Física General II

Guía N°7: Segunda Ley de la Termodinámica y Entropía

Año académico 2016

Problema 1:

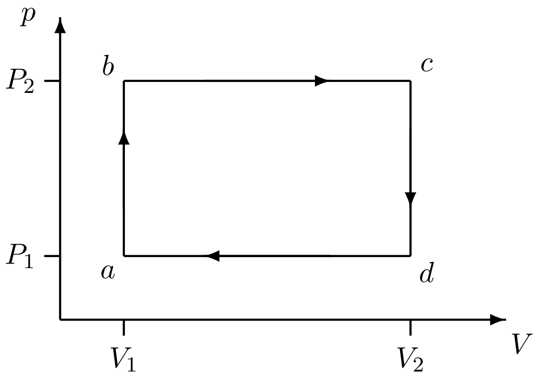
Una determinada cantidad de una substancia describe reversiblemente el ciclo $a-b-c-d-a$ de la figura. Suponer que las capacidades caloríficas son independientes de la temperatura y que resultan: $C_V = 8\,\mathrm{J/K}$ y $C_p = 10\,\mathrm{J/K}$.

a) Calcular la cantidad de calor $Q = \int dQ$ absorbida (o liberada) por el sistema en cada tramo del ciclo. De acuerdo con el primer principio, ¿cuál es el significado de la suma de estas cantidades de calor?

b) Si $V_1 = 9 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$ y $V_2 = 20 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$, calcular la diferencia entre las presiones P_1 y P_2.

c) Calcular el valor de $\int dQ/T$ a lo largo de cada tramo del ciclo. Según el segundo principio, ¿cuál es el significado del valor de la suma de estas integrales?

d) Si se redefine ahora la escala de temperatura, de manera tal que $\overline{T}$ se obtiene restando a la temperatura Celsius una constante distinta de 273,15. ¿El valor de $\int dQ/\overline{T}$ sería distinto de $\int dQ/T$?



$$
\begin{aligned}
t_a &= 0{,}85^o\mathrm{C}\\
t_b &= 274{,}85^o\mathrm{C}\\
t_c &= 1370{,}85^o\mathrm{C}\\
t_d &= 548{,}85^o\mathrm{C}
\end{aligned}
$$

Problema 2:

Demostrar que si un cuerpo inicialmente a la temperatura T_1 se pone en contacto con un reservorio infinito a temperatura $T_2 > T_1$ hasta llegar al equilibrio, la entropía del conjunto aumenta. Suponer que la presión se mantiene constante y que la capacidad calorífica del cuerpo es independiente de la temperatura. ¿Qué ocurre con el cambio de entropía si $T_2 < T_1$. Graficar en función de T_1, $\Delta S_{\mathrm{reserv}}(T_1)$, $\Delta S_{\mathrm{cuerpo}}(T_1)$ y $\Delta S_{\mathrm{univ}}(T_1)$.

Problema 3:

Un kilogramo de agua a 0^oC se pone en contacto con una gran fuente térmica a 100^oC. Cuando el agua ha alcanzado 100^oC,

a) ¿cuál ha sido la variación de entropía de la masa de agua, cuál la de la fuente y cuál la del conjunto?

b) Si la masa de agua se hubiera calentado desde 0^oC hasta 100^oC poniéndola primero en contacto con una fuente a 50^oC y luego con una fuente a 100^oC, ¿cuál habría sido la variación de entropía del conjunto?

c) Describir un procedimiento idealizado para calentar agua desde 0^oC hasta 100^oC sin variación de la entropía del universo.

Problema 4:

Determinar las variaciones de entropía del cuerpo y del universo durante los siguientes procesos realizados a 1 atm de presión,

a) fusión de 1 kg de hielo a 0^oC.

b) condensación de 1 kg de vapor de agua a 100^oC.

Problema 5:

Calcular el cambio de entropía total operado cuando se mezclan 100 g de agua a 0^oC y 50 g de agua a 50^oC.

Problema 6:

Suponiendo que el calor específico a presión constante de una sustancia es una función lineal de la temperatura, $C_P = a + b\,T$, calcular el cambio de entropía de una masa m de esa sustancia cuando la temperatura varía de T_1 a T_2 a presión constante.

Problema 7:

La variación de entropía de un mol de gas ideal que evoluciona desde un estado inicial a otro final arbitrarios, viene dada por,

$$\Delta S = \int_{\text{ini}}^{\text{fin}} \frac{n\,c_V\,dT + P\,dV}{T}\,.$$

donde la integración se realiza por cualquier camino reversible que conecte los estados iniciales y finales.

a) Explicar el origen de esta expresión mencionando dónde se utiliza explícitamente que el gas sea ideal.

b) Usando la ecuación de los gases ideales integrar la expresión para el caso en que los estados inicial y final estén determinados por los pares de valores (P, V).

c) Demostrar explícitamente que la entropía de un gas ideal aumenta durante la expansión libre.

d) Demostrar que la ecuación de estado de un gas ideal puede expresarse en términos de la entropía de la siguiente forma,

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\gamma} \exp\left(\frac{S - S_0}{n\, c_V}\right) ,$$

donde ρ es la densidad de masa, n el número de moles, c los calores específico molares y $\gamma = c_P/c_V$.

Problema 8:

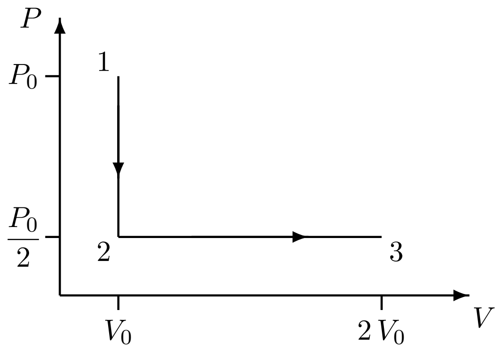
n moles de gas ideal son llevados del estado 1 al 3, a través de las transformaciones indicadas en la figura. Si se supone conocido el calor específico a volumen constante C_v, calcular al final de todo el camino recorrido,

a) el trabajo realizado por el gas,

b) la variación total de energía interna,

c) el calor total absorbido por el gas,

d) la variación de entropía del gas.



Problema 9:

Dos reservorios térmicos finitos idénticos de capacidad calorífica constante C, se encuentran inicialmente a las temperaturas T_1 y T_2, respectivamente, siendo $T_2 > T_1$. Ambos reservorios se emplean como fuentes fría y caliente de una máquina de Carnot que entrega una cantidad infinitesimal de trabajo dW en cada ciclo.

a) Demostrar que la temperatura final de equilibrio de los reservorios es $\sqrt{T_1\, T_2}$.

b) Demostrar que la temperatura final de los reservorios cuando estos se ponen en contacto térmico directo dentro de un recinto adiabático es $(T_1 + T_2)/2$. Obviamente, en este proceso no hay trabajo involucrado.

c) ¿Cuál de las dos temperaturas finales es mayor?

d) Demostrar que la cantidad total de trabajo realizado por la máquina de Carnot hasta llegar a la temperatura de equilibrio es $C\left(\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1}\right)^2$.

Problema 10:

Una máquina de Carnot opera con 1 kg de metano, al que consideramos un gas ideal. La relación entre sus calores específicos es $\gamma = 1{,}35$. Si la relación de compresión (cociente entre los volúmenes máximo y mínimo en el ciclo) es $r = 4$ y la eficiencia del ciclo es 25 %, determinar el aumento de entropía experimentado por el metano durante la expansión isotérmica.

Problema 11: Dos moles de gas ideal diatómico se encuentran en un cilindro limitado por un pistón siendo todo el conjunto perfectamente adiabático. Inicialmente el gas ocupa el volumen V_0 a la presión P_0. Luego de una serie de procesos *irreversibles* el gas recupera un estado de equilibrio ocupando el volumen $3\,V_0$ a la presión $P_1 = P_0/2$. Los valores V_0 y P_0 son datos del problema.

a) Calcular la variación total de energía interna del gas entre los estados inicial y final.

b) Calcular la variación total de entropía del gas entre los estados inicial y final.

Problema 12:

El cuerpo humano disipa aproximadamente 116 W cuando se encuentra sentado, es decir sin actividad física. De esta potencia el 75 % se disipa como calor corporal, mientras que el resto se expulsa principalmente a través del vapor de agua en la respiración. Se desea construir un traje enterizo de material sintético (ajustado al cuerpo) de 0, 5 cm de espesor para realizar actividades al aire libre bajo condiciones de clima muy frío (0^oC). A fin de estar cómodo, este traje debe permitir la disipación del calor corporal manteniendo la piel a 36^oC, incluso permaneciendo sentado largos períodos de tiempo.

a) Suponiendo que el traje tiene una superficie total de $2\,\mathrm{m}^2$, ¿Qué coeficiente de conductividad térmica debe tener el material del traje para poder permanecer sentado cómodamente a 0^oC?

b) Un inventor le propone al fabricante del traje adosar su convertidor de calor en energía eléctrica, para recargar baterías de dispositivos móviles (la cual eventualmente se convierte en trabajo). El fabricante duda de las especificaciones del inventor, quien dice que logra aprovechar prácticamente todo del calor corporal disipado a través del traje. ¿Qué fracción teórica máxima del calor corporal podría aprovecharse? Justificar la respuesta.

Problema 13:

Una cascada natural tiene un salto de h metros de altura y un caudal de agua Q kg/s. Calcular la producción de entropía por segundo en el universo si la temperatura del agua es T. Despreciar todo cambio de temperatura del agua en la caída y simplificar el problema suponiendo que no hay un cambio apreciable en la energía cinética por unidad de masa en el agua antes de llegar al salto y luego de abandonar la cascada.