FY1005/TFY4165 Termisk fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Våren 2014.
Veiledning: 17. og 20. mars. Innleveringsfrist: Fredag 21. mars kl 16.

Øving 10

Van der Waals tilstandsligning

a) Van der Waals tilstandsligning for stoffmengden 1 mol,

$$(p + a/V^2)(V - b) = RT,$$

gir kritisk punkt

$$T_c = 8a/27Rb \quad , \quad p_c = a/27b^2 \quad , \quad V_c = 3b.$$

Vis at a og b – dersom vi velger å parametrisere med utgangspunkt i kritisk temperatur og trykk – kan uttrykkes som

$$a = 27R^2T_c^2/64p_c \quad , \quad b = RT_c/8p_c.$$

Vis også at dette gir verdien 8/3 for kombinasjonen RT_c/p_cV_c.

b) Vis at dersom vi innfører dimensjonsløse ("reduserte") størrelser $p_r = p/p_c$, $T_r = T/T_c$ og $V_r = V/V_c$, kan van der Waals tilstandsligning skrives på formen

$$(p_r + 3/V_r^2)(3V_r - 1) = 8T_r.$$

[Dette kalles gjerne "loven om korresponderende tilstander" (van der Waals, 1880): Ulike stoffer som oppfyller van der Waals tilstandsligning, er i korresponderende tilstander dersom de har samme trykk, temperatur og volum, målt i enheter av kritisk trykk, temperatur og volum.]

c) Kjølemediet R134a (1,1,1,2–tetrafluoretan; benyttet i varmepumpa i laboppgave 1) har kritisk temperatur, trykk og (molart) volum henholdsvis 374 K, 4060 kPa og 0.198 L. Bruk disse eksperimentelle verdiene til å parametrisere koeffisientene a og b for R134a, som beskrevet i punkt a). Hva er den eksperimentelle verdien for RT_c/p_cV_c for R134a? [Gasskonstanten er $R = 8.314$ J/mol K.]

d) Plott (van der Waals) isotermer for (1 mol av) R134a i et (p, V)-diagram.
Lag først en figur der isotermer tegnes opp for temperaturer mellom 334 og 414 K, med intervall 20 K mellom påfølgende kurver. Beregn $p(V)$ for V mellom 0.12 og 2.00 L, mens kurvene plottes i et diagram der V-aksen går fra 0 til 1 L og p-aksen fra 0 til 10 MPa. Tegn også, i samme figur, isotermer basert på ideell gass tilstandsligning for laveste og høyeste temperatur, dvs 334 og 414 K.

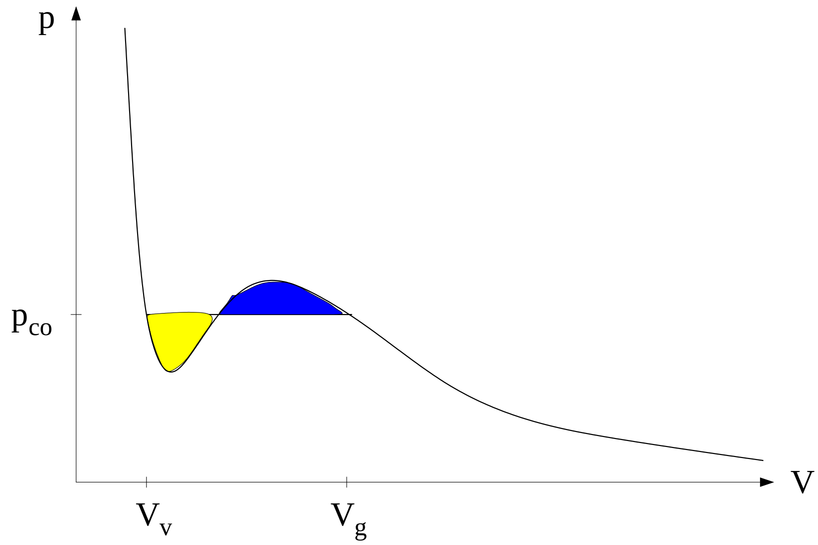
Legg merke til overgangen fra monotont avtagende kurver til ikke-monotone $p(V)$ ved $T = 374$ K.

For Matlabtips, se matlabtips10.pdf.

e) For temperaturer T under kritisk temperatur T_c gir van der Waals tilstandsligning koeksistens mellom væske og gass for en bestemt verdi av trykket, p_{co}, der det såkalte koeksistenstrykket p_{co} fastlegges ved hjelp av Maxwells regel om like arealer, dvs like stort gult (lyst) som blått (mørkt) areal i figuren under, alternativt den ekvivalente betingelsen

$$p_{\text{co}} \cdot (V_g - V_v) = \int_{V_v}^{V_g} p(V)\, dV,$$

der V_v og V_g er hhv (molart) væskevolum og gassvolum.



Bruk Maxwells regel om like arealer til å fastlegge koeksistenstrykket p_{co}, med en nøyaktighet på 0.1 kPa, for temperaturen $T = 331$ K. Dette tilsvarer "typisk temperatur ved utgang kompressor" (T_2) i laboppgave 1, se Tabell 1.1 side 9 i Labheftet. I labforsøket er trykket der ca 10.5 bar, betydelig mindre enn p_{co}, slik at kjølemediet er i gassform.