

UNIVERSITETET I TRONDHEIM  
 NORGES TEKNISKE HØGSKOLE  
 INSTITUTT FOR TEORETISK FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:

E.H.Hauge, tlf. 3651  
 P.C.Hemmer, tlf. 3648

EKSAMEN I FAG 71517  
 TERMODYNAMIKK OG IRREVERSIBLE PROSESSER  
 Lørdag 13.juni 1987  
 kl.0900-1500

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator  
 Rottmann: Mathematische Formelsammlung.

### Oppgave 1

30 liter NO og 30 liter SO<sub>2</sub> diffunderer inn i hverandre ved et konstant totaltrykk på 2 atmosfærer og temperatur 0°C . Gassene er ideelle. Beregn entropiøkningen.  
 Oppgitt: 1 atm = 1.013·10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>.

### Oppgave 2

- a) Hva er likevektsbetingelsene for trykk, temperatur og kjemisk potensial ? Utled Gibbs faseregulering.
- b) Ved romtemperatur er en væske A i likevekt med sin egen damp ved trykket  $p_0$  . Det tilsettes litt gass B som ikke er oppløselig i væskefasen. Molbrøken av B i gassform er  $x_B$  , og gassblandingen er ideell.  
 Finn et uttrykk for hvor meget likevektstrykket endrer seg for  $x_B \ll 1$  , fremdeles ved romtemperatur, T . Gjør rimelige antagelser for å forenkle svaret mest mulig.

### Oppgave 3

- a) Et system av to komponenter 1 og 2, med total molbrøk  $x_1$  av komponent 1, består av to faser A og B . I likevekt er molbrøkene av komponent 1 i fasene lik  $x_A$  og  $x_B$  . Hva er forholdet mellom massen  $m_A$  av komponent 1 i fase A og massen  $m_B$  av komponent 1 i fase B ?

- b) Den termodynamiske identitet for et flerkomponentsystem lyder

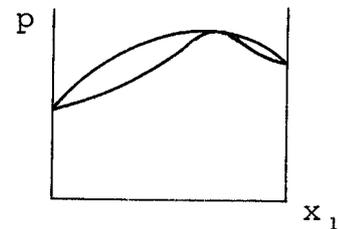
$$Tds = dU + pdV - \sum_i \mu_i dN_i .$$

For et homogent system av  $c$  komponenter gjelder også Gibbs-Duhem relasjonen

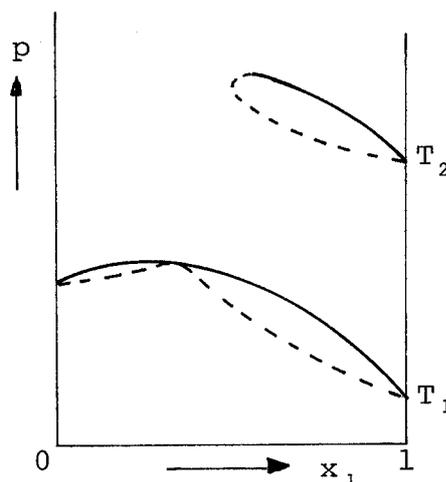
$$\sum_{i=1}^c N_i d\mu_i = -SdT + V dp .$$

Vis det.

- c) Ved en gass-væske likevekt for et tokomponentsystem ved romtemperatur har dogglinja i et sammensetning-trykk-diagram ( $x_1$ - $p$ -diagram) et maksimum. Vis at boblelinja også går gjennom dette maksimumspunktet.



- d) I en binær blanding har to damptrykkisotemer i det kritiske området følgende form: (Heltrukket linje: sammensetning i væske, stiplet linje: sammensetning i dampfase)



For visse totalsammensetninger vil en kunne ha "retrograd kondensasjon" i den forstand at når trykket økes vil væskefasen avta og tilslutt forsvinne. Angi hvor dette eventuelt skjer for hver av de to temperaturene  $T_1$  og  $T_2$ . Begrunn svaret.

Oppgave 4

Den termodynamiske identitet for en gummistrikk er

$$TdS = dU - F dL ,$$

der  $L$  er lengden og  $F$  er strekk-krafta. Strikken består av et såkalt ideelt gummi materiale der  $(\partial U/\partial L)_T = 0$  .

Beregn temperaturendringen  $\Delta T$  når en termisk isolert strikk med varmekapasitet  $C_L$  forlenges litt ( $L \rightarrow L + \Delta L$ ).

Oppgave 5

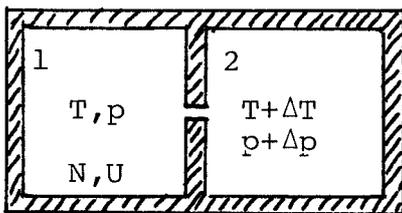
I forelesningene utledet vi følgende uttrykk for entropi-produksjonen pr. volumenhet

$$\sigma = \vec{J}_u \cdot \nabla \frac{1}{T} + \sum_i \vec{J}_i \cdot \nabla \left( - \frac{\mu_i}{T} \right) \quad (1)$$

der  $\vec{J}_u$  er energistrømtettheten,  $\vec{J}_i$  er antallstrømtettheten av komponent  $i$  ,  $\mu_i$  det tilsvarende kjemiske potensial, og  $T$  temperaturen.

\*

To kar står i forbindelse med hverandre ved et lite hull, som



vist i figuren. Karene er fylt med ett og samme énkomponentsystem. Trykk og temperatur i karene er henholdsvis  $(p, T)$  og  $(p + \Delta p, T + \Delta T)$ , der  $\Delta p$  og  $\Delta T$  er (relativt) små størrelser.

\*

a Vis at når  $N$  og  $U$  står for partikkeltallet og den indre energi i kar 1, gir den oppgitte relasjonen (1) den totale entropiproduksjonen for hele systemet i figuren som

$$\frac{dS}{dt} = J_n X_n + J_u X_u$$

der  $J_n = -dN/dt$  ,  $J_u = -dU/dt$  ,  $X_n = -\Delta(\mu/T)$  og  $X_u = \Delta(1/T)$  .

- b Vis at de lineære relasjonene mellom strømmer og krefter i dette tilfellet kan omskrives til

$$- \frac{dN}{dt} = - L_{nn} v \frac{\Delta p}{T} + (L_{nn} h - L_{nu}) \frac{\Delta T}{T^2}$$

$$- \frac{dU}{dt} = - L_{un} v \frac{\Delta p}{T} + (L_{un} h - L_{uu}) \frac{\Delta T}{T^2}$$

der  $L$ -ene er Onsagerkoeffisienter,  $v$  volumet pr. partikkel og  $h$  entalpien pr. partikkel.

- c Formuler Onsagerrelasjonen for dette tilfellet og bruk den til å finne en sammenheng mellom "den termomolekulære trykk-koeffisient", definert som  $(\Delta p / \Delta T)_{J_n=0}$ , og "energioverføringen", definert som  $u^* = (dU/dN)_{\Delta T=0}$ .

- d En kritisk student foreslår på bakgrunn av det ovenstående å forenkle argumentene ved å bruke  $\Delta p$  og  $\Delta T$  som generaliserte krefter, i stedet for  $X_n$  og  $X_u$ . Dine kommentarer?  
[Detaljregninger kreves ikke her!]