

UNIVERSITETET I TRONDHEIM
NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
GRUPPE FOR TEORETISK FYSIKK

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

EKSAMEN I FAG 74305 TERMISK FYSIKK
FAG 71011 TERMISK FYSIKK

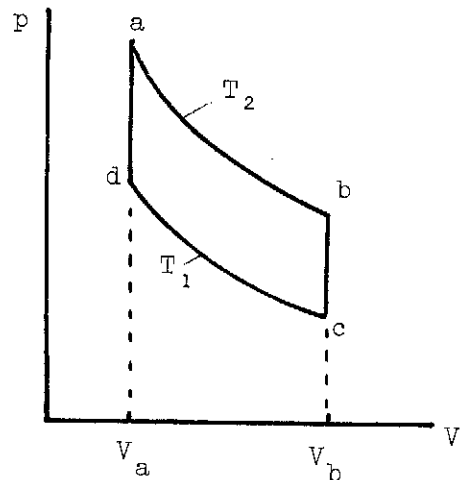
Lørdag 10.juni 1989
kl.0900 - 1500

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator
Rottmann: "Mathematische Formelsammlung"

Konstanter og formler som en kan få bruk for er gitt, for alle oppgaver samlet, i vedlegg.

Oppgave 1

En reversibel varmekraftmaskin, med n mol av en ideell gass som arbeidssubstans, arbeider på basis av en såkalt Stirlingprosess, skissert i figuren. Trimn a-b er en isoterm ekspansjon ved temperatur T_2 fra startvolum V_a til sluttvolum V_b , trimn b-c en isokor avkjøling til temperatur T_1 , trimn c-d en isoterm kompresjon og trimn d-a en isokor oppvarming. Gassens molare varmekapasitet C_{mV} er konstant.



a) Finn, for hvert av de fire trimn i prosessen, et uttrykk for det arbeid som gassen utfører, og for de varmemengder som utveksles.

b) Beregn differensen i gassens indre energi, mellom tilstand a og tilstand c.

- c) Gassen er toatomig med molar varmekapasitet $C_{mV} = 2.5 R$ i det temperaturintervall maskinen arbeider. I hvilke molekylære frihetsgrader vil termisk energi kunne lagres i dette tilfellet? Og hvilken verdi har adiabatkonstanten $\gamma = C_p/C_v$?
- d) Beregn for denne Stirling-prosessen den numeriske verdi av virkningsgraden η definert som forholdet mellom arbeidet pr. syklus og varmemengden som tilføres i trinnene d-a og a-b . Det er oppgitt at $V_b = 4V_a$ og $T_2 = 2T_1$.

Oppgave 2

Ved romtemperatur T_0 er en væske av stoff A i likevekt med sin egen damp ved trykket p_0 . Det tilsettes så litt gass B som ikke er oppløselig i væskefasen. Molbrøken av B i gassen er x_B , og gassen er en ideell blanding.

- a) Ved romtemperatur T_0 innstiller den nye likevekten seg ved trykket p . Skriv ned likevektsbetingelsen som bestemmer (foreløpig ikke eksplisitt) sammenhengen mellom p og x_B .
- b) For små x_B vil trykkendringen $\Delta p = p - p_0$ være liten, og vi kan utvikle til første orden i Δp . Beregn Δp for små x_B (stadig ved romtemperatur), uttrykt ved v_g og v_v , volum pr. partikkel av rent stoff A , henholdsvis i gass- og i væskefase.
- c) Hva blir den relative trykkendring $\Delta p/p_0$ når væskevolumet er neglisjerbart ($v_v \ll v_g$) og gassen er ideell?

Oppgave 3

Første eksiterte energinivå for helium ligger 19.82 eV over grunntilstanden og har degenerasjonsgrad 3. Grunntilstanden er ikke degenerert. Temperaturen er $T = 10\,000$ K.

Beregn forholdet f mellom det midlere antall atomer i første eksiterte nivå og i grunntilstanden.

Oppgave 4

- a) En gass med n partikler pr. volumenhet er i termisk likevekt. Vis at antall partikkelstøt mot beholderveggen, pr. tids- og flateenhet, er gitt ved

$$\frac{n}{4} \langle v \rangle ,$$

der $\langle v \rangle$ er middelfarten ved den herskende temperatur.

- b) Beregn v.h.a. Maxwells hastighetsfordeling $\langle v \rangle$ for partikler med masse m .
- c) For elektromagnetisk stråling i et volum V er strålingsenergien (fotongassens indre energi) i frekvensintervallet $(\nu, \nu+d\nu)$ lik

$$\frac{8\pi h}{c^3} V \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

Når det er et lite hull med areal A i veggen vil den utstrålte energi pr. tidsenhet være gitt ved $Auc/4$, der $u = U/V$ er energitettheten inne i volumet.

Forklar det, og vis at dette leder til

$$\frac{\text{utstrålt energi}}{\text{flate- og tidsenhet}} = \sigma T^4 ,$$

der σ er en konstant. Finn σ uttrykt ved naturkonstanter.

- d) En svart plan flate A som holdes på en konstant temperatur T_0 er parallell med en annen svart overflate B med konstant temperatur $\frac{1}{2}T_0$. Mellom A og B er det vakuum. For å redusere varmestrømmen p.g.a. stråling plasseres som varmeskjold en tynn varmeledende svart plate parallellt med og mellom de to ovennevnte flater. Etter en stund oppnås stasjonære forhold. Beregn hvilken reduksjon varmeskjoldet gir av den opprinnelige energistrømmen mellom overflatene A og B, og finn også hvilken stasjonær temperatur T_s varmeskjoldet har, uttrykt ved T_0 .

VEDLEGG

Noen av de nedenforstående uttrykk og konstanter kan vise seg nyttige

| | |
|-------------------------|---|
| Lyshastigheten i vakuum | $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ |
| Plancks konstant | $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ |
| Boltzmanns konstant | $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ |
| Gasskonstanten | $R = 8.31 \cdot \text{J/K mol}$ |
| Avogadros tall | $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ |

*

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1.0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

*

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15} \quad ; \quad \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\pi/\alpha}$$

*

Termodynamiske potensialer: $H = U + pV$

$$F = U - TS$$

$$G = U + pV - TS$$

*

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