Kertaustehtäviä

1. c **2.** b **3.** b **4.** c **5.** b **6.** c **7.** d **8.** a **9.** b **10.** c

1. c) Lämpötila on $T = (–12 + 273)\ \text{K} = 261\ \text{K}$.

2. b) Sukellusveneen sisällä on normaali ilmanpaine, joka on likimain yhtä suuri kuin ilmanpaine meren pinnalla. Luukkuun kohdistuva kokonaisvoima riippuu vain hydrostaattisesta paineesta. Paineen yhtälöstä $p = \dfrac{F}{A}$ saadaan voiman suuruudeksi

$F = pA = \rho gh \cdot A = 1010\ \text{kg/m}^3 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 \cdot 45\ \text{m} \cdot \pi(0{,}33\ \text{m})^2 \approx 150\ \text{kN}$.

3. b) Pianon potentiaalienergian muutos on $\Delta E = mg\Delta h$. Potentiaalienergia kasvaa kummassakin tapauksessa yhtä paljon, koska pianon paikka muuttuu korkeussuunnassa molemmissa tapauksissa saman verran, eli $\Delta h = 3{,}1$ m. (Painon aiheuttamaa kiihtyvyyttä g voidaan pitää vakiona näin pienien korkeuserojen ollessa kyseessä)

4. c) Liike-energia $E = \dfrac{1}{2}mv^2$ on suoraan verrannollinen nopeuden toiseen potenssiin.

Koska nopeuksien suhde $\dfrac{v_2}{v_1} = \dfrac{9{,}6\ \text{m/s}}{3{,}2\ \text{m/s}} = 3$, saadaan $v_2 = 3v_1$.

Liike-energioiden suhde on

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{\frac{1}{2}m\left(3v_1\right)^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{9v_1^2}{v_1^2} = 9.$$

Liike-energia kasvaa 9-kertaiseksi: $E_2 = 9E_1$.

5. b) Mittanauhan pituuden muutos on

$\Delta l = \alpha l \Delta T = 12 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{K} \cdot 80{,}48\,\text{m} \cdot 20\,\text{K} \approx 0{,}02\,\text{m}$.

Heiton pituus olisi ollut 80,48 m + 0,02 m = 80,50 m.

6. c) Paine merenpohjassa on

$p_1 = p_0 + \rho gh = 0{,}100\ \text{MPa} + 1000\,\text{kg/m}^3 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 \cdot 30{,}0\ \text{m} = 0{,}3943\ \text{MPa}$.

Yhtälöstä $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ kuplan tilavuus lähellä pintaa on

$$V_2=\frac{p_1V_1T_2}{T_1p_2}=\frac{0{,}3943\,\text{MPa}\cdot V_1\cdot 295\,\text{K}}{277\,\text{K}\cdot 0{,}100\,\text{MPa}}\approx 4{,}2\cdot V_1.$$

7. d) Yhtälöstä $pV=nRT=\frac{m}{M}RT$ hapen massaksi saadaan

$$m=\frac{pVM}{RT}=\frac{12\cdot 10^5\,\text{Pa}\cdot 15\cdot 10^{-3}\,\text{m}^3\cdot 32\,\text{g/mol}}{8{,}31\,\text{J/(mol}\cdot\text{K)}\cdot 293\,\text{K}}\approx 240\,\text{g}.$$

8. a) Veden lämpötilanmuutos celsiusasteina on Δt = 100 °C − 20 °C = 80 °C ja kelvineinä ΔT = 80 K. Sähkövastuksen luovuttama energia on $E=\eta Pt$. Veden vastaanottama energia lämpönä on $Q=cm\Delta T$. Oletetaan, että energiahäviöitä ei ole, joten sähkövastuksen luovuttama energia ja veden vastaanottama energia ovat yhtä suuret, joten $E=Q$ eli $\eta Pt=cm\Delta T$. Ratkaistaan yhtälöstä aika t:

$$t=\frac{cm\Delta T}{\eta P}=\frac{4{,}19\cdot 10^3\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 3{,}0\,\text{kg}\cdot 80\,\text{K}}{0{,}90\cdot 2\,000\,\frac{\text{J}}{\text{s}}}=558{,}7\text{ s}\approx 9{,}3\text{ min}.$$

9. b) Raudan jähmettyessä vapautuva energia on $Q_{\text{rauta}}=sm_{\text{rauta}}$.
Veden vastaanottama energia on $Q_{\text{vesi}}=cm_{\text{vesi}}\Delta T$.

Oletetaan, että lämpöhäviöitä ei ole, joten raudan luovuttama energia on yhtä suuri kuin veden vastaanottama energia. $Q_{\text{rauta}}=Q_{\text{vesi}}$ eli $sm_{\text{rauta}}=cm_{\text{vesi}}\Delta T$. Yhtälöstä ratkaistaan veden lämpötilan kohoaminen eli ratkaistaan ΔT:

$$\Delta T=\frac{sm_{\text{rauta}}}{cm_{\text{vesi}}}=\frac{276\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\cdot 3{,}0\,\text{kg}}{4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 5{,}0\,\text{kg}}\approx 40\text{ K}.$$

Lämpötilan muutos on 40 K = 40 °C.

10. c) Kuparin ominaislämpökapasiteetti on $c_{\text{k}}=0{,}387\,\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ ja veden $c_{\text{v}}=4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$.

Lämpötilan muutos on ΔT = 95 K. Veden luovuttama energia on $Q_{\text{v}}=c_{\text{v}}m_{\text{v}}\Delta T_{\text{v}}$ ja kuparin vastaanottama energia $Q_{\text{k}}=c_{\text{k}}m_{\text{k}}\Delta T_{\text{k}}$. Jos energiaa ei poistu lämpönä ympäristöön, luovutettu ja vastaanotettu energia ovat yhtä suuret: $Q_{\text{v}}=Q_{\text{k}}$ eli $c_{\text{v}}m_{\text{v}}\Delta T_{\text{v}}=c_{\text{k}}m_{\text{k}}\Delta T_{\text{k}}$.

Ratkaistaan yhtälöstä veden massa:

$$m_{\mathrm{v}} = \frac{c_{\mathrm{k}} m_{\mathrm{k}} \Delta T_{\mathrm{v}}}{c_{\mathrm{v}} m_{\mathrm{v}}} = \frac{0,387 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kgK}} \cdot 0,200\ \mathrm{kg} \cdot 95\ \mathrm{K}}{4,19 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kgK}} \cdot 100\ \mathrm{K}} \approx 0,35\ \mathrm{kg} = 350\ \mathrm{g}.$$

Tapa 2. Tehtävä voidaan ratkaista myös celsiusasteita käyttäen.
Kuparin ominaislämpökapasiteetti on $c_{\mathrm{k}} = 0,387 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kgK}} = 0,387 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg°C}}$ ja veden $c_{\mathrm{v}} = 4,19 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kgK}} = 4,19 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg°C}}$. Veden luovuttama energia on $Q_{\mathrm{v}} = c_{\mathrm{v}} m_{\mathrm{v}} \Delta t_{\mathrm{v}}$ ja kuparin vastaanottama energia $Q_{\mathrm{k}} = c_{\mathrm{k}} m_{\mathrm{k}} \Delta t_{\mathrm{k}}$. Jos energiaa ei poistu lämpönä ympäristöön, luovutettu ja vastaanotettu energia ovat yhtä suuret: $Q_{\mathrm{v}} = Q_{\mathrm{k}}$ eli $c_{\mathrm{v}} m_{\mathrm{v}} \Delta t_{\mathrm{v}} = c_{\mathrm{k}} m_{\mathrm{k}} \Delta t_{\mathrm{k}}$.

Ratkaistaan yhtälöstä veden massa:

$$m_{\mathrm{v}} = \frac{c_{\mathrm{k}} m_{\mathrm{k}} \Delta t_{\mathrm{v}}}{c_{\mathrm{v}} m_{\mathrm{v}}} = \frac{0,387 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg°C}} \cdot 0,200\ \mathrm{kg} \cdot (95\ \mathrm{°C} - 0\ \mathrm{°C})}{4,19 \dfrac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg°C}} \cdot (100\ \mathrm{°C} - 95\ \mathrm{°C})} \approx 0,35\ \mathrm{kg} = 350\ \mathrm{g}.$$

11. a) Termodynaaminen systeemi on
– eristetty, jos se ei vaihda ympäristönsä kanssa ainetta eikä energiaa – eristetty systeemi ei siis ole vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa
– suljettu, jos se vaihtaa ympäristönsä kanssa energiaa mutta ei ainetta
– avoin, jos se vaihtaa ympäristönsä kanssa sekä ainetta että energiaa.

b) Eristetyn systeemin muodostaa lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna esimerkiksi termospullo. Suljetun systeemin muodostaa esimerkiksi kaukolämpöverkko. Avoimen systeemin muodostavat esimerkiksi kahvikupissa oleva kahvi ja kerma.

c) Termodynamiikassa makrotasolla tarkastelun kohteena on koko kappale. Mikrotason mallit selittävät makrotason ilmiöitä. Lämpötila on esimerkki makrotason ilmiöstä, mikrotasolla selvitetään lämpötilan aiheutuvan aineen rakenneosasten liikkeestä.

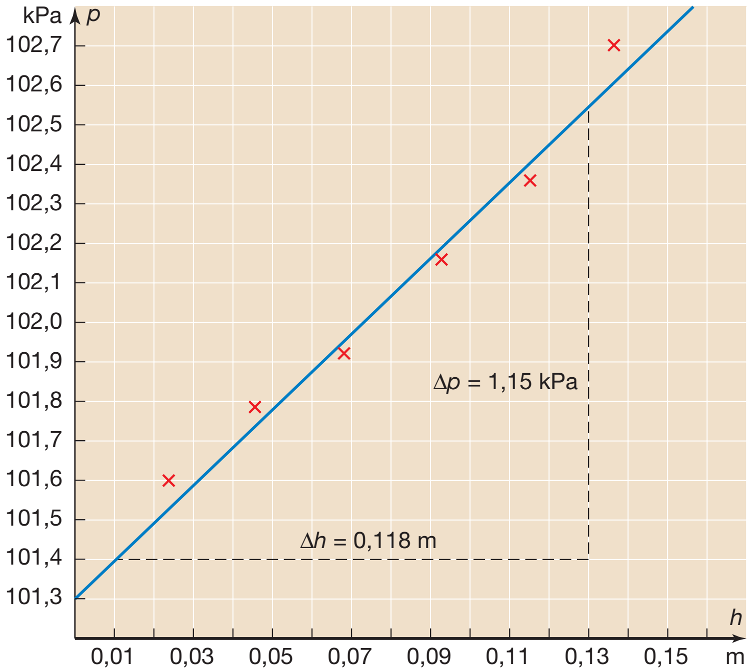
12. Luistimen terä kohdistaa jäähän voiman F, joka on yhtä suuri kuin luistelijaan kohdistuva paino G, joten jäähän kohdistuva keskimääräinen paine on

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{86\ \mathrm{kg} \cdot 9,81\ \mathrm{m/s^2}}{750 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m^2}} \approx 1,1\ \mathrm{MPa}.$$

13. Hydraulisessa nosturissa molempiin mäntiin kohdistuu yhtä suuri paine eli $p_1 = p_2$, joten yhtälöstä $\dfrac{F_1}{A_1} = \dfrac{F_2}{A_2}$ saadaan kuormamännän pinta-alaksi

$$A_1 = \frac{F_1 \cdot A_2}{F_2} = \frac{920\ \mathrm{kg} \cdot 9,81\ \mathrm{m/s^2} \cdot 4,0\ \mathrm{cm^2}}{1,8\ \mathrm{kN}} \approx 20\ \mathrm{cm^2}.$$

14. a) Esitetään mittaustulokset (h, p)-koordinaatistossa:



Kokonaispaineen ja syvyyden välillä vallitsee riippuvuus $p = p_0 + \rho gh$.

Kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin on $\dfrac{\Delta p}{\Delta h} = \dfrac{1{,}15\,\text{kPa}}{0{,}118\,\text{m}} \approx 9{,}746\,\text{kPa/m}$.

Saadaan yhtälö $\rho g = 9{,}746$ kPa/m, josta nesteen tiheydeksi saadaan

$$\rho = \frac{9{,}746\ \text{kPa/m}}{g} = \frac{9{,}746\ \text{kPa/m}}{9{,}81\,\text{m/s}^2} \approx 990\,\text{kg/m}^3.$$

Tutkittavan nesteen tiheys on 990 kg/m^3, kyseessä on todennäköisesti vesi.

b) Mittauksen luotettavuus paranee, jos kokonaispainetta mitattaisiin syvemmälle esim. yhteen metriin saakka.

15. Hydrostaattinen paine 4,5 m syvyydellä on
$p = \rho gh = 1000\ \text{kg/m}^3 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 \cdot 4{,}5\ \text{m} = 44{,}145\ \text{kPa} \approx 44\ \text{kPa}$.

Punnus kohdistaa rintakehään voiman F, joka on yhtä suuri kuin punnuksen paino G.

Paineen yhtälöstä $p = \dfrac{F}{A} = \dfrac{G}{A} = \dfrac{mg}{A}$ saadaan punnuksen massaksi

$$m = \frac{pA}{g} = \frac{44{,}145\ \text{kPa} \cdot (0{,}15\,\text{m})^2}{9{,}81\ \text{m/s}^2} = 101{,}25\ \text{kg} \approx 100\ \text{kg}.$$

16. Ilmanpainetta ei tarvitse ottaa huomioon, koska putken yläpäähän ja peukaloon, joka sulkee putken alapään, vaikuttaa likimain yhtä suuri ilmanpaine. Voiman on oltava vähintään

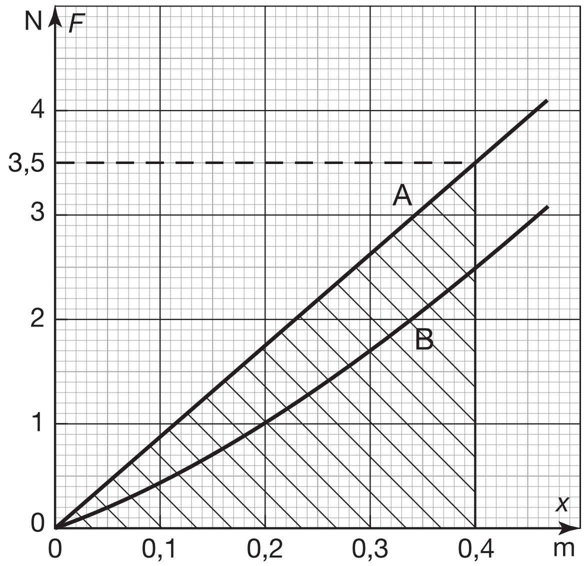
$$F = pA = \rho ghA = 1000\ \text{kg/m}^3 \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 \cdot 6{,}0\ \text{m} \cdot \pi(0{,}010\ \text{m})^2 \approx 18\ \text{N}.$$

17. Tunnistimeen kohdistuva kokonaispaine on

$p = p_0 + \rho gh$ = 101,3 kPa + 1015 kg/m^3 · 9,81 m/s^2 · 7,5 km ≈ 74,78 MPa.

Tunnistimeen kohdistuva voima on $F = pA$ = 74,78 MPa · 0,095 m^2 ≈ 7,1 MN.

18.



Kun kappaletta vedetään lähtöpaikasta alkaen kohtaan 0,40 m, kuvaajan A ja x-akselin väliin jäävä fysikaalinen pinta-ala eli työ on suurempi kuin käyrän B ja x-akselin väliin jäävä ala. Liikevastukset ovat vähäisiä joten työ muuntuu lähes kokonaan kappaleen liike-energiaksi. Tilanteessa A kappaleen liike-energia on 0,40 m:n kohdalla suurempi kuin tapauksessa B. Koska liike-energian yhtälö on $E_\mathrm{k} = \frac{1}{2}mv^2$, kappaleen nopeus on A tapauksessa suurempi kuin B-tapauksessa.

(Liike-energian yhtälöstä ratkaistuna nopeus on $v = \sqrt{\frac{2E_\mathrm{k}}{m}}$, eli kappaleen nopeus on verrannollinen liike-energian neliöjuureen. Koska tilanteessa A liike-energia on suurempi kuin tilanteessa B, myös nopeus on suurempi kuin tilanteessa B.)

b) Kohdan a mukaan kappaleen nopeus on $v = \sqrt{\frac{2E_\mathrm{k}}{m}}$, kun liike-energia on E_k.

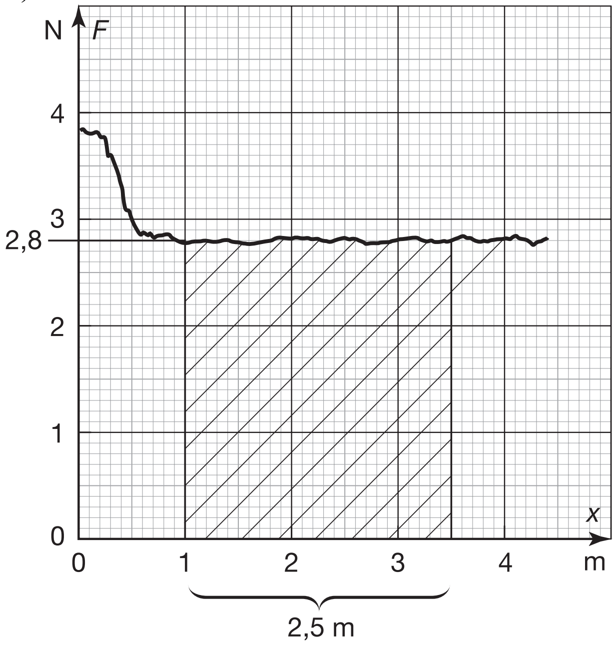
Koska liikevastukset ovat vähäisiä, kappaleen liike-energia on likimain yhtä suuri kuin voiman tekemä työ, joka lasketaan kuvion perusteella fysikaalisena pinta-alana (kolmion pinta-alana):

$W = \frac{1}{2} \cdot 3{,}5\ \mathrm{N} \cdot 0{,}40\ \mathrm{m} = 0{,}70\ \mathrm{J}.$ Liike-energia on myös 0,70 J.

Kappaleen nopeus on $v = \sqrt{\frac{2E_\mathrm{k}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}70\ \mathrm{J}}{1{,}5\ \mathrm{kg}}} \approx 0{,}97\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$

19. a) Heti liikkeelle lähdön jälkeen kappaleeseen kohdistuva voima on suurempi kuin tasaisessa liikkeessä, joten aluksi kappale on kiihtyvässä liikkeessä (likimain välillä 0,0 m … 0,8 m). Paikan 0,8 m jälkeen liike vakiintuu likimain tasaiseksi, jolloin myös voima on likimain vakio.

b)



Kun kappale siirtyy paikasta 1,0 m paikkaan 3,5 m, voiman kappaleeseen tekemä työ saadaan kuvion perusteella fysikaalisena pinta-alana (suorakulmion pinta-alana).
Työ on $W = 2{,}5\ \text{m} \cdot 2{,}8\ \text{N} = 7{,}0\ \text{J}$.

c) Kun kappale on tasaisessa liikkeessä, Newtonin II lain mukaan siihen kohdistuvien voimien summa on nolla, joten kitkan suuruus on yhtä suuri kuin vetävän voiman suuruus eli 2,8 N. Liikkeen aikana kitkan suuruus ei riipu nopeudesta, joten kitkan suuruus liikkeen aikana on 2,8 N.

d) Kitkan tekemä työ muuntuu kappaleen ja lattian sisäenergiaksi, molemmat lämpenevät hiukan.

20. Tyynyn pudotessa ilmanvastuksella on suuri merkitys. Mekaaninen energia vähenee, koska ilmanvastus tekee työtä ja muuntaa mekaanista energiaa tyynyn ja ilman sisäenergiaksi. Sekä tyyny että ilma lämpenevät hiukan.

Kun tyynyn nopeus on vakio, Newtonin II lain mukaan tyynyyn vaikuttava kokonaisvoima on nolla. Alaspäin suuntautuva paino ja ylöspäin suuntautuva ilmanvastus ovat yhtä suuret, mutta vastakkaissuuntaiset. Tällöin saadaan yhtälö $G = F_v$, jossa F_v on ilmanvastus. Voiman F_v tekemä työ tyynyn liikkuessa siirtymän Δh verran on

$W = F_v \Delta h = G\Delta h = mg\Delta h = 8{,}6\ \text{J}$.

21. Renkaat luistavat tukipintaa vasten. Kitka tekee työtä ja muuntaa liike-energiaa renkaiden ja tukipinnan sisäenergiaksi, jolloin renkaiden pinnat kuumenevat savuaviksi.

22. a) Vaijerin tukivoima tekee noston aikana työtä teholla $P_{\text{tuotto}} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F\Delta h}{\Delta t}$. Oletetaan, että elementti nostetaan tasaisella nopeudella, jolloin nostamiseen tarvittavan vaijerin tukivoiman $\overline{F}$ suuruus on yhtä suuri kuin elementtiin kohdistuvan painon $\overline{G}$ suuruus. Nostamiseen tarvittava teho on

$$P_{\text{tuotto}} = \frac{F\Delta h}{\Delta t} = \frac{G\Delta h}{\Delta t} = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{2600\text{ kg} \cdot 9{,}81\text{ m/s}^2 \cdot 27\text{ m}}{35\text{ s}} = 19{,}68 \cdot 10^3\text{ W} \approx 20\text{ kW.}$$

b) Hyötysuhde on $\eta = \frac{P_{\text{tuotto}}}{P_{\text{otto}}}$, joten moottorin sähköverkosta ottama teho on

$$P_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{19{,}68\text{ kW}}{0{,}93} \approx 21\text{ kW.}$$

Nostotyön tekemisen tarvittava teho on 20 kW ja moottorin sähköverkosta ottama teho 21 kW.

23. Vuodessa on noin 52 viikkoa. Sähkölaitteiden käyttämä energia saadaan yhtälöstä $E = Pt$.

Sähkön hinta vuodessa lasketaan kertomalla energia kilowattitunteina ja sähkön hinta kilowattituntia kohden keskenään. Lasketaan jokaisen laitteen käyttökustannukset:

Kiuas: 3,5 kW · 4,0 h · 52 · 0,13 €/kWh ≈ 95 €.

Jääkaappi: 0,075 kW · 168 h · 52 · 0,13 €/kWh ≈ 85 €.

Sähkövatkain: 0,11 kW · 1,0 h · 52 · 0,13 €/kWh ≈ 0,74 €.

24. Tuulin teho nukkumisen aikana on P = 53 kg · 1,1 W/kg.

Tuulin nukkuessaan tarvitsema energia on
$Q = Pt$ = 53 kg · 1,1 W/kg · 8,0 · 3600 s ≈ 1,7 MJ.

25 a) Iho haihduttaa vettä, jonka mukana kehosta poistuu energiaa. Tuuli kuljettaa pois ihon pinnalta kostean ja lämpimän ilmakerroksen. Tällöin iho haihduttaa enemmän. Haihtumiseen tarvitaan energiaa, jonka haihtuva vesi ottaa ihosta. Näin iho viilenee.

b) Veden haihtuminen poistaa energiaa ihon pinnalta ja pitää ihon lämpötilan siedettävänä. Puhaltaminen vie ihon pinnalta pois suunnilleen ihon lämpöisen ilman ja tuo tilalle kuumaa ilmaa ja kuumassa ilmassa lämmennyttä kosteaa hengityshöyryä. Kuuma ilma ja kuuma vesihöyry tuovat iholle energiaa lämpönä. Ihon pinta aistii kuumuuden.

26. Aurinkopaneeli tuottaa energiaa teholla
$P_{\text{tuotto}} = \eta \cdot P_{\text{otto}} = 0{,}11 \cdot 1{,}2\text{ m}^2 \cdot 150\text{ W/m}^2 = 19{,}8\text{ W}$.

Viikon aikana aurinkopaneeli tuottaa varastoivaan akkuun energiaa määrän
$E_{\text{paneeli}} = P_{\text{tuotto}} \cdot t$ = 19,8 W · 5 · 6 · 3 600 s = 2,1384 MWs.

(Tämä on siis varastoitu lisäenergia, joka käytetään. Akkuun pitää jäädä energiaa käytön jälkeenkin, jotta akku toimisi koko ajan normaalisti.)
Hehkulampun käyttöaika tällä energialla saadaan yhtälöstä

$$E_{\text{lamppu}} = E_{\text{paneeli}}$$

$P_{\text{lamppu}} \cdot t_{\text{lamppu}} = E_{\text{paneeli}}$, josta saadaan

$$t_{\text{lamppu}} = \frac{E_{\text{paneeli}}}{P_{\text{lamppu}}} = \frac{2{,}1384\ \text{MWs}}{11\ \text{W}} = 194400\ \text{s} \ = 54\ \text{h}.$$

27. Lasien välillä oleva ilmakerros on hyvä lämmöneriste. Paksu kerros on hyvä, jos ilma ei pääse virtaamaan, mutta jos lasit ovat kaukana toisistaan, sisempi ikkuna lämmittää ilman, joka nousee ylös. Ilma luovuttaa energiaa ulommalle ikkunalle, ja viilentynyt ilma valuu taas alas. Syntyy kierto, joka siirtää energiaa sisältä ulos. Sopivan kapea rako ikkunoiden välissä estää tämän kierron, joten eristys on edellistä parempi.

28. a) Jääkaapin ja pakastimen takana on lämmönvaihdin, joka siirtää energiaa lämpönä laitteen sisältä ulkopuolelle huoneilmaan. Mitä korkeampaan lämpötilaan lämpö siirtyy, sitä enemmän tarvitaan energiaa. Virtaava ilma pitää lämmönvaihtimen lämpötilan alhaisena.

b) Alumiinifolio heijastaa takaisin lämpimästä ruuasta tulevan lämpösäteilyn ja lisäksi alumiinin lähettämä lämpösäteily on vähäistä. Jos alumiinia on useampi kerros, väliin jäävät ilmakerrokset toimivat lämmöneristeenä. Ilma on hyvä lämmöneriste.

29. Näsinneulan pituuden muutos on $\Delta l = \alpha l \Delta T = 12 \cdot 10^{-6}\ \text{1/K} \cdot 120\ \text{m} \cdot 60\,\text{K} \approx\ 8{,}6\ \text{cm}$.

30. a) Ikkunan pinta-ala lähtöhetkellä on $A_0 \ = \ \pi r_0^{\,2} = \pi(10{,}0\ \text{cm})^2 \approx 314{,}16\ \text{cm}^2$.
Ikkunan pinta-ala lämpötilassa 13 K:

$$A \ = \ A_0(1 - 2\alpha\Delta T) = 314{,}16\,\text{cm}^2 \cdot (1 - \ 2 \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}} \cdot 295\ \text{K}) = 312{,}68\ \text{cm}^2.$$

Pinta-alan muutos on prosentteina:

$\dfrac{A}{A_0} = \dfrac{312{,}68\,\text{cm}^2}{314{,}16\,\text{cm}^2} \approx 0{,}99529$, joten pinta-ala pieneni $1 - 0{,}99529 = 0{,}00471 = 0{,}47\ \%$.

b) Aurinkokunnasta poistuvat luotaimet etenevät niin kauaksi, että Aurinko ei enää lämmitä niitä. Eri materiaaleilla on jonkin verran erilaiset lämpötilakertoimet. Tämä voi aiheuttaa jännityksiä rakenteissa ja aluksen tiiviysongelmia. Monet Maan päällä käytetyt materiaalit eivät sovellu lainkaan avaruuden kylmyyteen. Avaruusalus voi jopa tuhoutua, jos tätä ei osata ottaa huomioon. Maata kiertävillä satelliiteilla ja muilla Auringon läheisyydessä liikkuvilla aluksilla on ongelmana se, että Auringon puoli kuumenee ja toinen puoli jäähtyy. Tämä on ratkaistu mm. antamalla alusten pyöriä, jolloin lämpötilaerot tasoittuvat. Maata kiertävien satelliittien lämpötila muuttuu toistuvasti, jos kiertorata on sellainen, että välillä alus on Auringon paisteessa ja välillä Maan varjossa.

31. Säiliön tilavuuden kasvu oli

$\Delta V_s = \gamma_s V_s \Delta T = 3\alpha V_s \Delta T = 3 \cdot 12 \cdot 10^{-6}\, 1/\text{K} \cdot 2100\,\text{l} \cdot 35\,\text{K} = 2{,}646\ \text{l}$.

Öljyn tilavuuden kasvu oli

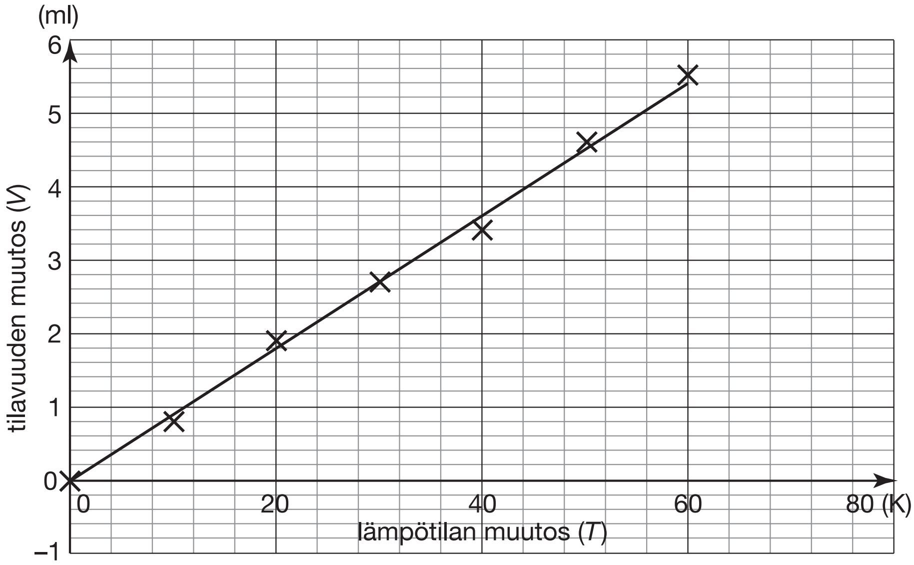
$\Delta V_ö = \gamma_ö V_ö \Delta T = 9{,}0 \cdot 10^{-4}\, 1/\text{K} \cdot 2100\ \text{l} \cdot 35\,\text{K} = 66{,}15\ \text{l}$.

Öljyä valui yli 66,15 l – 2,646 l ≈ 64 l.

32. Nesteen lämpölaajeneminen noudattaa yhtälöä $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$, jossa ΔV on nesteen tilavuuden muutos. Nesteen tilavuus alussa on V_0 = 100,0 ml. Lasketaan taulukkoon nesteen tilavuuden ja lämpötilan muutokset:

t/°C	30	40	50	60	70	80	90
Δt/°C	0	10	20	30	40	50	60
ΔT/K	0	10	20	30	40	50	60
V/ml	100,0	100,8	101,9	102,7	103,4	104,6	105,5
ΔV/ml	0	0,8	1,9	2,7	3,4	4,6	5,5

Esitetään mittaustulokset (ΔT, ΔV)-koordinaatistossa.



Suoran $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$ fysikaalinen kulmakerroin on $\gamma V_0 = \dfrac{5{,}4\,\text{ml}}{59\text{K}}$ ≈ 0,0915 ml/K, josta

nesteen tilavuuden lämpötilakerroin on $\gamma = \dfrac{0{,}0915\,\text{ml/K}}{100{,}0\,\text{ml}} \approx 0{,}00092$ 1/K.

33. Boylen lain mukaan isotermisessä prosessissa on pV = vakio eli $p_1V_1 = p_2V_2$. Kaasun tilavuus 1,0 bar:n paineessa on $V_2 = \dfrac{p_1V_1}{p_2} = \dfrac{100\ \text{bar} \cdot 40\,\text{l}}{1{,}0\ \text{bar}} = 4000\,\text{l}$.

Kaasua on jäljellä 1,0 bar:n paineessa 4000 l – 800 l = 3200 l. Käytön jälkeen pullossa vallitseva paine on $p_2 = \dfrac{p_1V_1}{V_2} = \dfrac{1{,}0\ \text{bar} \cdot 3\,200\ \text{l}}{40\ \text{l}} = 80\ \text{bar}$.

34. Vedyn alkutilavuus V_1 paineessa p_1 = 1,02 bar saadaan yhtälöstä $p_1V_1 = p_2V_2$:

$$V_1 = \frac{p_2V_2}{p_1} = \frac{150\ \text{bar} \cdot 55\ \text{l}}{1{,}02\ \text{bar}} \approx 8088\ \text{l}.$$

Lopputilavuus on $V_{\text{loppu}} = \frac{p_{\text{loppu}}V_1}{p_1} = \frac{45\ \text{bar} \cdot 55\ \text{l}}{1{,}02\ \text{bar}} \approx 2426\ \text{l}$.

Vetyä kuluu 8088 l – 2426 l = 5 662 l. Koska moottori kulutti vetyä 62 litraa minuutissa, kulkuneuvo oli liikenteessä $t = \frac{5662\ \text{l}}{62\ \text{l/min}} \approx 91\,\text{min}$.

35. Koska huoltoaseman painemittari näyttää ylipainetta, renkaan todellinen paine on p_1 = 2,0 bar + 1,0 bar = 3,0 bar. Kaasun yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ renkaassa olevaksi paineeksi saadaan $p_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1V_2} = \frac{3{,}0\ \text{bar} \cdot V_1 \cdot 308{,}15\ \text{K}}{281{,}15\ \text{K} \cdot 1{,}045 \cdot V_1} \approx\ 3{,}147\,\text{bar}$.

Mittari näytti lukemaa 3,147 bar – 1,0 bar ≈ 2,1 bar.

36. Alussa paine on p_1 = 0,060 MPa ja lämpötila T_1 = (20,0 + 273,15) K = 293,15 K. Normaali ilmanpaine on p_2 = 101,325 kPa = 0,101325 MPa. Koska lampun tilavuus ei muutu, prosessi on isokoorinen. Yhtälöstä $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ saadaan lämpötilaksi

$$T_2 = \frac{p_2T_1}{p_1} = \frac{0{,}101325\ \text{MPa} \cdot 293{,}15\ \text{K}}{0{,}060\ \text{MPa}} = 495\,\text{K}\ \approx 220\,°\text{C}.$$

Kaasun ja lampun lämpötila riippuu lampun tehosta. Mitä suurempi lampun teho on, sitä enemmän syntyy lämpöä ja sitä kuumempi lamppu on. Lisäksi lampun lämpötila riippuu ympäristön lämpötilasta sekä siitä, kuinka suljetussa tai avoimessa tilassa lamppu on, eli siitä, kuinka ilma virtaa kuuman lampun ohi. Jos kaasu olisi huoneen lämpötilassa normaalipaineista, lamppua käytettäessä kaasu olisi ylipaineista. Tällöin lamppu saattaa rikkoutua ja sirpaleet voivat olla vaarallisia. Myös alipaineisen lampun sirpaleet lentelevät, jos lamppu hajoaa.

37. Ideaalikaasun tilanyhtälö on $pV = nRT$. Koska $n = \frac{m}{M}$, yhtälö saadaan muotoon $pV = \frac{m}{M}RT$, josta argonkaasun massa on

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{15\ \cdot 10^6\text{Pa} \cdot 0{,}035\ \text{m}^3 \cdot 39{,}9\ \text{g/mol}}{8{,}3145\ \text{J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot 294{,}15\ \text{K}} \approx 8{,}6\ \text{kg}.$$

38. Lämpötilat kelvineinä ovat T_1 = (18,7 + 273,15) K = 291,85 K ja T_2 = (18,7 + 8,5 + 273,15) K = 300,35 K. Ilmanpaine on p = 1,1 bar = 110 kPa.

Koska luokan ilma laajeni vakiopaineessa, yhtälöstä $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ lämmenneen ilman tilavuudeksi saadaan $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{150\ \text{m}^3 \cdot 300{,}35\ \text{K}}{291{,}85\ \text{K}} = 154{,}369\ \text{m}^3$.

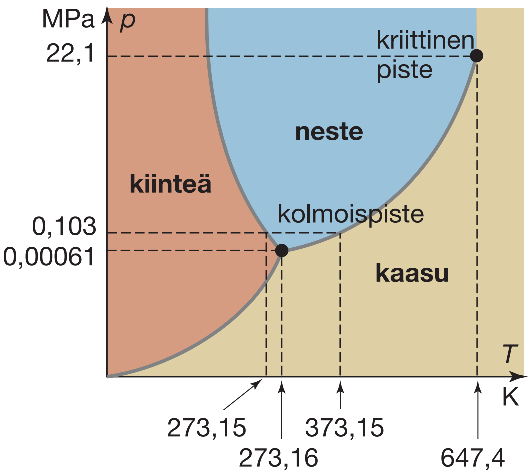
Luokasta poistui ilmaa tilavuuden muutoksen verran:
$\Delta V = 154{,}369\ \text{m}^3 - 150\ \text{m}^3 = 4{,}369\ \text{m}^3 \approx 4{,}4\ \text{m}^3$.

Kaasu teki laajetessaan työn $\Delta W = p\Delta V = 110\ \text{kPa} \cdot 4{,}369\ \text{m}^3 \approx 480\ \text{kJ}$.

39. Kaasun yleisestä tilanyhtälöstä $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ pallon uudeksi tilavuudeksi saadaan

$$V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{1{,}02 p_0 \cdot 15\,\text{dm}^3 \cdot 270{,}15\,\text{K}}{p_0 \cdot 295{,}15\,\text{K}} \approx 14\,\text{dm}^3.$$

40. Faasikaaviolla kuvataan aineen eri olomuotoja (T, p)-koordinaatistossa eli eri paineissa ja lämpötiloissa. Aineen eri olomuodot edustavat eri faaseja. Eri olomuotoja esittäviä alueita rajaavat tasapainokäyrät (rajakäyrät): sulamiskäyrä, höyrystymiskäyrä ja sublimoitumiskäyrä. Faasimuutos tarkoittaa aineen siirtymistä rajapinnan läpi toiseen faasiin.



Tasapainokäyrillä kaksi faasia on tasapainossa keskenään. Aineen sulamiskäyrällä kiinteä- ja nestefaasi ovat tasapainossa eli molemmat olomuodot esiintyvät yhtä aikaa, höyrystymiskäyrällä neste- ja kaasufaasi ovat tasapainossa ja sublimoitumiskäyrällä kiinteä- ja kaasufaasi ovat tasapainossa.

Faasikaaviossa tasapainokäyrät kohtaavat pisteessä, jota kutsutaan kolmoispisteeksi. Kolmoispisteen lämpötilassa ja paineessa kaikki kolme olomuotoa ovat tasapainossa ja aine voi esiintyä samanaikaisesti kaikissa kolmessa olomuodossaan.

Faasikaavion höyrystymiskäyrä päättyy kriittiseen pisteeseen, joka on kullekin aineelle ominainen lämpötilan (kriittinen lämpötila) ja paineen (kriittinen paine) yhdistelmä. Kriittistä pistettä korkeammissa paineissa ja lämpötiloissa nestemäisen ja kaasumaisen olomuodon raja häviää. Kun paine muuttuu, aine muuttuu olomuodosta toiseen vähitellen ilman faasimuutosta.

Faasikaavio on malli, jonka avulla voi ennustaa, mitä aineella tapahtuu lämpötilan tai paineen tai molempien muuttuessa.

41. a) Faasikaaviossa tasapainokäyrät sulamiskäyrä, höyrystymiskäyrä ja sublimoitumiskäyrä kohtaavat pisteessä, jota kutsutaan kolmoispisteeksi. Kolmoispisteen lämpötilassa ja paineessa kaikki kolme olomuotoa ovat tasapainossa ja aine voi esiintyä samanaikaisesti kaikissa kolmessa olomuodossaan.

b) Veden kolmoispiste on tarkasti mitattavissa. Absoluuttisen lämpötila-asteikon eli kelvinasteikon toiseksi peruspisteeksi on valittu veden kolmoispisteen lämpötila, jolle on sovittu arvo 273,16 K. Toinen peruspiste on absoluuttinen nollalämpötila. Molemmat peruspisteet ovat olosuhteista riippumattomia toisin kuin esimerkiksi celsiusasteikon peruspisteet, veden sulamis- ja kiehumispisteet, jotka riippuvat paineesta.

42. a) Nuoli 1: aineen olomuoto muuttuu kiinteästä nesteeksi.
Nuoli 2: aineen olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi.
Nuoli 3: aineen olomuoto muuttuu kiinteästä nesteen kautta kaasuksi.

b) Nuoli 1: aineen lämpötila kasvaa, mutta paine ei muutu.
Nuoli 2: aineen lämpötila ja paine kasvavat.
Nuoli 3: aineen lämpötila ei muutu, mutta paine pienenee.

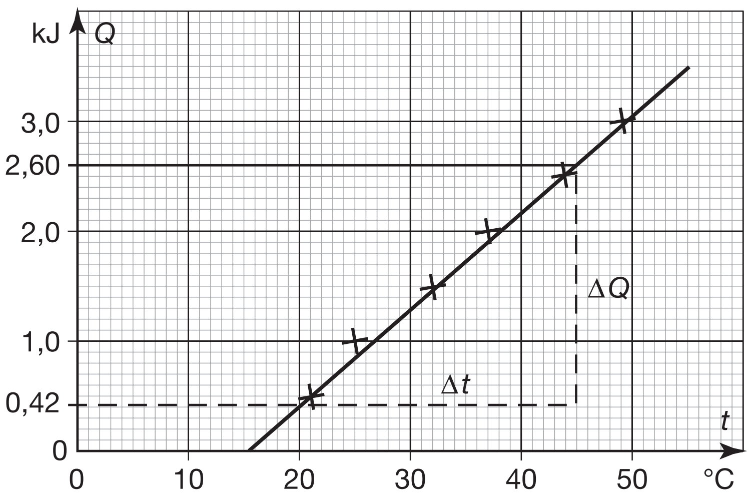
43. Kuvaajista vasemmanpuoleinen on veden ja oikeanpuoleinen hiilidioksidin faasikaavio.

a) Alhaisessa lämpötilassa hiilidioksidi on kiinteässä olomuodossa, joten lämpötilan kohotessa normaalipaineessa kiinteä hiilidioksidi muuttuu kaasuksi.

b) Kun vettä puristetaan kokoon lämpötilassa 110 °C, veden olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi.

c) Kun paine kasvaa, veden sulamispiste laskee, mutta hiilidioksidilla kasvaa.

44.



Astian ja veden yhteinen lämpökapasiteetti on kuvion mukaan

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{2{,}60\ \text{kJ} - 0{,}42\ \text{kJ}}{45\,°\text{C} - 20\,°\text{C}} \approx 87\,\frac{\text{J}}{°\text{C}} = 87\,\frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

45. Kuuma vesi (1) ja kylmä vesi (2) yhdistetään, jolloin loppulämpötila on t_0.
m_1 = 1,5 kg, Δt_1 = 80 °C − t_0
m_1 = 7,5 kg, Δt_2 = t_0 −18 °C

Oletetaan, että systeemistä ei poistu mittauksen aikana energiaa lämpönä. Kuuman veden luovuttama energia $Q_1 = c_{\text{vesi}} m_1 \Delta t_1$ on yhtä suuri kuin kylmän veden vastaan ottama energia $Q_2 = c_{\text{vesi}} m_2 \Delta t_2$, joten

$Q_1 = Q_2$ eli $c_{\text{vesi}} m_1 \Delta t_1 = c_{\text{vesi}} m_2 \Delta t_2$.

Sijoitetaan yhtälöön alkuarvot:

$$1,5\text{ kg}\cdot(80\text{ °C} - t_0) = 7,5\text{ kg}\cdot(t_0 - 18\text{ °C})$$
$$120\text{°C} - 1,5t_0 = 7,5t_0 - 135\text{ °C}$$
$$9,0t_0 = 255\text{°C}.$$

Loppulämpötila on $t_0 = \dfrac{255\text{°C}}{9,0} \approx 28\text{°C}.$

46. Lämpötilanmuutos celsiusasteina on Δt = 60,0 °C ja kelvineinä ΔT = 60,0 K. Yhdestä moukarin pudotuksesta vapautuva potentiaalienergia on

$$W = Gh = mgs = 1,5\text{ kg}\cdot 9,81\text{ m/s}^2\cdot 1,0\text{ m} \approx 14,72\text{ J}.$$

Kappaleeseen kohdistuva paino muuntaa potentiaalienergian liike-energiaksi. Rautapala saa yhden pudotuksen vaikutuksesta puolet tästä energiasta: $\dfrac{14,72\text{ J}}{2} = 7,36\text{ J}$.

Lämmetäkseen 60,0 K rautapala tarvitsee energian

$$Q = cm\Delta T = 0,450\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 0,20\text{ kg}\cdot 60,0\text{K} = 5\,400\text{ J}.$$

Pudotuskertojen määrä on $\dfrac{5\,400\text{ J}}{7,36\text{ J}} \approx 730$.

Toinen tapa:
Lasketaan kuinka suuri lämpötilan muutos aiheutuu yhdestä pudotuksesta.

$$Q = cm\Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{0,00736\text{ kJ}}{0,450\dfrac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 0,2\text{ kg}} \approx 0,08178\text{ K}.$$

Tarvittavien pudotusten määrä on $\dfrac{60,0\text{ K}}{0,08178\text{ K}} \approx 730$.

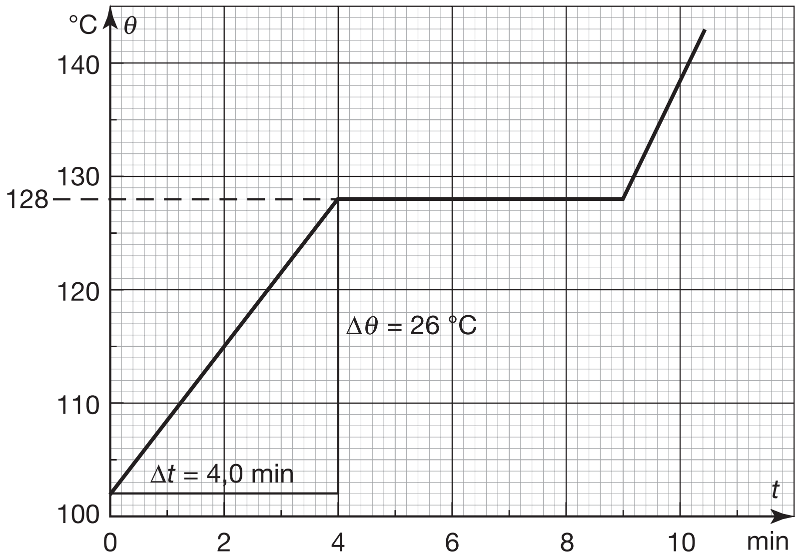
47. Lämpötilanmuutos celsiusasteina on Δt = 290 °C ja kelvineinä ΔT = 290 K. Kuulan liike-energia on $E_\text{k} = \dfrac{1}{2}mv^2$. Kuula ottaa törmäyksessä vastaan energian $Q = cm\Delta T$, jolloin kuula lämpenee. Törmäyksessä puolet liike-energiasta E_k muuntuu kuulan sisäenergiaksi Q:

$$\frac{1}{2}E_k = Q \text{ eli } \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}mv^2 = cm\Delta T.$$

Yhtälöstä $v^2 = 4c\Delta T$ ratkaistaan nopeus v:

$$v = \sqrt{4c\Delta T} = \sqrt{4\cdot 0{,}128\cdot 10^3\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 290\text{ K}} \approx 390\text{ m/s}.$$

48.



a) Aineen lämpötila kohoaa, kunnes se alkaa pysyä vakiona. Silloin aine sulaa. Kuvion perusteella aineen sulamispiste on 128 °C.

b) Aikavälillä Δt = 4,0 min − 0,0 min = 4,0 min aine lämpenee. Vakioteholla lämmitettäessä aineeseen sitoutuva energia on $Q = P\Delta t$. Tämä energia aiheuttaa aineen lämpenemisen, joten toisaalta $Q = cm\Delta T$. Kuvion mukaan lämpötilan nousu on $\Delta\theta$ = 128 °C − 102 °C = 26 °C, joten ΔT = 26 K.

Lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{cm\Delta T}{\Delta t} = \frac{6{,}0\cdot 10^3\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 0{,}080\text{ kg}\cdot 26\text{ K}}{4{,}0\cdot 60\text{ s}} = 52\text{ W}.$$

c) Kuvaajan vaakasuora osa kuvaa sulamisaikaa, jonka pituus on t = 5,0 min. Vakioteholla lämmitettäessä aineeseen sitoutuvan energian suuruus on $Q = P\cdot t$. Tämä energia aiheuttaa aineen sulamisen, joten toisaalta $Q = s\cdot m$. Yhtälöstä $sm = Pt$ ratkaistaan aineen ominaissulamislämpö:

$$s = \frac{Pt}{m} = \frac{52\,\frac{\text{J}}{\text{s}}\cdot 5{,}0\cdot 60\text{ s}}{0{,}080\text{ kg}} = 195\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 200\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}.$$

49. Lämpötilan muutos Δt = 7,5 °C − 0,0 °C, joten ΔT = 7,5 K.
Veden jäähtyessä energiaa siirtyy maahan määrä

$$Q = cm\Delta T = c\rho V\Delta T = c\rho Ah\Delta T$$

$$= 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 338145\cdot 10^6\,\text{m}^2\cdot 0{,}0050\text{ m}\cdot 7{,}5\text{ K}$$

$$\approx 53\cdot 10^{15}\text{ J.}$$

Veden jäähtyessä nolla-asteiseksi energiaa vapautuu, ja se voi sitoutua maahan tultuaan monella tavalla, sillä maanpinnan lämpötila eri puolilla Suomea on varmasti erilainen. Erilaisia mahdollisuuksia:

- lämmittää pakkaslunta 0-celsiusasteiseksi ja sulattaa osan siitä
- sulattaa 0-asteista lunta ja jäätä
- lämmittää jäisen maanpinnan 0-asteiseksi
- imeytyy maahan ja lämmittää sitä 0-asteiseksi.

50. Kuuma vesi luovuttaa jäähtyessään energiaa. Lämpötila voi alentua korkeintaan 100 K, jolloin vesi voi luovuttaa energiaa enintään määrän

$$Q_1 = cm\Delta T = 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 1{,}0\text{ kg}\cdot 100\text{ K} = 419\text{ kJ.}$$

Jää ottaa sulaessaan vastaan energiaa määrän.

$$Q_2 = sm = 333\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\cdot 5{,}0\text{ kg} = 1665\text{ kJ}$$

Vapautuva energia ei riitä koko jäämassan sulattamiseen, joten jäätä jää sulamatta. Loppulämpötila on 0,0 °C.

51. a) Lämpötilan muutos on Δt = 95 °C − 15 °C = 80 °C, joten ΔT = 80 K.

Vettä lämmitettäessä tarvittavan energian määrä on

$$Q = cm\Delta T = 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 1{,}0\text{ kg}\cdot 80\text{ K}\approx 340\text{ kJ.}$$

b) Kun alumiini ottaa vastaan energian $Q = cm\Delta T$, lämpötilan muutos saadaan yhtälöstä

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{335{,}2\text{ kJ}}{0{,}900\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 0{,}57\text{ kg}}\approx 653\text{ K.}$$

Lämpötilan muutos celsiusasteina on 653 °C.

Loppulämpötila olisi 15 °C + 653°C = 668 °C ≈ 670 °C, mutta alumiini sulaa vähän alemmassa lämpötilassa eli 660 asteessa, joka on siis loppulämpötila, koska sulamisen aikana lämpötila ei kohoa. Alumiinin saama energia on vain vähän suurempi kuin sen lämpötilan kohottamiseksi sulamispisteeseen tarvittavan energian. Alumiini on tässä tilanteessa alkanut sulaa pohjasta ja on siis osittain sula, osittain kiinteä. Kattilan reunojen lämpötila on todellisuudessa alempi kuin pohjan lämpötila.

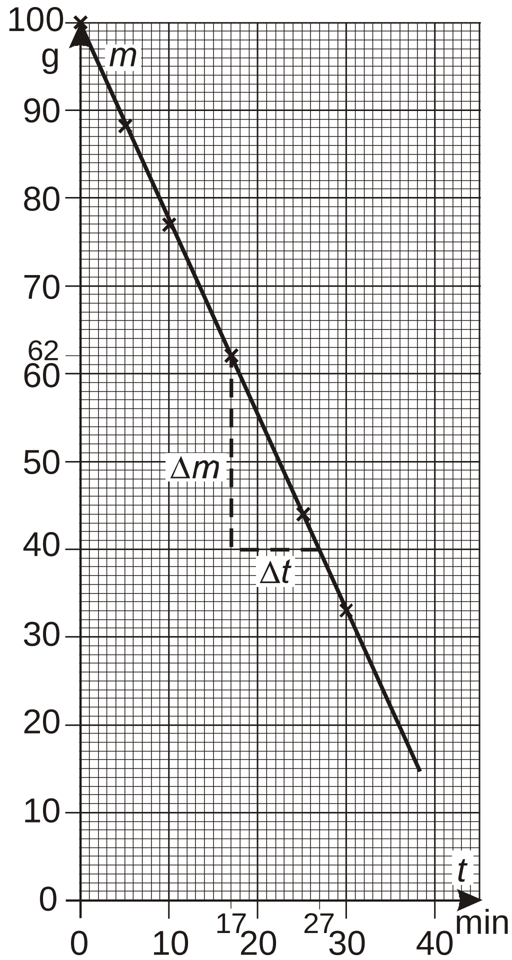
52. Vesi oli aluksi kiehuvaa, joten veden vastaanottama energia kului veden höyrystymiseen. Lasketaan veden tilavuuden avulla vastaavat höyrystyneen veden massojen arvot yhtälöstä $m = \rho \cdot V = 1{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot V$.

t/min	0	5	10	15	20	25	30
V/cm^3	100,0	88	77	66	56	44	33
m/g	100,0	88	77	66	56	44	33

Mikroaaltouuni luovuttaa veden höyrystämiseen energian $Q = Pt$. Toisaalta höyrystämiseen tarvittava energia saadaan yhtälöstä $Q = rm$, joten $Pt = rm$.

Mikroaaltouuni höyrystää vettä teholla $P = \frac{rm}{t}$.

Asetetaan mitatut arvot (t, m)-koordinaatistoon ja sovitetaan pistejoukkoon suora.



Suoran kulmakertoimeksi saadaan kuviosta

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{0{,}040\ \text{kg} - 0{,}062\ \text{kg}}{27\ \text{min}\ -\ 17\ \text{min}} = \frac{-0{,}022\ \text{kg}}{600\ \text{s}} \approx -0{,}000\,036\,67\ \text{kg/s}.$$

Veden määrä pienenee, siksi veden massan muutos Δm on negatiivinen, joten höyrystyneen veden massa 10,0 minuutin aikana on 0,022 kg.

Mikroaaltouuni höyrystää vettä teholla

$$P = \frac{rm}{t} = r\left|\frac{m}{t}\right| = 2\,260\ \cdot 10^3\ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0{,}00003667\ \text{kg/s} \approx 83\ \text{W}$$

Mitattu teho oli pienempi kuin mikroaaltouunin valinta-asteikon ilmoittama teho, koska osa tehosta kului esimerkiksi uunin seinämien lämpenemiseen. (Uunin sisälämpötila mitattiin alussa ja lopussa ja sen todettiin kohonneen noin 20 ºC.)

53. Sähkövastus ottaa sähköverkosta energian $E = Pt$ = 650 J/s · 35 · 60 s = 1 365 kJ. Vesi lämpenee kiehumispisteeseen ja osa vedestä höyrystyy. Veden vastaan ottama energia on

$$\begin{aligned} Q &= cm_{\mathrm{v}}\Delta T \ + \ m_{\mathrm{h}}r \\ &= 4{,}19\ \mathrm{kJ/(kgK)} \cdot 2{,}0\ \mathrm{kg} \cdot 80\,\mathrm{K} \ + \ 0{,}24\ \mathrm{kg} \cdot 2260\ \mathrm{kJ/kg} \\ &= 1212{,}8\ \mathrm{kJ} \approx 1200\,\mathrm{kJ}. \end{aligned}$$

Sähköverkosta otetusta energiasta siirtyvä osa prosentteina on $\frac{1212{,}8\ \mathrm{kJ}}{1365\ \mathrm{kJ}} \cdot 100\ \% \approx 89\ \%.$

54. a) Lämpötilat T_1 ja T_2 lämpösäiliöiden lämpötilat, $T_1 > T_2$.
Q_1 ja Q_2 ovat koneen ja lämpösäiliön välillä siirtyviä energiamääriä.
W tarkoittaa koneen tekemää työtä.

b) Kaavio 4 on lämpöopin 2. pääsäännön vastainen: kaaviossa 4 lämpö siirtyisi itsestään kylmäsäiliöstä lämpösäiliöön.

c) Kaavio 3 esittää maalämpöpumppua, joka on jäähdytyskone. Kone siirtää ulkoisen työn W avulla energiaa alemmasta lämpötilasta T_2 korkeampaan lämpötilaan T_1. Kone siirtää energian Q_1 kuumasäiliöön: $Q_1 = Q_2 + W$.

d) Kaavio 1 esittää kivihiilivoimalaitosta.
Kone ottaa korkeammasta lämpötilasta energian Q_1 ja tekee työn $W = Q_1 - Q_2$. Kone luovuttaa alempaan lämpötilaan T_2 energian Q_2.

55. a) Kummassakin tapauksessa lämpöä siirretään alemmasta lämpötilasta ylempään. Tämä on lämpöopin II pääsäännön mukaan mahdotonta ilman ulkoista työtä.

b) Jääkaapin Carnot-hyötysuhteeksi saadaan $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{255{,}15\,\mathrm{K}}{299{,}15\,\mathrm{K}} \approx 0{,}15$.

Jääkaapin hukkaenergia poistuu lämpönä huoneilmaan. Kylmillä ilmoilla tämä energia lämmittää asuntoa ja siten pienentää lämmityskustannuksia.

56. a) Lauhdutin alentaa kylmäsäiliön lämpötilaa T_2. Lämpötilat ovat
T_1 = (220 + 273,15) K = 493,15 K ja T_2 = (52 + 273,15) K = 325,15 K.
Carnot-hyötysuhteeksi saadaan $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{325{,}15\,\mathrm{K}}{493{,}15\,\mathrm{K}} \approx 0{,}34$.

b) Koska lämpösäiliön lämpötilaa T_1 kohotetaan, hyötysuhde paranee. Lämpötilat ovat

T_1 = (273,15 + 335) K = 608,15 K ja T_2 = 325,15 K.

Carnot-hyötysuhteeksi saadaan $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{325{,}15\,\mathrm{K}}{608{,}15\,\mathrm{K}} \approx 0{,}47$.