FY1005/TFY4165 Termisk fysikk. Institutt for fysikk, NTNU. Våren 2014.
Veiledning: 17. og 20. februar. Innleveringsfrist: Fredag 21. februar kl 16.

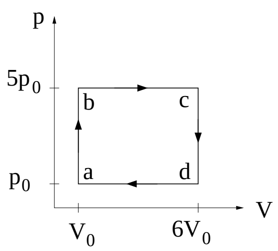
Øving 6

Oppgave 1. Oppvarming

---

a) Et ideelt "Carnot-kjøleskap" holder konstant temperatur 4°C ("lavtemperaturreservoaret") i et kjellerrom der temperaturen er 13°C ("høytemperaturreservoaret"). Hva er kjøleskapets effektfaktor, dvs forholdet mellom varmen som trekkes ut av kjøleskapet og arbeidet som kjøleskapets motor må utføre? (Tips: For syklisk reversibel prosess er $\Delta S = 0$ og $\Delta U = 0$.)

A) Ca 0.55 B) Ca 1.4 C) Ca 11 D) Ca 31



b) Figuren viser en kretsprosess for et mol ideell gass, med $p_0 = 1$ atm og $V_0 = 5$ L. Omlag hvor stort arbeid utfører gassen pr syklus?

A) 10 J B) 40 J
C) 10 kJ D) 40 kJ

---

c) Ranger temperaturene i de fire hjørnene av kretsprosessen i oppgave *b*.

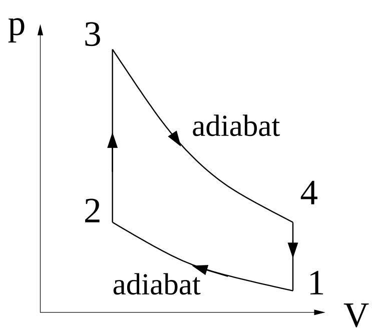
A) $T_a < T_b < T_c < T_d$ B) $T_a < T_b < T_d < T_c$

C) $T_a < T_d < T_b < T_c$ D) $T_a < T_b = T_d < T_c$

---

d) Dersom gassen i oppgave *b* hadde ekspandert isotermt fra tilstand *b* til en tilstand med trykk p_0, og deretter blitt komprimert ved konstant trykk tilbake til tilstand *a* og så varmet opp ved konstant volum til tilstand *b* osv, omtrent hvor stort arbeid ville gassen da ha utført pr syklus?

A) 2.0 J B) 6.5 J C) 2.0 kJ D) 6.5 kJ



e) Figuren viser en Otto–syklus, dvs en reversibel idealisering av en 4–takts bensinmotor. Temperaturen i hjørnene 1 – 4 er hhv $T_1 - T_4$. Hva kan du si om virkningsgraden η_O til denne prosessen, i forhold til størrelsen $1 - T_1/T_3$? (Tips: T_1 og T_3 er hhv prosessens minimale og maksimale temperatur.)

A) $\eta_O < 1 - T_1/T_3$ B) $\eta_O > 1 - T_1/T_3$
C) $\eta_O = 1 - T_1/T_3$ D) $\eta_O = \sqrt{1 - T_1/T_3}$

---

f) Bensin/luft–blandingen i oppgave e har varmekapasitet C_V (ved konstant volum). Hva blir da arbeidet utført av bensin/luft–blandingen pr syklus av Otto–prosessen?

A) $C_V(T_4 - T_2)$ B) $C_V(T_3 - T_1)$
C) $C_V(T_1 - T_2 + T_3 - T_4)$ D) $C_V(T_4 + T_3 - T_2 - T_1)$

---

g) "Trinn nr 1" i Carnotprosessen er en isoterm utvidelse. Dersom arbeidssubstansen er en ideell gass, er det da ingen endring i indre energi (siden $U = U(T)$), og $Q = W$, dvs tilført varme Q omsettes i sin helhet i arbeid W. Er ikke dette i strid med termodynamikkens 2. lov?

A) Jo, prosessen er ikke mulig.
B) Nei, omdanning av varme til arbeid er ikke det eneste som skjer i prosessen.
C) Jo, 2. lov gjelder ikke.
D) Nei, 2. lov kan ikke anvendes for ideell gass.

Oppgave 2. Otto–prosessen

Regn ut virkningsgraden η_O for Otto–prosessen i oppgave 1e. Anta reversible prosesser, ideell gass som arbeidssubstans, og konstante varmekapasiteter. Vis at virkningsgraden kan uttrykkes ved hjelp av *kompresjonsforholdet* $\kappa = V_2/V_1$, som $\eta_O = 1 - \kappa^{1-\gamma}$, der $\gamma = C_p/C_V$ (adiabatkonstanten). Her er V_2 og $V_1 < V_2$ gassens volum i de to isokore delprosessene (hhv $4 \to 1$ og $2 \to 3$). Varme tilføres ved V_1 og avgis ved V_2.

Oppgave 3. Absorpsjonskjøleskapet

Absorpsjonskjøleskapet ble oppfunnet i 1922 av de to svenske ingeniørstudentene Baltzar von Platen og Carl Munters. (Prinsippet var kjent mye tidligere.) I motsetning til det mer alminnelige kompressorkjøleskapet fungerer absorpsjonskjøleskapet uten motor og tilførsel av arbeid. Oppvarming med f.eks en liten propanflamme gir den ønskede avkjølingen. I denne oppgaven skal vi bestemme teoretisk virkningsgrad for et absorpsjonskjøleskap.

La oss imidlertid først skissere virkemåten (se figur neste side):
Ammoniakk (NH_3) drives ut av en vannløsning med varmetilførsel (i generatoren, ved temperaturen T_3). Noe vann blir med, men dette renner tilbake fra separatoren til absorbatoren, mens ammoniakkgassen stiger videre. Ved hjelp av god termisk kontakt til omgivelsene avkjøles ammoniakkgassen slik at den kondenserer til væske (ved temperatur T_2). Denne væsken renner så ut i en krets der det også sirkulerer hydrogengass (H_2). Her fordamper NH_3 ved lavt partialtrykk, mens H_2 sørger for at totaltrykket opprettholdes. Det er nettopp denne fordampingen som gir kjølevirkningen (inni kjøleskapet, ved temperatur T_1). Deretter blir NH_3 absorbert i vannet (i absorbatoren), som i mellomtiden er blitt avkjølt (til omgivende temperatur T_2). Til slutt renner vann-ammoniakk-løsningen tilbake til generatoren, hvoretter en ny syklus kan starte, med oppvarming fra propanflammen. Vann og ammoniakk har altså strømmet i hver sin krets etter at de ble separert ved oppvarmingen for så å møtes igjen i absorbatoren. Hydrogengass blir hindret fra å komme ut i vann/ammoniakk-kretsene med vannlåser, på samme vis som vond lukt blir hindret fra å komme ut av et kloakkanlegg.

Nå til selve oppgaven:

Anta at kjølesystemet tilføres en varmemengde Q_3 fra varmekilden ved temperaturen T_3. Samtidig tilføres kjølesystemet også varmemengden Q_1 fra det indre av kjøleskapet ved temperaturen T_1. Energibevarelse for kretsprosessen innebærer at den tilførte varmen må avgis til omgivelsene som har temperaturen T_2. For et slikt kjøleskap er derfor $T_3 > T_2 > T_1$. Den aktuelle virkningsgraden vil være forholdet $\varepsilon_K = Q_1/Q_3$, siden Q_1 representerer "nytten" (varmen fjernet fra kjøleskapet) mens Q_3 representerer "kostnaden" (varmen tilført med propanflammen). Vis at den teoretisk sett maksimale virkningsgraden er

$$\varepsilon_K = \frac{T_1(T_3 - T_2)}{T_3(T_2 - T_1)}.$$

Hint: Anta at kretsprosessen er reversibel, slik at total entropi (for system og omgivelser) ikke endrer seg pr syklus. (Alternativt kan du betrakte et slikt kjøleskap som en Carnotmaskin som opererer mellom temperaturene T_3 og T_2, og som driver en kjølemaskin som opererer mellom temperaturene T_1 og T_2.)

Bestem tallverdi for ε_K med temperaturverdiene $T_1 = 277$ K, $T_2 = 293$ K og $T_3 = 373$ K.