FY1005/TFY4165 Termisk fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Våren 2014.

Veiledning: 31. mars og 3. april. Innleveringsfrist: Fredag 4. april kl 16.

Øving 12

Oppgave 1. Varmeskjold

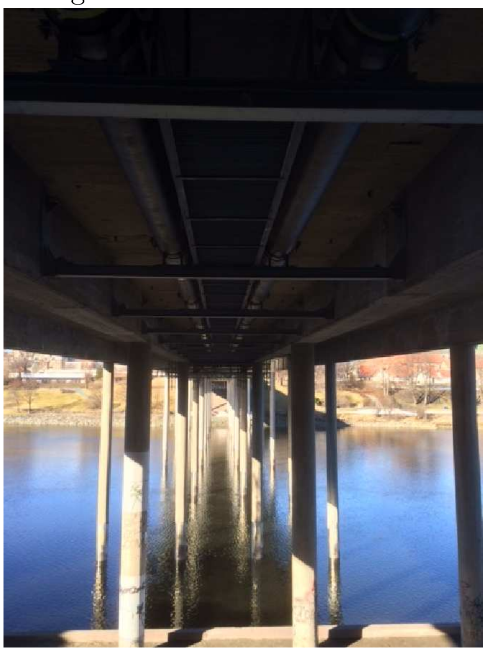
En svart overflate som holdes på konstant (høy) temperatur T_N er parallell med en annen svart overflate med konstant temperatur T_0. Det er vakuum mellom platene.
For å redusere varmestrømmen på grunn av stråling innføres et varmeskjold som består av $N-1$ parallelle svarte plan som plasseres mellom den kalde og varme overflaten. Etter en stund oppnås stasjonære forhold. Beregn hvilken reduksjon av energistrømmen mellom overflatene T_N og T_0 varmeskjoldet gir.
(Svar: $1/N$)

Oppgave 2. Kokte poteter

Poteter av en viss størrelse trenger 25 minutter for å koke ferdig. Anta at poteter er kokt ferdig når temperaturen i midten overstiger en viss verdi. Hvor lang tid trengs da for å koke ferdig poteter av samme type og samme form, men som er dobbelt så tunge?
(Svar: 40 min)

Oppgave 3. Fjernvarmeanlegg

På Tiller produseres varme ved forbrenning av avfall. Årlig energiproduksjon er 600 GWh. Varmen distribueres til kunder i Trondheim og Klæbu ved hjelp av varmt vann som strømmer gjennom isoporisolerte rør. Rørene ligger stort sett under bakken men går åpent under Elgesæter bro:

a) Hvor stor (gjennomsnittlig) effekt leverer fjernvarmeanlegget? Dersom den produserte varmen benyttes til å heve temperaturen i vann fra 15 til 95°C, hvor mye vann kan da passere gjennom anlegget på Tiller pr tidsenhet? (Varmekapasiteten til vann er $c = 1$ cal/g K, dvs 4184 J/kg K.) Anta at dette vannet sirkulerer i to hovedsløyfer, en til Trondheim og en til Klæbu, begge med sirkulære rør med (indre) diameter $d_2 = 25$ cm. Vis at strømningshastigheten da er begrenset til (ca) $v = 2$ m/s.

b) Anta at rørene er isolert med et 5 cm tykt isoporlag, slik at ytre diameter er $d_1 = 35$ cm. Vis at varme avgitt pr tidsenhet, og pr lengdeenhet av røret, i avstand z fra fjernvarmeanlegget, er gitt ved

$$j(z) = \frac{dQ/dt}{L} = \frac{2\pi\kappa[T(z) - T_0]}{\ln(d_1/d_2)}.$$

Her er $\kappa = 0.035$ W/m K varmeledningsevnen til isopor, T_0 er temperaturen i bakken omkring røret (antatt konstant), og $T(z)$ er vannets temperatur i avstand z fra anlegget. (Vi antar for enkelhets skyld at temperaturen er konstant over det indre rørets tverrsnitt.)

c) På grunn av varmetapet vil temperaturen i vannet falle. "Stasjonære forhold" betyr her konstant temperatur $T(z)$ i en gitt avstand z fra anlegget. Følger vi en gitt vannmengde, derimot, avtar temperaturen med tiden t. Kjenner vi vannets hastighet $v = dz/dt$, kan $T(t)$ for en gitt vannmengde enkelt "oversettes" til den stasjonære $T(z)$. Vis at $j(z)$ kan skrives som

$$j(z) = -\frac{1}{4}\, c\rho\pi d_2^2 v\, \frac{dT}{dz}.$$

Her er $\rho = 10^3$ kg/m^3 massetettheten til vann, og andre størrelser er definert tidligere.

d) Kombineres de to uttrykkene for $j(z)$, blir resultatet en differensialligning for $T(z)$, med løsning

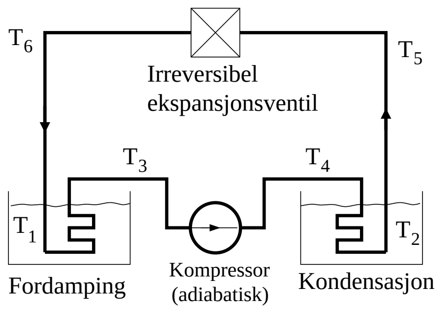
$$T(z) = T_0 + [T(0) - T_0]\, e^{-\beta z}.$$

Vis dette, og vis dermed at

$$\beta = \frac{8\kappa}{c\rho d_2^2 v \ln(d_1/d_2)}.$$

e) Anta at temperaturen nede i bakken ikke blir lavere enn $T_0 = 0$°C. Anta videre at temperaturen i vannet ikke skal falle med mer enn 5°C over en avstand $z = 10$ km. Hvor stor må da strømningshastigheten v minst være?

Oppgave 4. Flervalgsoppgaver



"Systemet" i varmepumpa (evt kjøleskapet) til venstre er et "kjølefluid" som sirkulerer i rørsystemet og veksler mellom å være i væskeform og gassform. Varmereservoarene er angitt med temperaturene T_1 (kaldt) og $T_2 > T_1$ (varmt). Oppgavene a og b er knyttet til denne figuren.

---

a) Hvor avgir og/eller mottar systemet varme fra omgivelsene?

A) Avgir ved T_2 og mottar ved T_1.

B) Avgir ved T_2 og avgir ved T_1.

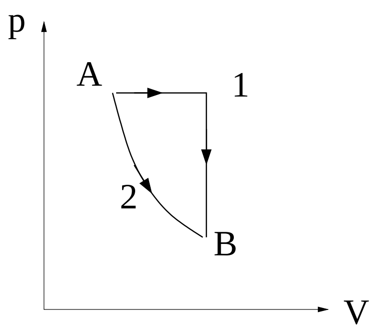
C) Mottar ved T_2 og mottar ved T_1.

D) Mottar ved T_2 og avgir ved T_1.

b) Ranger temperaturene T_1, T_2, T_4 og T_6. (Du kan anta at $T_3 \simeq T_1$ og at $T_5 \simeq T_2$.)

A) $T_1 > T_2 > T_4 > T_6$ B) $T_6 > T_4 > T_2 > T_1$

C) $T_2 > T_1 > T_6 > T_4$ D) $T_4 > T_2 > T_1 > T_6$



c) Et system kan bringes reversibelt fra tilstand A til tilstand B på to ulike måter: Ved hjelp av en kombinasjon av en isobar og en isokor prosess (1) eller via en isoterm prosess (2). Systemets entropiendring er S_1 for prosess 1 og S_2 for prosess 2. Da er

A) $S_1 = S_2$
B) $S_1 > S_2$
C) $S_1 < S_2$
D) det ikke mulig å uttale seg om S_1 i forhold til S_2.

---

d) To mol ideell gass er innestengt i en varmeisolert beholder med volum 10 L. En vegg fjernes hurtig, slik at gassen utvider seg isotermt (og irreversibelt), til et volum 25 L. Hva blir endringen ΔS i gassens entropi? (Oppgitt: Isoterm entropiendring er $dS = (\partial p/\partial T)_V \, dV$)

A) $\Delta S = 15.2$ J/K B) $\Delta S = 0.3$ J/K

C) $\Delta S = -0.6$ J/K D) $\Delta S = 44$ J/K

---

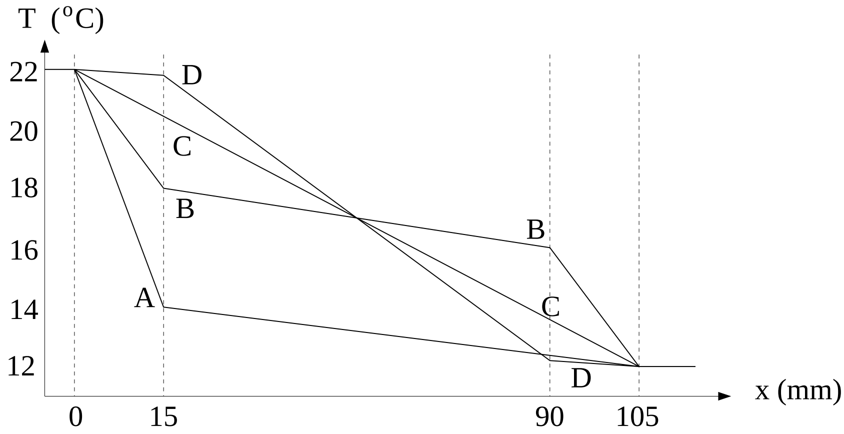
e) Planeten Mars har en atmosfære som gir et gjennomsnittlig trykk ved overflaten på beskjedne 600 Pa, like i underkant av damptrykket ved vannets trippelpunkt. Hvor ville du da kunne ha håp om å finne vann i flytende form (dvs væskefase) på planeten Mars?

A) I dype kratere. B) På høye fjell. C) Overalt. D) Ingen steder.

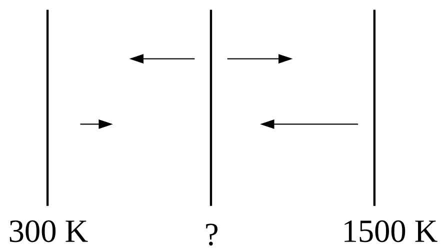
---

f) Mandag morgen var det stille klarvær og omkring null grader. Naboens bil stod parkert ganske tett inntil sideveggen på vår garasje, og jeg observerte med interesse at bilrutene som vendte mot garasjeveggen var praktisk talt uten rim og is. Rutene på de resterende tre sidene måtte naboen belage seg på å skrape før avreise til jobb. Hvordan vil du forklare at bilens ene side hadde rimfrie ruter?

A) Garasjeveggen har høyere temperatur enn den klare nattehimmelens effektive temperatur.
B) Luftas partialtrykk av vanndamp må ha ligget et sted mellom metningstrykket ved null grader og metningstrykket ved temperaturen til de isdekte rutene.
C) Forklaringen involverer bruk av Clapeyrons ligning.
D) Både A, B og C inngår i en fullgod forklaring.



g) En vegg mellom ei stue og et soverom har 15 mm tykke gipsplater på begge sider av et 75 mm tykt lag med glassvatt ("glava"). Gipsplater isolerer godt mot *lyd* og hemmer spredning av brann, men isolerer *dårlig* mot varmeledning: $\kappa_{\text{gips}} = 0.25$ W/m K, mens $\kappa_{\text{glava}} = 0.035$ W/m K. Hvilken kurve viser da korrekt temperaturprofil gjennom veggen ved stasjonære (dvs tidsuavhengige) forhold og stuetemperatur (for $x < 0$) og soveromstemperatur (for $x > 105$ mm) hhv 22°C og 12°C?



h) To (tilnærmet uendelig) store parallelle metallplater holdes på fast temperatur hhv 300 K og 1500 K. (Disse platene kan med andre ord betraktes som to varmereservoarer.) En tredje metallplate settes inn mellom disse, som vist i figuren. Alle platene kan betraktes som perfekt svarte legemer som emitterer elektromagnetisk stråling ("varmestråling") i begge retninger. Det er vakuum i rommet mellom platene. Når stasjonære (dvs tidsuavhengige) forhold er etablert, hva er temperaturen på den midterste platen?

A) 612 K B) 900 K C) 1262 K D) 1488 K
