FYSA2041 kevät 2024

Harjoitus 1

Palauta ratkaisu ke 17.1.2024 klo 8:15 mennessä, jos et osallistu demotilaisuuteen. Palautus joko Moodleen, Matin työhuoneelle, sähköpostilla Matille, tai suoraan Matille viikon ensimmäisen demotilaisuuden alussa.

Demo 1

Return solutions by Wednesday 17.1.2024, if you are not attending the demo session. Returns to Moodle, Matti's office, email to Matti, or directly to Matti before the first demo session of the week.

Questions in English are in the end of this sheet.

1. Muutamia keskusteluaiheita.
   (a) Miksi hyvän lämpömittarin ominaisuuksia ovat:
      - lämpötilan mukaan muuttuva havaittava ominaisuus
      - pieni lämpökapasiteetti
      - kyky saavuttaa nopeasti terminen tasapaino ympäristönsä kanssa
      - toistettavuus; sama lukema samoissa olosuhteissa
      - laaja lämpötila-alue

   (b) Joule teki kokeita mitatakseen lämmön mekaanisen ekvivalentin. Kokeessa painot laskeutuessaan pyörittävät siipiä, jotka vatkaavat hyvin eristetyssä kalorimetrissa olevaa vettä ja tekevät työtä veden viskositeettia vastaan. Havaitaan, että veden lämpötila nousee. Painojen energia pienenee, joten energian säilymislain mukaan energiaa menee jonnekin: minne? Tästä tullaan *sisäenergian* käsitteeseen. Saman voi tehdä asettamalla veteen vastus ja johtamalla sen läpi virtaa. Tai voi käyttää näiden kahden menetelmän yhdistelmää tai jotain aivan muuta tapaa. Tapa jolla työ tehdään on merkityksetön, lopussa ollaan täsmälleen samassa tasapainotilassa (sama lämpötila). Riippuuko sisäenergia tavasta jolla tilaan on tultu?

2. Ideaalikaasulle on todettu, että $PV = aT$, missä a on jokin vakio. Miksi a:n on oltava ekstensiivinen? Mistä ekstensiivisistä suureista a voi riippua?

3. Otetaan kaksi samaa ainetta olevaa kappaletta, jotka on eristetty muusta ympäristöstä. Toisen lämpötila on $T_1 = 320\,\mathrm{K}$, toisen $T_2 = 280\,\mathrm{K}$. Kappaleilla on sama lämpökapasiteetti C_V. Kappaleet pannaan termiseen kontaktiin, oletetaan ettei kappaleiden tilavuus muutu.
   (a) Mikä on kappaleiden lämpötila termisessä tasapainossa?
   (b) Onko kappaleilla sama massa?
   (c) Paljonko entropia muuttui? Jos kappaleen lämpökapasiteetti on vakio C_V, niin entropian muutos saadaan kaavasta
   $$\Delta S = \int_{T_a}^{T_b} \frac{C_V dT}{T} \ ,$$
   kun kappaleen lämpötila muuttuu arvosta T_a arvoon T_b.
   (d) Laske entropiaero olettaen, että aine on 1 kg vettä ($C_V = 4186\,\mathrm{J/K}$).

4. Ideaalikaasu, jonka tilayhtälö on $PV = Nk_BT$, käy läpi seuraavan kiertoprosessin:
   1: Adiabaattinen laajeneminen alkutilasta $2^{5/3}P_0, \frac{1}{2}V_0$ tilaan P_0, V_0. Adiabaattisessa prosessissa ei siirry lämpöä, myöhemmin luennoilla osoitetaan, että ideaalikaasulle pätee silloin $PV^{5/3}$ =vakio.
   2: Isoterminen (T on vakio) supistuminen tilasta P_0, V_0 tilavuuteen $V_0/2$

3: Isokoorinen (V vakio) muutos takaisin alkutilaan.

Piirrä kiertoprosessi (V, P)- ja (T, P)-tasoissa. Käyttäen hyväksi tietoa, että yksiatomisen ideaalikaasun sisäenergia on $E = \frac{3}{2}Nk_BT = \frac{3}{2}PV$, laske prosessin kunkin vaiheen

(a) Systeemiin tehty työ

(b) Sisäenergian muutos ja

(c) Systeemiin siirtynyt lämpö (energian säilymistä käyttäen).

Työ lasketaan seuraavasti: jos prosessissa paineen riippuvuus tilavuudesta on $P(V)$, ja tilavuus muuttuu arvosta V_a arvoon V_b, niin tehty työ on

$$W = -\int_{V_a}^{V_b} P dV \ .$$

Käytä edellä saamiasi käyrän osien yhtälöitä $P(V)$ ja laske työt integraaleista.

Some topics for discussion:

1. (a) Why should a good thermometer have these properties:
   - some observable property that varies with temperature
   - small heat capacity
   - ability to rapidly reach thermal equilibrium with its environment
   - reproducibility; same reading in same conditions
   - a broad range of temperatures

   (b) Joule did experiments to measure the mechanical equivalent of heat. In his experiments weights, as they lowered, rotated wings that moved water in a well isolated calorimeter and did work agains the viscocity of water. The observation is that the temperature of water increases. The energy of the weights reduces, so according to the law of energy concervations the energy must go somewhere: where? We end up with the concept of *internal energy.* To the same effect, we can put a resistor in water and put current through it. Or, we can use a combination of the two methods or use an entirely different method. How the work is done is irrelevant, in the end we are exactly in the same equilibrium state (same temperature). Does internal energy depend on how the state is reached ?

2. One has determined that ideal gas obeys the equation of state $PV = aT$, where a is a constant. Why must a be extensive? What extensive quantities a can contain?

3. Take two bodies made of same material and insulated from the surroundings. The temperature of one body is $T_1 = 320$ K, the other one has $T_2 = 280$ K. The bodies have the same heat capacity C_V. The bodies are put to thermal contact, assuming their volume is not changing.

   (a) What is the temperature of the bodies in thermal equilibrium?

   (b) Do the bodies have the same mass?

   (c) How much did entropy change? Entropy change of a body with heat capacity is constant C_V is calculated as

   $$\Delta S = \int_{T_a}^{T_b} \frac{C_V dT}{T} \ ,$$

   when the temperature of the body changes from T_a to T_b.

   (d) Compute the numerical entropy change assuming the bodies are 1 kg water ($C_V =$ 4186 J/K) ?

4. An ideal gas ($PV = Nk_BT$) system traverses the following cycle:

   1: Adiabatic expansion ($PV^{5/3}$ =constant) from $2^{5/3}P_0, \frac{1}{2}V_0$ to P_0, V_0

   2: Isothermal contraction from P_0, V_0 to $V_0/2$

   3: Isochoric (V constant) change back to the initial state.

   Draw the process in the (V, P)- and (T, P)-planes. Can you imagine a machine that would go through this cycle? Using the internal energy $E = \frac{3}{2}Nk_BT = \frac{3}{2}PV$, calculate for each of the steps in the cycle of the preceding problem

   (a) The work done to the system

   (b) The change in the internal energy and

   (c) The heat transferred to the system (using energy conservation).

Work is calculated like this: if in a process pressure dependence on volume is $P(V)$, and volume changes from V_a to V_b, then the work done is

$$W = -\int_{V_a}^{V_b} P dV \ .$$

Use the curves $P(V)$ you got above, and calculate work from the integrals.