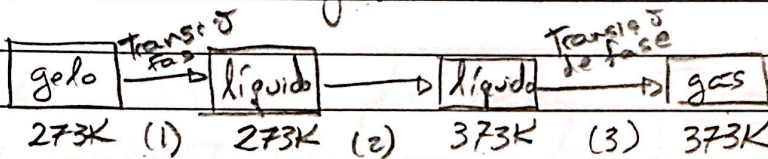


Resolução da prova P.3

1) 1kg água gelo $T_1 = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$ | $c_{\text{água}} = 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
 forno $T = 100^\circ\text{C} = 373\text{K}$ | $L_{\text{fusão}} = 334 \text{ kJ/kg}$
 sistema = água + forno (reservatório) | $L_{\text{ebulição}} = 2256 \text{ kJ/kg}$



$$(1) Q_1 = m L_{\text{fusão}} = 1 \times 334 = 334 \text{ kJ}$$

$$(2) Q_2 = m c \Delta T = 1 \times 4,18 \times 100 = 418 \text{ kJ}$$

$$(3) Q_3 = m L_{\text{ebulição}} = 1, 2256 = 2256 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 334 + 418 + 2256 = 3008 \text{ kJ}$$

$$\text{Reservatório (T=const)} \Rightarrow \Delta S_{\text{forno}} = \frac{Q}{T} = \frac{-3008}{373} = -8,06 \text{ kJ/K}$$

Água: Etapas (1) e (3) mantêm $T = \text{const}$

$$\Delta S_1 = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{334}{273} = 1,22 \text{ kJ/K} \quad \text{e} \quad \Delta S_3 = \frac{Q_3}{T_3} = \frac{2256}{373} = 6,05 \text{ kJ/K}$$

$$\text{Etapa (2)} \quad \Delta S_2 = \int_{T_1}^{T_3} \frac{dQ}{T} = mc \int_{T_1}^{T_3} \frac{dT}{T} = mc \ln\left(\frac{T_3}{T_1}\right) = 1 \times 4,18 \ln\left(\frac{373}{273}\right)$$

$$\Delta S_2 = 1,30 \text{ kJ/K} \quad \Delta S_{\text{água}} = 1,22 + 6,05 + 1,30 = 8,57 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{água}} + \Delta S_{\text{forno}} = 8,57 - 8,06 \approx 0,5 \text{ kJ/K} \quad \Delta S = 500 \text{ J/K}$$

$\Delta S > 0$ mostrando que é um processo irreversível

b) Dos nossos cálculos as transições de fase sólido \rightarrow líquido

$$\Delta S_1 = 1,22 \text{ kJ/K} \quad \text{e} \quad \text{líquido} \rightarrow \text{gás} \quad \Delta S_3 = 1,30 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{sólido}} < \Delta S_{\text{líquido}}$$

$$\Delta S_1 < \Delta S_3$$

A entropia S descreve o grau de desordem do sistema. Ela é também uma função de estado e depende da Temperatura T e do volume V , $S(T, V)$

O cálculo da sua variação é definido na 2ª Lei da Termodinâmica com $dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$

Na transição de fase $T = const.$

sólido \rightarrow líquido

líquido \rightarrow gás

$$V_L/V_S <$$

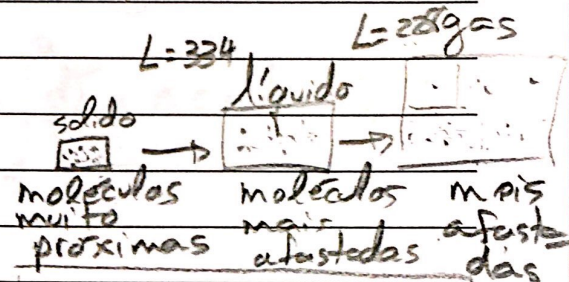
$<$

$$V_G/V_L >$$

$$\Delta S_{s \rightarrow l} <$$

$<$

$$\Delta S_{l \rightarrow g} >$$



$$S_s < S_l < S_g$$

Um processo qualquer

$$\Delta S = nC_V \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$PV = nRT$$

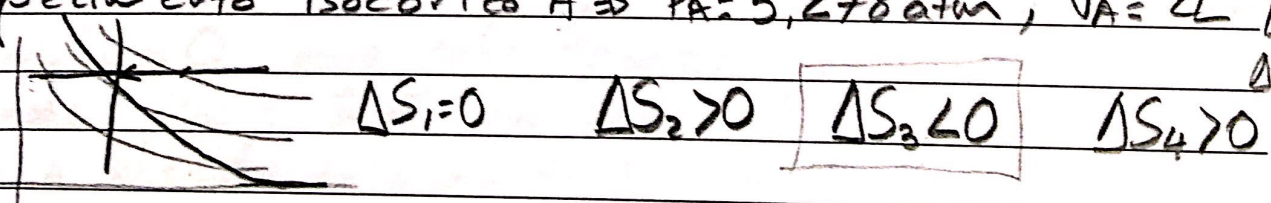
1ª Lei $dU = dQ - dW \Rightarrow nC_V dT = TdS - PdV \Rightarrow \frac{nC_V dT}{T} = dS - \frac{P}{T} dV$

$$dS = \frac{nC_V dT}{T} + \frac{nR dV}{V} \Rightarrow \Delta S = nC_V \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$S = nC_V \ln T + nR \ln V \quad \text{gás ideal}$$

2) $n = 5 \text{ mol}$ gás ideal diatômico $\nu = 5 \Rightarrow C_V = \frac{5}{2}R$
 $C_P = \frac{7}{2}R$ e $\gamma = C_P/C_V = 7/5$ quase-estático?

- (i) expansão adiabática $B \Rightarrow P_B = 2 \text{ atm}, V_B = 4 \text{ L} \quad \Delta V > 0 \quad \Delta T < 0$
- (ii) expansão isotérmica $C \Rightarrow P_C = 1 \text{ atm}, V_C = 8 \text{ L} \quad \Delta V_2 > 0 \quad \Delta T = 0$
- (iii) restrição isobárica $D \Rightarrow P_D = 1 \text{ atm}, V_D = 2 \text{ L} \quad \Delta V < 0 \quad \Delta T < 0$
- (iv) aquecimento isocórico $A \Rightarrow P_A = 5,278 \text{ atm}, V_A = 2 \text{ L} \quad \Delta T > 0 \quad \Delta V = 0$



$$\Delta S_1 = 0$$

$$\Delta S_2 > 0$$

$$\Delta S_3 < 0$$

$$\Delta S_4 > 0$$

(i) $\Delta S_1 = 0$ adiabático reversível ✓

(ii) $T = \text{const} \Rightarrow \Delta U_2 = 0 \Rightarrow Q_2 = W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P dV = nRT_c \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT_c \ln\left(\frac{V_c}{V_B}\right)$

$$Q_2 = nRT_c \ln\left(\frac{V_c}{V_B}\right) \Rightarrow \Delta S_2 = \frac{Q_2}{T_c} = nR \ln\left(\frac{V_c}{V_B}\right)$$

$$\Delta S_2 = 5 \times 8,3 \ln\left(\frac{8}{4}\right) = 28,766 \text{ J/K} \quad PV = nRT$$

(iii) $dQ = n c_p dT \Rightarrow \Delta S_3 = \int_{T_c}^{T_B} \frac{dQ_3}{T} = n c_p \int_{T_c}^{T_B} \frac{dT}{T} = n c_p \ln\left(\frac{T_B}{T_c}\right)$

$$\Delta S_3 = n c_p \ln\left(\frac{P_B V_B}{P_c V_c}\right) \quad P_B = P_c$$

$$\Delta S_3 = n c_p \ln\left(\frac{V_B}{V_c}\right) = 5 \times \frac{7}{2} \times 8,3 \times \ln\left(\frac{2}{8}\right) = -201,359 \text{ J/K}$$

(iv) $dQ = n c_v dT \Rightarrow \Delta S_4 = \int_{T_B}^{T_A} \frac{dQ_4}{T} = n c_v \int_{T_B}^{T_A} \frac{dT}{T} = n c_v \ln\left(\frac{T_A}{T_B}\right)$

$$\Delta S_4 = n c_v \ln\left(\frac{P_A V_A}{P_B V_B}\right) \quad V_A = V_B$$

$$\Delta S_4 = n c_v \ln\left(\frac{P_A}{P_B}\right) = 5 \times \frac{3}{2} \times 8,3 \times \ln\left(\frac{5,278}{1}\right) = 172,593 \text{ J/K}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = 0 + 28,766 - 201,359 + 172,593$$

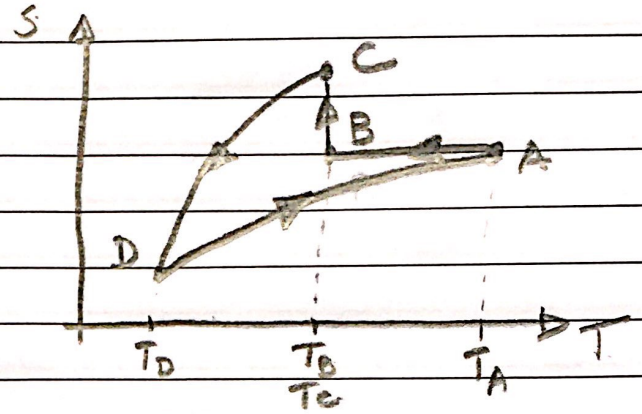
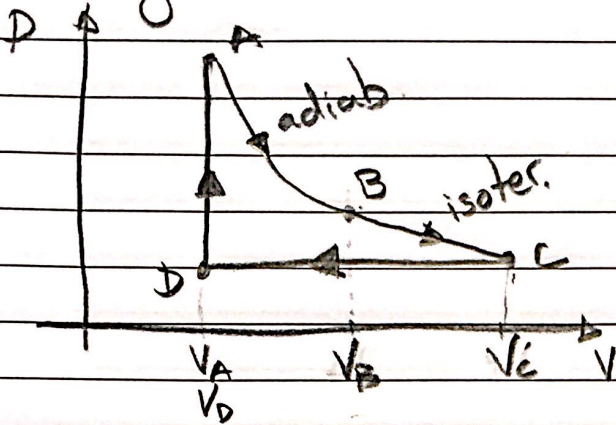
$$\Delta S = 0$$

a) $\Delta S_1 = 0$; $\Delta S_2 = 28,8 \text{ J/K}$; $\Delta S_3 = -201,4 \text{ J/K}$ e $\Delta S_4 = 172,6 \text{ J/K}$

b) Sim o resfriamento isobárico, pois como $S(T, V)$ neste processo $\Delta T < 0$ e $\Delta V < 0 \Rightarrow \Delta S < 0$. Não viola a 2ª Lei pois é a variação de entropia de uma parte do universo e $\Delta S_u \geq 0$.

c) $\Delta S_{\text{ciclo}} = 0$ como calculamos. Este valor é esperado, pois S é uma função de estado e no ciclo o estado inicial = estado final

Diagramas



$$T = \frac{PV}{nR} \quad T_A = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{5,278 \times 2}{5 \times 0,083} = 25,4 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{P_B V_B}{nR} = \frac{2 \times 4}{5 \times 0,083} = 19,3 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{1 \times 8}{5 \times 0,083} = 19,3 \text{ K}$$

$$T_D = \frac{P_D V_D}{nR} = \frac{1 \times 2}{5 \times 0,083} = 4,8 \text{ K}$$