

Institutt for fysikk, NTNU

TFY4165 og FY1005 Termisk fysikk, våren 2006.

Regneøving 7.

(Veiledning: Onsdag 15. mars kl. 12.15 - 14.00.)

Oppgave 1

a) Vis relasjonen (Maxwell-relasjon)

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p.$$

b) En Cu-blokk (kopperblokk) har volumet $V = 1 \text{ cm}^3$ ved temperaturen $T = 100 \text{ K}$ og trykket $p_1 = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Blokken blir så komprimert reversibelt og isotermt til trykket $p_2 = 1,3 \cdot 10^8 \text{ Pa}$. For Cu er isoterm kompressibilitet og kubisk utvidelseskoeffisient henholdsvis

$$\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = 0,721 \cdot 10^{-11} \text{ Pa}^{-1} \quad \text{og}$$

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = 50,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}.$$

Beregn arbeidet W som utføres på Cu-blokken ved denne kompresjonen. (Anta at κ_T og α_V er konstante og at endringen i V er liten ved denne kompresjonen.)

c) Hva blir endringen i entropi ΔS for Cu-blokken ved denne isoterme kompresjonen, og hvor stor blir endringen i indre energi ΔU ? [Hint: Benytt resultatet fra punkt a) til å bestemme ΔS .] (Svar: $\Delta S = -6,55 \cdot 10^{-3} \text{ J/K}$.)

Oppgave 2

a) En ideell gass kjøles fra temperaturen T til T_0 . Omgivelsenes temperatur er hele tiden T_0 . Start- og sluttstanden har samme volum ($\Delta V = 0$). Vis at det maksimale arbeid som er mulig å få ut av gassen er

$$W_{max} = C_V(T - T_0) - C_V T_0 \ln \frac{T}{T_0}.$$

b) Hvor mye varme avgis og hva er det maksimale arbeidet når gassen er ett mol toatomig gass og avkjølingen er fra 100°C til 20°C ? (Svar: $W_{max} = 193\text{ J}$.)

c) En måte å ta ut det maksimale arbeidet på er å la en Carnot-maskin virke mellom den øvre avtagende temperaturen og den faste T_0 . Vis at dette gir det samme arbeidet W_{max} .

d) En annen måte å ta ut det maksimale arbeidet på er først å ekspandere gassen adiabatisk slik at temperaturen synker til T_0 . Deretter komprimeres den isotermt tilbake til opprinnelig volum. Vis at dette også gir samme arbeid W_{max} .

Oppgave 3

Verdien på differensen mellom spesifikke varme ved konstant trykk og konstant volum $C_p - C_V$ avhenger av hvor mye et stoff utvider seg med endring i trykk og temperatur. Den kubiske utvidelseskoeffisienten og isoterme kompressibiliteten for et stoff er gitt ved henholdsvis

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad \text{og} \quad \kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T.$$

For vann ved 25°C er $\alpha_V = 2,572 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ og $\kappa_T = 4,525 \cdot 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$ (1 bar = 10^5 Pa). Vannets massetetthet er $0,9971 \text{ g/ml}$ ved denne temperaturen og molekylvekten er 18 g/mol .

Bestem verdien av $C_p - C_V$ for ett mol vann ved 25°C på grunnlag av disse opplysningene. [Hint: Benytt uttrykket for $C_p - C_V$ og relasjonen mellom deriverte ved syklisk ombytte av variable utledet i forelesningene.] (Svar: 9,5 % av tilsvarende verdi for ideell gass.)