Física II
Termodinámica

Segunda ley de la termodinámica

Ejercicios finales

Resumen de ecuaciones

Trabajo realizado por una máquina

Calor expulsado por la máquina

Eficiencia térmica de una máquina

$$e = \frac{W}{Q_H} = 1 + \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \left|\frac{Q_C}{Q_H}\right|$$

Calor absorbido por la máquina

Coeficiente de rendimiento de un refrigerador

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|}$$

Calor que se elimina del interior del refrigerador

Trabajo que entra al refrigerador

Calor expulsado al aire exterior

Eficiencia de una máquina de Carnot

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

Temperatura de depósito frío

Temperatura de depósito caliente

Coeficiente de rendimiento de un refrigerador de Carnot

$$K_{\text{Carnot}} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

Temperatura del depósito frío

Temperatura del depósito caliente

Cambio de entropía en un proceso reversible

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Límite superior = estado final

Flujo de calor infinitesimal que entra al sistema

Límite inferior = estado inicial

Temperatura absoluta

Procesos reversibles: Entropía total: $\Delta S = 0$

Procesos irreversibles: Entropía total: $\Delta S > 0$.

Ejemplo 2.

Cierta marca de congeladores afirma en su publicidad que sus productos utilizan 730 kWh al año. a) Suponiendo que el congelador opera durante 5 horas cada día, ¿cuánta potencia requiere mientras está operando? b) Si el congelador mantiene su interior a una temperatura de -5.0°C en una habitación a 20.0°C, ¿cuál es el coeficiente de rendimiento máximo teórico? c) ¿Cuál es la cantidad teórica máxima de hielo que este congelador puede hacer en 1 hora, comenzando con agua a 20.0°C?

a) $$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{730 \text{ kW}\cdot\text{h/año}}{5.00 \text{ h / día}} = \frac{730 \text{ kW}\cdot\text{h}}{(5.00 \text{ h})365}$$

$$= 0.400 \text{ kW} = 400 \text{ W}$$

b) $$K_{Carnot} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

$$K_{Carnot} = \frac{268 \text{ K}}{293 \text{ K} - 268 \text{ K}} = 10.7$$

c) $$W = Pt$$

$$W = (400 \text{ W})(3600 \text{ s})$$

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} \qquad |Q_C| = K|W|$$

$$|Q_C| = 1.44\times10^6 \text{ J}(10.7)$$

$$Q_C = mc(T_f - T_i) + mL_f$$

$$m = \frac{|Q_C|}{c(T_f - T_i) + L_f}$$

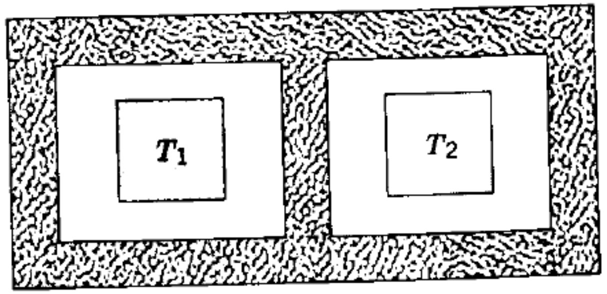
$$m = \frac{1.54\times10^7 \text{ J}}{(4190 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(20.0 \text{ K}) + 334\times10^3 \text{ J/kg}}$$

$$m = 36.9 \text{ kg}$$

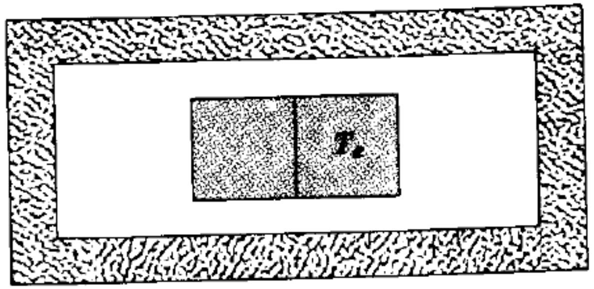
Transferencia de calor irreversible

Ejemplo 3.

$$T_1 < T_2$$



(a)



(b)

una serie de depósitos térmicos a las temperaturas

$T_1, T_1 + dT, T_1 + 2dT, \ldots, T_e - dT, T_e.$

¿Cuál es el cambio de entropía para este proceso irreversible?

$$\Delta S_1 = \int_i^f \frac{dQ}{T} = mc \int_{T_1}^{T_e} \frac{dT}{T} = mc \ln \frac{T_e}{T_1}.$$

$$\Delta S_2 = mc \int_{T_2}^{T_e} \frac{dT}{T} = mc \ln \frac{T_e}{T_2}.$$

$$\Delta S = mc\left(\ln\frac{T_e}{T_1} + \ln\frac{T_e}{T_2} \right) = mc \ln\left(\frac{T_e}{T_1}\frac{T_e}{T_2} \right)$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = mc \ln \frac{T_e^2}{T_1 T_2} > 0$$

$$Q_1 + Q_2 = mc(T_e - T_1) + mc(T_e - T_2) = 0,$$

$$T_e = (T_1 + T_2)/2$$

$$\frac{T_e^2}{T_1 T_2} = \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1T_2} \qquad (T_1 + T_2)^2 = 4T_1T_2 + T_1^2 + T_2^2 - 2T_1T_2$$

$$= \frac{4T_1T_2 + (T_1 - T_2)^2}{4T_1T_2}$$

$$= 1 + \frac{(T_1 - T_2)^2}{4T_1T_2} > 1$$

Problema Un trozo de hielo de masa $m_i = 0.012$ kg está inicialmente a la temperatura $T_i = -15°C$. Se le deja caer en un recipiente aislado de capacidad calorífica despreciable que contiene una masa $m_w = 0.056$ kg de agua a la temperatura $T_w = 23°C$. El sistema llega al equilibrio a la temperatura T_e. Calcule el cambio total de la entropía del sistema + el entorno. Utilice las capacidades térmicas específicas y el calor de fusión siguientes: $c_i = 2220$ J/kg · K, $c_w = 4190$ J/kg · K, $L = 333$ kJ/kg.

$$m_i c_i(0°\mathrm{C} - T_i) + m_i L + m_i c_w(T_e - 0°\mathrm{C}) + m_w c_w(T_e - T_w) = 0,$$

$$T_e = 276.6\ \mathrm{K} = 3.5°\mathrm{C}$$

$$\Delta S_i = m_i c_i \ln \frac{273\ \mathrm{K}}{T_i} + \frac{m_i L}{273\ \mathrm{K}} + m_i c_w \ln \frac{T_e}{273\ \mathrm{K}}$$

$$= 16.7\ \mathrm{J/K}.$$

$$\Delta S_w = m_w c_w \ln \frac{T_e}{T_w} = (0.056\ \mathrm{kg})(4190\ \mathrm{J/kg \cdot K}) \ln \frac{276.6\ \mathrm{K}}{296\ \mathrm{K}}$$

$$= -15.9\ \mathrm{J/K}.$$

Ejemplo 4.

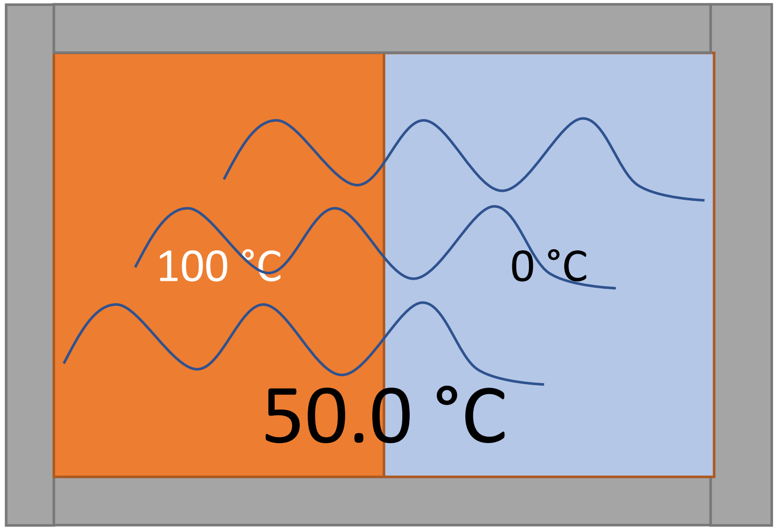
$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_w$$

$$= 16.7\ \mathrm{J/K} + (-15.9\ \mathrm{J/K})$$

$$= 0.8\ \mathrm{J/K}$$

$$\Delta S_{sistema} + \Delta S_{entorno} \geq 0$$

Suponga que 2.00 kg de agua a 50.0 °C cambia espontáneamente de temperatura, de manera que la mitad del agua se enfría a 0 °C mientras que la otra mitad se calienta a 100 °C. (Toda el agua sigue siendo líquida: no se congela ni se vaporiza.) ¿Cuánto cambiaría la entropía del agua? ¿Es posible este proceso? ¿Por qué? c = 4.19 kJ/kg K



Paredes adiabáticas

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S = \int_T^{Tb} \frac{dQ}{T} + \int_T^{Ta} \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S = mc\ln\frac{T_b}{T} + mc\ln\frac{T_a}{T}$$

$$\Delta S = mc\left(\ln\left(\frac{T_b}{T}\right) + \ln\left(\frac{T_a}{T}\right)\right)$$

$$\Delta S = mc\ln\left(\frac{T_aT_b}{T^2}\right)$$

$$\Delta S = (1.00\text{ kg})(4.19\text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)})\ln\left(\frac{373\times 273}{323^2}\right)$$

$$\Delta S_{sistema} = -102\text{ J/K}$$

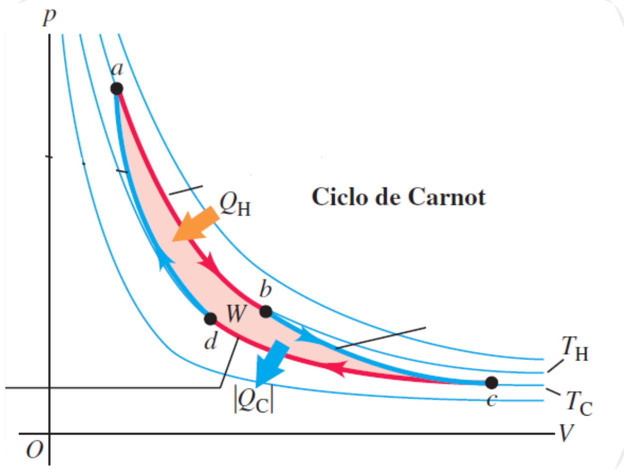
$$\Delta S_{entorno} = 0$$

$$\Delta S_{sistema} + \Delta S_{entorno} \geq 0$$

Ejemplo 5.

Ejemplo 6.

(*a*) Demuestre que un ciclo de Carnot, graficado sobre un diagrama de temperatura versus contra entropía (*TS*), es un rectángulo. Para el ciclo de Carnot mostrado en la figura , calcule (*b*) el calor que entra y (*c*) el trabajo efectuado sobre el sistema. (d) la eficiencia del ciclo.



$$dS = \frac{dQ}{T}$$

$$dQ = TdS$$

$$Q = \int_i^f TdS$$ área

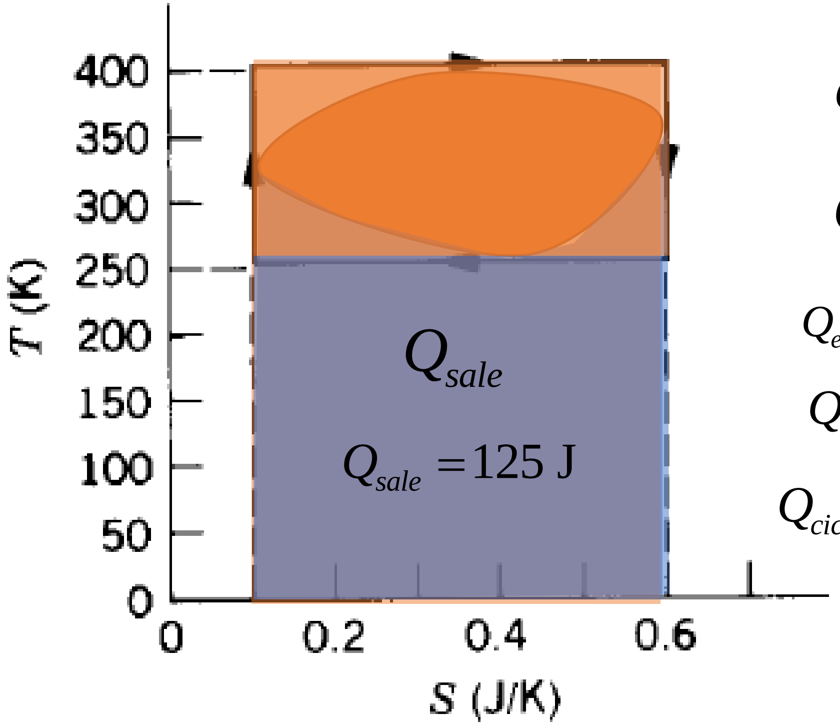


Diagrama entrópico

$$Q_{entra} = (0.50\ \text{J/K})(400\ \text{K})$$

$$Q_{entra} = 200\ \text{J}$$

$$Q_{ciclo} = (0.50\ \text{J/K})(150\ \text{K})$$

$$Q_{ciclo} = 75\ \text{J}$$

$$W = Q = 75\ \text{J}$$

Área encerrada $|W| = |Q_H| - |Q_C|$

$$e = \frac{W}{Q_H}$$

$$e = \frac{75\ \text{J}}{200\ \text{J}}$$

$$e = 0.375$$

$$e = 0.38$$

GRACIAS