

TFY4115 Fysikk. Institutt for fysikk, NTNU.
Løsningsforslag til øving 12.

1) Bruker at for ideell gass er $C_p - C_V = Nk_B$, og setter inn $V = Nk_B T/p$ og $V_0 = Nk_B T_0/p_0$, dvs $V/V_0 = (T/p)/(T_0/p_0)$:

$$\begin{aligned} S &= (C_p - Nk_B) \ln(T/T_0) + Nk_B \ln((T/p)/(T_0/p_0)) + S_0 \\ &= C_p \ln(T/T_0) - Nk_B \ln(T/T_0) + Nk_B \ln(T/T_0) - Nk_B \ln(p/p_0) + S_0 \\ &= C_p \ln(T/T_0) - Nk_B \ln(p/p_0) + S_0 \end{aligned}$$

Dermed er **B** rett svar.

2) Her kan vi neglisjere endringer i volumet og dermed bruke $dS = CdT/T$:

$$\Delta S_{\text{vann}} = C \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = C \ln(T_1/T_0).$$

Riktig svar blir da **D**.

3) Varmereservoaret har (uendelig) stor varmekapasitet, slik at temperaturen ikke endres selv om varme fjernes eller tilføres. Varmen som ble tilført vannet i oppgave 2 er $Q = C(T_1 - T_0)$, positiv hvis T_1 er større enn T_0 og vice versa. Dette må da, pga energibevarelse, være varmen som varmereservoaret avgir, ved den konstante temperaturen T_1 . Dermed:

$$\Delta S_{\text{res}} = -Q/T_1 = C(T_0 - T_1)/T_1.$$

Riktig svar: **A**.

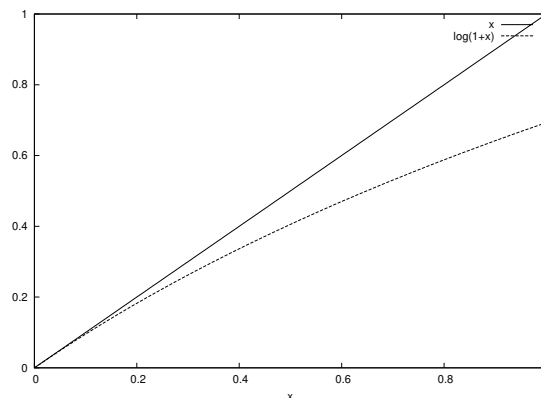
4) Prosessen som beskrives i oppgave 2 er en naturlig, spontan prosess, som dermed er irreversibel. Da *vet* vi at den totale entropiendringen er *positiv* – 2. hovedsetning. Rett svar er altså **A**. Det er kanskje ikke umiddelbart innlysende at

$$\Delta S_{\text{tot}} = C \ln(T_1/T_0) + C(T_0 - T_1)/T_1$$

alltid er en positiv størrelse (evt null dersom $T_0 = T_1$, dvs likevekt mellom vann og reservoar i utgangspunktet), men hvis vi innfører $x = (T_0 - T_1)/T_1 = T_0/T_1 - 1$, har vi

$$\Delta S_{\text{tot}} = C[x - \ln(1+x)],$$

og x er alltid større enn (eller lik) $\ln(1+x)$:



5) Virkningsgraden til Carnot-varmepumpa er

$$\varepsilon_V^c = |Q_2|/|W| = |Q_2|/(|Q_2| - |Q_1|) = T_2/(T_2 - T_1) = 303/40,$$

så den forbruker

$$|W| = |Q_2|/\varepsilon_V^c = 2.0 \cdot 40/303 \simeq 0.26,$$

dvs 0.26 kW elektrisk energi (effekt). **A.**

6) En Carnot-prosess består av to isotermer og to isentropiske prosesser, dvs med hhv T konstant og S konstant. Dermed et rektangel i et (S, T) -diagram. **A.**

Oppgave 7.

Med de gitte antagelsene blir Clapeyrons ligning (med $pV_g = RT$)

$$\frac{dp}{dT} = \frac{l}{T(V_g - V_v)} \simeq \frac{l}{TV_g} = \frac{lp}{RT^2},$$

som integrert gir (med $l \simeq$ konstant)

$$p = \text{konst} \cdot e^{-l/RT}.$$

Integrasjonskonstanten bestemmes ved at $p = p_0 = 4.58$ mm Hg ved $T = T_0 = 273$ K. Dette gir

$$p = p_0 \exp \left[\frac{l}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right].$$

Løsning mhp T gir, for $p = 760$ mm Hg:

$$T = T_0 \left[1 - \frac{RT_0}{l} \ln(p/p_0) \right]^{-1} = 273 \left[1 - \frac{8.314 \cdot 273}{40.7 \cdot 10^3} \ln(760/4.58) \right]^{-1} \simeq 382,$$

dvs 382 K, eller 109°C. Grunnen til at beregnet kokepunkt blir for høyt er at molar fordampningsvarme l ikke er konstant, men øker med avtagende temperatur.

Oppgave 8

Med antagelsene om konstant fordampningsvarme l , neglisjerbart væskevolum, og at dampen er ideell gass, følger det av Clapeyrons ligning at damptrykket blir

$$p = C \exp(-l/RT),$$

der C er en konstant. Med oppgitte data får en ligningene

$$\begin{aligned} p_1 &= C \exp(-l/RT_1) \\ p_2 &= C \exp(-l/RT_2). \end{aligned}$$

Divisjon gir

$$\frac{p_2}{p_1} = \exp \left[\frac{l}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right],$$

som løst mhp l gir

$$l = R \frac{\ln(p_2/p_1)}{1/T_1 - 1/T_2} = 8.314 \frac{\ln(12139/4402)}{1/273 - 1/293} \text{ J/mol} = 33.7 \text{ kJ/mol}.$$

Med $C = p_2 \exp(l/RT_2)$ blir damptrykket ved $T = 30^\circ\text{C} = 303\text{ K}$:

$$p = p_2 \exp \left[\frac{l}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T} \right) \right] = 12139 \text{ Pa} \exp \left[\frac{33.7 \cdot 10^3}{8.314} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{303} \right) \right] = 19.2 \text{ kPa}.$$

Den eksperimentelle verdien ved denne temperaturen er litt mindre, 18676 Pa. Dette henger sammen med at l avtar med økende T , som også påpekt i oppgave 1.

9 C. $\Delta S \geq 0$.

10 B. For kretsprosess "mot klokka" er $\Delta Q < 0$.

11 B. For ideell gass er T proporsjonal med $\langle K \rangle$.