

# 1. Termodynaaminen systeemi

## Harjoittele

### Tehtävä 1.1.

a) A

b) B

c) B

d) B

e) D

## **Tehtävä 1.2.**

- a) Suljetussa systeemissä energiaa voi siirtyä systeemin ja ympäristön välillä, mitä ei tapahdu eristetyssä systeemissä.
  
- b) Sellaista termodynaamista systeemiä sanotaan avoimeksi, jossa sekä ainetta että energiaa voi siirtyä systeemin ja ympäristön välillä.

### **Tehtävä 1.3.**

a) Termodynaamisen systeemin tilanmuuttajat ovat suureita, jotka määrittävät systeemin tilan.

Tilanmuuttujia ovat lämpötila, paine, tilavuus ja ainemäärä.

b) Aineen olomuodot ovat kiinteä, neste ja kaasu. Aine voi esiintyä myös plasmana. Plasma on kaasua, jonka rakenneosasilla on sähkövaraus.

## Tehtävä 1.4.

- a) Lämpötila celsiusasteina saadaan vähentämällä kelvineistä 273,15 eli

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{1811\text{K}}{\text{K}} - 273,15$$

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = 1537,85 \quad \parallel \cdot^{\circ}\text{C}$$

$$t \approx 1538^{\circ}\text{C}.$$

Lämpötila on 1 538 °C.

- b) Lämpötila kelvineinä saadaan lisäämällä celsiusasteisiin 273,15 eli

$$\frac{T}{\text{K}} = \frac{65^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} + 273,15$$

$$\frac{T}{\text{K}} = 338,15 \quad \parallel \cdot\text{K}$$

$$T \approx 338\text{K}.$$

Lämpötila on 338 K.

c) Lämpötila kelvineinä saadaan lisäämällä celsiusasteisiin 273,15 eli

$$\frac{T}{K} = \frac{15^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} + 273,15$$

$$\frac{T}{K} = 288,15 \quad || \cdot K$$

$$T \approx 288 \text{ K.}$$

Lämpötila on 288 K.

d) Sijoitetaan  $t = 15^{\circ}\text{C}$  muunnoskaavaan ja lasketaan fahrenheitasteikon lämpötila

$$\frac{t}{^{\circ}\text{F}} = \frac{9}{5} \left( \frac{15^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \right) + 32$$

$$t = 59^{\circ}\text{F.}$$

Lämpötila on 59 °F.

$$\text{e) } \frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{5}{9} \left( \frac{122^{\circ}\text{F}}{^{\circ}\text{F}} - 32 \right)$$

$$t = 50,0^{\circ}\text{C.}$$

Lämpötila on 50,0 °C.

f) Lämpötila kelvineinä saadaan lisäämällä celsiusasteisiin 273,15 eli

$$\frac{T}{\text{K}} = \frac{50\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{ }^{\circ}\text{C}} + 273,15$$

$$\frac{T}{\text{K}} = 323,15 \quad \parallel \cdot \text{K}$$

$$T \approx 323\text{K.}$$

Lämpötila on 323 K.

## **Tehtävä 1.5.**

Lämpötilan muutos kelvineinä:  $\Delta T = 285 \text{ K} - 270 \text{ K} = 15 \text{ K}$

Lämpötilan muutos celsiusasteina on yhtä suuri kuin muutos kelvineinä eli  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Tehtävä 1.6.

a) Lämpötilan mittaaminen perustuu jonkin lämpötilasta riippuvan fysiikan ilmiön havainnointiin.

b)

- Nestelämpömittari perustuu lämpölaajenemiseen.
- Galilein lämpömittarissa olevan nesteen tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tiheyden muuttuessa nesteessä olevat lasipallot joko kelluvat tai uppoavat. Alin kelluvista palloista näyttää nesteen ja samalla huoneen lämpötilan.
- Kaksoismetallilämpömittaria käytetään esimerkiksi saunan lämpömittarina. Sen toiminta perustuu eri metallien erisuuruiseen lämpölaajenemiseen.
- Säteilylämpömittari perustuu kohteen lähettämän lämpösäteilyn mittaamiseen.
- Lämpötilan mittaus voi perustua myös aineen värin muutokseen lämpötilan muuttuessa.
- Termopari perustuu kahden eri metallin välille syntyvään jännitteeseen, joka riippuu lämpötilasta.



## **Tehtävä 1.7.**

Sisäenergia on systeemiin varastoitunutta energiaa.

Esimerkiksi rakenneosasten välisiin sidoksiin liittyvä energia sekä lämpöliikkeen liike-energia ovat sisäenergiaa.

## Tehtävä 1.8.

- a) Nestetyypen lämpötila on  $T = (273,15 - 197) \text{ K} = 76,15 \text{ K}$ .
- b) Kun vadelman lämpötila laskee, vadelman rakenneosasten liike-energia vähenee. Siksi myös vadelman sisäenergia pienenee.

# Sovella

## Tehtävä 1.9.

- a) Ilmapallon läpi ei siirry ainetta mutta energiaa siirtyy, joten kyseessä on suljettu systeemi.
- b) Oletetaan, että tarkasteluaika on melko lyhyt. Tällöin styroksilaatikon ja ympäristön välillä ei siirry merkittävästi ainetta eikä energiaa, joten kyseessä on eristetty systeemi.
- c) Jääkaapin ja ympäristön välillä ei siirry ainetta. Jääkaapin koneisto kuitenkin poistaa energiaa jäähdyttäessään, joten kyseessä on suljettu systeemi.

## **Tehtävä 1.10.**

- a) Säähavainnoissa esiintyy termodynaamisen systeemin tilamuuttujista lämpötila ja paine.
  
- b) Säähavaintopaikassa systeemin ja ympäristön välillä siirtyy ainetta ja energiaa, joten parhaiten tilannetta kuvaa termodynaamisista systeemeistä avoin systeemi.

## Tehtävä 1.11.

- a) Lämpötila on tilastollisesti määritettävä suure, jonka arvo riippuu rakenneosasten liike-energiasta. Jotta lämpötilaa on mielekästä määrittää, on rakenneosasia oltava paljon. Hyvin pienessäkin kappaleessa on yleensä valtava määrä atomeja. Vaikka täydellistä tyhjiötä ei voikaan saada aikaan, voi tyhjiön lämpötilan määrittäminen olla epämielekästä. Jos tyhjiöön viedään esine, on sillä edelleen lämpötila.
- b) Avaruus vastaa olosuhteiltaan melkein täydellistä tyhjiötä. Usein avaruuden lämpötilaksi mainitaan 3 K, sillä kaikkialla avaruudessa esiintyy taustasäteilyä, joka vastaa 3 kelvinin lämpötilassa olevan kappaleen lähettämää säteilyä. Toisaalta avaruudessa tähden lähellä esiintyy säteilyä, jonka lämpötila on paljon taustasäteilyn lämpötilaa korkeampi.

## **Tehtävä 1.12.**

- a) Sulan laavan lämpötilan pystyy mittaamaan esimerkiksi säteilylämpömittarin, termoparin tai lämpökameran avulla. Laavan lämpötila on  $700\text{ °C} - 1200\text{ °C}$ . Termopari kestää korkeita lämpötiloja. Säteilylämpömittari ja lämpökameran mittaaminen perustuu aineen lähettämään lämpösäteilyyn, jolloin mittarin ei tarvitse olla kosketuksissa mitattavan aineen kanssa.
- b) Nestetyypen lämpötila on 77 kelviniä. Nestetyypen lämpötilassa elohopean olomuoto on kiinteä, minkä vuoksi lämpömittari ei toimi, sillä elohopealämpömittarin toiminta perustuu nestemäisen elohopean lämpölaajenemiseen.

### **Tehtävä 1.13.**

- a) Hapen sulamispiste on  $-218,4\text{ °C} = 54,75\text{ K}$ .
- b) Hiilidioksidin kiehumispiste on  $-78,5\text{ °C} = 194,65\text{ K}$
- c) Maapallolla on mitattu kylmimmillään noin  $-90\text{ °C}$  eli  $183\text{ K}$  lämpötiloja.
- d) Korkeimmillaan lämpötilaksi maapallolla on mitattu lähes  $60\text{ °C}$  eli  $333\text{ K}$ .
- e) Tulen lämpötila vaihtelee palavan materiaalin ja liekin kohdan mukaan sadoista tuhansiin asteisiin.
- f) Auringon pintalämpötila on  $5\,772\text{ K}$  eli  $5\,499\text{ °C}$ .

## **Tehtävä 1.14.**

Kuuman veden sisäenergia pienenee, sillä kuuman veden lämpötila laskee. Jäässä olevan veden sisäenergia kasvaa, sillä jääpalat sulavat ja sulaneen veden lämpötila kasvaa.



## **Tehtävä 1.15.**

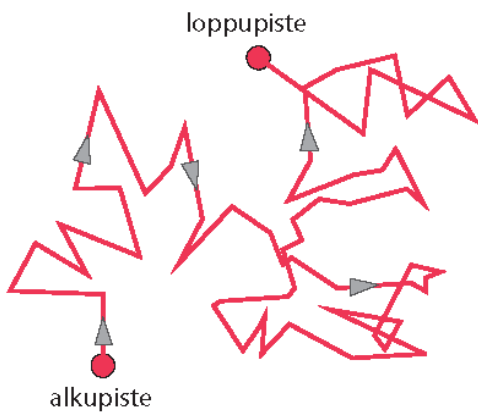
- a) Auringonpaisteessa energiaa siirtyy Auringosta säteilyinä pihalaattaan. Pihalaatan sisäenergia kasvaa ja sisäenergian kasvu ilmenee lämpötilan nousuna.
- b) Kun vesi jäähtyy tai jähmettyy jääksi, veden sisäenergia pienenee.
- c) Kun punahehkuinen hiili muuttuu mustaksi, hiilen lämpötila pienenee ja samalla hiilen sisäenergia pienenee.

## **Tehtävä 1.16.**

- a) Kiteinen aine on kiinteässä olomuodossa olevaa ainetta, jossa atomit ovat järjestyneet säännölliseen ja toistuvaan rakenteeseen.
- b) Amorfinen aine on kiinteää ainetta, jossa atomit eivät ole järjestyneet säännöllisesti.

## Tehtävä 1.17.

Brownin liike on todiste lämpöliikkeestä. 1800-luvulla havaittiin, että vedessä kelluva siitepöly oli jatkuvassa satunnaisessa liikkeessä. 1900-luvun alussa Albert Einstein selitti ilmiön aiheutuvan lämpöliikkeestä. Nesteen molekyylit tönivät siitepölyä jatkuvasti satunnaisiin suuntiin.



## Tehtävä 1.19.

Nestelämpömittarin toiminta perustuu lämpömittarissa käytettävän nesteen eli mittarinesteen lämpölaajenemiseen. Lämpölaajenemisessa aine laajenee lämmitessään ja supistuu jäähtyessään. Mittarin rakentamisessa hyödynnetään celsiusasteikon peruspisteitä, joita ovat veden sulamispiste ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja veden kiehumispiste ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Näiden lämpötilojen avulla voidaan luoda lämpömittariaihioon celsiusasteikko.

Kun rakennetaan oma nestelämpömittari, lämpömittariaihiona voi käyttää ohutta toisesta päästään suljettua lasiputkea, johon laitetaan lämpömittarinestettä. Mitä ohuempi putki on, sitä pidempi asteväli mittariin saadaan ja sitä tarkempia tuloksia mittarilla voidaan saada.

Jotta mittari olisi luotettava, siinä käytettävä lämpömittarineste ei saa jähmettyä yli  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa eikä kiehua alle  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa. Esimerkiksi autoissa käytettävä jäähdytinneste täyttää nämä kriteerit. Se jähmettyy noin  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa ja kiehuu noin  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa.

Mittariaihion umpinainen pää upotetaan jäämurskan ja nestemäisen veden seokseen ja annetaan lämpötilan tasaantua. Tutkitaan, kuinka korkealle lämpömittarineste nousee aihiossa ja tehdään siihen kohtaan pieni merkki. Tämä merkki kuvaa asteikon alempaa peruspistettä eli lämpötilaa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kun mittariaihio upotetaan kiehuvaan

veteen, annetaan lämpötilan tasaantua ja tehdään aihioon merkki lämpömittarinestepatsaan yläreunan kohdalle, on saatu määritettyä asteikon ylempi peruspiste, 100 °C:n lämpötila.

Kun aihioon tehtyjen merkkien väli mitataan ja jaetaan sataan yhtä suureen osaan, on luotu lämpömittari, jolla voi mitata 0 °C:n ja 100 °C:n välillä olevan lämpötilan. Asteikkoa voi laajentaa peruspisteiden välisen alueen ulkopuolelle käyttämällä samaa asteväliä.

## **Tehtävä 1.20.**

Galileo Galilei kehitti 1500-luvun lopulla ensimmäisen laitteen, jolla voitiin määrittää lämpötila. Hän havaitsi, että nesteen lämpötila vaikuttaa sen tiheyteen. Galilein lämpömittarissa on nestettä, jossa on tarkasti punnittuja kappaleita. Koska kappaleiden tiheyksissä on pieniä eroja, lämpötilan muuttuessa osa kappaleista uppoaa astian pohjalle. Alin kelluva kappale kertoo nesteen lämpötilan.

## **Tehtävä 1.21.**

Kaksoismetallilämpömittarin toiminta perustuu lämpölaajenemiseen. Kaksoismetalli on liuska, jossa kaksi eri metallia on liitetty yhteen. Liuska taipuu ja viisari kiertyy, kun toinen metalli laajenee lämmitessään enemmän kuin toinen.

# Syvennä

## Tehtävä 1.22.

- a) Aineen sisäenergiaan liittyvä energialajit ovat atomien liikkeeseen liittyvä kineettinen energia ja atomien välinen potentiaalienergia.
- b) Puun palamiseen tarvitaan happea, irronneita  $C_xH_y$ -molekyylejä ja energiaa, joka lämmittää puuta riittävästi.
- c) Puun sisäenergian kasvu lisää  $C_xH_y$ -molekyylien lämpöliikettä ja irrottaa puun pinnalta  $C_xH_y$ -molekyylejä.
- d) Palamisessa koko molekyyliysteemin sisäenergia pienenee ja energiaa vapautuu. Osa vapautuneesta energiasta lämmittää saunaa.



## Tehtävä 1.23.

- a) Termodynaamisen systeemin tilanmuuttajat ovat lämpötila, paine, tilavuus ja ainemäärä. (4 p)
- b) Koska pullon korkki suljettiin tiiviisti, ainetta ei pääse siirtymään pullon sisälle. (1 p) Pullon lämpötilaa voidaan kuitenkin muuttaa, jolloin pullo vastaanottaa tai luovuttaa energiaa ympäristöön. (1 p) Tällöin pullo on suljettu systeemi. 1 p)
- c) Korkilla suljettu systeemi muodostuu kiinteästä muovista (1 p), nestemäisestä vedestä (1 p) ja kaasumaisesta ilmasta (1 p).
- d) Veden lämpötila on huoneen lämpötilaa matalampi. Vesi alkaa vastaanottaa huoneesta energiaa (1 p), jolloin systeemin sisäenergia kasvaa (1 p). Sisäenergian muutos ilmenee lämpötilan nousuna (1 p).
- e) Veden lämpötila alussa oli  $T_1 = 16 \text{ °C}$  ja lopussa  $T_2 = 22 \text{ °C}$ . Veden lämpötilan muutos oli  $\Delta T = T_2 - T_1 = 22 \text{ °C} - 16 \text{ °C} = \text{°C} = 6 \text{ K}$  (2 p).