



## Termodinámica (LFIS 224 - FIS 225) - Prueba 2

Profesor: G. Candlish      Semestre II 2018

Nombre: \_\_\_\_\_ RUT: \_\_\_\_\_

1. (a) Explique la segunda ley de la termodinámica en términos de cambios de entropía  $\Delta S$ . 5

**Solution:**  $\Delta S \geq 0$

- (b) ¿En que tipo de proceso es posible tener  $\Delta S = 0$ , donde  $\Delta S$  es el cambio de entropía del sistema?

**Solution:** Un proceso reversible.

- (c) ¿Es posible que  $\Delta S < 0$ , donde  $\Delta S$  es el cambio de entropía del sistema? Explique su respuesta.

**Solution:** Si, con  $\Delta S_0 > 0$  y  $\Delta S + \Delta S_0 > 0$  donde  $\Delta S_0$  es el cambio de entropía del entorno.

2. Una sustancia cumple las propiedades  $(\partial u / \partial v)_T = 0$  y  $(\partial h / \partial P)_T = 0$ . Demuestre que la ecuación de estado debe ser  $T = APv$ , en donde  $A$  es una constante. Se puede usar las siguientes ecuaciones: 5

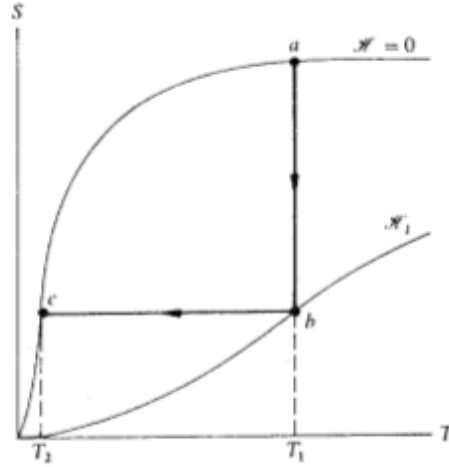
$$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P \quad \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + v$$

**Solution:**

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = 0 &= T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v - P \\ \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = 0 &= -T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + v \end{aligned} \tag{1}$$

Podemos reorganizar estas ecuaciones para tener

$$\frac{dP_v}{P} = \frac{dT_v}{T} \quad \frac{dv_P}{v} = \frac{dT_P}{T} \tag{2}$$



Integrando:

$$\begin{aligned} \ln P &= \ln T + C_1(v) & \ln v &= \ln T + C_2(P) \\ \Rightarrow \ln P - C_1(v) &= \ln v - C_2(P) & \Rightarrow C_1(v) &= -\ln v - \ln A & C_2(P) &= -\ln P - \ln A \end{aligned} \quad (3)$$

donde  $A$  es una constante arbitraria. Entonces

$$\ln T = \ln P + \ln v + \ln A \quad \Rightarrow \quad T = APv. \quad (4)$$

3. Determine el cambio de entropía de una muestra de 1 [kg] del agua calentada de  $20^\circ\text{C}$  a  $90^\circ\text{C}$ . Explique su manera de calcular el cambio, teniendo en cuenta que este es un proceso irreversible. 5

**Solution:** Se puede considerar un proceso reversible equivalente (serie de reservorios con  $T$  ligeramente mayor que la del agua). Así podemos usar directamente la definición de la entropía que aplica a procesos reversibles:

$$TdS = dQ \quad \Rightarrow \quad dS = \frac{dQ}{T} \quad dQ = C_P dT \quad (5)$$

donde usamos  $C_P$  ya que suponemos que el proceso ocurre a la presión atmosférica. Entonces queda

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P dT}{T} = C_P \ln(T_2/T_1) \quad (6)$$

suponiendo  $C_P$  constante.  $T_2 = 363$  [K] y  $T_1 = 293$  [K]. Entonces  $\Delta S = 0,896 \times 10^3$  [JK<sup>-1</sup>].

4. Dibuje un gráfico (en el plano  $S - T$ ) del proceso de enfriamiento magnético. Explique los cambios de entropía y temperatura en cada parte del proceso. 5

**Solution:** El gráfico está en Fig. 3.

1.  $a \rightarrow b$ : magnetización isotérmica, la entropía magnética se disminuye por alineación de los dípolos magnéticos.
2.  $b \rightarrow c$ : desmagnetización adiabática, la entropía magnética aumenta a expensas de la entropía térmica y entonces  $T$  se reduce.
3.  $c \rightarrow a$ : calor fluye del objeto en contacto térmico con la sustancia magnética,  $S$  y  $T$  suben.

5. Demuestre que la energía libre de Helmholtz  $F = U - TS$  está en su mínimo en equilibrio para un sistema sujeto a condiciones de frontera donde  $T$  y  $V$  están fijos. [Hay que usar la segunda ley aplicada a los cambios de entropía del sistema  $\Delta S$  y el entorno  $\Delta S_0$ .]

5

**Solution:**

$$\begin{aligned} \Delta S + \Delta S_0 &> 0 & \Delta S - Q/T_0 &> 0 & Q - T_0 \Delta S &< 0 \\ Q &= \Delta U + P \Delta V = \Delta U & \text{(1ra ley, no hay cambios de } V \text{ por la condición de contorno)} \\ \Delta U - T_0 \Delta S &< 0 & \Rightarrow & \Delta(U - T_0 S) < 0 \end{aligned} \tag{7}$$

$T = T_0$  por la condición de contorno, así que  $\Delta F = \Delta(U - TS) < 0$ .  $F$  debe estar en su *mínimo* en equilibrio.

Capacidad calorífica del agua a presión constante:  $c_P = 4,187 \times 10^3 \text{ [J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}]$ .