

Termodinámica

Contenido

1	INTRODUCCIÓN A LA TERMODINÁMICA	2
1.1	CALCULO DEL CALOR:.....	2
1.2	INCREMENTO DE LA TEMPERATURA.....	2
1.3	DILATACIÓN	2
1.4	CABIO DE ESTADO:	2
1.5	EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR.....	2
2	PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA	8
3	APLICACIONES DEL PRIMER PRINCIPIO	8
3.1	PROCESO ISOBÁRICO (PRESIÓN CTE).....	9
3.2	PROCESO ISOCÓRICO ($V=CTE$).....	9
3.3	PROCESO ISOTÉRMICO $T=CTE$	10
3.4	PROCESO ADIABÁTICO $Q=0$	10
3.5	MAQUINAS TÉRMICAS.....	14
4	ESPONTANEIDAD Y PROCESOS TERMODINÁMICOS.....	15
4.1	ENTROPÍA	15
4.2	SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.....	15

1 Introducción a la termodinámica

Termodinámica es la rama de la física encargada del estudio de la interacción entre el calor y otras manifestaciones de la energía.

1.1 Cálculo del calor:

El término calor, se debe de entender como transferencia de calor y solo ocurre cuando hay diferencia de temperatura y en dirección de mayor a menor. De ello se deduce que no hay transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura.

Cuando un cuerpo gana o pierde energía en forma de calor, puede aumentar/disminuir su temperatura, varían sus dimensiones (dilatación) o cambiar de estado

Caloría: Es la cantidad de calor (es una forma de energía) necesaria para producir un incremento de temperatura de 1 °C en una masa de 1 gramo de agua, desde 14,5 °C hasta 15,5 °C;

1.2 Incremento de la temperatura

$$Q = m * C_e * (t_f - t_i)$$

Q=la energía que recibe o cede un cuerpo

M=masa del cuerpo

C_e = calor específico

t_f = temperatura final ; t_i = temperatura inicial

1.3 Dilatación

Dilatación lineal : Variación de la longitud de un sólido $l = l_0 (1 + \lambda * \Delta T)$;

l(longitud final); l₀(longitud inicial); λ (coeficiente de dilatación lineal);

ΔT (incremento de temperatura)

Dilatación superficial :

Variación de la superficie de un sólido $S = S_0 (1 + \beta * \Delta T)$; $\beta = 2 \lambda$

S(superficie final); S₀(Superficie inicial); β (coeficiente de dilatación superficial);

ΔT (incremento de temperatura)

Dilatación cúbica

Variación del volumen de un sólido $V = V_0 (1 + \gamma * \Delta T)$; $\gamma = 3 \lambda$

V(Volumen final); V₀(Volumen inicial); γ (coeficiente de dilatación cúbica);

ΔT (incremento de temperatura)

1.4 Cambio de estado:

$$Q = m * L$$

Q=la energía que recibe o cede un cuerpo

M=masa del cuerpo

L= calor latente

1.5 Equivalente mecánico del calor

Trabajo: se produce un trabajo mecánico cuando una masa se desplaza por efecto de una fuerza

$W = F * e$; W en Julios; F en newton; e en metros

1 caloría = 4,18 julios; 1 julio = 0,24 calorías

1. Ejercicio

Para hacer un termómetro, tomamos un tubo de vidrio que contiene alcohol. Medimos la columna de alcohol a temperatura ambiente ($T=20^{\circ}\text{C}$) y nos da $l=8\text{ cm}$. Después sumergimos el termómetro en agua con hielo a una temperatura de 0°C y la longitud de la columna de alcohol ahora es de 5 cm . Calcular el valor de a y b de nuestra escala. ¿Cuál será la temperatura, si la altura de la columna de alcohol de nuestro termómetro es de 10 cm ?

Solución

a) Como el termómetro de basa en la dilatación de una sustancia en función de la temperatura, consideramos que cumple una relación lineal:

$T = ax + b$; T = temperatura, x = cm de columna del líquido.

Sustituimos los valores conocidos en la ecuación:

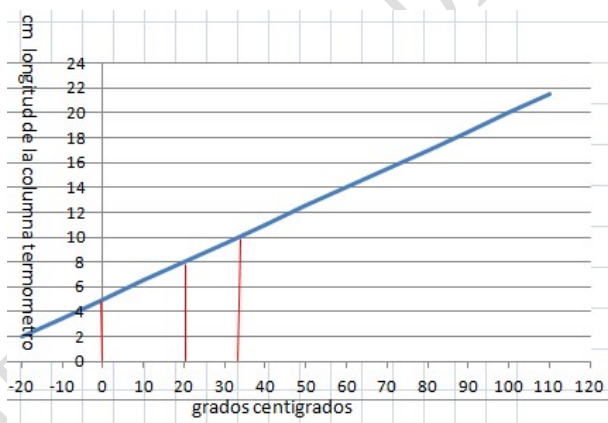
$$T = ax + b \begin{cases} 20^{\circ}\text{C} = a * 8\text{ cm} + b; \\ 0^{\circ}\text{C} = a * 5\text{ cm} + b; \end{cases} \text{ aplico reducción } 20^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C} = a * 8\text{ cm} - a * 5\text{ cm} + b - b;$$

$$20 = 3a; a = \frac{20}{3} = 6,67; a = 6,67; \text{ sustituyo el valor en una ecuación}$$

$$0^{\circ}\text{C} = a * 5\text{ cm} + b; b = -\frac{20}{3} * 5 = -33,33; b = -33,33;$$

$$b) T = ax + b; T = \frac{20}{3}x - \frac{100}{3}; T = \frac{20}{3} * 10 - \frac{100}{3} = \frac{100}{3} = 33,33^{\circ}\text{C}; T = 33,33^{\circ}\text{C}$$

otra forma es la resolución gráfica



2. Ejercicio

En un laboratorio se utiliza un termómetro de gas a volumen constante en el que la presión en el punto triple del agua es 200 mmHg .

Hallar la temperatura del laboratorio cuando el manómetro del termómetro indica una lectura de 220 mmHg .

Solución

Punto triple del agua es el punto en que el agua está en los tres estados (Sólido, líquido y gaseoso). Se consigue en unas condiciones determinadas de presión y temperatura. El punto triple del agua se alcanza a $0,01^{\circ}\text{C}$, $273,16\text{ K}$ y $0,0060373057\text{ atm}$

$$\frac{PV}{T} = \frac{PV}{T} \text{ a } V \text{ cte} \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}; \frac{200\text{ mmHg}}{273,16\text{ K}} = \frac{220\text{ mmHg}}{T_2};$$

$$T_2 \text{ del laboratorio} = \frac{220\text{ mmHg} * 273,16\text{ K}}{200\text{ mmHg}} = 300,476\text{ K}$$

3. Ejercicio

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.

Solución

$$Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); 1230\text{J} = 0,525\text{kg} \cdot C_e \cdot 10; C_e = \frac{1230\text{J}}{525\text{g} \cdot 10} = 0,234 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

4. Ejercicio

Si una 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 J/kg.°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?

Solución

$$\text{Si se pierden } 6000 \frac{\text{W}}{\text{días}} \text{ dado que } \text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}}; \text{Trabajo} = \text{Potencia} \cdot \text{tiempo}$$

El tiempo en seg (unidad internacional SI) en que está perdiendo desde las 5p.m a las 7am

$$\text{Tiempo} = 14\text{h} \cdot 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hora}} = 50400 \text{ seg}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}} = 6000\text{W} = \frac{W(\text{julios})}{50400\text{seg}}; W = 302400 \text{ Kj}$$

Calculamos la masa de piedra que recubre la casa y que está en contacto con el aire

$$W = Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); 302400\text{KJ} = m \cdot 0,850 \frac{\text{Kj}}{\text{K} \cdot \text{Kg}} \cdot (18 - 38)\text{K};$$

$$m = \frac{302400\text{KJ}}{0,850 \frac{\text{Kj}}{\text{K} \cdot \text{Kg}} \cdot 20} = 17788,23\text{Kg de piedra} = 1,778823 \cdot 10^4 \text{Kg}$$

5. Ejercicio

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.

$$C_e \text{ agua} = 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; C_e \text{ aluminio} = 0,88 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; C_e \text{ cobre} = 0,385 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Solución

$$Q \text{ que ganan el agua y el aluminio} = m_{\text{agua}} \cdot C_e \cdot (t_f - t_i) + m_{\text{aluminio}} \cdot C_e \cdot (t_f - t_i);$$

$$Q = 0,250 \cdot 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (20 - 10) + 0,1 \cdot 0,88 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (20 - 10)$$

$$Q = 10,45\text{Kj} + 0,88\text{Kj} = 11,33\text{Kj}$$

$$Q \text{ pierden el cobre y el otro elemento} = -m_{\text{agua}} * C_e * (t_f - t_i) - m_{\text{aluminio}} * C_e * (t_f - t_i)$$

$$Q = -0,050 * 0,385 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (20 - 80) - 0,07 * C_e \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (20 - 100) = +1,155\text{KJ} + 5,6 * C_e;$$

$$Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{perdido}}; 11,33\text{KJ} = +1,155\text{KJ} + 5,6 * C_e; * C_e = 1,82 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}$$

6. Ejercicio

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. Ignore cualquier transferencia de energía hacia o desde el recipiente y determine la temperatura final de la mezcla.

Solución

$$C_e \text{ agua} = 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}; C_e \text{ aluminio} = 0,88 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}; C_e \text{ cobre} = 0,385 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}$$

$$\text{en un sistema en equilibrio la sumas } Q = 0; Q_{\text{agua}} + Q_{\text{cobre}} + Q_{\text{aluminio}} = 0;$$

$$Q_{\text{agua}} = m * C_e * (t_f - t_i); Q_{\text{agua}} = 0,25\text{Kg} * 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (t_f - 20) = 1,045t_f - 20,9$$

$$Q_{\text{cobre}} = m * C_e * (t_f - t_i); Q_{\text{cobre}} = 0,1\text{Kg} * 0,385 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (t_f - 100) = 0,0385t_f - 3,85$$

$$Q_{\text{aluminio}} = m * C_e * (t_f - t_i); Q_{\text{aluminio}} = 0,4\text{Kg} * 0,88 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} * (t_f - 26) = 0,352t_f - 9,152$$

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{cobre}} + Q_{\text{aluminio}} = 0; 1,045t_f - 20,9 + 0,0385t_f - 3,85 + 0,352t_f - 9,152 = 0$$

$$1,4355t_f - 33,902 = 0; t_f = 23,62^\circ\text{C}$$

7. Ejercicio

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

$$C_e \text{ agua} = 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}; C_e \text{ hielo} = 2,090 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}}; \text{Calor de fusión del hielo } L_f = 334 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}};$$

$$\text{Calor de vaporización del agua } L_v = 2260 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}; 1,84 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}};$$

Solución

$$Q_{\text{hielo de } -10 \text{ a } 0^\circ\text{C}} = m * C_e * (t_f - t_i); = Q_{\text{hielo de } -10 \text{ a } 0^\circ\text{C}} = 0,04 * 2,090 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} (0 - (-10))$$

$$Q_{\text{hielo de } -10 \text{ a } 0^\circ\text{C}} = 0,836 \text{ K j}$$

$$Q_{\text{fusión del hielo}} = mL; Q_{\text{fusión del hielo}} = 0,04\text{kg} * 334 \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 13,36\text{KJ};$$

$$Q_{\text{agua 0 a } 100^\circ\text{C}} = m * C_e * (t_f - t_i); Q_{\text{agua 0 a } 100^\circ\text{C}} = 0,04 * 4,180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} (100 - 0) = 16,72\text{K J}$$

$$Q_{\text{evaporación agua}} = mL; Q_{\text{fusión del hielo}} = 0,04\text{kg} * 2260 \cdot 10^3 \text{ J/kg} = 90,4\text{KJ};$$

$$Q_{\text{vapor de } 100 \text{ a } 110^\circ\text{C}} = m * C_e * (t_f - t_i); Q_{\text{agua 0 a } 100^\circ\text{C}} = 0,04 * 1,84 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} * \text{K}} (110 - 100) = 0,736\text{Kj}$$

$$Q_{\text{total}} = 0,836 + 13,36 + 16,72 + 90,4 + 0,736 = 112,052\text{KJ}$$

8. Ejercicio

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?

$$C_e \text{ plomo} = 0,128 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}}; \text{ Calor de fusión del hielo } L_f = 334 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Solución:

$$\text{Energía cinética de la bala al chocar contra el hielo} = \frac{1}{2}mv^2;$$

$$Q = \frac{1}{2} * 0,003\text{Kg} * \left(240 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 86,4 \text{ Julios} = 0,0864\text{Kj};$$

$$Q (\text{calor que pierde la bala al enfriarse}) = Q = m * C_e * (t_f - t_i);$$

$$Q = 0,003 * 0,128 \frac{\text{Kj}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (0 - 30) = 0,0115 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{fusión del hielo}} = mL = \text{energía cinética de la bala} + \text{calor que pierde para pasar a } 0^\circ\text{C};$$

$$Q_{\text{fusión del hielo}} = m \text{ kg} * 334 \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 0,0864\text{Kj} + 0,0115\text{Kj}$$

$$m \text{ de hielo fundido} = 0,293 \text{ g};$$

9. Ejercicio

Hallar el calor necesario para elevar de 29°C a 30°C el agua de una piscina de 25 X 10 X 1,8 m

$$C_e \text{ del agua} = 4,184 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K}) [1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})]; \text{ densidad del agua } 1\text{Kg}/\text{dm}^3$$

Solución

$$\text{Volumen del agua de la piscina} = 15 * 10 * 1,8 = 450 \text{ m}^3 = 450000 \text{ dm}^3;$$

$$\text{masa de agua; } D = \frac{m}{V}; \frac{1\text{Kg}}{\text{dm}^3} = \frac{M}{450000}; \text{ masa de agua} = 450000 \text{ Kg}$$

$$Q = m * C_e * (t_f - t_i); Q = 450000 * 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{K} \cdot \text{Kg}} * (30 - 29)\text{K} = 1882800\text{Kj}$$

10. Ejercicio

Se construye un tramo de vía de tren con rieles que miden 14m de largo y con un coeficiente de dilatación lineal $\lambda = 11 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Halla la dilatación lineal en mm que hay en un raíl cuando la temperatura experimenta una variación de 40°C.

Solución

$$\text{Dilatación lineal; } l = l_0 (1 + \lambda * \Delta T); l = 14\text{m}(1 + 11 * 10^{-6} \text{ K}^{-1} * 40 \text{ K})$$

$$l_f = 14,00616\text{m}; \Delta L(l_f - l_0) = 0,00616\text{m} = 6,16\text{mm}$$

11. Ejercicio

Un chico prepara un postre y necesita saber la temperatura de 0,250 l de agua que ha calentado. Toma un termómetro de 0,060 kg que marca 18,0 C°. Al introducirlo en el agua el termómetro se resbala y queda totalmente sumergido. Al sacarlo, el termómetro marca 47,4 C°. Halla la temperatura del agua antes de introducir el termómetro, si este es exacto y su calor específico es 0,225 cal/(g · K). Se supone que la lectura del termómetro corresponde a la temperatura final del agua.

Solución

Dos cuerpos en contacto al final adquieren la misma temperatura. La energía que cede uno la gana el otro.

El termómetro inicialmente estaba a 18°C y al sacarlo del agua marcaba 47,4°C. La energía que ha ganado la ha cedido el agua.

Calor ganado por el termómetro

$$Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); Q = 60 \text{ g} \cdot 0,225 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot (47,4^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = 29,4 \text{ cal}$$

Calor cedido por el agua

$$Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); 29,4 = 250 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot (T_{\text{agua}} - 47,4^\circ\text{C}) = 47,52^\circ\text{C}$$

12. Ejercicio

Las tiras bimetalicas que componen los termostatos consisten en dos tiras de metales distintos unidas una sobre otra. Hallar hacia que lado se curva una tira bimetalica de latón y acero. Calcula el aumento relativo de longitud de una tira respecto a la otra.

Solución

$$\lambda_{\text{laton}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}; \lambda_{\text{acero}} = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Dilatacion lineal}; l = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta T); l_{\text{laton}} = l_0 (1 + 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \cdot x \text{ K})$$

$$\text{Dilatacion lineal}; l = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta T); l_{\text{acero}} = l_0 (1 + 10^{-5} \text{ K}^{-1} \cdot x \text{ K})$$

Se dilata mas el laton

13. Ejercicio

Una olla contiene 3 l de agua a 20°C. Calcular: a) El calor necesario para aumentar la temperatura del agua hasta 100°C b) El calor necesario para evaporar la mitad del agua a 100°C ($L_{\text{vaporizacion}} = 2257 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$)

Solución

$$\text{a) } Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); Q = 3000 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 240 \text{ Kcal}$$

$$\text{b) } Q = m \cdot L; Q = 1,5 \text{ Kg} \cdot 2257 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} = 3385,5 \text{ KJ}$$

14. Ejercicio

Para enfriar un vaso con 200g de leche que esta a 20°C, se introduce un cubito de hielo de 20g que saca del congelador a -10°C, Halla la temperatura final de la leche con el cubito disuelto en la leche.

Solución

$$L_{\text{hielo}} = 334 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}; C_{\text{hielo}} 2,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}; C_{\text{leche}} 3,8 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot \text{K})$$

Calor necesario para poner el hielo a t_f °C

$$Q_{\text{hielo}} = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); Q_{\text{hielo}} = 0,02 \text{ kg} \cdot 2,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (t_f - (-10 + 273));$$

$$Q_{\text{hielo}} = 0,02 \text{ kg} \cdot 2,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (t_f - 263) = 0,042 t_f - 11,046$$

Calor necesario para disolver el cubito de hielo

$$Q = 0,02 \text{ Kg} \cdot 334 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} = 6,68 \text{ KJ}$$

Temperatura final de la leche (la leche cede calor)

$$Q_{\text{hielo}} (\text{calor absorbido por el hielo}) = -Q_{\text{leche}} (\text{calor cedido por la leche})$$

$$Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i); Q_{\text{leche}} = -(0,2 \cdot 3,8 \cdot (t_f - (20 + 273)));$$

$$6,68 + (0,042 t_f - 11,046) = -(0,2 \cdot 3,8 \cdot (t_f - (20 + 273)));$$

$$-4,366 + 0,042 t_f = -0,76 t_f + 222,68; 0,802 t_f = 227,046; t_f = \frac{227,046}{0,802} = 283,1 \text{ K};$$

$$t_f = 283,1 - 273 = 10,1^\circ\text{C};$$

15. Ejercicio

En una bandeja de una pescadería se deja derretir una determinada cantidad de hielo. Al acabar de fundirse, el agua líquida obtenida ocupa 4.0 ml menos que el volumen inicial de hielo. Encuentra el calor intercambiado por el hielo.

$$L_{\text{hielo}} = 334 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}; \text{ densidad del hielo} = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Solución:

Calculamos la masa del agua y del hielo $D = \frac{M}{V}$; La masa hielo y agua es la misma

$$D_{\text{hielo}} = \frac{m}{V_{\text{del hielo}}}; 0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{m}{x}; m = 0,9 x;$$

$$D_{\text{agua}} = \frac{m}{V_{\text{del agua}}}; 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{m}{x-4}; m = x-4; 4\text{ml} = 4 \text{ cm}^3;$$

Resolvemos la ecuaciones por igualacion $0,9x = x-4$; $0,1x = 4$; $x = 40 \text{ cm}^3$;

$$m = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 40 \text{ cm}^3 = 36 \text{ g de masa}$$

Calculamos el calor absorbido

$$Q = 0,036 \text{ Kg} * 334 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} = 12,024 \text{ KJ}$$

2 Primer principio de la termodinámica

Energía interna de un sistema es la suma de las energías

Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final, la variación de su energía interna

ΔU coincide con la suma de calor Q y el trabajo W $\Delta U = Q + W$

La variacion de energia interna ΔU de un sistema es siempre igual a la suma de la energia que intercambia con su entorno mediante calor Q o trabajo W

Se considera positivo:

El calor que recibe el sistema. El trabajo que el entorno realiza sobre el sistema

Se considera negativo:

El calor que desprende el sistema al entorno. El trabajo que realiza el sistema sobre el entorno

3 Aplicaciones del primer principio

$\Delta U = Q + W$; El trabajo según el diagrama PV = $\int_{V_1}^{V_2} p * dV$;

Relación Q, W, ΔQ	Casos particulares gas ideal	
$\Delta U = Q + W$; ΔU = Variacion de la energia interna Q = calor suministrado al sistema W = trabajo <i>primer principio de la termodinamica</i>	$\Delta U = Q + W$; $\Delta U = n * M * C_v * \Delta T$ $\Delta U = m * C_v * \Delta T$; n = moles de sustancia; M = masa molar; C_v = calor especifico a volumen cte. m = masa del gas	$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2}$ $P * V = n * R * T$; $P = \frac{F}{S}$; $F = P * S$ $W = F * e$; $W = P * S * e = P * V$

3.1 Proceso isobárico (presión cte)

$W = -p * \Delta V$; $Q_p = m * C_p * \Delta T$; $\Delta U = Q_p - W$; $C_p = \text{calor específico a presión cte.}$ $m = \text{masa del sistema}$	$W = -p * \Delta V$; $Q_p = n * M * C_p * \Delta T$; $\Delta Q = n * M * C_p * \Delta T - p * \Delta V$; $m = \text{masa del gas} = n * M$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
---	---	-------------------------------------

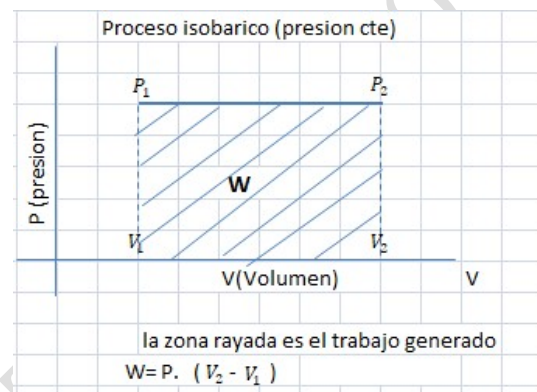
Ejemplo de proceso isobárico

Un globo hidrostático al que damos calor con unos quemadores al aire que está en el interior del globo

La presión en el interior del globo y en el exterior es la misma $P = \text{cte}$

El volumen del globo aumenta

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

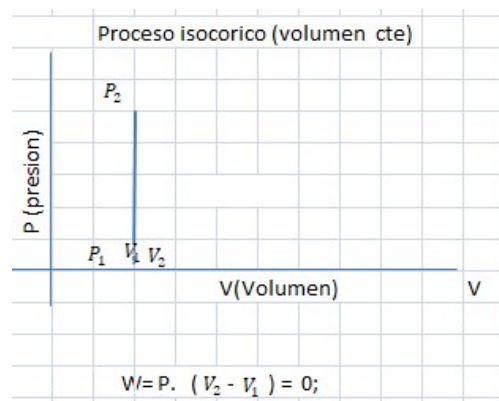


3.2 Proceso isocórico (V=cte)

$\Delta U = Q_v + W$; Al ser $V = \text{cte} \Rightarrow W = 0$; $\Delta U = Q_v$; $Q_v = m * C_v * \Delta T$ El calor suministrado se transforma en una variación de la energía interna (aumento de temperatura)	$\Delta U = Q_v$; $Q_v = m * C_v * \Delta T$ $m = \text{masa del gas} = n * M$ $C_v = \text{calor específico a volumen cte}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
---	---	-------------------------------------

Ejemplo de proceso isocórico

Una olla a presión que llenamos de gas al que damos calor que se transforma en una variación de la energía interna (aumento de temperatura)

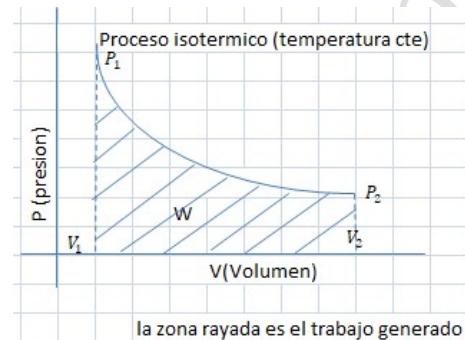


3.3 Proceso Isotérmico T=cte

$\Delta U = Q + W;$ Como es a T cte no hay variación de energía interna $Q = W;$	$\Delta T = 0; \Rightarrow \Delta U = 0; W = Q;$ $W = - \int_{V_1}^{V_2} p * dV = n * R * T * L_n \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$ $L_n = \text{Logaritmo neperiano}$ $V_1 = \text{Volumen inicial}$ $V_2 = \text{Volumen final}$	$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$
---	--	-------------------------

Ejemplo de proceso isotérmico

Un pistón cuyo embolo puede moverse. Lo llenamos de gas, le aplicamos calor si su temperatura permanece cte, desplazará el embolo, aumentando el volumen y disminuirá la presión.

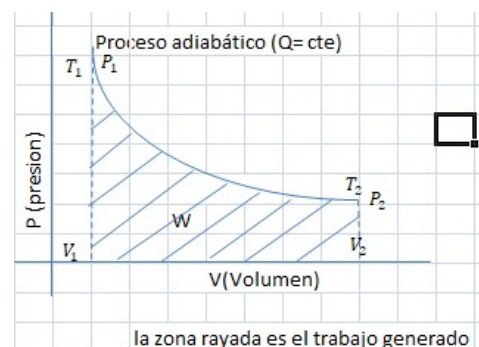


3.4 Proceso adiabático Q=0

$\Delta U = Q + W;$ Como Q=0; no hay aporte ni pérdida de calor con el exterior $\Delta U = W;$	$Q = 0; W = \Delta U;$ $\Delta U = n * M * C_v * \Delta T$	$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2}$
--	--	---

Ejemplo de proceso adiabático

Un pistón de un motor de explosión cuyo calor no lo tomamos del exterior si no de la explosión del gas.



16. Ejercicio

En un recipiente se calientan 0,05 kg de aire en un recipiente a presión constante de 1 atmósfera, de manera que la temperatura aumenta de 20 °C hasta 70 °C y su volumen aumenta en $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Hallar el trabajo y el calor en este proceso y la variación de energía interna.

C_p = calor específico del aire a presión cte $1,004 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{Kg} \cdot \text{K})$

Solución

Calculamos el trabajo efectuado sobre el gas en un proceso isobáricos (presión cte) en (Unidades del sistema internacional (SI)) m^3 y P(pascales) $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5$

$$W = -p \cdot \Delta V; W = -1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = -7,6 \cdot 10^2 \text{ J}; W = -7,6 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Calculamos el calor absorbido por el aire

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T; Q = 0,05 \text{ Kg} \cdot 1,004 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot 50 = 2,51 \cdot 10^3 \text{ J}; Q = 2,51 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Calculamos la variación de energía en el sistema

$$\Delta U = W + Q; \Delta U = -7,6 \cdot 10^2 \text{ J} + 2,51 \cdot 10^3 = 1,75 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta U = 1,75 \cdot 10^3 \text{ J}$$

17. Ejercicio

Para avivar el fuego de una chimenea, comprimimos el aire de un fuelle aplicando una presión total de $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Calcula el trabajo efectuado sobre el aire del fuelle al pasar de un volumen de aire de 200 cm^3 a un volumen de 75 cm^3 .

Solución

Calculamos el trabajo efectuado sobre el aire en un proceso isobárico (presión cte) en (Unidades del sistema internacional (SI)) m^3 y P (pascales) $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5$

$$W = +p \cdot \Delta V; W = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 - 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3) \\ = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3; W = 18,75 \text{ J}$$

18. Ejercicio

En un ensayo se utiliza un recipiente cilíndrico con gas en su interior. Las paredes están aisladas térmicamente y en la cara superior hay un pistón móvil de $40,5 \text{ cm}^2$. Sobre el pistón se apoya dos bloques de $7,5 \text{ kg}$ y el pistón está en equilibrio a $85,0 \text{ cm}$ de la base del recipiente. Hallar: a) presión del gas en la situación inicial b) desplazamiento del pistón cuando quitamos un bloque sabiendo que la temperatura final del gas es $\frac{9}{10}$ del valor inicial c) variación de energía potencial gravitatoria del bloque que sigue en el pistón. ¿En qué ha transformado esta energía?

Solución

a) Presión ejercida sobre el pistón en equilibrio con los dos bloques

$$F = m \cdot a; F = 15 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 147 \text{ Newtons}$$

$$P = \frac{F}{S} = \frac{147 \text{ Newtons}}{40,5 \cdot 10^{-4}} = 3,63 \cdot 10^4 \text{ Pascales}$$

$$\text{Volumen que ocupa el gas} = 40,5 \text{ cm}^2 \cdot 85 \text{ cm} = 3442,5 \text{ cm}^3$$

b) Desplazamiento del pistón cuando quitamos un bloque

$$F = m \cdot a; F = 7,5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 73,5 \text{ Newtons}$$

$$P = \frac{F}{S} = \frac{73,5 \text{ Newtons}}{40,5 \cdot 10^{-4}} = 1,815 \cdot 10^4 \text{ Pascales}$$

Volumen que ocupa el gas

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}; \frac{3,63 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 3442,5 \text{ cm}^3}{10} = \frac{1,815 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot V_2}{9}; V_2 = 6196,5 \text{ cm}^3$$

Desplazamiento del pistón

$$\text{Volumen que ocupa el gas} (6196,5 \text{ cm}^3) = 40,5 \text{ cm}^2 \cdot x \text{ cm}; x = 153 \text{ cm}$$

$$\text{El pistón se desplaza} = 153 \text{ cm} - 85 \text{ cm} = 68 \text{ cm}$$

c) Variación de energía potencial gravitatoria del bloque que sigue en el pistón

$$e = m \cdot g \cdot h; e = 7,5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \cdot 0,068 = 3,832 \text{ Julios}$$

19. Ejercicio

Con un taladro de 4.5kw se agujera una pieza de cobre de 3.5kg durante medio minuto. Halla el trabajo hecho sobre la pieza y su aumento de temperatura ($c_u=385\text{J/kg}\cdot\text{K}$)

Solución

$$P = \frac{W}{t}; \text{Potencia} = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}}; 4,5\text{Kw} = \frac{W}{30\text{seg}}; W = 4500\text{w} \cdot 30\text{seg} = 135000 \text{ Julios}$$

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T; 135000 = 3,5\text{Kg} \cdot 385 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot \Delta T; \Delta T = 100,19 \text{ grados}$$

20. Ejercicio

En un proceso de expansión la temperatura de 0.260 moles de un gas aumenta en 12.5 K. Durante el proceso, el gas recibe una cantidad de calor al exterior, cuyo valor es el triple del trabajo realizado por el gas. Calcula: a) el incremento de energía interna del gas, b) el calor intercambiado y c) el trabajo realizado sobre el gas.

$$C_v = \text{calor específico del gas ideal } 2,97 \frac{\text{cal} \cdot \text{mol}}{\text{K}}$$

Solución

$$\text{a) } \Delta Q = Q(\text{calor recibido}) - W(\text{trabajo realizado}) = m \cdot C_v \cdot \Delta T;$$

$$C_v = \text{calor específico del gas ideal } 2,97 \frac{\text{cal} \cdot \text{mol}}{\text{K}}$$

$$\Delta Q = 9,653 \text{ cal}$$

$$\text{c) } \Delta Q = Q(\text{calor recibido del exterior}) - W(\text{trabajo realizado});$$

$$\Delta Q = 3W - W; Q = 2W; 9,653 \text{ cal} = 2W; W = 4,83 \text{ cal}$$

$$\text{b) } Q_{\text{recibido el exterior}} = 3W; Q = 3 \cdot 4,83 = 14,48 \text{ cal}$$

21. Ejercicio

Se comprime adiabáticamente 2,0kg de nitrógeno gas a 1atm y a 0°C hasta que su temperatura es igual a 8°C y su volumen es siete veces menor que el inicial. Hallar el trabajo efectuado sobre el gas (que se comporta como un gas ideal)

$$C_v \text{Nitrogeno} = 7,43 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}; M_{\text{Nitrogeno}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Solucion:

adiabatico $Q = 0$; no hay intercambio de calor con el exterior

$$\Delta U = Q(\text{calor recibido del exterior}) - W(\text{trabajo realizado}); \Delta U = W;$$

$$\Delta U = m \cdot C_v \cdot \Delta T; Q = 2\text{Kg} \cdot 7,43 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot 8 \text{ T}; W = 118,88 \text{ Kj}$$

22. Ejercicio

Se comprime isotérmicamente 0,57 moles de un gas ideal desde 20 litros a 4 litros a una temperatura de 293 K. ¿Calcula la variación de energía interna, el trabajo realizado sobre el gas por las fuerzas externas y el calor intercambiado. ¿El gas cede o absorbe calor?

$$C_v \text{Nitrogeno} = 7,43 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}; M_{\text{Nitrogeno}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Solucion:

Proceso isotermico $\Delta T = 0; \Rightarrow \Delta U = 0; W = Q;$

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p * dV = n * R * T * L_n \left(\frac{V_1}{V_2} \right); W = n * R * T * L_n \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

$$W = -0,57 \text{ moles} * 0,082 \frac{\text{atm} * \text{Lts}}{\text{k} * \text{mol}} * 293 \text{K} * L_n \left(\frac{20}{4} \right) = -22,05 \text{ Julios};$$

$$W = Q = -22,05 \text{ Julios}$$

23. Ejercicio

Una muestra de gas ideal se expande al doble de su volumen original de 1 m^3 en un proceso cuasiestático para el cual $P = \alpha V^2$; $\alpha = 5 \frac{\text{atm}}{\text{m}^3}$ como se ve en la figura. Hallar el trabajo realizado sobre el gas en expansión

Solución

$\Delta T = 0; \Rightarrow \Delta U = 0; W = Q;$

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

$$V_f = V_i * 2 = 2 \text{ m}^3$$

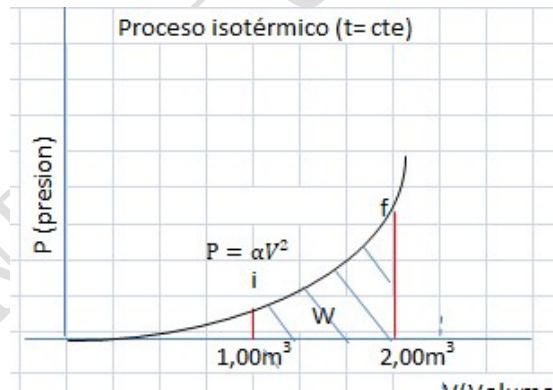
$$W_{i-f} = - \int_{V_i}^{V_f} \alpha V^2 dV = - \frac{1}{3} \alpha (V_f^3 + V_i^3)$$

Pasamos atmosferas a pascuales

$$5 \frac{\text{atm}}{\text{m}^3} = 5 \frac{\text{atm}}{\text{m}^3} * 1,013 * 10^5 \frac{\text{pas}}{\text{atm}} = 5,065 * 10^5 \frac{\text{pas}}{\text{m}^3};$$

Resolvemos la integral

$$W_{i-f} = - \frac{1}{3} (5,065 * 10^5 \frac{\text{Pas}}{\text{atm}} (2^3 - 1^3)) = -1,1818 * 10^6 \text{ Julios}$$



24. Ejercicio

Una muestra de gas ideal se expande segun la figura. Hallar el trabajo realizado sobre el gas en expansion.

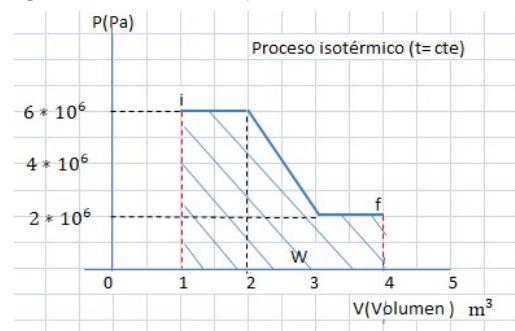
Solución

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

$$W = -6 * 10^6 * (2 - 1) = -6 * 10^6 \text{ j}$$

$$W = -4 * 10^6 * (3 - 2) = -4 * 10^6 \text{ j}$$

$$W = -2 * 10^6 * (4 - 3) = -2 * 10^6 \text{ j}$$



$$W_{i-f} = -6 * 10^6 \text{ j} - 4 * 10^6 \text{ j} - 2 * 10^6 \text{ j} = -12 * 10^6 \text{ Julios}$$

3.5 Maquinas Térmicas

Maquinas térmicas (motor de explosión, frigorífico, bomba de calor) son dispositivos capaces de realizar un trabajo a partir del calor o utilizan un trabajo para enfriar o calentar

$$|Q_a| = |W| + |Q_b|$$

Q_a cantidad e energía absorbida el foco de alta temperatura.

Q_b cantidad e energía cedida al foco de baja temperatura.

W trabajo generado

$$\text{Rendimiento de una maquina termica } \eta = \frac{|W|}{|Q|} \quad W = \text{trabajo obtenido } Q = \text{calor absorbido}$$

El rendimiento se define como el cociente de lo que obtengo entre lo que me cuesta.

$$\text{Coeficiente de rendimiento de una maquina que se usa para calentar} = \frac{|Q_a|}{|W|}$$

$$\text{Coeficiente de rendimiento de una maquina que se usa para enfriar} = \frac{|Q_b|}{|W|}$$

25. Ejercicio

Halla el calor que proporciona una bomba de calor que recibe 3,2KJ de la red eléctrica y absorbe 18KJ del exterior. ¿Cual es su coeficiente de rendimiento?

Solución

$$|Q_a| = |W| + |Q_b|; 18Kj = 3,2Kj + Q_b; Q_b = 18Kj - 3,2Kj = 14,8Kj$$

$$\text{Rendimiento de una maquina termica } \eta = \frac{|Q(\text{calor que obtengo})|}{|W|(\text{lo que me cuesta})} = \frac{14,8}{3,2} = 4,63;$$

$$\text{Coeficiente de rendimiento} = 4,63;$$

26. Ejercicio

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 la catarata? $C_v = 4180 \frac{J}{KgK}$

Solución:

Energía potencial = $m \cdot g \cdot h$; Tomamos una muestra de 1 KG de agua

$$E_p = mgh; E_p = 1Kg \cdot 9,8 \frac{m}{seg^2} \cdot 50m = 490J$$

$$\text{Al se el } V = cte \Rightarrow W = 0; \Delta U = Q = m \cdot C_v \cdot \Delta T; Q = 1Kg \cdot 4180 \frac{J}{Kg \cdot K} \cdot \Delta T;$$

$$\text{dado que } E_p = 490J = Q = 4180J \cdot \Delta T; \Delta T = \frac{490J}{4180J} = 0,11;$$

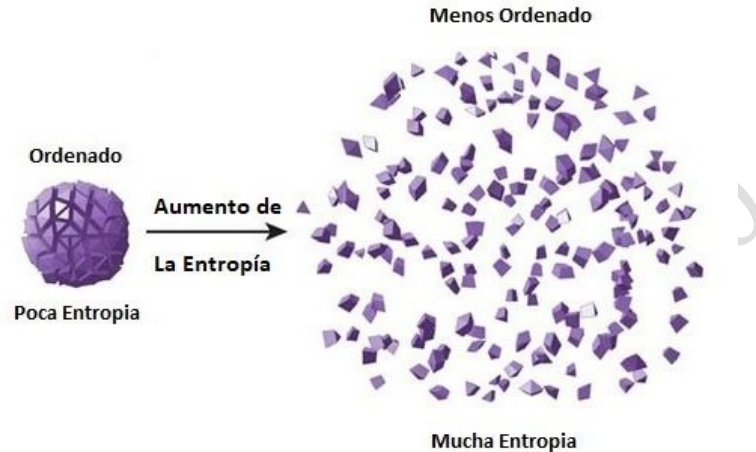
$$T \text{ en el fondo} = T_i + \Delta T = 10^\circ C + 0,11 = 10,11^\circ C$$

4 Espontaneidad y procesos termodinámicos

Los procesos espontáneos se caracterizan porque en el estado final el sistema tiene menos capacidad de producir trabajo útil que en el estado inicial

4.1 Entropía

Es una función de estado que mide el grado de desorden de un sistema. A mayor desorden mayor entropía



$$\Delta S (\text{entropía}) = \frac{Q_{rev}}{T}; \text{Temperatura cte}$$

(un líquido que se congela, se evapora o biceversa)

La variación de entropía ΔS de un proceso es el cociente entre el calor transferido al sistema de forma reversible y la temperatura absoluta T al que tiene lugar esta transferencia

Ejemplos: (procesos que se producen a temperatura cte)

El aumento de la entropía es el aumento del caos. Por ejemplo en el hielo las moléculas se mueven menos que en el agua

Un charco de agua se congela cede calor al medio por lo que la variación de entropía es negativa.

Una masa de mantequilla a la que damos calor para derretirla la entropía es positiva

$$\Delta S (\text{entropía}) = C_e * m * L_n \frac{T_f}{T_i}; (\text{un líquido o un sólido que se calienta})$$

4.2 Segundo principio de la termodinámica

Todo proceso espontáneo aumenta la entropía de universo

El segundo principio de la termodinámica no se limita exclusivamente a máquinas térmicas sino que se ocupa, en general, de todos los procesos naturales que suceden de manera espontánea.

Si la temperatura del sistema aumenta la entropía aumenta y si disminuye la entropía disminuye.

27. Ejercicio

Tenemos una barra de hielo de 2Kg y dejamos que se derrita completamente.

Hallar: La variación de entropía.

b) ¿Cual sería la variación de entropía al congelar completamente esa agua?

Solución

El hielo se derrite a 0°C el calor de fusión del hielo = 80 Kcal/kg

$$a) Q_{Hielo} = +L * m = +80 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} * 2\text{Kg} = +160 \text{ Kcal he de dar al hielo para que funda.}$$

La entropia es positiva por que el sistema recibe calor

$$\Delta S (\text{entropía}) = \frac{Q_{rev}}{T}; \Delta S (\text{entropía}) = \frac{+160\text{Kcal}}{273\text{K}} = +0,59 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

$$a) Q_{Hielo} = -L * m = +80 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} * 2\text{Kg} = -160 \text{ Kcal ha de ceder el agua para que se congele.}$$

La entropia es negativa el sistema cede calor

$$\Delta S (\text{entropía}) = \frac{Q_{rev}}{T}; \Delta S (\text{entropía}) = \frac{-160\text{Kcal}}{273\text{K}} = -0,59 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

28. Ejercicio

Calentamos en una olla 2 l de agua de 20°C a 100 °C . Hallar la variación de entropía

Solución

$$C_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} * \text{K}};$$

$$\Delta S (\text{entropía}) = C_e * m * L_n \frac{T_f}{T_i}; \Delta S = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} * \text{K}} * 2\text{Kg} * L_n \frac{373}{293}; \text{el } L_n \text{ es positivo}$$

$$\Delta S = 2 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}} * L_n 1,27 = 2 * (+0,241) \frac{\text{Kcal}}{\text{K}} = +0,483 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}} \text{ entregamos calor al cuerpo}$$