**FY1005/TFY4165 Termisk fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Våren 2013.**
Veiledning: 1. og 4. mars. Innleveringsfrist: Onsdag 6. mars kl 14.

Øving 7

## Oppgave 1

En kasserolle med 1.0 L vann skal varmes opp fra 20°C til 100°C ved ulike prosesser. Varmekapasiteten til vann er $c_p = 1.0\,\mathrm{cal/(g\,K)} = 4.184\,\mathrm{kJ/kg\,K}$. Du kan se bort fra varmekapasiteten til kasserollen.
*a*) Kasserollen plasseres på en varmeplate (varmereservoar) som holdes konstant på 100°C, og det hele kommer til likevekt.
i) Beregn entropiendringen til omgivelsene (varmeplata). (Ett av disse er riktig: -1.23 kJ/K; -0.90 kJ/K; +0.90 kJ/K.)
ii) Beregn entropiendringen i vannet. (Ett av disse er riktig: 1.01 kJ/K; 0.90 kJ/K; 0.11 kJ/K.)
iii) Beregn total entropiendring. (Ett av disse er riktig: 1.01 kJ/K; 0.90 kJ/K; 0.11 kJ/K.)

*b*) Oppvarmingen gjøres nå i to trinn: Først plasseres kasserollen på en varmeplate som holder 50°C, og vannet når denne temperaturen. Deretter plasseres kasserollen på plata som holder 100°C, og likevekt oppnås der. Beregn entropiendringer, som under punktene i), ii) og iii) ovenfor, for den totale prosessen. (På iii) er ett av disse riktig: 110 J/K; 60 J/K; 0 J/K.)

*c*) Oppvarmingen gjøres nå i uendelig mange infinitesimale trinn: Kasserollen plasseres på varmeplater som er trinnvis varmere, f.eks 20°C, 20.1°C, 20.2°C osv til 100°C, med stadig finere oppdeling.
Forklar hvorfor dette er en reversibel prosess.
Beregn også her, som under punktene i), ii) og iii) ovenfor, entropiendringer for den totale prosessen. (På ii) er ett av disse riktig: 1.01 kJ/K; 0.90 kJ/K; 0.11 kJ/K.)

## Oppgave 2

Kjøleskap kan merkelig nok fungere uten at det tilføres arbeid via en kompressor. Oppvarming med f.eks en liten propanflamme gir den ønskede avkjølingen.

[Grovt skissert er virkemåten denne: $NH_3$ (ammoniakk) drives ut av en vannløsning med varmetilførsel (ved temperaturen $T_2$, se nedenfor). Den avkjøles så slik at den kondenserer til væske (temperatur $T_0$). Denne væsken renner så ut i en krets med $H_2$ (hydrogengass). Der fordamper $NH_3$ ved lavt partialtrykk mens $H_2$ sørger for at totaltrykket beholdes. Denne fordampingen gir kjølevirkningen (temperatur $T_1$). Deretter blir $NH_3$ absorbert i vannet som i mellomtiden er blitt avkjølt (temperatur $T_0$). Så starter en ny syklus med oppvarming. Vannet og $NH_3$ har strømmet i hver sin krets etter at de ble separert ved oppvarmingen for så å møtes igjen i absorbatoren. $H_2$ fra $H_2$-kretsen blir hindret fra å komme ut i vann- og $NH_3$-kretsene med "vannlåser" av henholdvis vann og flytende $NH_3$, på samme vis som vond lukt blir hindret fra å komme ut fra kloakkanlegg.]

Anta at kjølesystemet tilføres en varmemengde $Q_2$ fra varmekilden ved temperaturen $T_2$. Samtidig absorberer eller tilføres kjølesystemet også varmemengden $Q_1$ fra det indre av kjøleskapet ved temperaturen $T_1$. Den tilførte varmen blir så avgitt til omgivelsene som har temperaturen $T_0$. For et slikt kjøleskap er derfor $T_2 > T_0 > T_1$. Den aktuelle virkningsgraden for et slikt kjøleskap vil være forholdet $\nu = Q_1/Q_2$. Hva er den teoretisk sett maksimale verdien virkningsgraden $\nu$ kan ha? [Hint: Betrakt entropi for reversibel prosess eller la en Carnot-maskin mellom temperaturene $T_2$ og $T_0$ drive en kjølemaskin mellom temperaturene $T_1$ og $T_0$.]

### Oppgave 3

I kapittel 4.8 i boka (PCH) er loppebefengte hunder brukt for å illustrere det såkalte irreversibilitetsparadokset, dvs at fysikken på mikroskopisk nivå er tidsinvariant, mens på makronivå har tida en bestemt retning. I denne oppgaven skal du lage et program som reproduserer resultatene i kapittel 4.8, dvs et program som simulerer tidsutviklingen av loppeantallet på to hunder. Forutsetningene er som følger: Når hundene møtes, er det $N$ lopper på hund A og ingen på hund B. Med jevne mellomrom, f.eks hvert sekund, hopper *en* tilfeldig valgt loppe fra den ene hunden til den andre. Skriv programmet slik at du kan plotte tidsutviklingen $N_A(t)$ av antall lopper på hund A [og/eller antall lopper på hund B, $N_B(t) = N - N_A(t)$]. Illustrer den kvalitative forskjellen på tidsutviklingen av loppefordelingen mellom de to hundene når antall lopper er lite og når det er stort. I boka er det valgt hhv $N = 6$ og $N = 20000$. Prøv gjerne flere verdier av $N$. Sammenlign med det analytiske resultatet

$$N_A(t) = \frac{N}{2}\left(1 + e^{-2ct}\right)$$

som framkommer ved å anta et essensielt kontinuerlig loppeantall, og at "hopperaten" *fra* en gitt hund er proporsjonal med hvor mange lopper som befinner seg på denne hunden (se boka). Hvorfor er $c = 1/N$ et fornuftig valg dersom tidssteget $\Delta t$ settes lik 1?

Bruk ditt numeriske favorittverktøy, men gjerne MATLAB/Octave hvis du trenger hjelp av en studass. Noen MATLAB-tips:

- Funksjonen `randi` genererer tilfeldige heltall. Med

  ```
  hopper = randi([1,N],[NT,1]);
  ```

  genereres en tabell med `NT` tilfeldige heltall med verdi mellom 1 og `N`.

- Hvis vi lar `loppested=1` tilsvare at en gitt loppe befinner seg på hund A, og `loppested=0` at den er på hund B, vil disse linjene teste om loppen som skal hoppe i tidssteg nummer `i` er på hund A, samt endre sted til hund B og oppdatere antall lopper på hver av de to hundene dersom så er tilfelle:

  ```
  if loppested(hopper(i)) == 1
     loppested(hopper(i)) = 0;
     NB(i)=NB(i-1)+1;
     NA(i)=NA(i-1)-1;
  else
  ...
  ```

- Med et middels stort antall lopper bør du ende opp med noe a la dette: