

UNIVERSITETET I TRONDHEIM
NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:
Prof. P.C.Hemmer
Tlf. 3648

EKSAMEN I FAG 74305 TERMISK FYSIKK

Onsdag 27. mai 1992

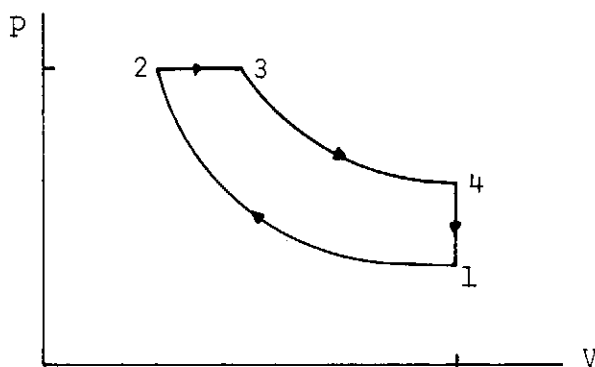
k1.0900-1500

Tillatte hjelpemidler: Rottmann: Mathematische Formelsammlung
Barnett and Cronin: Mathematical Formulae
Godkjent kalkulator

Endel formler og konstanter er gitt i eget vedlegg.

Oppgave 1

Den termodynamiske prosess som er vist i figuren er en idealisering av arbeidsprosessen for en dieselmotor. Luft suges inn og komprimeres adiabatisk i trinn 1-2, ved punkt 2 sprøytes dieselolje inn i sylindern, antennes og forbrenner relativt langsomt under den første del av arbeidsfasen (trinn 2-3) under tilnærmet konstant trykk. Etter forbrenningen er resten av arbeidsfasen (trinn 3-4) adiabatisk. Utblåsningsfasen 4-1 er ved konstant volum.



1-2 : adiabat
2-3 : isobar
3-4 : adiabat
4-1 : isokor

I oppgaven behandles en idealisering av den virkelige arbeidsprosessen, idet det antas at en ideell gass gjennomløper den termodynamiske kretsprosessen i figuren. Det forutsettes at alle trinn forløper reversibelt.

Gassens varmekapasiteter C_V og C_p , henholdsvis ved konstant volum og konstant trykk, antas konstante og kjente. I den etterfølgende tekst svarer indeksen på termodynamiske variable til de nummererte tilstandene i figuren. Der ikke annet er presisert kan svar uttrykkes ved de trykk-, volum- eller temperaturvariable en finner hensiktsmessig. Adiabatlikningen $pV^\gamma = \text{konstant}$ antas kjent.

- a) Vis først at for adiabatisk prosesser i ideelle gasser har en relasjonen

$$TV^{\gamma-1} = \text{konstant}.$$

- b) Hva er endringen ΔS av gassens entropi når en syklus av prosessen er fullført?

- c) Vis følgende relasjon mellom temperaturene i kretsprosessen

$$T_1 T_3^\gamma = T_4 T_2^\gamma.$$

- d) Beregn varmemengden Q_{23} som gassen mottar under den isobare utvidelse, og arbeidet W_{23} som utføres i samme trinn.

- e) Beregn for trinnet $4 \rightarrow 1$ varmemengden Q_{41} som gassen avgir, arbeidet W_{41} som utføres, og endringen $\Delta U_{41} = U_4 - U_1$ i gassens indre energi.

- f) Vis at den teoretiske virkningsgrad er

$$\eta = 1 - \frac{r_e^{-\gamma} - r_k^{-\gamma}}{\gamma(r_e^{-1} - r_k^{-1})},$$

der $r_k = V_1/V_2$ er kompresjonsforholdet og $r_e = V_1/V_3$ er ekspansjonsforholdet.

- g) Hva er den numeriske verdi av den teoretiske virkning dersom kompresjonsforholdet er 18 og ekspansjonsforholdet er 6, og arbeidssubstansen er en énatomig ideell gass?

Oppgave 2

- a) Vis at middelfarten i en gass i likevekt ved temperatur T er

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8 kT}{\pi m}},$$

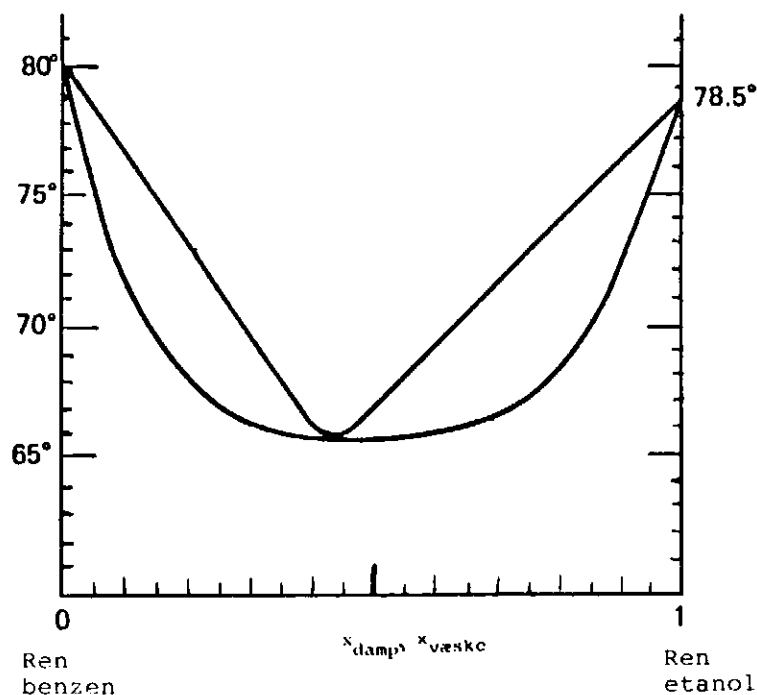
der k er Boltzmann's konstant og m er partikkelmassen.

- b) Finn også et uttrykk for $\langle v^{-1} \rangle$, den midlere inverse fart, for gasspartiklene.
- c) En beholder med volum V inneholder en ideell gass av partikler med masse m og med trykk p_0 . Volumet holdes på konstant temperatur T , bortsett fra et lite areal A på bunnen av beholderen som holdes på en meget lav temperatur. Anta at alle molekyler som treffer den kalde delen A kondenserer og ikke fordampes igjen, og beregn den tid t som forløper til trykket i beholder har avtatt til verdien p . Det forutsettes at gassen er i termisk likevekt ved temperatur T under prosessen.

Beregn den numeriske verdi av t , når gassen er vanndamp, $T = 300\text{K}$, $p_0 = 10\text{mm Hg}$, $p = 10^{-4}\text{mm Hg}$, $V = 1\ell$, og $A = 1\text{cm}^2$.

Oppgave 3

Fasediagrammet for gass-væske likevekt av en benzen-etanol blanding under atmosfæretrykk er vist i figuren. Temperaturene er angitt i $^{\circ}\text{C}$, og molbrøkene langs abscisseaksen er for etanol.



En væskeblanding av benzen og etanol med molbrøken av etanol lik 0,20 varmes opp i en lukket beholder (med stempel) under atmosfæretrykk.

- a) Ved hvilken temperatur T_1 koker blandingen? Hva er sammensetningen (x_1) i dampen når kokingen starter? Hvor høy må temperaturen (T_2) være før all væske er fordampet? Og hva er sammensetningen (x_2) i de siste væskedråpene?
- b) Anta at litt av den første dampen (når kokingen i punkt a begynner) hadde blitt tatt ut og kondensert til væske. Ved hvilken temperatur T_3 vil denne væsken begynne å koke?

Det forventes bare omtrentlige svar, basert på avlesning av diagrammet.

Oppgave 4

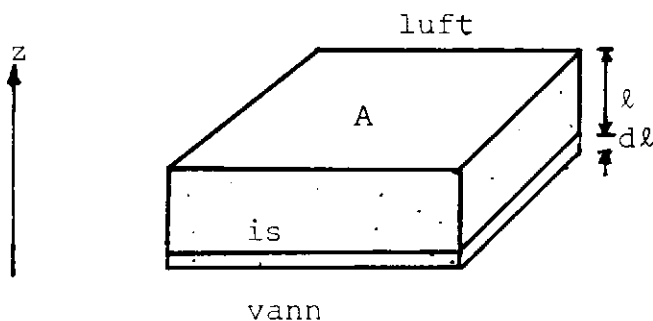
To identiske partikler med spinn 0 har to énpartikkeltilstander med energier $\epsilon_0 = 0$ og $\epsilon_1 = \epsilon$ tilgjengelige. Temperaturen er

$$T = \frac{\epsilon}{k \ln 2}, \text{ der } k \text{ er Boltzmanns konstant.}$$

- a) Beregn topartikkelsystemets midlere energi $\langle E \rangle_a$ (uttrykt ved ϵ).
- b) Hva blir middelenergien $\langle E \rangle_b$ dersom partiklene ikke er identiske?

Oppgave 5

En dag i desember kommer plutselig vinteren til Jonsvannet med konstant lufttemperatur $T_0 = -10^\circ\text{C}$. Vannet, hvis øverste lag har konstant temperatur $T_v = 0^\circ\text{C}$, begynner å fryse.



- a) Se på et areal A av isen (figur). Hvor stort varmemengde dQ (for dette arealet) må transporteres fra fryseseonen til lufta for at istykkelsen skal øke med beløpet dl ?
- b) Fryseprosessen starter ved tidspunkt t_0 . Frysingen går så langsomt at en kan regne temperaturfordelingen i isen som gitt av den stasjonære (tidsuavhengige) varmeledningslikningen. Hva er temperaturprofilen $T = T(z)$ gjennom isen når istykkelsen er l ?

Vis at istykkelsen l øker med tida t som

$$l = C \sqrt{t - t_0} ,$$

og finn et uttrykk for proporsjonalitetskonstanten C .

Det er oppgitt at is har varmeledningsevne κ og spesifikk smeltevarme (pr. vektenhet) l_{sm} . En ser bort fra volumutvidelsen ved frysing, og regner at både vann og is har samme egenvekt (vekt pr. volumenhet) ρ .

VEDLEGG

Noen av nedenforstående formler og konstanter kan vise seg nyttige.

Maxwells hastighetsfordeling: $f(v)dv = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-mv^2/2kT} 4\pi v^2 dv$

Ved gasstetthet n er antall støt mot vegg pr. tids- og flateenhet lik: $\frac{1}{4} n \langle v \rangle$

Termodynamiske potensialer:

$$H = U + pV$$

$$F = U - TS$$

$$G = U + pV - TS$$

En termodynamisk identitet:

$$dG = V dp - SdT + \sum_i \mu_i dN_i$$

Fourier's lov:

$$\vec{j} = -\kappa \nabla T$$

Varmeledningslikningen:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \nabla^2 T$$

Molekylvekt for H_2O er 18.

Avogadros tall:

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Boltzmanns konstant:

$$k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Gasskonstanten:

$$R = 8.31 \text{ J/K mol}$$

Plancks konstant:

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js.}$$