a) (L1)

a - b

$$W_{ab} = \int_{V_2}^{V_1} p\,dV = nRT_1 \int_{V_2}^{V_1} \frac{dV}{V} = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta U_{ab} = 0 \qquad Q_{ab} = W_{ab} = -nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Arbeid på gassen. Varme ut fra gassen.

b - c

$$W_{bc} = 0 \qquad Q_{bc} = \Delta U_{bc} = C_V (T_2 - T_1)$$
$$= \frac{3}{2} nR (T_2 - T_1)$$

Varme inn. Indre energi øker.

c - d

$$W_{cd} = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = nRT_2 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta U_{cd} = 0 \qquad Q_{cd} = W_{cd} = nRT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Arbeid av gassen. Varme inn

d - a

$$W_{da} = 0 \qquad Q_{da} = \Delta U_{da} = C_V (T_1 - T_2).$$
$$= -\frac{3}{2} nR (T_2 - T_1)$$

Varme ut. Indre energi avtar.

b) Virkningsgrad:

$$\eta = \frac{W_{netto}}{Q_{tilført}} = \frac{W_{ab} + W'_{cd}}{Q_{bc} + Q_{cd}}$$

$$= \frac{-nRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} + nRT_2 \ln\frac{V_2}{V_1}}{\frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) + nRT_2 \ln\frac{V_2}{V_1}}$$

$$\underline{\eta = \frac{(T_2 - T_1)\ln\frac{V_2}{V_1}}{\frac{3}{2}(T_2 - T_1) + T_2 \ln\frac{V_2}{V_1}}}$$

c) Merk at $Q_{da} = -Q_{bc}$.

Ved regenerering vil varme $\underline{ut}$ i trinn d-a kunne benyttes som varme $\underline{inn}$ i trinn b-c.

$$\eta^* = \frac{W_{ab} + W_{cd}}{Q_{cd}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \underline{1 - \frac{T_1}{T_2}}$$

Samme som ved Carnot-prosess.

L2 Differensierer uttrykket for U

a)

$$dU = \frac{3}{2} P\,dV + \frac{3}{2} V\,dP$$

Settes inn i (1) med Q = 0 (adiabat).

$$0 = \frac{3}{2} P\,dV + \frac{3}{2} V\,dP + P\,dV$$

$$= \frac{5}{2} P\,dV + \frac{3}{2} V\,dP \qquad \Big| \times \frac{2}{3}\frac{1}{VP} \Rightarrow$$

$$0 = \frac{5}{3}\frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = d\left[\ln(V^{5/3} \cdot P)\right]$$

$$\ln\left[P V^{5/3}\right] = \text{konst} \quad \therefore \quad \underline{\underline{P V^{\frac{5}{3}} = \text{konst}}}$$

b)

$$S = nR \ln\left[T^{3/2} V\right] + S_0$$

Adiabat: $S = \text{konst} \Rightarrow T^{3/2} V = \text{konst}$

Tilstandsligning $PV = nRT \therefore T \propto PV$

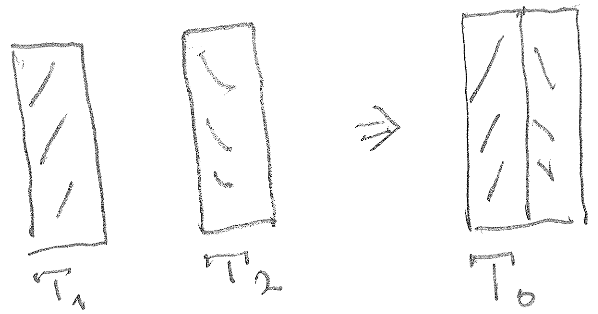
$$(PV)^{3/2} \cdot V = P^{3/2} V^{5/2} = \text{konst} \qquad \underline{P V^{5/3} = \text{konst}}$$

V øker: Flere „plasser" å fordele molekylene på.

T øker: Flere „energikvanter" å fordele på molekylene.

L3

a)



Likevektstemp. bestemt fra 1. HS

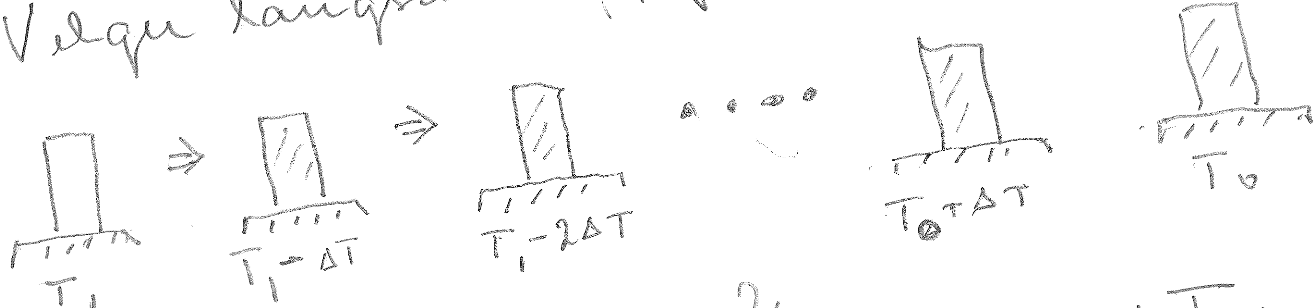
$$\underbrace{C(T_1 - T_0)}_{\text{fra 1}} = \underbrace{C(T_0 - T_2)}_{\text{til 2}}$$

$$\underline{T_0 = \tfrac{1}{2}(T_1 + T_2)}$$

Må bruke en tilnærmet reversibel prosess som fører systemet til <u>samme slutt-tilstand</u>.
Da S er en tilstandsfunksjon blir

$$\Delta S^{irr} = \Delta S^{rev}.$$

Velger langsom avkjøling/oppvarming



Tilsvarende for legeme 2

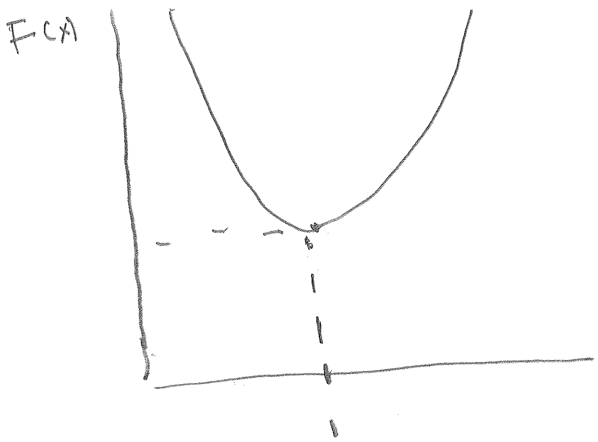
Prosess kan reverseres ved $\Delta T \to -\Delta T$.

$$\Delta S = \Delta S_1^{rev} + \Delta S_2^{rev} = \int_{T_1}^{T_0} \frac{dQ^{rev}}{T} + \int_{T_2}^{T_0} \frac{dQ^{rev}}{T}$$

$$= C \int_{T_1}^{T_0} \frac{dT}{T} + C \int_{T_2}^{T_0} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = C \ln \frac{T_0^2}{T_1 T_2} = \underline{\underline{C \ln \left[\frac{(T_1 + T_2)^2}{4 T_1 T_2} \right]}}$$

b) $\Delta S / C = \ln \frac{(1+x)^2}{4x} = \ln F(x)$.



$(1+x)^2 - 4x = (1-x)^2 \geq 0$:

$F(x) \geq 1$

$\Delta S \geq 0$

$x = 1$: $T_1 = T_2 \Rightarrow \Delta S = 0$

Ingen varmestrøm.

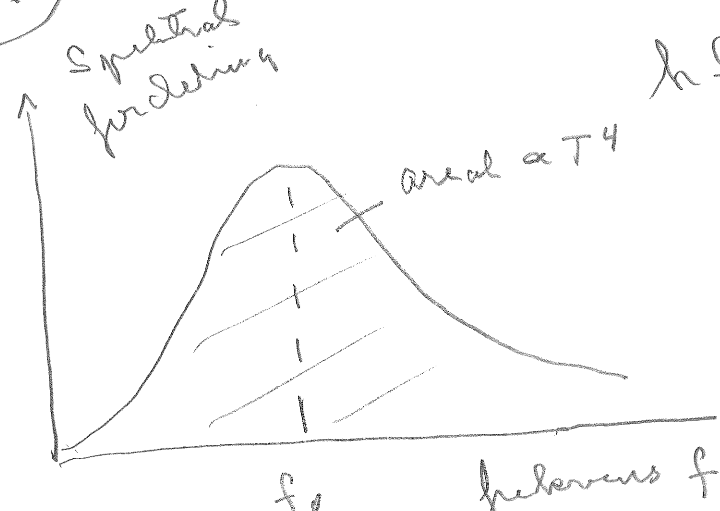
$T_1 \gtrless T_2$: Varmestrøm motsatt vei

ΔS fremdeles positiv

L4

Hulrom med temp T:

$h f_0 = 2.82\, kT$:



$f_0 \propto T$

Energi

$U = aT^4 V$

$u \propto T^4$

Stråling fra vilkårlig legeme

$f_0 \propto T \quad I \propto T^4$ som ved hulrom.

b)

Energitap p.g.a. stråling

$$\frac{dQ}{dt} = C\frac{dT}{dt} = -\varepsilon\sigma A T^4 \Rightarrow$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\varepsilon\sigma A}{C} T^4 = -\kappa T^4$$

$$\kappa = \frac{1\cdot 5{,}67\cdot 10^{-8}\cdot 1}{4\cdot 10^5} \approx 1{,}4\cdot 10^{-13}\,(K^{-3}s^{-1})$$

Integrasjon

$$\frac{dT}{T^4} = -\kappa dt \qquad -\frac{1}{3}\frac{1}{T^3} = -\kappa t - \underbrace{A}_{\text{konst.}}$$

$$\frac{1}{T^3} = 3\kappa t + 3A \qquad A \text{ konst. fra grensebet.}$$

$$\frac{1}{T_0^3} = 3A \qquad A = \frac{1}{3T_0^3} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{T^3} = \frac{1}{T_0^3} + 3\kappa t \qquad T = \frac{T_0}{[1 + \kappa T_0^3 t]^{1/3}}$$

Kontroll: $T(0) = T_0$, $T(t \to \infty) \to 0$.

Numerisk: $t^* \approx 3{,}5\cdot 10^4\,s \approx 10\,h$.