.

NTNU **Institutt for fysikk**

Faglig kontakt under eksamen:
Professor Johan S. Høye
Telefon: 91839082

Eksamen i TFY4165/FY1005 Termisk Fysikk

Fredag 4. juni 2010
09:00–13:00

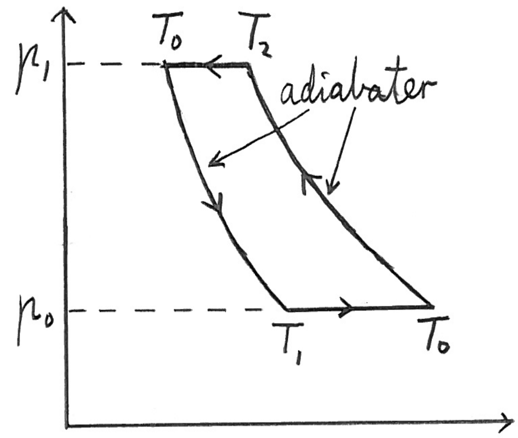
Tillatte hjelpemidler: Alternativ **C**
Typegodkjent kalkulator.
Rottman: *Matematisk formelsamling*

Sensurfrist: 25. juni.
(Hver av oppgavene 1, 2 og 3 teller like mye.)

Dette oppgavesettet er på 4 sider.

Oppgave 1

a)



Et mol av en ideell gass er komprimert til trykket p_1. Gassen har samme temperatur T_0 som omgivelsene. Gassen gjør så et arbeid ved å ekspandere adiabatisk til trykket er lik det utvendige trykket p_0 slik at temperaturen synker til T_1 som vist på figuren. Hva blir temperaturen T_1 når adiabatkonstanten er γ? Deretter varmes gassen opp igjen til temperaturen T_0 ved konstant trykk $p = p_0$.

Gassen med trykk p_0 og temperatur T_0 blir så komprimert adiabatisk tilbake til trykket p_1, og temperaturen stiger da til T_2 før gassen avkjøles til utgangspunktet. Hva blir temperaturen T_2?

b) Betrakt her og i punkt c) nedenfor temperaturen T_1 som kjent slik at svarene kan uttrykkes ved T_1 ved siden av størrelsene gitt under punkt a). Hvor mye varme Q opptas i alt ved den adiabatiske ekspansjonen til temperaturen T_1 med påfølgende oppvarming til temperaturen T_0, og hva er den tilsvarende endringen i indre energi ΔU ved denne prosessen i to trinn?

Hvor mye arbeid W_1 utfører gassen ved denne ekspansjonen i to trinn mellom punktene med samme temperatur T_0?

c) Ved ekspansjonen i to trinn vil det utvendige trykket p_0 gjøre en del W_0 (< 0) av arbeidet. Hva blir nettoarbeidet $W_{1n} = W_1 + W_0$ når adiabatkonstanten er $\gamma = 1,4$, gasskonstanten $R = 8,314\,\mathrm{J/K{\cdot}mol}$, $p_1 = 2\,p_0$, $T_0 = 20°\mathrm{C}$ og $T_1 = 240\,\mathrm{K}$?

Ved oppvarmingen mellom temperaturene T_1 og T_0 blir hele arbeidet brukt mot trykket p_0 fra omgivelsene slik at netto arbeid blir lik 0 for dette arbeidstrinnet. Men temperaturdifferensen kan benyttes til å gjøre ekstra arbeid. Hva er maksimalt netto arbeid W_{max} som kan utføres mellom temperaturene T_1 og T_0? [Hint: Benytt oppgitt uttrykk for maksimalt nyttbart arbeid.]

Oppgitt: $pV = RT$, $pV^\gamma = \text{konst}$, $\gamma = C_p/C_V$, $C_p = C_V + R = \gamma R/(\gamma - 1)$,
$W_{max} = T_0 \Delta S - \Delta U - p_0 \Delta V$ (eksergi eller maksimalt arbeid),
$S = C_p \ln T - R \ln p + \text{konst}$ (entropi for ideell gass).

Oppgave 2

a) Claypeyrons likning for metningstrykket til damp er gitt ved

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V}.$$

Hva er ΔS og ΔV i denne likningen?

Ved fordamping fra væske eller fast stoff er metningstrykket p i god tilnærmelse gitt ved uttrykket

$$p = K \exp\left(-\frac{L}{RT}\right).$$

Vis ved innsetting at dette uttrykket for p oppfyller Clapeyrons likning når tettheten av dampen er lav og fordampingsvarmen kan betraktes som konstant.

b) Når luft varmes opp synker relativ fuktighet. Betrakt luft som er mettet med vanndamp med trykk p_1 ved temperaturen $T_1 = -10°$ C. Denne lufta varmes opp til $T_2 = 20°$ C ved konstant lufttrykk. Hva blir relativ fuktighet p_1/p_2 der p_2 er metningstrykket ved 20° C, når fordampingsvarmen for vann nær 0° C er 45,0 kJ/mol, smeltevarmen for is er 6,0 kJ/mol og R=8,314 J/K·mol? [Hint: Sett opp separate likninger for metningstrykket under og over frysepunktet til vann.]

c) En gass følger van der Waals tilstandslikning

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}.$$

Bestem isoterm kompressibilitet og kubisk utvidelseskoeffisient, som er henholdsvis

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

for denne gassen. [Hint: Differensier uttrykket for p.]

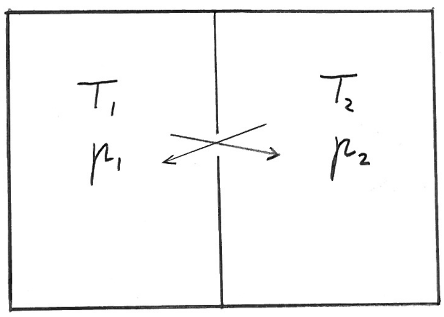
Oppgave 3

a) Partikler i en gass med lav tetthet strømmer mot en liten åpning i en vegg. For å beregne den totale partikkelstrømtettheten ut gjennom åpningen (en vei) betrakter en først partikler med hastighet $\mathbf{v}$ innenfor et volumelement $d\mathbf{v}$ i hastighetsrommet. Med flatenormal langs z-aksen gir dette et bidrag

$$dj_z = v\cos\theta\, nF(v)\, d\mathbf{v}$$

til partikkelstrømtettheten j_z i z-retningen ut gjennom åpningen. Her er n partikkeltetttheten, $F(\mathbf{v})$ er hastighetsfordelingen og θ er vinkelen hastigheten danner med z-aksen. Vis at uttrykket for den totale partikkelstrømtettheten j_z er gitt ved $j_z = cn\langle v\rangle$, og bestem med det koeffisienten c når hastighetsfordelingen er kulesymmetrisk slik at $F(\mathbf{v}) \to F(v)$ $(v = |\mathbf{v}|)$.

b)



Angi (uten å utføre beregning) hvordan midlere hastighet $\langle v\rangle$ varierer med temperaturen for en gass i termisk likevekt.

To beholdere med en fortynnet gass er adskilt med en vegg med et lite hull der partikler kan passere. (Dvs. at bredden og høyden på hullet er mye mindre enn midlere veilengde mellom partikkelkollisjoner.) Det er forskjellige temperaturer T_1 og T_2 på de to sidene av veggen. Partikler vil strømme begge veier gjennom dette hullet, og etter en tid vil det bli en stasjonær tilstand med trykk p_1 på den ene siden og trykk p_2 på den andre siden. Hva blir p_2 ved stasjonær tilstand når p_1, T_1 og T_2 er gitt?

c) En kuleformet satelitt med radius R avkjøles ved utstråling til verdensrommet (som har temperatur nær $0\,\mathrm{K}$). Anta nå at satelitten er så langt vekk fra sola at en kan se bort fra innstråling fra denne. Hva er total utstrålt effekt P (energi pr. tidsenhet) dersom den stråler som en svart stråler med temperatur $T = 10^\circ\,\mathrm{C}$ og radien er $R = 5,0\,\mathrm{dm}$?

Uten indre varmekilde vil satelitten avkjøles. Anta at den har konstant varmekapasitet C, og at temperaturen innenfor overflaten til forenkling er som på overflaten til enhver tid. Sett opp differensiallikningen som bestemmer overflatetemperaturen $T = T(t)$ som funksjon av tiden t.

Oppgitt: $d\mathbf{v} = v^2 \sin\theta\, d\phi d\theta dv, \quad d\mathbf{v} = 4\pi v^2\, dv, \quad pV = NkT,$
$j = \sigma T^4, \quad \sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{W/(m^2K^4)}.$