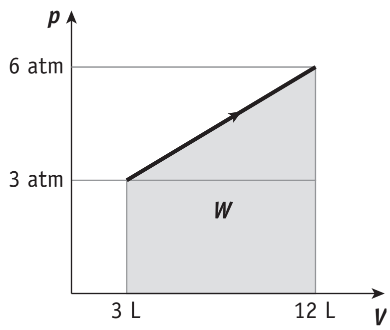
a)



b)



c)



a) El trabajo es el área del rectángulo, negativo por ser expansión:

$W = -3\ \text{atm} \cdot 9\ \text{L} = -27\ \text{atm L} \cdot 101{,}3\ \text{J atm}^{-1}\ \text{L}^{-1} = -2\,735\ \text{J}$

b) El trabajo es el área del rectángulo, negativo por ser expansión:

$W = -6\ \text{atm} \cdot 9\ \text{L} = -54\ \text{atm L} \cdot 101{,}3\ \text{J atm}^{-1}\ \text{L}^{-1} = -5\,470\ \text{J}$

c) El trabajo es el área del trapecio (rectángulo + triángulo), negativo por ser expansión:

$W = -(3\ \text{atm} + 5\ \text{atm})/2 \cdot 9\ \text{L} = -36\ \text{atm L} \cdot 101{,}3\ \text{J atm}^{-1}\ \text{L}^{-1} = -3\,650\ \text{J}$