

Aufgabe 1

$$W = -p_{\text{ex}} \Delta V = -10 \text{ bar} \cdot (20 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}^2)$$

$$= -10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$= -200 \text{ Nm} = \underline{\underline{-200 \text{ J}}}$$

adiabatisch, d.h. $q=0$

$$\Delta U = q + w = w = -200 \text{ J}$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV) = \Delta U + \Delta(nRT) = \Delta U + nR\Delta T$$

zunächst $\Delta T = \frac{\Delta U}{C_V} = \frac{\Delta U}{3,5 nR}$

$$= \frac{-200 \text{ J}}{3,5 \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 2 \text{ mol}} = \underline{\underline{-3,5 \text{ K}}}$$

$$\Delta H = \Delta U + nR\Delta T = -200 \text{ J} + 2 \text{ mol} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot (-3,5 \text{ K}) = \underline{\underline{-258 \text{ J}}}$$

ideales Gas
 $pV = nRT$

$$C_V = n \cdot c_{v,m}$$

Aufgabe 2

a) $p_1 = 813 \text{ mbar}$
 $p_2 = 610 \text{ mbar}$
 $T_1 = 288 \text{ K}$
 $T_2 = ?$

$$c_{p,m} = 28,86 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$$

Adiabaten Gleichung: $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma$ mit $\gamma = \frac{c_{p,m}}{c_{v,m}} = \frac{c_{p,m}}{c_{p,m} - R}$

mit idealem Gas $V = \frac{nRT}{p}$:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{nRT_1 p_2}{nRT_2 p_1}\right)^\gamma = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^\gamma \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\gamma$$

nun nach T_2 auflösen

$$\Rightarrow \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\gamma = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\gamma \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^\gamma$$

$$= \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow T_2^\gamma = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1} \cdot T_1^\gamma$$

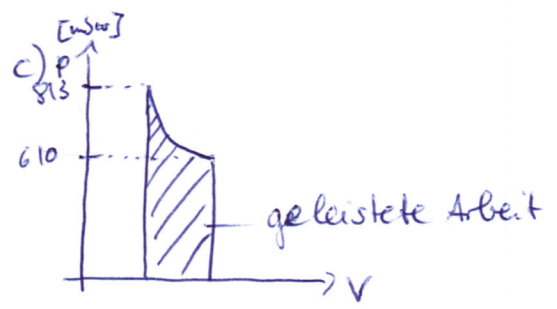
$$\Rightarrow T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot T_1$$

$$= \left(\frac{610}{813}\right)^{0,29} \cdot 288 \text{ K}$$

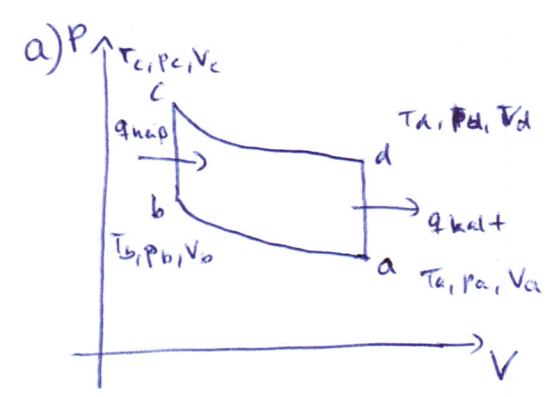
$$= \underline{\underline{265 \text{ K}}}$$

Fortsetzung Aufgabe 2

b) es schneit



Aufgabe 3



1) adiabatisch, $\delta q = 0 \rightarrow q_1 = 0$

$$du = \delta q + \delta w = \delta w = C_v dT$$

$$\Rightarrow w_1 = C_v \int_{T_a}^{T_b} dT = C_v (T_b - T_a)$$

2) $V = V_b = \text{const}$, d.h. $dV = 0$

$$\delta w = -p dV = 0 \Rightarrow w_2 = 0$$

$$du = \delta w + \delta q = \delta q = C_v dT$$

$$\Rightarrow q_2 = C_v \int_{T_b}^{T_c} dT = C_v (T_c - T_b)$$

3) adiabatisch, d.h. $\delta q = 0 \rightarrow q_3 = 0$

$$du = \delta w = C_v dT$$

$$\Rightarrow w_3 = C_v \int_{T_c}^{T_d} dT = C_v (T_d - T_c)$$

4) $V = V_a = \text{const}$, d.h. $dV = 0$

$$\delta w = 0 \Rightarrow w_4 = 0$$

$$du = C_v dT$$

$$\Rightarrow q_4 = C_v (T_a - T_d)$$

b) Wirkungsgrad $\eta = \frac{|w_{\text{ges}}|}{|q|}$

$$= \frac{|w_1 + w_2 + w_3 + w_4|}{q}$$

$$\left[du = \frac{\partial u}{\partial V} dV + \frac{\partial u}{\partial T} dT \right]$$

$$= \frac{\partial u}{\partial V} dV + C_v dT$$

ideales Gas: $u = u(T)$

d.h. $\frac{\partial u}{\partial V} = 0 \Rightarrow du = C_v dT$

Wirkungsgrad

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{|W_{\text{ges}}|}{|Q_{\text{zu}}|} = \frac{|w_1 + w_2 + w_3 + w_4|}{Q_{\text{zu}}} = - \frac{(w_1 + w_3)}{Q_{\text{zu}}} \\ &= \frac{-(C_V (T_b - T_a) + C_V (T_d - T_c))}{C_V (T_c - T_b)} \\ &= \frac{T_a - T_b + T_c - T_d}{T_c - T_b} = \frac{T_c - T_b}{T_c - T_b} + \frac{T_a - T_d}{T_c - T_b} \\ &= 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} \end{aligned}$$

aus den Adiabaten Gleichungen

$$T_b = \frac{T_a V_a^{\gamma-1}}{V_b^{\gamma-1}} = \frac{T_a V_d^{\gamma-1}}{V_c^{\gamma-1}} \quad \text{und} \quad T_c = \frac{T_d V_d^{\gamma-1}}{V_c^{\gamma-1}}$$

ergibt sich $T_c - T_b = (T_d - T_a) \frac{V_d^{\gamma-1}}{V_c^{\gamma-1}}$

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{(T_d - T_a) V_c^{\gamma-1}}{(T_d - T_a) V_d^{\gamma-1}} = 1 - \frac{V_c^{\gamma-1}}{V_d^{\gamma-1}} = 1 - \frac{T_d}{T_c}$$



Aufgabe 4

a) Argon ~ ideales Gas $\rightarrow pV = nRT$

$$\Rightarrow n = \frac{pV}{RT}$$

$$= \frac{100 \text{ kPa} \cdot 125 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot 300 \text{ K}}$$

$$= 5,011 \text{ mol}$$

Einheiten:

$$\frac{\text{kPa} \cdot \text{L}}{\frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot \text{K}} = \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3}{\frac{\text{Nm}}{\text{mol}}}$$

Masse:

$$m = n \cdot M_r(\text{Ar}) = 5,011 \text{ mol} \cdot 39,95 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx \underline{\underline{200 \text{ g}}}$$

Temperatur in Zustand 2:

$$1 \rightarrow 2 : V_1 = V_2 = \text{const}$$

$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot T_1$$

$$= \frac{150 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} \cdot 300 \text{ K} = \underline{\underline{450 \text{ K}}}$$

b)

1 \rightarrow 2 isochore Druckerhöhung $V = \text{const}, dV = 0$

$$\Rightarrow w = 0$$

$$\delta q = m \cdot c_v \cdot dT \Rightarrow q = m c_v \Delta T$$

$$= 200 \text{ g} \cdot 0,312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 150 \text{ K}$$

$$= 9,36 \text{ kJ}$$

$$du = \delta q = 9,36 \text{ kJ}$$

2 \rightarrow 3 isotherme Expansion, Aufnahme von Wärme, die in Volumenarbeit umgewandelt wird

$$dT = 0, u = u(T) \Rightarrow du = 0 \Rightarrow \delta q = -\delta w$$

$$w = - \int_{V_2}^{V_3} p dV = -nRT \int_{V_2}^{V_3} \frac{1}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_3}{V_2}$$

$$= -7594 \text{ J}$$

$$\Rightarrow q = \underline{\underline{7,6 \text{ kJ}}}$$

Fortsetzung Aufgabe 4

3 → 1 isobare Kompression, $p = \text{const}$

$$\Rightarrow w = -p \Delta V = -100 \text{ kPa} \cdot (1 - 1,5) \cdot 125 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$= 6250 \text{ J}$$

$$q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$= 200 \text{ g} \cdot 0,52 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (-150 \text{ K})$$

$$= -15,6 \text{ kJ}$$

$$\Delta u = -p \Delta V + m c_p \Delta T = -9,4 \text{ kJ}$$

Aufgabe 5

a) Temperaturausgleich durch Kontakt mit Wärmebad

See $\hat{=}$ Wärmebad

Kugel $\hat{=}$ System

$$\Delta S_{FE} = m_{FE} \cdot c_{FE} \cdot \ln \left(\frac{T_{FE,E}}{T_{FE,A}} \right)$$

$$= 6 \text{ kg} \cdot 460,24 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot \ln \left(\frac{286,15}{1223,15} \right)$$

$$= 4011,54 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$m = 6 \text{ kg}$$

$$T_{FE} = 1223,15 \text{ K}$$

$$T_{H_2O} = 286,15 \text{ K}$$

$$c_{FE} = 460,24 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta S_{H_2O} = \frac{Q}{T_{H_2O}} = \frac{m_{FE} \cdot c_{FE} \cdot \Delta T_{FE}}{T_{H_2O}}$$

$$= \frac{6 \text{ kg} \cdot 460,24 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 937 \text{ K}}{286,15 \text{ K}}$$

$$= 9042,35 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{ges} = \Delta S_{FE} + \Delta S_{H_2O} = 5030 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

b) spontan, da $\Delta S > 0$