

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 1-1.** Henkilöiden sijoittaminen tarkasti oikealle vuosisadalle on hieman ongelmallista, koska useat heistä kuten Galileo Galilei (1564–1642) ja Sir Isaac Newton (1642–1727) elivät kahdella eri vuosisadalla. Ohessa eräs ehdotus.

Galileo Galilei	kokeellisen tutkimuksen edelläkävijä 1500–1600
Albert Einstein	suhteellisuusteoria 1900
Aristoteles	maakeskinen maailmanjärjestys 400 eaa.
Marie Curie	radioaktiivisuus 1900
Sir Isaac Newton	voimien yleinen teoria 1600–1700
Anders Celsius	lämpötila-asteikko 1700

- 1-2. a)** Galileo Galileita (1564–1642) voidaan pitää nykyaikaisen luonnontieteellisen tutkimusmenetelmän isänä. Hän tutki mm. putoamisliikettä vierittämällä kuulia kaltevalla tasolla. Galilei päätteli tekemiensä kokeiden perusteella kaikkien kappaleiden putoavan tyhjiössä yhtä nopeasti. Hän oli ensimmäisiä liikkeen jatkuvuuden lain ymmärtäviä luonnontieteilijöitä. Galilei ei kyennyt kuitenkaan kirjoittamaan sitä riittävän selkeään muotoon. Hän ei myös ymmärtänyt, miksi kappaleet putosivat maan pinnalle.

Puolalainen Marie Curie (1867–1934) (virallisesti Marie Skłodowska-Curie) on historian tunnetuin naisfyysikko. Hän tuli tunnetuksi yhdessä miehensä Pierre Curien ja ranskalaisen Henri Becquerellin kanssa radioaktiivisuuden keksimisestä. Hän on ainut ihminen, joka on saanut sekä kemian että fysiikan Nobelin palkinnon.

Albert Einstein (1879–1955) on ehkä kaikkien aikojen tunnetuin fyysikko. Hän loi suhteellisuusteorian sekä keksi valon kvanttiteorian, jonka avulla hän selitti valosähköilmiön. Einsteinin luoma suhteellisuusteoria on yksi nykyfysiikan pääteorioista. Siinä hän loi

uuden käsityksen ajan ja avaruuden rakenteesta. Suhteellisuusteorian ehkä tunnetuin seuraus on massan ja energian vastaavuus, $E = mc^2$. Nykyaikana tätä tietoa hyödynnetään esimerkiksi ydinenergian tuotannossa. Valon kvanttiteoria muodosti pohjan nykyaikaisen kvanttimekaniikan kehitykselle.

b) Ensimmäisenä radioaktiivisten aineiden olemassaolon havaitsi ranskalainen fyysikko Henri Becquerel vuonna 1896. Hän havaitsi, että eräistä uraanisuoloista lähtevä säteily sai valoherkän filmin valottumaan pimeässäkin. Marie Curie kiinnostui ilmiöstä ja nimesi sen radioaktiivisuudeksi. Kaksi vuotta myöhemmin Marie Curie keksi miehensä Pierre Curien kanssa sekä pimeässä loistavan radiumin että toisen radioaktiivisen aineen, poloniumin. Marie Curie, Pierre Curie ja Becquerel saivat vuonna 1903 fysiikan Nobel-palkinnon radioaktiivisuuden keksimisestä.

c) Gunnar Nordström (1881–1923) oli suomalainen fyysikko. Hänet tunnetaan erityisesti painovoimateoriastaan, jonka hän loi ennen Einsteinin yleistä suhteellisuusteoriaa. Hän tutki myös mustia aukkoja ja esitti ajatuksen viisiulotteisesta avaruudesta. Nordström on saanut melko paljon huomiota ulkomailla, mutta Suomessa hän on melko tuntematon henkilö. Nordström oli kiinnostunut uusien ilmiöiden kuten radioaktiivisuuden tutkimuksesta.

1-3. a) Kopernikaanisen maailmanjärjestelmän mukaan taivaankappaleiden liikkeet voidaan yksinkertaisesti kuvata aurinkokeskisen järjestelmän avulla. Näin ollen Maa kiertää Aurinkoa ja pyörii akselinsa ympäri. Kopernikaaninen maailmankuva syrjäytti aikaisemmat maailmankuvat.

b) Sir Isaac Newton eli vuosina 1642–1727. Hän selitti liikkeen jatkavuuden. Newton havaitsi tietyt luonnon säännönmukaiset ominaisuudet, joiden perusteella hän päätteli mm. mekaniikan kolme peruslakia ja gravitaatiolain. Mekaniikan peruslakeja kutsutaan myös Newtonin laeiksi. Hän tutki myös optikkaa ja keksi valon spektrin.

- 1-4.** Isaac Newtonin (1642–1727) elinaikaan liittyvät mm. 30-vuotinen sota, nälkävuodet Suomessa sekä Pietari Suuren astuminen valtaan Venäjällä. Marie Curien (1867–1934) aikaan liittyvät mm. buurisota, Aleksis Kiven romaanin Seitsemän veljestä ilmestyminen, helmikuun manifesti, Sarajevon laukaukset, ensimmäinen maailmansota, Venäjän vallankumous ja Suomen itsenäistyminen. Albert Einsteinin (1879–1955) aikaan liittyvät mm. ensimmäinen ja toinen maailmansota, Venäjän vallankumous ja Suomen itsenäistyminen.
- 1-5.** Fysiikan vaikutukset yhteiskunnan kehittymiseen, joitakin esimerkkejä:
- höyrykone: teollistumisen alku
 - liikennevälineet: tavaroiden ja ihmisten liikkuvuus
 - sähköntuotanto ja sen myötä energian siirrettävyys: teollistumisen nopea kehittyminen ja yhteiskunnan toimintojen perustuminen sähköön
 - sähkömagneettinen säteily: tiedonvälitys maailmanlaajuisesti.
- 1-6.** a) Ruotsalainen Alfred Nobel oli liikemies, joka loi omaisuutensa mm. öljyteollisuudessa. Hän myös keksi dynamiitin. Nobelin testamentin mukaisesti vuonna 1895 perustettiin hänen nimeään kantava säätiö. Nobelin säätiön rahaston tuotosta jaetaan vuosittain Nobelin palkinnot tieteellisistä ja taiteellisista saavutuksista.
- b) Ensimmäinen palkittu oli Wilhelm Röntgen vuonna 1901. Hän sai palkintonsa röntgensäteilyn keksimisestä.
- Fysiikan Nobel-palkitut (toukokuu 2016):
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/index.html
- 1-7.** TOE (*Theory of Everything*) eli yhtenäisteoria on teoria, jossa kaikki fysiikan eri ilmiöalueet ja niitä koskevat teoriat yhdistyisivät yhdeksi teoriaksi. Vaatimukset täyttävää TOE:ta ei ole vielä keksitty.
- 1-8.** a) Jatko-opiskelupaikkoja, joissa fysiikkaa tarvitaan, on paljon. Tässä

joitakin esimerkkejä:

- Yliopistojen
 - matemaattis-luonnontieteelliset tiedekunnat
 - maatalous-metsätieteellinen tiedekunta
 - lääketieteellinen tiedekunta
 - kasvatustieteellinen tiedekunta; luokanopettajat
- Teknilliset yliopistot ja tiedekunnat
- Maanpuolustuskorkeakoulu
- Ammattikorkeakoulut
 - tekniikka
 - maa- ja metsätalous
 - luonnonvarat
 - terveydenhoito
- Ammatilliset oppilaitokset
- Opiskelu ulkomailla

b) Joitakin ammatteja, joissa tarvitaan fysiikan tietoja:

- fyysikko
- sairaalafyysikko
- tähtitieteilijä
- meteorologi
- lääkäri
- opettaja
- arkkitehti
- valmentaja, urheilija
- tuotesuunnittelija teollisuudessa
- elektroniikkainsinööri
- metsäntutkija
- optikko

1-9. a) Höyrykoneen keksiminen ja kehitystyö 1700-luvulla mullisti liikkumisen. Ennen höyrykoneen keksimistä oli liikuttu jalan tai hevosilla.

- b) Auton polttomoottori keksittiin 1800-luvun lopussa.
- c) Charles Lindberg lensi ensimmäistä kertaa lentokoneella yli Atlantin, New Yorkista Pariisiin, vuonna 1927.
- d) Ihminen kävi Kuussa vuonna 1969.
- e) Amerikkalainen Dennis Tito teki ensimmäisen avaruusturistimatkan 28.4.– 6.5.2001.

Ohessa lisää liikkumiseen liittyviä vuosilukuja.

Ensimmäinen kuumailmapallo (Montgolfier)	1783
Ilmalaiva Zeppelin	1900
Höyrykone laivan moottorina	1802
Ensimmäinen junayhteys avattiin Liverpoolista Manchesteriin	1830
Suomen ensimmäinen rautatieyhteys Helsingin ja Hämeenlinnan välillä	1862
Auton polttomoottori	1800-luvun lopussa
Ensimmäinen säännöllinen matkustajareittilento Lontoosta Pariisiin	1919
Charles Lindberg lentää ensimmäistä kertaa lentokoneella yli Atlantin, New Yorkista Pariisiin	1927
Suihkumoottoria käyttävä lentokone	1939
Ensimmäiset raketit	1943
Massamatkailun läpimurto: otettiin käyttöön Boeing 707 -suihkukone	1958
Suuret matkustajalentokoneet otettiin käyttöön	1970
Avaruussukkula Columbia	1981

- 1-10.** a) Sähkön käyttö on aiheuttanut suuren muutoksen lähes kaikkeen toimintaan. Sähkön käyttö alkoi laajamittaisesti New Yorkissa Yhdysvalloissa 1900-luvun alussa.
- b) Ensimmäisen käyttökelpoisen ja teolliseen tuotantoon soveltuvan sähkölampun toi markkinoille amerikkalainen Thomas Alva Edison vuonna 1879. Suuri yleisö sai ihastella keksintöä ensimmäisen kerran Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1881.
- c) Suomen ja koko Pohjoismaiden ensimmäinen sähkövalo syttyi Finlaysonin suuressa kutomosalissa Plevnassa Tampereella vuonna 1882.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

2-1. a) Vaikeasti mitattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kauneus, maku ja tyylikkyys.

b) Suureita, joille käytetään eri yksiköitä, ovat esimerkiksi seuraavat:

lämpötila	celsiusaste, fahrenheitaste, kelvin
teho	hevosvoima, kW
ravinnon energiasisältö	kcal, MJ
nopeus	km/h, m/s, solmu, mph

2-2. a) Nopeuden tunnus $\bar{v}$ tulee sanasta *velocity*.

b) Voiman tunnus $\bar{F}$ tulee sanasta *force*.

c) Tehon tunnus P tulee sanasta *power*.

d) Lämpötilan tunnus T tulee sanasta *temperature*.

2-3. a) Kuvan mittarilla mitataan verenpainetta ja sydämen pulssia.

b) SYS mmHg tarkoittaa veden systolista painetta eli yläpainetta eli painetta silloin, kun sydän puristaa verta valtimoihin.

DIA tarkoittaa veren diastolista painetta eli alapainetta eli painetta supistusten välillä (jolloin sydän lepää).

mmHg eli elohopeamillimetri on paineen yksikkö.

Pulse/min tarkoittaa sydämen lyöntien määrää minuutissa.

2-4. a) Ihmisen oman reaktioajan vuoksi mitattua aikaa ei voi ilmoittaa sekunnin sadasosan tarkkuudella: järkevä tarkkuus on 12,4 s.

b) Kaupan vaaka mittaa massan 1 gramman tarkkuudella.

2-5. a) Mittaustuloksessa 13 s on kaksi merkitsevää numeroa.

- b) Koska desimaaliluvun loppunolla on merkitsevä, mittaustuloksessa 15,0 kg on kolme merkitsevää numeroa.
- c) Koska desimaaliluvun alussa oleva nolla ei ole merkitsevä, mittaustuloksessa 0,2 m on yksi merkitsevä numero.
- d) Mittaustuloksessa 0,047 g on kaksi merkitsevää numeroa.
- e) Mittaustuloksessa 400 m on tilanteesta riippuen yksi, kaksi tai kolme merkitsevää numeroa.

2-6. Punnitustuloksessa 1500 g on kaksi, kolme tai neljä merkitsevää numeroa. Mutta ei tiedetä kuinka monta. Siksi 1500 g ei ilmaise punnitustulosta gramman tarkkuudella. Koska desimaaliluvun lopussa olevat nollat ovat merkitseviä eli grammoja vastaava viimeinen nolla on tarkka, punnitustuloksessa 1,500 kg on neljä merkitsevää numeroa. Punnitustulos 1,500 kg on ilmoitettu gramman tarkkuudella.

2-7. a)

	t (s)	$ \Delta t $ (s)
	2,38	0,087
	2,40	0,067
	2,59	0,123
	2,53	0,063
	2,40	0,067
	2,57	0,103
	2,37	0,097
	2,39	0,077
	2,57	0,103
keskiarvo	2,467	0,087

Putoamisaika on $t = 2,5 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$.

b) Suhteellinen virhe on

$$\frac{0,087\text{ s}}{2,467\text{ s}} = 0,035 \approx 4\%.$$

c) Virhelähteitä ovat lähinnä matkapuhelimen ajanottolaitteen käyttöön liittyvät ongelmat: ajanottolaitteen käynnistys ja mittauksen lopetus oikeaan aikaan. Mittaustuloksen saisi tarkemmaksi käyttämällä sähköistä mittausjärjestelmää.

- 2-8.** Taulukoiduissa arvoissa mittaajan nro 5 mittaustulos poikkeaa selvästi muista mittaustuloksista. Jätetään tämä mittaustulos pois.

x_i	l_i (cm)	x_i	l_i (cm)
1	250,1	6	250,0
2	249,9	7	249,9
3	250,0	8	249,9
4	250,1	9	250,1
5	260,1	10	250,0

Mittaustulosten keskiarvo on 250,0 cm.

Vaihteluvälin puolikas on

$$\Delta l = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{2} = \frac{250,1\text{ cm} - 249,9\text{ cm}}{2} = 0,1\text{ cm}.$$

Pituus on $l = 250,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$.

- 2-9.** Mitä suurempi värähtelijän massa on, sitä pitempi on värähdysaika.
- 2-10.** Mitä pitempi heilurin varren pituus on, sitä pitempi on heilahdusaika.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 3-1.** a) Etuliite k (kilo) tarkoittaa tuhatta:

$$k = 10^3 = 1000, \text{ joten } 2,5 \text{ km} = 2500 \text{ m.}$$

- b) Etuliite M (mega) tarkoittaa miljoonaa:

$$M = 10^6 = 1\,000\,000, \text{ joten } 1000 \text{ MW} = 1\,000\,000\,000 \text{ W.}$$

- 3-2.** Kyseessä on yhdessä tabletissa olevan tietyn vitamiinin massa.

Etuliite μ (mikro) tarkoittaa miljoonasosaa, joten $300 \mu\text{g} = 0,000\,300 \text{ g}$.

Etuliite m (milli) tarkoittaa tuhannesosaa eli $1,4 \text{ mg} = 0,0014 \text{ g}$.

- 3-3.** a) $1500 \text{ m} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m} = 1,5 \text{ km}$.

b) $3\,400\,000\,000 \text{ Hz} = 3,4 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 3,4 \text{ GHz}$.

c) $0,0035 \text{ m} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,5 \text{ mm}$.

d) $0,000\,0026 \text{ m} = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2,6 \mu\text{m}$.

- 3-4.** a) $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg} = 6\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ kg}$.

b) $2 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 0,002 \text{ g}$.

- 3-5.** a) $5 \text{ TB} = 5 \cdot 10^{12} \text{ B} = 5\,000\,000\,000\,000 \text{ B}$.

b) $2\,100 \text{ MHz} = 2\,100 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 2\,100\,000\,000 \text{ Hz}$.

c) $450 \text{ nm} = 450 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,000\,000\,450 \text{ m}$.

- 3-6.** a) $A = a \cdot b = 35 \text{ cm} \cdot 35 \text{ cm} = 1225 \text{ cm}^2 = 0,1225 \text{ m}^2 \approx 0,12 \text{ m}^2$.

Huomaa, pinta-alan muunnoksissa peräkkäisten yksiköiden suhdeluku on sata.

- b) Koska 1 dm^3 vastaa yhtä litraa, laatikkoon mahtuu 8,3 litraa vettä.

c) Tilavuuden muunnoksissa peräkkäisten yksiköiden suhdeluku on tuhat.

$$12,6 \text{ cm}^3 = 0,0126 \text{ dm}^3 = 0,000\,0126 \text{ m}^3 = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

3-7. a) $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$, joten $2100 \text{ kcal} = 2100 \cdot 10^3 \cdot 4,1868 \text{ J} \approx 8,8 \text{ MJ}$.

b) $1 \text{ hv} = 735,5 \text{ W}$, joten $83 \text{ hv} = 83 \cdot 735,5 \text{ W} \approx 61 \text{ kW}$.

3-8. a) Yksi tuuma on $1'' = 1 \text{ in} = 25,40 \text{ mm}$. Muunnetaan näyttöruudun halkaisijan yksiköksi tuuma:

$$d = \left(\frac{1020}{25,40} \right)'' \approx 40''.$$

Kyseessä on siis $40''$:n televisio.

b) Farkkujen merkinnässä $33''/32''$ ensimmäinen merkintä tarkoittaa farkkujen kokoa (vyötärön ympärysmitta) ja toinen lahkeiden pituutta:

$$33'' = 33 \cdot 0,02540 \text{ m} \approx 0,84 \text{ m}$$

$$32'' = 32 \cdot 0,02540 \text{ m} \approx 0,81 \text{ m}.$$

3-9. a) $24 \text{ m/s} = 24 \cdot 3,6 \text{ km/h} \approx 86 \text{ km/h}$.

$$\text{b) } 120 \text{ km/h} = \frac{120}{3,6} \text{ m/s} \approx 33 \text{ m/s}.$$

$$\text{c) } 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{100}{1,609} \text{ mph} \approx 62 \text{ mph}.$$

d) 1 solmu on meripeninkulma tunnissa:

$$v = 22 \text{ solmua} = 22 \text{ mpk/h} = 22 \cdot 1,852 \text{ km/h} \approx 41 \text{ km/h}.$$

3-10. a) $5,25 \text{ h} = 5 \text{ h} + 0,25 \text{ h} = 5 \text{ h} + 15 \text{ min} = 5 \text{ h } 15 \text{ min}$.

$$\text{b) } 2 \text{ h } 45 \text{ min} = (2 + 45/60) \text{ h} = 2,75 \text{ h}.$$

3-11. a) Halkaisijoiden suhde on sama kuin säteiden suhde eli

$$\frac{6,3781 \cdot 10^6 \text{ m}}{1,7382 \cdot 10^6 \text{ m}} \approx 3,67.$$

b) Tilavuuksien suhde on

$$\frac{V_{\text{Maa}}}{V_{\text{Kuu}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_{\text{Maa}}^3}{\frac{4}{3}\pi r_{\text{Kuu}}^3} = \frac{r_{\text{Maa}}^3}{r_{\text{Kuu}}^3} = \frac{(6,3781 \cdot 10^6 \text{ m})^3}{(1,7382 \cdot 10^6 \text{ m})^3} \approx 49.$$

Maan tilavuus on noin 49-kertainen Kuun tilavuuteen verrattuna.

3-12. Keskivauhti on

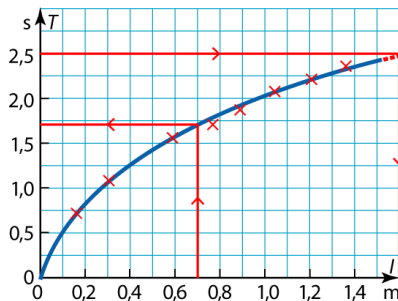
$$v = \frac{s}{t} = \frac{790 \text{ km}}{10 \text{ h}} = 79 \text{ km/h} \approx 80 \text{ km/h}.$$

3-13. Oikea vaihtoehto on c. Sähkötehon yhtälöstä $P = UI$ sähkövirran suuruus on

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3,2 \text{ kW}}{230 \text{ V}} = \frac{3200 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 14 \text{ A}.$$

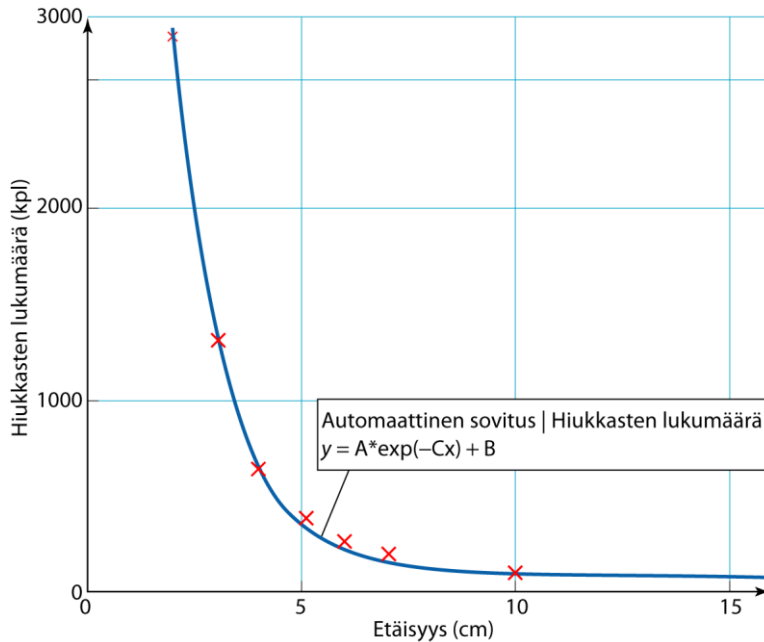
TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 4-1.** a) Vesi jäähtyy hitaimmin mukissa C.
b) Riippuvuus ei ole lineaarinen.
c) Muki A, lämpötila on $36\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Muki B, $58\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Muki C, $72\text{ }^{\circ}\text{C}$.
d) Mukeissa oleva vesi jäähtyy niin kauan kuin sen lämpötila on korkeampi kuin huoneilman lämpötila. Huoneilman lämpötila on siis $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ eli se lämpötila, johon vesi jäähtyy.
- 4-2.** a) Koska tölkki tyhjenee alussa nopeammin kuin lopussa, tölkin tyhjenemistä ajan funktiona ei voi kuvata suoralla.
b) Kun tölkki on tyhjentynyt 25 s, tölkissä on vettä noin 780 ml.
c) Kun puolet tölkistä eli 500 ml on tyhjentynyt, aikaa on kulunut noin 67 s.
- 4-3.** a) Mittaustulokset l, T -koordinaatistoissa.



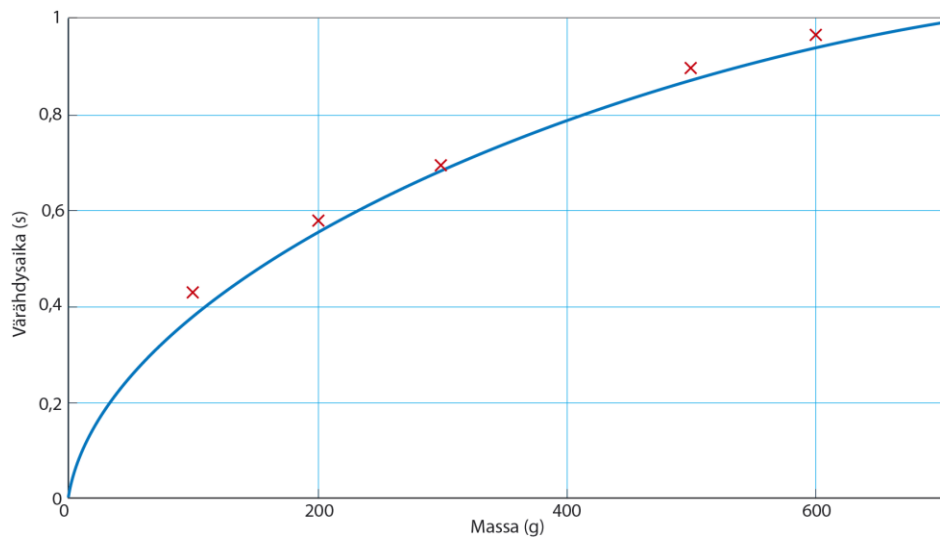
- b) Jos heilurin pituus on 70 cm, heilurin heilahdusaika on 1,7 s.
- c) Jos heilurin heilahdusaika on 2,5 s, ekstrapoloimalla heilurin pituudeksi saadaan 1,6 m.

4-4. a) Mittaustulokset r, N -koordinaatistossa.



- b) Kuvaajan perusteella hiukkasten lukumäärä vähenee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa.

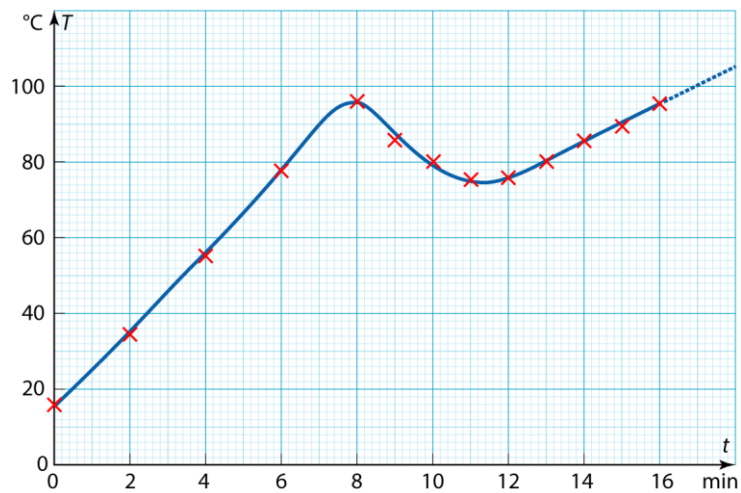
4-5. a) Siirretään taulukoidut mittaustulokset mittausohjelmaan. Vaaka-akseliksi nimetään massa ja pystyakseliksi jaksonaika eli kyseessä on m, T -koordinaatisto.



b) Kun mittausohjelmassa vie hiiren osoittimen kuvaajalla kohtaan 230 g, ohjelma antaa värähdysajaksi 0,65 s.

c) Massa on 140 g.

4-6. a) Kuvaajassa on esitetty keitoksen lämpötila ajan funktiona.

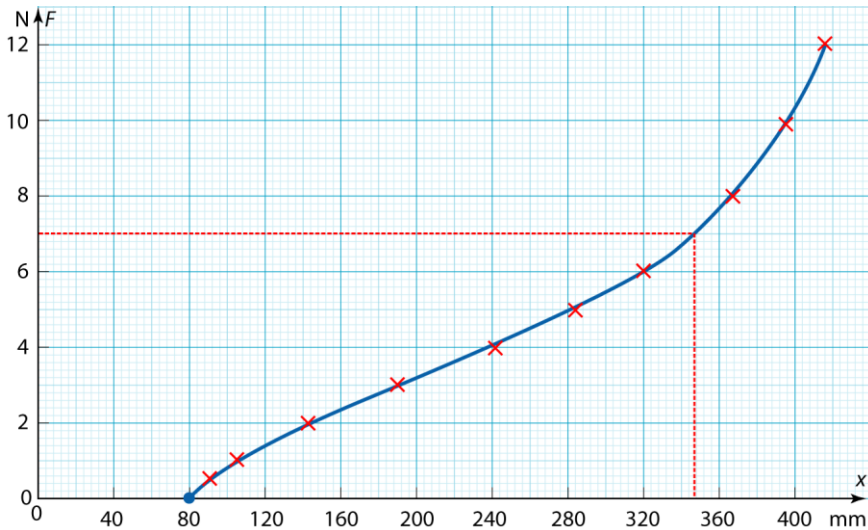


b) Aikavälillä 8,5 min – 10,5 min keitoksen lämpötila laskee, koska osa keitoksen energiasta kuluu jäisten marjojen lämmittämiseen ja sulattamiseen.

Aikavälillä 13,5 min – 15,5 min keitoksen lämpötila nousee. Marjat ovat sulaneet ja saavuttaneet muun keitoksen lämpötilan. Energiaa tarvitaan vain keitoksen lämmittämiseen.

c) Kuvaaja on lineaarinen hetkestä 12,0 min eteenpäin. Ekstrapoloidaan kuvaajaa. Kun $t \approx 17,0$ min, keitoksen lämpötila on $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4-7. a) $F(x)$:n kuvaaja eli voima F venymän x funktiona.



b) Kun venyttävä voima on $7,0\text{ N}$, kuvion perusteella kumilangan pituus on 347 mm .

c) Kun kumilankaa ei venytetä, on $F = 0\text{ N}$. Kun ekstrapoloidaan käyrä vaakaa-akselille, kumilangan pituus on 80 mm .

- 4-8.** Mittausten mukaan keskilämpötila vaihtelee vuosittain ja myös pitemmissä jaksoissa. Esimerkiksi vuosien 1880 ja 1940 tienoilla on ollut lämpimiä vuosia. Viileät ajanjaksot osuvat vuosien 1910 ja 1970 tienoille. Kuviosta havaitaan, että pitkällä aikavälillä maapallon keskilämpötila kohoaa, ja kohoamisnopeus kasvaa koko ajan viileämpien kausien välillä.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

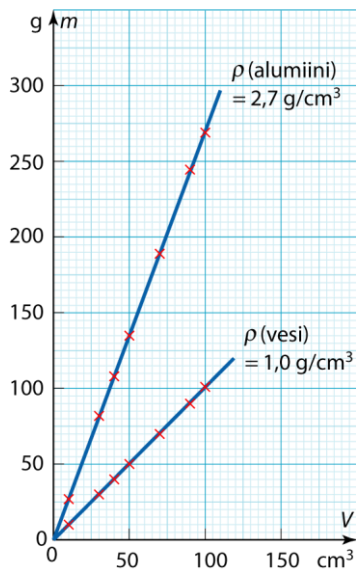
5-1. a) Kun tilavuus on 25 cm^3 , massa on 310 g .

b) Kun massa on 400 g , tilavuus on 32 cm^3 .

c) Tiheys on

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{500 \text{ g}}{40 \text{ cm}^3} = 12,5 \text{ g/cm}^3 \approx 13 \text{ g/cm}^3.$$

5-2. a) Mittaustulokset V, m -koordinaatistossa:



b) Tiheydet saadaan fysikaalisina kulmakertoimina:

Alumiini:

$$\rho_{\text{Al}} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{270 \text{ g} - 0 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3 - 0 \text{ cm}^3} = \frac{270 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3} = 2,7 \text{ g/cm}^3.$$

Vesi:

$$\rho_{\text{vesi}} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{100 \text{ g} - 0 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3 - 0 \text{ cm}^3} = \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3} = 1,0 \text{ g/cm}^3.$$

c) Alumiinin tiheys:

$$2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2,7 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ kg}}{\frac{1}{1000000} \text{ m}^3} = 2,7 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1000000}{1} \text{ kg/m}^3 = 2700 \text{ kg/m}^3.$$

Veden tiheys:

$$1,0 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3.$$

- 5-3.** a) Kuvaajissa 3 ja 4 on kyse lineaarisesta mallista.
b) Kuvaajassa 3 on kyse suoraan verrannollisuudesta.
- 5-4.** a) Vedelle voi määrittää tiheyden. Vesi on homogeeninen seos.
b) Ilmalle voi määrittää tiheyden. Ilma on likimain homogeeninen seos.
c) Täysinäiselle hiuslakkapullolle ei ole järkevää määrittää tiheyttä. Pullo on alumiinia, lakka nestettä ja lisäksi pullossa on kaasua.
d) Kalakeittoa ei ole järkevää määrittää tiheyttä. Kalakeitto on heterogeeninen seos; kalakeitossa on mm. nestettä, perunoita ja kalanpalasia.
e) Jääkiekolle voi määrittää tiheyden. Kiekko on likimain homogeenista ainetta.
f) Maapallolle ei ole järkevää määrittää tiheyttä. Maapallo on heterogeenisen aineen ja seoksen yhdistelmä.
- 5-5.** Aineet asettuvat tiheyksiensä mukaiseen järjestykseen. Punasolujen tiheys on suurin ja plasman pienin.

5-6. a) Kiven tiheys on

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{150 \text{ g}}{48 \text{ cm}^3} \approx 3,1 \text{ g/cm}^3.$$

b) Muutetaan tiheyden yksiköksi kg/m^3 .

$$\begin{aligned} 3,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} &= 3,1 \cdot \frac{\frac{1}{1000} \text{ kg}}{\frac{1}{1000000} \text{ m}^3} = 3,1 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1000000}{1} \text{ kg/m}^3 \\ &= 3100 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

5-7. Oikea vaihtoehto on b.

Luokkahuoneen tilavuus on

$$V = 8,5 \text{ m} \cdot 6,5 \text{ m} \cdot 2,9 \text{ m} = 160,225 \text{ m}^3.$$

Tiheyden yhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$ ilman massaksi saadaan

$$m = \rho V = 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 160,225 \text{ m}^3 \approx 210 \text{ kg}.$$

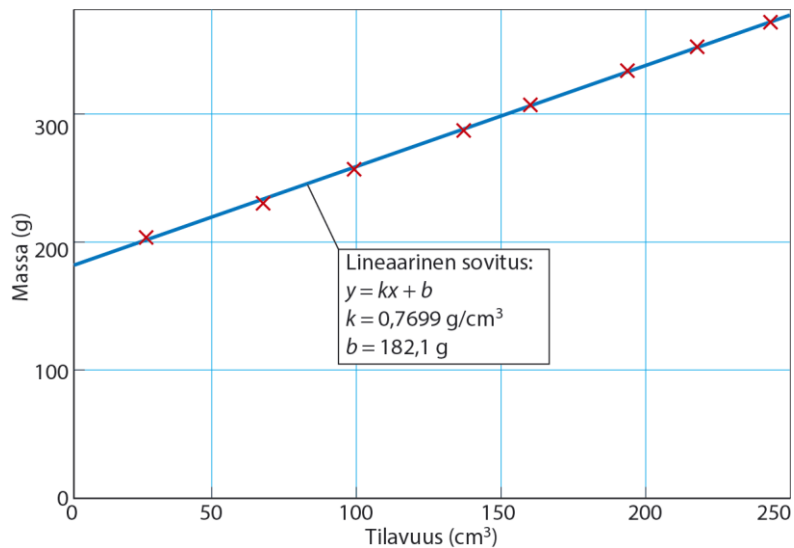
5-8. Tiheyden yhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$ elohopean tilavuudeksi saadaan

$$\begin{aligned} V &= \frac{m}{\rho} = \frac{5,5 \text{ kg}}{13\,540 \text{ kg/m}^3} = 4,062 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,4062 \text{ dm}^3 \\ &\approx 0,41 \text{ dm}^3 (= 0,41 \text{ litraa}). \end{aligned}$$

5-9. a) Puhtaan kullan tiheys on $19,3 \text{ g/cm}^3$ ja 18 karaatin kullan tiheys $17,3 \text{ g/cm}^3$. Sannan mittaaman korun tiheys on välillä $17,1 \text{ g/cm}^3 \dots 18,7 \text{ g/cm}^3$. Koska 18 karaatin kullan tiheys $17,3 \text{ g/cm}^3$ on mittausrajojen sisällä, koru voi olla 18 karaatin kultaa.

b) Korun massan saa määritettyä vaa'alla ja tilavuuden ylivuotoastian avulla. Tiheys lasketaan jakamalla massa tilavuudella.

5-10. a) Massan riippuvuus asetonin tilavuudesta.

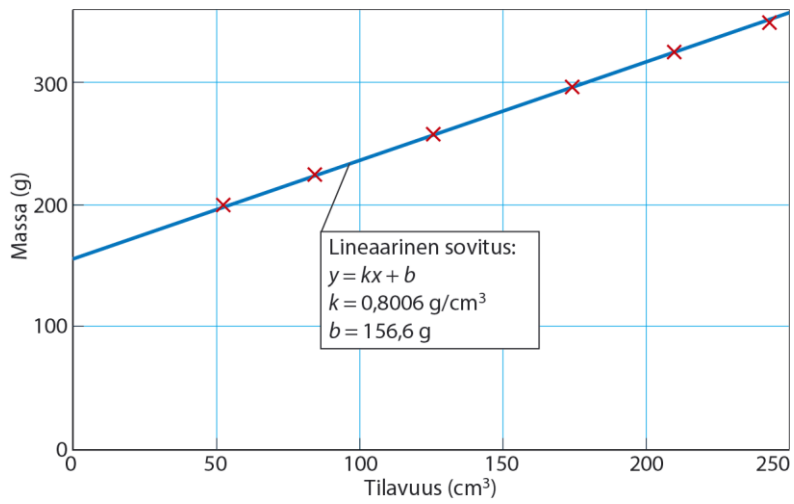


b) Asetonin tiheys on $0,77 \text{ g/cm}^3$.

c) Kun kuvaaja ekstrapoloidaan massa-akselille, saadaan tyhjän mittalasin massaksi 180 g.

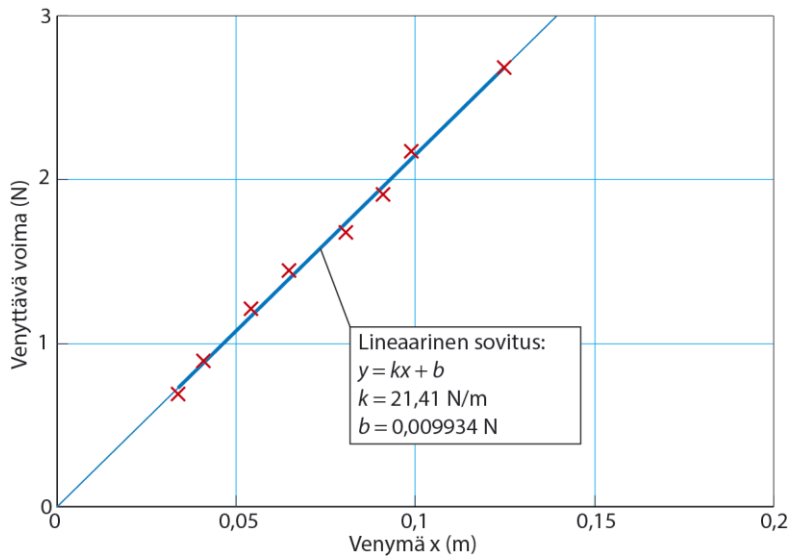
5-11. Mittaustulokset taulukoituna:

Tilavuus (cm³)	Massa (g)
52	197,9
84	224,2
126	257,5
174	295,6
210	324,8
243	351,1



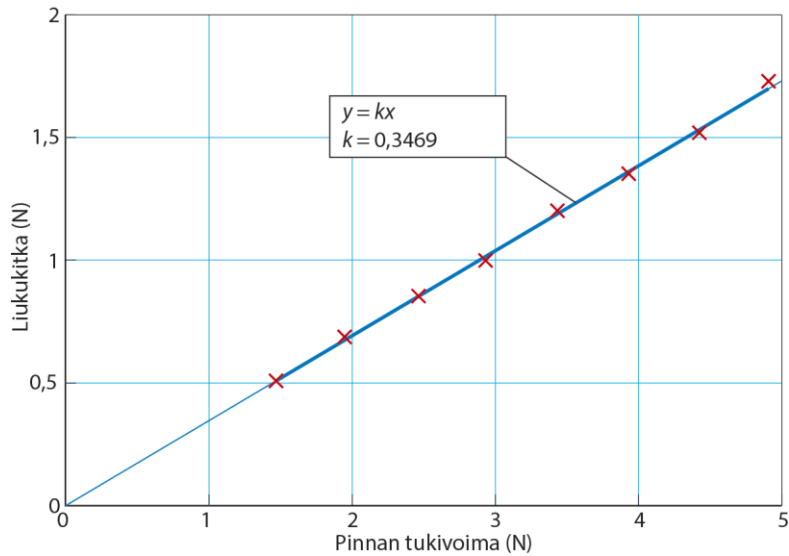
Nesteen tiheys on $0,80 \text{ g/cm}^3$.

5-12. Kuvaaja x, F -koordinaatistossa.



Jousivakio on 21 N/m.

5-13. a) Mittaustulokset koordinaatistossa.



b) Suoran fysikaalinen kulmakerroin kertoo kitkakertoimen arvon.
Kitkakerroin on 0,35.

TESTAA, OSAATKO S. 50

1. a 2. a b c 3. b 4. a b 5. c 6. c 7. b c 8. c 9. b c 10. a b 11. a b 12. c 13. a

TEHTÄVIEN RATKAISUT

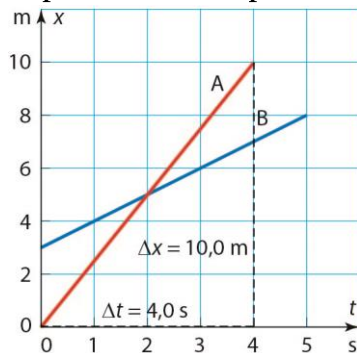
6-1. Tasaista liikettä edustavat kuvaajat a), c) ja e). (Huom. Periaatteessa myös kohta d voisi edustaa tasaista liikettä, onhan $v = 0$ m/s vakio.)

6-2. a) Koska kummankin kappaleen kuvaaja on t,x -koordinaatistossa suora, kappaleiden A ja B liike on tasaista.

b) Koska kuvaaja A on jyrkempi kuin kuvaaja B, kappaleen A nopeus on suurempi.

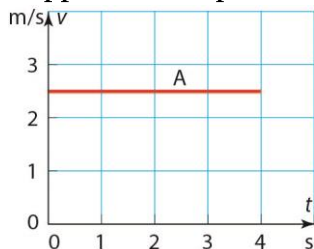
6-3. a) Kappaleet kohtaavat hetkellä 2,0 s.

b) Koska kappaleen A liikettä kuvaava suora on jyrkempi, kappaleen A nopeus on suurempi.

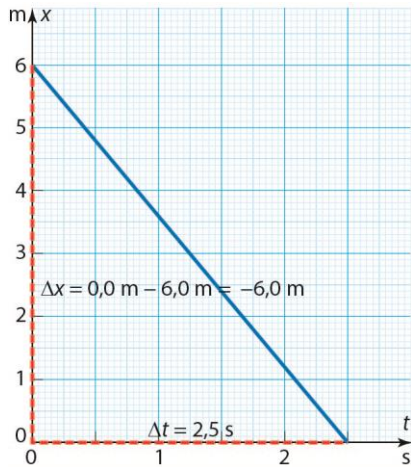


$$\text{Kappale A nopeus } v_A = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10,0 \text{ m}}{4,0 \text{ s}} = 2,5 \text{ m/s.}$$

c) Kappaleen A nopeuden kuvaaja

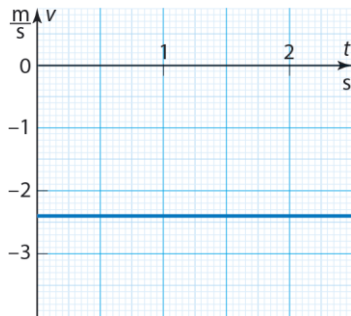


6-4. Kappaleen nopeus saadaan paikan kuvaajan fysikaalisesta kulmakertoimesta.

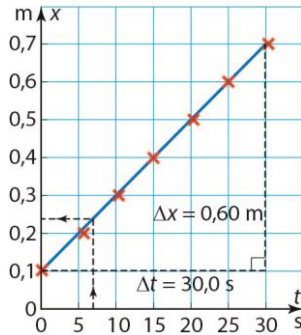


Kappaleen nopeus on $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-6,0 \text{ m}}{2,5 \text{ s}} = -2,4 \text{ m/s}$.

Kappaleen nopeus t, v -koordinaatistossa:



6-5. a) Mittaustulokset t, x -koordinaatistossa.



b) Koska kuplan paikan kuvaaja t, x -koordinaatistossa on suora, ilmakuplan paikan ja ajan välinen riippuvuus on lineaarinen.

c) Ilmakuplan paikka hetkellä 6,0 s on 0,22 m.

d) Ilmakuplan nopeus on $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0,60 \text{ m}}{30,0 \text{ s}} = 0,020 \text{ m/s} = 2,0 \text{ cm/s}$.

6-6. Muunnetaan keskivauhdin 120 km/h yksiköksi m/s: $120 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{120}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 33 \text{ m/s}$.

Auto kulkee reaktioaikana noin 30 m.

6-7. Luodin lentoaika on $t_1 = \frac{s}{v} = \frac{150 \text{ m}}{300 \text{ m/s}} = 0,5 \text{ s}$.

Äänen kulkuaika $t_2 = \frac{s}{v} = \frac{150 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \approx 0,4412 \text{ s}$.

Kysytty aika on $0,5 \text{ s} + 0,4412 \text{ s} \approx 0,9 \text{ s}$.

6-8. Oikea vaihtoehto on b.

Ääniaaltojen kulkema matka on $s = vt = 1484 \text{ m/s} \cdot 0,036 \text{ s} = 53,424 \text{ m}$.

Koska ääniaallot heijastuvat kalaparvesta, parven syvyys on puolet ääniaaltojen kulkemasta matkasta eli noin 27 m.

6-9. Nopeuden yhtälöstä $v = \frac{s}{t}$ saadaan ajaksi $t = \frac{s}{v} = \frac{550\,000 \text{ m}}{1440 \text{ m/s}} \approx 380 \text{ s} (= 6 \text{ min } 20 \text{ s})$.

6-10. Maan ja Kuun välinen etäisyys on

$$s = vt = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1,28 \text{ s} \approx 384\,000 \text{ km}.$$

6-11. Signaalin kulkuaika on $t = \frac{s}{v} = \frac{1,5 \cdot 149,5979 \text{ Gm}}{2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \frac{1,5 \cdot 149,5979 \cdot 10^9 \text{ m}}{2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \approx 750 \text{ s}$.

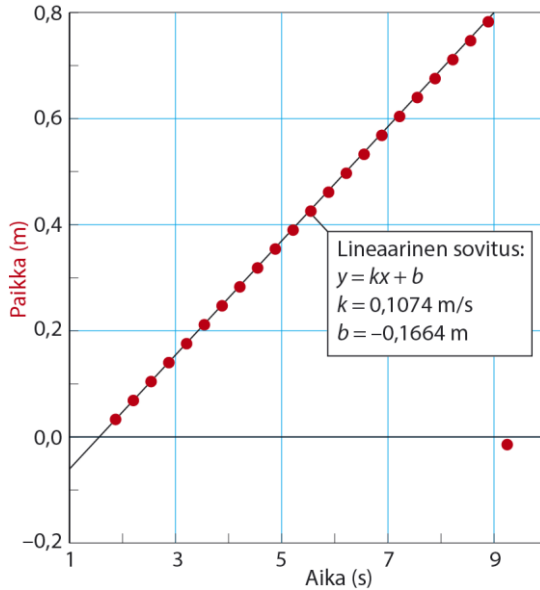
(noin 12 min 30 s)

6-12. Ukonilman keskus on etäisyydellä $s = vt = 340 \text{ m/s} \cdot 6 \text{ s} \approx 2\,000 \text{ m} = 2 \text{ km}$.

6-13.

- a) Kävelijän liike on likimain tasaista, kun hän kävelee eteenpäin ja peruuttaa takaisin.
- b) Paikan kuvaaja ei ala origosta, koska mittauksen alkaessa tutka on noin 20 cm päässä kävelijän selästä.
- c) Kun kävelijä on paikallaan, paikan kuvaaja on vaakasuora suora.
- d) Paikan kuvaaja on laskeva suora, kun kävelijä peruuttaa kohti lähtöpistettään.

6-14. Vaunun liike on kuvaajan mukaan tasaista.



Vaunun nopeus on 11 cm/s.

6-15. Videokuvan ääniraidalta ilmenee, että ääni syntyy hetkellä 3,4 s ja kameran mikrofoni vastaanottaa äänen kaiun hetkellä 4,05 s. Aikaero on $4,05 \text{ s} - 3,4 \text{ s} = 0,65 \text{ s}$.

Ääniaaltojen kulkema matka on $s = vt = 340 \text{ m/s} \cdot 0,65 \text{ s} = 221 \text{ m}$. Koska ääni heijastuu vastarannalta, järven leveys on puolet ääniaaltojen kulkemasta matkasta eli noin 110 m.

6-16. Ensimmäiseen 63 km:n matkaan kulunut aika on $t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{63 \text{ km}}{95 \text{ km/h}} \approx 0,66316 \text{ h}$

ja toiseen $t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{63 \text{ km}}{75 \text{ km/h}} = 0,84 \text{ h}$.

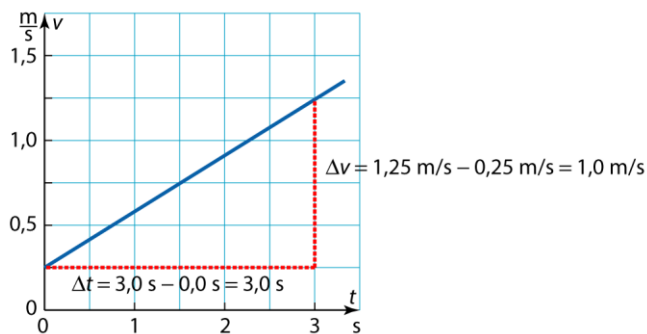
Kaikkiaan matkaan meni aikaa $t = t_1 + t_2 = 0,66316 \text{ h} + 0,84 \text{ h} = 1,50316 \text{ h}$.

Keskivauhti tarkkailumatkalla oli $v = \frac{s}{t} = \frac{126 \text{ km}}{1,50316 \text{ h}} \approx 84 \text{ km/h}$.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 7-1.** a) Liikennevaloista liikkeelle lähtevää skootteria voi esittää kuvaajat 3 tai 5.
b) Vakionopeudella etenevää kanahaukkaa voi esittää kuvaaja 1.
c) Maaliviivan jälkeen liikettään tasaisesti hidastavaa juoksijaa voi esittää kuvaaja 4.

- 7-2.** a) Koska t, v -koordinaatiston kuvaaja on suora, vaunun liike on tasaisesti kiihtyvää.
Mittauksen alkaessa vaunun nopeus oli $0,25 \text{ m/s}$.
b) Vaunun kiihtyvyys saadaan t, v -koordinaatistoon piirretyn suoran fysikaalisena kulmakertoimena.



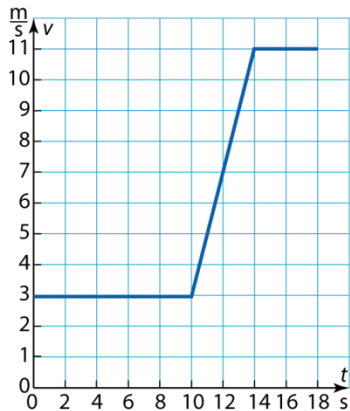
Kiihtyvyys on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1,0 \text{ m/s}}{3,0 \text{ s}} \approx 0,33 \text{ m/s}^2.$$

- 7-3.** a) Väite on oikein.
b) Väite on väärin. Aikavälillä $t_1 \dots t_2$ auto etenee vakionopeudella.
c) Väite on oikein.

d) Väite on väärin. Suoran jyrkkyys kuvaa auton kiihtyvyyttä t, v -koordinaatistossa. Suora ennen hetkeä t_1 on jyrkempi kuin suora hetken t_2 jälkeen. Siksi auton kiihtyvyys ennen hetkeä t_1 on suurempi kuin hetken t_2 jälkeen.

7-4. Polkupyöräilijän nopeuden kuvaaja:



Aikaväli 0 ... 10 s: kuvaaja on vaakasuora suora, koska nopeus on vakio.

Aikaväli 10... 14 s: alkunopeus on 3,0 m/s ja 4,0 s ajan nopeus kasvaa joka sekunti 2,0 m/s.

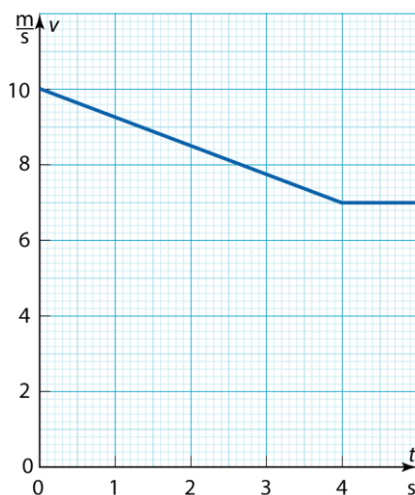
Hetkellä 14 s nopeus on $3,0 \text{ m/s} + 4,0 \cdot 2,0 \text{ m/s} = 11 \text{ m/s}$.

Aikaväli 14 s : nopeus on 11 m/s.

7-5. a) Skootterin nopeus pienenee 4,0 sekunnissa $4,0 \cdot 0,75 \text{ m/s} = 3,0 \text{ m/s}$.

Koska $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$, skootterin nopeus ylämäen jälkeen on $10 \text{ m/s} - 3,0 \text{ m/s} = 7,0 \text{ m/s}$ ($\approx 25 \text{ km/h}$).

b) Kuvaaja t, v -koordinaatistossa.



7-6. Vaunun nopeuden muutos on

$$\Delta v = v_2 - v_1 = \frac{206}{3,6} \text{ m/s} - 0,0 \text{ m/s} \approx 57,2222 \text{ m/s}$$

ja ajan muutos

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3,5 \text{ s} - 0,0 \text{ s} = 3,5 \text{ s}.$$

Kiihtyvyys on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{57,2222 \text{ m/s}}{3,5 \text{ s}} \approx 16 \text{ m/s}^2.$$

7-7. Oikeat vaihtoehdot ovat a ja b. Levosta lähtevän moottoripyörän nopeus on

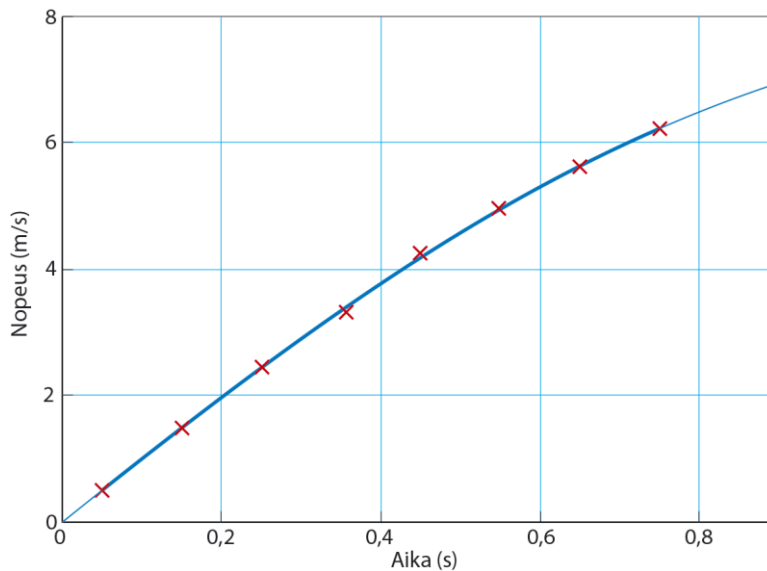
$$v = at = 4,1 \text{ m/s}^2 \cdot 3,0 \text{ s} = 12,3 \text{ m/s} = 12,3 \cdot 3,6 \text{ km/h} \approx 44 \text{ km/h}.$$

7-8. a) Koska pallon yhtä pitkinä aikaväleinä putoama matka kasvaa, pallo on kiihtyvässä liikkeessä.

b) Koska pallon yhtä pitkinä aikaväleinä kulkema matka lyhenee, pallo on hidastuvassa liikkeessä.

- 7-9.** a) Samalta korkeudelta yhtä aikaa pudotetut sulka ja vasara osuvat kuunpinnalle samanaikaisesti, joten Kuussa ei ole väliaineen vastusta, joka vaikuttaisi putoavaan kappaleeseen.
- b) Maan ja Kuun tilanteet poikkeavat toisistaan, koska Maan ilmakehä vaikuttaa kappaleiden putoamisnopeuteen. Jos sulka ja vasara pudotetaan Maan pinnalla samalta korkeudelta yhtä aikaa, vasara osuu maanpinnalle ennen sulkaa.
- c) Video pudotuksesta löytyy osoitteessa (toukokuu 2016):
<https://www.youtube.com/watch?v=03SPBXALJZI>

- 7-10.** a) Nopeuden kuvaaja:



- b) Liikkeellelähdestä lukien aikavälillä 0,0...0,25 s kuvaaja on nouseva suora, joten kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä ja sen kiihtyvyys on vakio. Sen jälkeen kuvaaja hieman loivenee, eikä kappaleen nopeus enää kasva samalla tavalla kuin alussa, eli kiihtyvyys pienenee. Tämän muutoksen aiheuttaa kasvanut ilmanvastus.

7-11. Nopeuden muutos:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0,0 \text{ m/s} - \frac{130}{3,6} \text{ m/s} \approx -36,111 \text{ m/s}^2.$$

Ajan muutos:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0,14 \text{ s} - 0,0 \text{ s} = 0,14 \text{ s}.$$

F1-auton kiihtyvyys on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-36,111 \text{ m/s}^2}{0,14 \text{ s}} \approx -260 \text{ m/s}^2.$$

7-12. a) Tehdään yksikkömuunnos:

$$55 \text{ km/h} = \frac{55}{3,6} \text{ m/s} \approx 15,2778 \text{ m/s}.$$

Valitaan kiihdytyksen aloitushetkeksi $t = 0 \text{ s}$, jolloin kiihdytys päättyy hetkellä $2,5 \text{ s}$. Koska auton kiihtyvyys on vakio, nopeus kiihdytyksen jälkeen on

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ &= 15,2778 \text{ m/s} + 1,7 \text{ m/s}^2 \cdot 2,5 \text{ s} \\ &= 19,5278 \text{ m/s} \approx 70 \text{ km/h}. \end{aligned}$$

b) Tehdään yksikkömuunnos:

$$120 \text{ km/h} = \frac{120}{3,6} \text{ m/s} \approx 33,3333 \text{ m/s}.$$

Auton nopeus jarrutuksen jälkeen on

$$v = v_0 + at = 33,3333 \text{ m/s} + (-1,3 \text{ m/s}^2) \cdot 4,0 \text{ s} = 28,1333 \text{ m/s} \approx 100 \text{ km/h}.$$

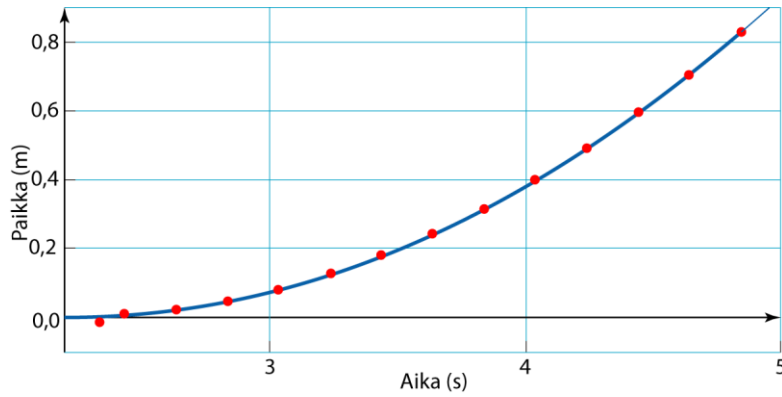
7-13. a) Kuulan $6,0$ sekunnissa putoama matka on

$$y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (6,0 \text{ s})^2 \approx 180 \text{ m}.$$

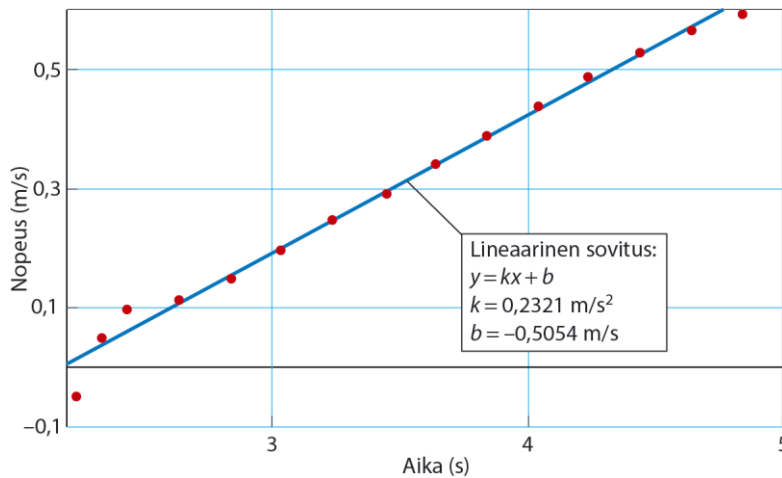
b) Kuula saavuttaa $6,0$ sekunnissa nopeuden

$$v = gt = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 6,0 \text{ s} = 58,86 \text{ m/s} \approx 210 \text{ km/h}.$$

7-14. Paikan kuvaaja:



Nopeuden kuvaaja:



Vaunun kiihtyvyys on $0,23 \text{ m/s}^2$.

TESTAA, OSAATKO S. 71

1. 2,4 ja 5 2. b c 3. a b 4. a b c 5. a c 6. 1, 3 7. a b c 8. b c 9. a b 10. b c 11. b c

TEHTÄVIEN RATKAISUT

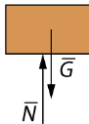
- 8-1.** a) Maan ja Kuun välinen vuorovaikutus on etävuorovaikutus.
b) Polkupyörän rengas on kosketusvuorovaikutuksessa maanpinnan kanssa.

- 8-2.** Kanssasi kosketusvuorovaikutuksessa olevia kappaleita voivat olla esimerkiksi lattia, tuoli, kynä, silmälasit, sormus ja korvakoru.

Kanssasi gravitaatiovuorovaikutuksessa olevia kappaleita ovat Maa, Kuu, Aurinko, lähellä olevat luokkatoverisi ja kaikki pienetkin kappaleet kuten tuoli ja pöytä. Ainoa gravitaatiovoima, joka tarvitsee ottaa huomioon, on Maan vetovoima.

- 8-3.** a) Koira on kosketusvuorovaikutuksessa sohvan ja ilman kanssa sekä etävuorovaikutuksessa Maan kanssa.

b) Koiraan vaikuttavat voimat ovat paino ja sohvan pinnan tukivoima.
Voimakuvio:



- 8-4.** a) Syntyvät voimat: käden kosketusvoima, joka työntää kaappia ja sen vastavoima eli voima, jolla kaappi työntää kättä.
b) Syntyvät voimat: voima, jolla petankkipallo vaikuttaa kiveen ja sen vastavoima eli voima, jolla kivi vaikuttaa petankkipalloon.

- 8-5.** Tikkailla seisova astronautti
- on kosketusvuorovaikutuksessa tikkaiden askelman kanssa

- painaa askelmaa yhtä suurella voimalla kuin askelma tukee astronauttia
- on gravitaatiovuorovaikutuksessa Kuun kanssa. Kuu vetää astronauttia yhtä suurella voimalla kuin astronautti Kuuta.

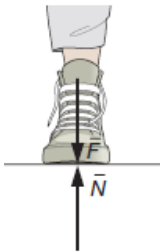
- 8-6.** a) Omena kohdistuva paino on gravitaatiovuorovaikutuksesta aiheutuva voima. Omena putoaa puusta maahan gravitaatiovuorovaikutuksen takia.
- b) Kitka on kosketusvuorovaikutuksesta syntyvä voima. Kitka hidastaa skootterin liikettä ja lopulta pysäyttää skootterin.

- 8-7.** a) Kosketusvuorovaikutus.
- b) Etävuorovaikutus.
- c) Etävuorovaikutus
- d) Kosketusvuorovaikutus.

- 8-8.** Kaikkiin kappaleisiin kohdistuu ainakin gravitaatiovuorovaikutuksesta aiheutuva gravitaatiovoima. Reaalimaailmassa ei ole olemassa kappaleita, joihin ei vaikuta mikään voima.

- 8-9.** Lukema on 1,4 N.

- 8-10.** Lattian kenkään kohdistama tukivoima on yhtä suuri kuin kengän lattiaan kohdistama voima mutta vastakkaissuuntainen.

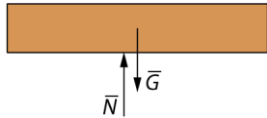


8-11. a) Voima $\vec{F}_1$ on Maan Kuuhun vaikuttava voima.

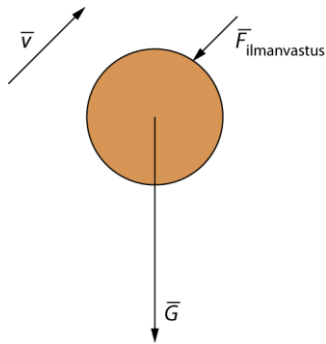
b) Voima $\vec{F}_2$ on Kuun Maahan vaikuttava voima.

c) Voimat ovat yhtä suuret.

8-12. a) Lattialla levossa oleva laatikkoon kohdistuvat paino ja lattian pinnan tukivoima.



b) Jalkapallo lentää ilmassa vinosti ylöspäin. Palloon kohdistuvat voimat ovat paino ja ilmanvastus.



8-13. Matin aiheuttama voima $\vec{F}_{\text{Matti}}$ vetää Liisaa yhtä suurella ja vastakkaissuuntaisella voimalla kuin Liisan aiheuttama voima $\vec{F}_{\text{Liisa}}$ vetää Mattia.



8-14. Tehtävässä tarkastellaan pöydällä olevaa kappaletta. Kappale on vuorovaikutuksessa pöydän kanssa (kosketusvuorovaikutus) ja Maan kanssa (gravitaatiovuorovaikutus).

- a) Piirroksessa a on esitetty gravitaatiovuorovaikutukseen liittyvät voimat: Maa vetää kappaletta puoleensa voimalla $\vec{G}$ ja kappale vetää Maata puoleensa voimalla $\vec{F}_1$. Kyseessä on voima ja vastavoima.
- b) Piirroksessa b on esitetty kosketusvuorovaikutukseen liittyvät voimat. Kappale painaa pöytää voimalla $\vec{F}_2$ ja pöytä tukee kappaletta voimalla $\vec{N}$. Voimat $\vec{F}_2$ ja $\vec{N}$ ovat voima ja vastavoima. Kosketusvuorovaikutusta ilman kanssa ei oteta huomioon, koska siitä aiheutuva voima on pieni.
- c) Voimakuviossa on kappaleeseen kohdistuvat voimat. Kappaleeseen kohdistuvat paino $\vec{G}$ ja pinnan tukivoima $\vec{N}$.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

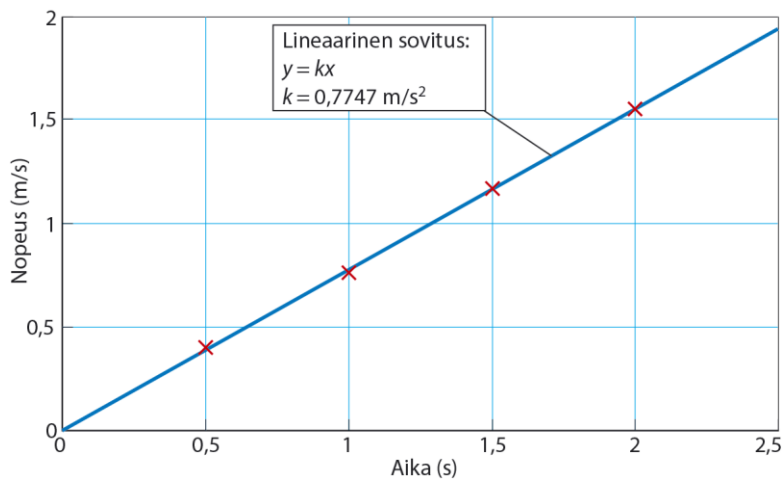
- 9-1.** a) Väite ei ole tosi. Jos kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on nolasta eroava vakio, kappale on muuttuvassa liikkeessä.
- b) Väite on tosi.
- c) Väite ei ole tosi. Jos kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on nolasta eroava vakio, kappale on muuttuvassa liikkeessä eli sen nopeus muuttuu.
- d) Väite on tosi.
- 9-2.** Kappaleen liikkeen muuttuminen on mahdollista vain silloin, kun kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman suuruus on nolasta eroava.
- 9-3.** a) Polkupyöräilijän muodostaman systeemin sisäisiä voimia ovat esimerkiksi
1. polkimen tukivoima, joka kohdistuu kengän pohjaan
 2. kengän pohjan polkimeen kohdistama kosketusvoima
 3. ketjujen rattaaseen kohdistama kosketusvoima
 4. jarrupalojen pyörän vanteeseen kohdistama kitka
 5. pyörän vanteen jarrupaloihin kohdistama kitka.
- b) Polkupyöräilijän muodostamaan systeemiin kohdistuvia ulkoisia voimia ovat esimerkiksi
1. tien pinnan pyörän renkasiin kohdistama kitka
 2. ilman systeemiin kohdistama ilmanvastus
 3. maapallon systeemiin kohdistama paino.
- 9-4.** Oikea vaihtoehto on c) 340 N
 $m = 92 \text{ kg}$, $g_{\text{Mars}} = 3,74 \text{ m/s}^2$

Astronauttiin kohdistuva paino Marsissa on

$$G_{\text{Mars}} = mg_{\text{Mars}} = 92 \text{ kg} \cdot 3,74 \text{ m/s}^2 \approx 340 \text{ N}.$$

- 9-5.** a) Voimat ovat vastakkaissuuntaiset, joten kokonaisvoima on 0 N.
Kappale pysyy levossa, koska kokonaisvoima on nolla.
- b) Sovitaan suunta oikealle positiiviseksi.
Tällöin kokonaisvoima on $10 \text{ N} + 10 \text{ N} - 10 \text{ N} = 10 \text{ N}$.
Kappale on kiihtyvässä liikkeessä oikealle.
- 9-6.** Newtonin II lain perusteella juoksijaan kohdistuu kokonaisvoima
 $F = ma = 88 \text{ kg} \cdot 3,2 \text{ m/s}^2 \approx 280 \text{ N}$.
- 9-7.** Kussakin kohdassa sovelletaan Newtonin II lakia $a = \frac{F}{m}$, josta ratkaistaan kysytyn suureen arvo.
- a) Kappaleeseen kohdistuu voima
 $F = ma = 0,42 \text{ kg} \cdot 4,7 \text{ m/s}^2 \approx 2,0 \text{ N}$.
- b) Kappaleen kiihtyvyys on
$$a = \frac{F}{m} = \frac{0,98 \cdot 10^3 \text{ N}}{12\,000 \text{ kg}} \approx 0,82 \text{ m/s}^2.$$
- 9-8.** a) Koska polkupyöräilijä on paikallaan, pyöräilijään kohdistuva kokonaisvoima on Newtonin II lain mukaan nolla.
- b) Koska polkupyöräilijä etenee vakionopeudella, häneen vaikuttava kokonaisvoima on Newtonin II lain mukaan nolla.
- c) Polkupyöräilijän liike hidastuu, kunnes hän pysähtyy. Hidastumisen aikana kokonaisvoima suuntautuu päinvastaiseen suuntaan kuin mihin pyörä liikkuu. Kun pyöräilijä pysähtyy, kokonaisvoima on nolla.

9-9. Vaunun nopeuden kuvaaja.



a) Suoran fysikaalinen kulmakerroin on vaunun kiihtyvyys

$$a = 0,7747 \text{ m/s}^2 \approx 0,77 \text{ m/s}^2.$$

b) Vaunuun kohdistuva kokonaisvoima on voiman kuvaajan perusteella

$$F \approx 1,28 \text{ N}.$$

Newtonin II toisen lain mukaan $a = F/m$, joten vaunun massa on

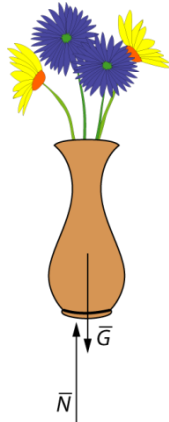
$$m = \frac{F}{a} = \frac{1,28 \text{ N}}{0,7747 \text{ m/s}^2} \approx 1,7 \text{ kg}.$$

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 10-1.** a) Takaikkunan hyllyllä olevien tavaroiden nopeus on sama kuin auton nopeus. Jatkavuuden lain mukaan tavarat pyrkivät säilyttämään liikkeensä, jos auton nopeus äkillisesti muuttuu. Esimerkiksi paniikkijarrutuksessa tai törmäyksessä tavarat lentävät kohti tuulilasia, kunnes törmäävät tuulilasiin tai muuhun esteeseen. Tavaroiden ja takaikkunan hyllyn välinen kitka ei mainittavasti hidasta tavaroiden nopeutta.
- b) Auton jarruttaessa langan varassa riippuva Nalle-karhu pyrkii jatkamaan liikettään auton alkuperäisellä nopeudella. Kun autoa jarrutetaan, Nalle siirtyy langan varassa kohti tuulilasia ja autoa kiihdytettäessä kohti auton takaosaa. Vakionopeudella ajettaessa Nallen ripustuslanka osoittaa suoraan kohti auton lattiaa.
- c) Kauhaa heilautetaan kohti lautasta, mutta liike pysäytetään yhtäkkiä. Muusi jatkaa liikettään ja tipahtaa lautaselle.
- d) Päätuen merkitys on suurin peräänajotilanteessa, jossa etummaisen auton nopeus törmäyksen seurauksena kasvaa yhtäkkiä. Penkistä matkustajaan kohdistuva voima välittää nopeuden muutoksen matkustajan vartaloon, mutta ilman niskatukea pää pyrkii jatkamaan liikettään alkuperäisellä, hiljaisemmalla nopeudella ja retkahtaa sen takia taaksepäin. Tästä voi aiheutua vakavia niskavammoja.
- 10-2.** Kun kortti näpätetään alta pois, kolikko pysyy levossa massan hitauden takia. Kolikkoon kohdistuva paino pudottaa kolikon lasiin.
- 10-3.** Moukarin irtoamisen jälkeen moukariin vaikuttaa vain paino ja ilmanvastus, jotka eivät muuta moukarin liikkeen suuntaa ylhäältäpäin katsottaessa. Moukari jatkaa liikettään ympyrän tangentin suuntaisesti, joten viiva 2 kuvaa moukarin lentorataa irtoamisen jälkeen.

10-4. Kappale C on levossa ja kappaleet A ja B liikkuvat vakionopeudella, joten kaikkiin kappaleisiin kohdistuva kokonaisvoima on nolla.

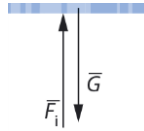
10-5. a) Pöydällä olevaan maljakkoon kohdistuvat voimat ovat paino $\vec{G}$ ja pöydän pinnan tukivoima $\vec{N}$.



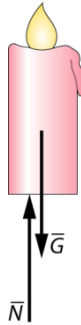
b) Naulakon koukkuun ripustettuun takkiin kohdistuvat voimat ovat paino $\vec{G}$ ja koukun tukivoima $\vec{T}$.



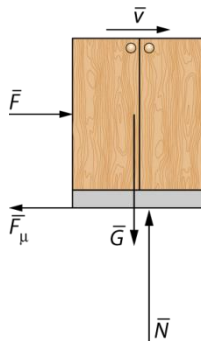
c) Alas vakionopeudella leijuvaan lumihiutaleeseen kohdistuvat voimat ovat paino $\vec{G}$ ja ilmanvastus $\vec{F}_i$.



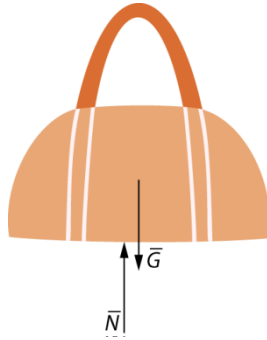
10-6. a) Kynttilä on pöydällä levossa. Kynttilään kohdistuvat voimat kumoavat toisensa, joten paino $\vec{G}$ ja pöydän pinnan tukivoima $\vec{N}$ ovat yhtä suuret.



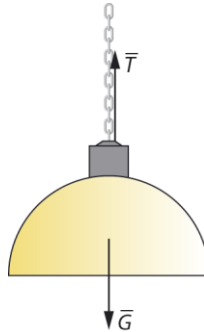
b) Kaappi on tasaisessa liikkeessä. Kaappiin kohdistuvat pystysuuntaiset voimat paino $\vec{G}$ ja pinnan tukivoima $\vec{N}$ kumoavat toisensa. Samoin vaakasuuntaiset voimat kitka $\vec{F}_\mu$ ja työntävä voima $\vec{F}$ kumoavat toisensa.



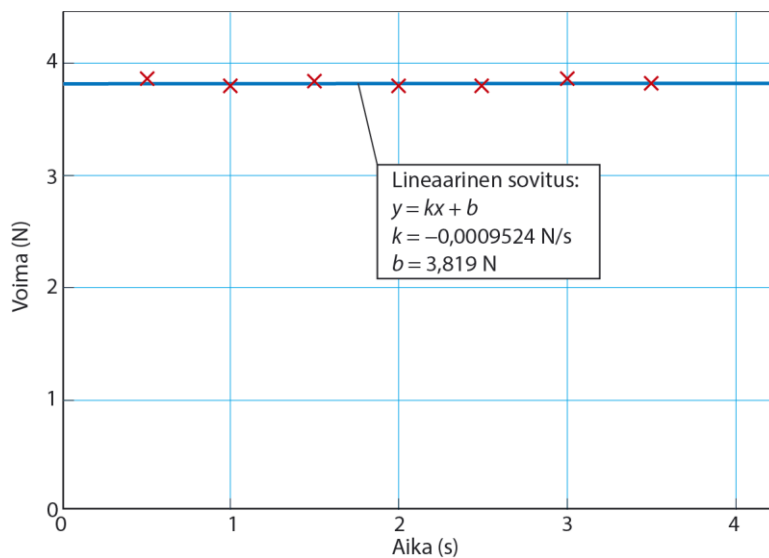
- 10-7.** a) Lattialla olevaan laukkuun kohdistuvat voimat ovat paino ja pinnan tukivoima. Voimat ovat yhtä suuret eli $G = 45 \text{ N}$ ja $N = 45 \text{ N}$. Voimavektorit ovat yhtä pitkät.



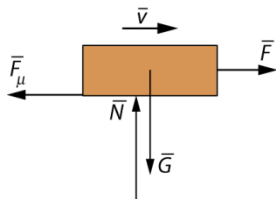
- b) Ketjun varassa riippuvaan lamppuun vaikuttavat voimat ovat paino ja ketjun jännitysvoima. Voimat ovat yhtä suuret eli $G = 12 \text{ N}$ ja $T = 12 \text{ N}$. Voimavektorit ovat yhtä pitkät.



10-8. a) Mittaustulokset t, F -koordinaatistossa.



b)



Laatikkoon kohdistuvat voimat ovat paino $\vec{G}$, pinnan tukivoima $\vec{N}$, kitka $\vec{F}_\mu$ ja vetävä voima $\vec{F}$.

Huomaa vektoreiden pituudet toistensa suhteen, esim.

$$G/F = 7,6 \text{ N} / 3,819 \text{ N} \approx 2,0.$$

Mittaushjelman mukaan kappaletta vedetään 3,8 N:n suuruisella voimalla. Laatikko on tasaisessa liikkeessä, joten siihen kohdistuvat voimat kumoavat toisensa. Kitkan suuruus on myös 3,8 N.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 11-1.** a) Puuhun lyödyn naulan ja puun välillä on suuri lepokitka, samoin kuivan liikuntasalin lattian ja kengän kumipohjan välillä.
- b) Polkupyörän sileän renkaan ja lumen välillä on pieni lepokitka, samoin liikuntasalin märän lattian ja kengän pohjan välillä.
- c) Polkupyörän renkaan ja kuivan asfaltin välillä on suuri liukukitka, samoin pyyhekumin ja paperin pinnan välillä.
- d) Luistimen terän ja jään välillä on pieni liukukitka, samoin hyvin luistavan suksen pohjan ja lumen välillä.
- 11-2.** a) Keihäänheittäjät, kuulantyöntäjät, seiväshyppääjät ja painonnostajat käyttävät käsissään magnesiumjauhetta, jotta saadaan pitävämpi ote välineestä, eli magnesiumia käytetään lisäämään kitkaa. Väliaineen vastusta hyödynnetään mm. laskuvarjohypyssä.
- b) Kitkaa ja väliaineen vastusta pyritään vähentämään mm. uinnissa, mäkihypyssä, syöksylaskussa ja kelkkailussa.
- 11-3.** a) Kitka on liikettä vastustava voima esimerkiksi, kun
1. koira vetää koiran ulkoiluttajaa, mutta kengän pohjiin kohdistuva kitka estää kenkien liukumisen
 2. polkupyörän takarenkaaseen kohdistuva kitka pysäyttää pyörän jarrutettaessa.
- b) Kitka on kappaleen liikettä ylläpitävä voima esimerkiksi, kun
1. junan pyöriin kohdistuva liikkeen suuntainen lepokitka kumoaa liikevastusten vaikutuksen
 2. hiihtäjä potkii suksillaan latua ja lumi kohdistaa suksen pohjiin liikkeen suuntaisen lepokitkan.
- Kitka on kappaleen liikettä kiihdyttävä voima esimerkiksi, kun

1. kengänpohjiin kohdistuva kitka saa kävelijän levosta liikkeelle
2. liikkeelle lähtevän mopon takarengas sutii lumella, jolloin liikkeen suuntainen liukukitka saa mopon kiihtyvään liikkeeseen.

11-4. a) Lasketaan mittaustuloksista voimien keskiarvo.

$$F_k = \frac{2,71 \text{ N} + 2,52 \text{ N} + 2,67 \text{ N} + 2,59 \text{ N} + 2,66 \text{ N} + 2,70 \text{ N} + 2,69 \text{ N} + 2,64 \text{ N} + 2,60 \text{ N} + 2,68 \text{ N}}{10} = 2,646 \text{ N}.$$

Mittaustuloksen vaihteluvälin puolikas on

$$\Delta F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{2,71 \text{ N} - 2,52 \text{ N}}{2} = 0,095 \text{ N} \approx 0,1 \text{ N}.$$

Vetävä voima on $2,6 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}$. Koska kappaleen nopeus oli vakio, Newtonin II lain perusteella kitka on yhtä suuri kuin vetävä voima. Liukukitka on $F_\mu \approx 2,6 \text{ N} \pm 0,1 \text{ N}$.

b) Mitatut voiman arvot poikkeavat toisistaan, koska vetävä voima on vaikea saada pysymään vakiona. Lisäksi pinta ei ole täsmälleen samanlainen joka paikassa, joten kitkan suuruus vaihtelee hieman.

c) Kun kappale lähtee liikkeelle, kestää hetken, ennen kuin kappaleen nopeus asettuu likimain vakioksi. Mittauksen alussa vetävä voima vaihtelee. Tämän takia mittauksen alun arvoja ei ole otettu mukaan tarkasteluun.

11-5. a) Oikein. Kumpikin kappale kohdistaa toiseen osapuoleen kitkan. Kitkaa voidaan tarkastella kumpaan tahansa kappaleeseen kohdistuvana voimana.

b) Väärin. Liikkuvaan kappaleeseen voi kohdistua liikkeen suuntainen kitka. Riittävän suuri lepokitka estää kappaleiden pintojen liukumisen toistensa suhteen. Esimerkiksi kuorma-auton kiihdyttäessä sen lavalla oleviin irtoneisiin kappaleisiin kohdistuu lepokitka, joka on liikkeen suuntainen. Tällöin kappaleiden kiihtyvyys on sama kuin kuorma-auton kiihtyvyys.

c) Oikein. Kun paikallaan oleva henkilö lähtee kävelemään, alustasta

kohdistuu kengänpohjiin kitka, joka on liikkeen suuntainen ja antaa henkilölle kiihtyvyyden.

- 11-6.** a) Oikein. Mitä suurempi kappaleen nopeus on, sitä suurempi on ilmanvastus.
- b) Oikein. Auton renkaan muodonmuutokset aiheuttavat renkaan lämpenemisen ajon aikana.
- 11-7.** a) Koska auton kiihtyvyys on negatiivinen, auton nopeus pienenee.
- b) Auton kiihtyvyys voimakkaimman jarrutuksen aikana on $-7,2 \text{ m/s}^2$.
- c) Auton nopeuden pieneminen aiheutuu renkaiden ja alustan pinnan välisestä kitkasta ja vähäisessä määrin autoon kohdistuvasta ilmanvastuksesta ja vierimisvastuksesta.
- d) $m = 1485 \text{ kg}$, $a = -7,2 \text{ m/s}^2$.
Newtonin II lain mukaan jarruttava voima on
 $F = ma = 1485 \text{ kg} \cdot (-7,2 \text{ m/s}^2) \approx -11 \text{ kN}$.
- 11-8.** a) Ilmanvastuksen yhtälössä c_w on muotokerroin, ρ väliaineen tiheys, A pinta-ala ja v nopeus. Muotokertoimen pienentämisellä pyritään pienentämään ilmanvastuksen vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Aiemmin autojen nopeudet olivat pienemmät ja ilmanvastuksen vaikutus pienempi. Myös ilman saastuminen, öljyn uhkaava loppuminen ja polttoaineiden kohonneet hinnat ovat vaikuttaneet siihen, että autojen muotoiluun ja muotokertoimiin on kiinnitetty enemmän huomiota.
- b) $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$.
1. $F_i = \frac{1}{2} c_w A \rho v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,38 \cdot 2,4 \text{ m}^2 \cdot 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{52}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \approx 120 \text{ N}$.
2. $F_i = \frac{1}{2} c_w A \rho v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,38 \cdot 2,4 \text{ m}^2 \cdot 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{118}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \approx 630 \text{ N}$.
- Huomaa, että ilmanvastus on verrannollinen nopeuden neliöön.

TESTAA OSAATKO S. 103

1. c 2. b 3. c 4. a b 5. b 6. a 7. b c 8. b 9. b 10. a 11. b 12. a b c

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 12-1.** Perusvuorovaikutukset voimakkaimmasta heikoimpaan: vahva vuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, heikko vuorovaikutus, gravitaatiovuorovaikutus.
- 12-2.** Vuorovaikutuksia kuvataan kenttiin perustuvalla mallilla ja hiukkasfysiikan mallilla, jossa vuorovaikutus tapahtuu välittäjähiukkasten avulla.
- 12-3.** a) Gravitaatio,
b) vahva vuorovaikutus,
c) sähkömagneettinen vuorovaikutus,
d) sähkömagneettinen vuorovaikutus,
e) heikko vuorovaikutus.
- 12-4.** a) Väärin. Vahva vuorovaikutus vaikuttaa kaikkien massallisten kappaleiden ja hiukkasten välillä.
b) Oikein. Molemmat ovat sähkömagneettisen vuorovaikutuksen ilmenemismuotoja.
c) Väärin. Lattian jalkapohjiin aiheuttama voima on lattian atomien ja jalkapohjan atomien välinen sähköinen vuorovaikutus.
d) Väärin. Atomin ytimessä tapahtuu myös heikkoja vuorovaikutuksia (beetahajoaminen) ja protonien välillä sähkömagneettisia vuorovaikutuksia. Koska protoneilla ja neutroneilla on massa, niillä on myös gravitaatiovuorovaikutuksia.
e) Oikein.

f) Oikein.

g) Oikein.

12-5. a) Isaac Newton tutki gravitaatiota.

b) Michael Faraday tutki sähkömagneettista vuorovaikutusta.

c) Enrico Fermi tutki heikkoa vuorovaikutusta.

12-6. a) Newtonin painovoimateoria ja Einsteinin yleinen suhteellisuusteoria.

b) Newtonin teoriassa gravitaatio ilmenee kappaleen vaikuttavana voimana, Einstein teoriassa gravitaatio ilmenee avaruuden kaareutumisena, joka saa esimerkiksi Maan liikkumaan ellipsin muotoista rataa Auringon ympäri.

12-7. Ydinvoima on ytimen nukleonien eli protonien ja neutronien välillä vaikuttava voima, joka pitää ytimen koossa. Se on nukleonien rakenneosasten eli kvarkkien välillä vallitsevan vahvan voiman eräänlainen jäännösvoima, joka ulottuu nukleonin ulkopuolelle.

12-8. a) Hiukkaskiihdyttimellä tutkitaan vuorovaikutuksia ja hiukkasten ominaisuuksia. Niissä törmäytetään sähkökentän avulla suureen nopeuteen kiihdytettyjä hiukkasia toisiinsa tai paikallaan olevaan kohtioon. Hiukkaskiihdyttimiä käytetään myös lääketieteessä esimerkiksi syöpäkasvaimien tuhoamiseen.

b) Hiukkasilmaisimilla havainnoidaan ja mitataan hiukkasia. Esimerkiksi hiukkaskiihdyttimessä hiukkasten törmäyskohdan ympärille asetetuilla ilmaisimilla tutkitaan törmäyksessä syntyneitä hiukkasia mittaamalla niiden energia, lentorata ja muita ominaisuuksia.

12-9. a) Revontulet syntyvät Auringosta peräisin olevien varattujen hiukkasten törmäessä ilmassa oleviin kaasumolekyyleihin. Maan magneettikenttä

ohjaa varattuja hiukkasia kohti Maan magneettisia napoja, jolloin törmäykset kaasumolekyyleihin tapahtuvat napojen lähistöllä.

b) Magneetteja käytetään hiukkaskiihdyttimissä kiihdytettyjen varattujen hiukkasten ohjaamiseen. Esimerkiksi ympyränmuotoisissa kiihdyttimissä hiukkaset saadaan pysymään radallaan ohjausmagneettien avulla. Magneettien avulla hiukkassuihkut ohjataan haluttuun kohteeseen.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 13-1.** Georges Lémaitre (1894–1966) oli belgialainen tähtitieteilijä, joka vuonna 1931 esitti ensimmäisenä ajatuksen, että maailmankaikkeus on syntynyt pienestä ”alkumunasta” joskus menneisyydessä. Hän teki päätelmänsä Edwin Hubblen havainnosta, että maailmankaikkeus laajenee. Georges Lémaitrea pidetään alkuräjähdysteorian keksijänä.
- 13-2.** Alkuräjähdysteorian tärkeimmät todisteet ovat
- kevyiden alkuaineiden suhteelliset osuudet maailmankaikkeudessa
 - galaksien loittoneminen
 - kosmisen taustasäteilyn olemassaolo.
- 13-3.** Kun tutkittiin galakseista tulevaa valoa, huomattiin siinä olevien spektriviivojen aallonpituuksien kasvaneen verrattuna esimerkiksi Auringosta tulevan valon spektriviivoihin. Tämä spektriviivojen siirtyminen spektrin punaista päätä kohti eli punasiirtymä tapahtuu, kun valolähde liikkuu poispäin havaitsijasta.
- 13-4.** Pian alkuräjähdyksen jälkeen oli nopean laajenemisen vaihe eli kosminen inflaatio. Sen päätyttyä maailmankaikkeudessa aine oli perushiukkasten eli kvarkkien ja leptonien muodossa. Laajetessaan maailmankaikkeus jäähdyi eli hiukkasten liike hidastui. Kun hidastuminen oli edennyt tarpeeksi pitkälle, kvarkit sitoutuivat toisiinsa ja muodostivat protoneita ja neutroneita. Kun maailmankaikkeus jäähdyi lisää, protonit ja neutronit saattoivat liittyä toisiinsa ja muodostaa heliumin ja litiumin ytimiä. Tämä kaikki tapahtui maailmankaikkeuden kolmen ensimmäisen minuutin aikana.
- 13-5.** a) Oikein.

b) Oikein.

c) Väärin. Maailmankaikkeuden laajeneminen on kiihtyvää eli maailmankaikkeus on laajentunut aiemmin hitaammin kuin nyt.

d) Väärin. Alkuräjähdyksessä syntyivät vain kevyimmät alkuaineet vety, helium ja litium. Raskaammat alkuaineet ovat syntyneet tähdissä ja tähtien räjähdyksissä.

e) Väärin. Nykyisen tiedon mukaan maailmankaikkeuden laajeneminen jatkuu kiihtyvää vauhtia.

13-6. a) Pimeä aine on sellaista maailmankaikkeudessa olevaa ainetta, joka ei säteile valoa tai muuta sähkömagneettista säteilyä.

b) Pimeä aine vaikuttaa gravitaation takia tavalliseen aineeseen, esimerkiksi tähtien ja galaksien liikkeisiin. Tähtien ja kaasupilvien liikkeitä tutkimalla on voitu päätellä, että niihin vaikuttaa jokin näkymätön aine. Samoin galaksien liikkeitä galaksiryppäissä ei voi selittää ilman pimeän aineen vaikutusta. Pimeä aine vaikuttaa myös valon kulkuun ja synnyttää takanaan olevasta kirkkaasta kohteesta useita erillisiä kuvia.

13-7. Pimeä energia selittää maailmankaikkeuden kiihtyvän laajenemisen eli se pyrkii etäännyttämään galakseja toisistaan, toisin kuin gravitaation aiheuttama vetovoima.

13-8. Saksalainen Heinrich Olbers totesi 1800-luvulla, että jos maailmankaikkeus on ääretön ja ikuinen, joka suunnassa avaruutta pitäisi olla tähti eli koko taivaankannen tulisi olla yöllä kirkas kuin tähden pinta. Tätä kutsutaan Olbersin paradoksiksi, koska taivas on päinvastoin lähes kauttaaltaan pimeä yöllä. Alkuräjähdysteoria selittää tämän paradoksin. Ensinnäkin maailmankaikkeus on äärellinen, koska se on syntynyt pienestä alkutilasta ja on laajentunut äärellisen ajan. Kaukaisimpien tähtien valo ei myös ole ehtinyt saavuttaa meitä, koska

valo etenee äärellisellä nopeudella. Toiseksi maailmankaikkeuden laajenemisen takia galaksien väliset tähdettömät alueet ovat kasvaneet.

13-9. a) Aurinko syntyi noin 4,6 miljardia vuotta sitten.

b) Vanhimmat Linnunradassa havaitut tähdet ovat 13,2 miljardia vuotta vanhoja. Linnunradan ohuen kiekon vanhimmat tähdet ovat 7–10 miljardia vuotta vanhoja.

c) Maailmankaikkeus on 13,8 miljardia vuotta vanha.

13-10. a) $d = 100 \text{ Mpc}$, $H_0 = 68 \text{ (km/s)/Mpc}$.

Hubblen laista $v = H_0 d$ saadaan Coman galaksijoukon loittonemisnopeudeksi

$$v = 68 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}} \cdot 100 \text{ Mpc} = 6800 \text{ km/s}.$$

b) $v = 1320 \text{ km/s}$.

Hubblen laista saadaan galaksin NGC123 etäisyydeksi

$$d = \frac{v}{H_0} = \frac{1320 \text{ km/s}}{68 \text{ (km/s)/Mpc}} = \frac{1320}{68} \text{ Mpc} = 19,41 \text{ Mpc}$$
$$= 19,41 \cdot 3,09 \cdot 10^{16} \cdot 10^6 \text{ km} \approx 6,0 \cdot 10^{23} \text{ km}.$$

c) Hubblen lain mukaan etäisyys on $d = \frac{v}{H_0}$. Havaittu etäisyys on

suurempi kuin tämä kaava antaa, joten Hubblen vakion arvon on pitänyt olla pienempi kuin lähempänä olevien galaksien loittonemisesta saatu H_0 . Maailmankaikkeus on siis laajentunut aikaisemmin hitaammin kuin se laajenee nykyään.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 14-1.** a) Valovuosi on se matka, jonka valo etenee tyhjiössä yhden vuoden aikana eli $9,46055 \text{ Pm} = 9,46055 \cdot 10^{15} \text{ m}$.
- b) Tähtitieteellinen yksikkö (AU) on Maan keskimääräinen etäisyys Auringosta, $1 \text{ AU} = 149,5979 \text{ Gm} = 149,5979 \cdot 10^9 \text{ m}$.
- 14-2.** a) Galaksi, jossa Aurinkokunta sijaitsee.
- b) Galaksi on miljardien tähtien muodostama rakenne, jota gravitaatio pitää koossa.
- c) Galaksijoukko on useasta galaksista muodostunut ryhmä, jota gravitaatio pitää koossa.
- d) Asteroidi on Aurinkoa kiertävä, planeettaa pienempi kivinen taivaankappale.
- e) Komeetta on kivistä ja jäätä muodostunut, Aurinkoa kiertävä taivaankappale.
- f) Tähdenlento on ilmakehään lentävä hyvin pieni meteoroidi, joka kuumenee ja loistaa kirkkaana kitkan takia.
- 14-3.** a) Planeetta ei itse synnytä valoa, vaan sen lähettämä valo on heijastunutta auringonvaloa. Tähdet synnyttävät säteilemänsä valon. Planeetat ovat huomattavasti tähtiä pienempiä. Useimmat tähdet ovat kaasumaisia. Useat planeetat ovat kiveä.
- b) Meteoroidi on Aurinkoa kiertävä pieni asteroidi, meteoriitti on Maahan tai muuhun planeettaan tai kuuhun osunut meteoroidi.
- c) Planeetta kiertää Aurinkoa, eksoplaneetta kiertää jotain muuta tähteä.
- 14-4.** a) Kuun kiertoaika Maan ympäri on $27,3217 \text{ d} = 27 \text{ d } 7 \text{ h } 43 \text{ min}$.

- b) Kuu pyörii, pyörähdysaika on 27,3217 d eli sama kuin kiertoaika.
- c) Ihminen kävi Kuussa ensimmäisen kerran 20. 7. 1969.
- d) Koska Kuussa ei ole ilmakehää tai muuta kaasukehää, sen taivaalla ei tapahdu auringonvalon sirontaa. Maan ilmakehässä tällainen sironta saa taivaan näkymään päiväsaikaan sinisenä, koska ilmakehä sirottaa voimakkaasti auringonvalon sinistä osaa. Kuun taivas on musta sekä päivällä että yöllä, Maan taivas vain yöllä.

14-5. a) Kuun keskimääräinen etäisyys Maasta on 384 400 km.

b) Auringon ja Maan keskimääräinen etäisyys toisistaan on 1 AU eli $149,5979 \text{ Gm} = 149,5979 \cdot 10^6 \text{ km}$.

c) Valonnopeus on 299 792,458 km/s, joten valolta kestää $(384\,400 \text{ km}) / (299\,792,458 \text{ km/s}) \approx 1,3 \text{ s}$ kulkea Kuusta Maahan ja $(149,5979 \cdot 10^6 \text{ km}) / (299\,792,458 \text{ km/s}) \approx 500 \text{ s} \approx 8,3 \text{ min}$ kulkea Auringosta Maahan.

14.6. Oikea vaihtoehto on b). Näemme Proxima Centaurin sellaisena kuin se oli 4,2 vuotta sitten.

14-7. Signaalin kulkuaika saadaan yhtälöstä

$$t = \frac{s}{v},$$

jossa $s = 4,9 \cdot 10^9 \text{ km}$ ja $v = 299\,792,458 \text{ km/s}$ (valonnopeus):

$$t = \frac{s}{v} = \frac{4,9 \cdot 10^9 \text{ km}}{299\,792,458 \text{ km/s}} = 16344,64 \text{ s} \approx 4,5 \text{ h}.$$

14-8. a) Väärin. Maa on kolmas planeetta Auringosta lukien, Mars neljäs.

b) Oikein. Marsin läpimitta on 0,53 Maan läpimittaa.

c) Väärin. Kuu on paljon Aurinkoa pienempi, mutta se peittää Auringon, koska se on tarpeeksi lähellä Maata.

- d) Oikein. Kuussa on auringonpimennyksiä, koska se jää välillä Maan varjoon. Kuun auringonpimennyksiä sanotaan kuunpimennyksiksi.
- e) Väärin. Auringon lähin naapuritähti on Proxima Centauri, joka on noin 4 valovuoden etäisyydellä. Pohjantähti on noin 430 valovuoden etäisyydellä.
- f) Oikein. Revontulia esiintyy Maan molempien magneettisten napojen ympäristössä eli sekä pohjoisella että eteläisellä napa-alueella.
- g) Väärin. Kuu kiertää Maan mukana Aurinkoa.

14-9. Avaruussäällä tarkoitetaan maapallon lähiympäristössä tapahtuvia sähkö- ja magneettikentän ja Auringosta tulevien varattujen hiukkasten virrassa tapahtuvia muutosilmiöitä.

14-10. b) Neptunuksen keskimääräinen etäisyys Auringosta on 4496 Mkm. Jos Neptunuksen etäisyys olisi 1089 km, olisi Aurinkokuntaa pienennetty tekijällä $1089/(4496 \cdot 106) = 0,242 \cdot 10^{-6}$. Planeettojen etäisyydet Helsingin rautatieasemalta ja halkaisijat olisivat silloin:

- Merkurius 14 km (Vantaa), 1,1 m
- Venus 26 km (Kerava), 2,9 m
- Maa 36 km (Järvenpää), 3,1 m
- Mars 55 km (Mäntsälä), 1,6 m
- Jupiter 188 km (Tampere), 35 m
- Saturnus 346 km (Kuopio), 29 m
- Uranus 700 km (Rovaniemi), 12 m
- Neptunus 1100 km (Utsjoki), 12 m.

Auringon halkaisija olisi 340 m.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

15-1. a) Väärin. Atomin ydin koostuu protoneista ja neutroneista.

b) Oikein.

c) Oikein.

d) Oikein.

e) Väärin. Elektroni on perushiukkanen.

f) Väärin. Kaikilla kvarkeilla on sähkövaraus.

15-2. Atomin läpimitta on noin 10^{-10} m ja ytimen läpimitta noin 10^{-15} m. Atomi on läpimitaltaan siis noin 100 000 kertaa suurempi kuin ydin. Koripallon läpimitta on noin 20 cm, joten jos ydin olisi koripallon kokoinen, elektroniverhon läpimitta olisi noin $100\,000 \cdot 0,20\text{ m} = 20\,000\text{ m} = 20\text{ km}$. Elektroniverho ulottuisi siis noin 10 kilometrin päähän atomin ytimestä.

15-3. A4, B2, C1, D3.

15-4. Protonin koko on ytimen koon luokkaa eli noin 10^{-15} m. Jotta sen koko olisi $0,1\text{ mm} = 10^{-4}\text{ m}$, se pitäisi suurentaa tekijällä 10^{11} , sillä $10^{11} \cdot 10^{-15}\text{ m} = 10^{-4}\text{ m}$.

a) Ydin on protonin kokoluokkaa eli sen koko olisi $0,1\text{ mm}$.

b) Atomin koko on 10^{-10} m , joten sen koko olisi $10^{11} \cdot 10^{-10}\text{ m} = 10\text{ m}$.

c) Viruksen koko on noin $100\text{ nm} = 100 \cdot 10^{-9}\text{ m} = 10^{-7}\text{ m}$, joten sen koko olisi $10^{11} \cdot 10^{-7}\text{ m} = 10^4\text{ m} = 10\text{ km}$.

d) Bakterin koko on noin $1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$, joten bakterin koko olisi $10^{11} \cdot 10^{-6}\text{ m} = 10^5\text{ m} = 100\text{ km}$.

15-5. Piirroksessa ydin ja elektronit ovat liian suuria verrattuna atomin kokoon. Kuvasta saa myös sen väärän käsityksen, että elektronit kiertävät ydintä määrättyjä ratoja pitkin. Elektronien liikettä atomyissa ei voi jäljittää, voidaan vain esittää todennäköisyys sille, että elektroni on tietyssä osassa atomia.

15-6. a) Ylöskvarkki (up, u), alaskvarkki (down, d), lumokvarkki (charm, c), outokvarkki (strange, s), totuuskvarkki (top tai truth, t), kauniskvarkki (bottom tai beauty, b).

b) Näkyvä aine koostuu u- ja d-kvarkeista, jotka ovat protonin ja neutronin rakenneosia.

c) Perushiukkasia ovat kvarkit ja leptonit (elektroni, myoni, tau ja niitä vastaavat neutriinot).

15-7. a) Protoni koostuu kahdesta u-kvarkista ja yhdestä d-kvarkista, neutroni koostuu kahdesta d-kvarkista ja yhdestä u-kvarkista.

b) Jotta kolmesta kvarkista voi syntyä hiukkasia, kuten protoni ja neutroni, joilla on kokonaislukuvaraus, pitää kvarkkien varauksien olla murtolukuisia.

c) Kvarkkeja ei esiinny luonnossa vapaina hiukkasina. Vahva vuorovaikutus pitää ne aina sidottuna toisiinsa.

15-8. a) u-kvarkin varaus on $+\frac{2}{3}e$ ja d-kvarkin $-\frac{1}{3}e$. Protonin rakenne on uud, joten sen varaus on $\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = 1e$.

b) Neutronin rakenne on udd, joten sen varaus on $\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0e$.

15-9. a) Standardimalli kuvaa perushiukkasia eli kvarkkeja ja leptoneita ja

niiden sähkömagneettisia, vahvoja ja heikkoja vuorovaikutuksia. Vuorovaikutukset kuvataan välittäjähiukkasten avulla.

b) Higgsin hiukkanen liittyy hiukkasten massojen syntyyn standardimallissa.

c) Ihminen koostuu atomeista, joissa on puolestaan protoneita, neutroneita ja elektroneja. Protonit ja neutronit rakentuvat u- ja d-kvarkeista. Ihminen koostuu siten seuraavista perushiukkasista: elektroni, u-kvarkki ja d-kvarkki.

15-10. Kun neutronin (kvarkkisisältö udd) yksi d-kvarkki muuttuu u-kvarkiksi, syntyy hiukkanen, jossa on kaksi u-kvarkkia ja yksi d-kvarkki. Tämä hiukkanen on protoni (kvarkkisisältö uud).

15-11. a) Koska protoni koostuu kahdesta u-kvarkista ja yhdestä d-kvarkista, antiprotoni koostuu kahdesta anti-u-kvarkista ja yhdestä anti-d-kvarkista.

b) Antivetyatomissa on ytimenä antiprotoni, jota kiertää elektronin antihhiukkanen eli positroni.

c) Kun perushiukkanen ja sen antihhiukkanen törmäävät, ne häviävät ja jäljelle jää säteilyä. Jos antivetyatomi ja vetyatomi kohtaavat, niille käy samoin. Koska ympärillämme olevassa aineessa on runsain mitoin vetyatomeja, synnytetty antivetyatomit törmäävät niihin ja häviävät.

TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 16-1.** Kaukoputket pyritään sijoittamaan korkeille paikoille vuoristoon, koska siellä ilmakehä on ohuempi kuin lähellä merenpintaa. Mitä korkeammalla kaukoputket ovat, sitä vähemmän ilmakehä häiritsee niitä ja sitä tarkempia kuvia voidaan saada.
- 16-2.** Taustasäteilyllä tarkoitetaan ionisoivaa säteilyä, joka on peräisin ympäristöstämme ja omasta elimistöstämme. Taustasäteilyn suurimmat lähteet ovat kallioperästä hengitysilmaan vapautunut alfa-aktiivinen radonkaasu, maaperästä tuleva säteily, kehon omat radioaktiiviset aineet ja avaruudesta tuleva kosminen säteily. Taustasäteilylähteiden voimakkuus riippuu jonkin verran paikasta. Esimerkiksi Suomen maaperän kallio tai rikkinäinen kivikko on monin paikoin maan pinnassa, ja tällaisilla alueilla maaperästä lähtöisin oleva säteily on voimakkaampaa kuin muilla alueilla. Korkealla vuoristossa ja korkealla lentävissä lentokoneissa avaruudesta tuleva kosminen säteily on voimakkaampaa kuin merenpinnan tasolla.
- 16-3.** a) Kun ytimet lähettävät heliumatomin ytimiä, syntyy alfasäteilyä.
b) Kun ytimet lähettävät elektroneja, syntyy beetasäteilyä (beetamiinussäteilyä).
c) Kun ytimet lähettävät positroneja, syntyy beetasäteilyä (beetaplussäteilyä).
- 16-4.** a) Kun ydin emittoi elektronin, neutroni muuttuu protoniksi ja samalla emittoituu myös antineutriino.
b) Kun ydin emittoi positronin, protoni muuttuu neutroniksi ja samalla emittoituu myös neutriino.

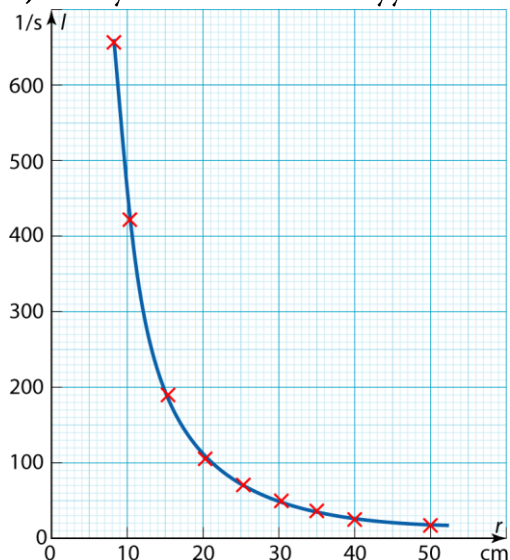
16-5. Ruuan, juoman ja hengityksen mukana elimistöömme joutuu mm. radioaktiivista kaliumia (K-40), lyijyä (Pb-210), poloniumia (Po-210) ja hiiltä (C-14).

16-6. a) Radioaktiivisen aineen puoliintumisaika on se aika, jonka kuluessa alkuperäisen aineen ytimistä on puolet jäljellä ja puolet hajonnut muiksi alkuaineiksi. Radioaktiivisen näytteen aktiivisuus tarkoittaa hajonneiden ytimien määrää aikayksikössä, yleensä sekunnissa. Aktiivisuuden symboli on A ja yksikkö becquerel (Bq) = 1 hajoaminen sekunnissa.

b) $^{137}_{55}\text{Cs}$:n puoliintumisaika on 30,17 a. Koska $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$, $^{137}_{55}\text{Cs}$ on

vähentynyt kahdeksasosaan alkuperäisestä kolmen puoliintumisajan kuluttua. Koska $3 \cdot 30,17 \text{ a} = 90,51 \text{ a} \approx 91 \text{ a}$ ja $1986 + 91 = 2077$, cesiumin määrä on vähentynyt kahdeksasosaan vuonna 2077.

16-7. a) Säteilyn voimakkuus etäisyyden funktiona.



b) Taulukon arvot asettuvat piirtämistarkkuuden rajoissa käyrälle.

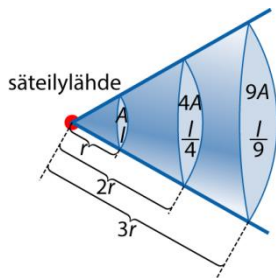
Merkitään taulukkoon laskentataajuuden arvot 10 cm:stä alkaen 10 cm:n välein:

$r_1 = 10 \text{ cm}$	$20 \text{ cm} = 2 r_1$	$30 \text{ cm} = 3 r_1$	$40 \text{ cm} = 4 r_1$	$50 \text{ cm} = 5 r_1$
$420 \frac{1}{s}$	$104 \frac{1}{s} \approx \frac{420}{4} \frac{1}{s}$	$47 \frac{1}{s} \approx \frac{420}{9} \frac{1}{s}$	$25 \frac{1}{s} \approx \frac{420}{16} \frac{1}{s}$	$17 \frac{1}{s} \approx \frac{420}{25} \frac{1}{s}$

Laskentataajuus kuvaa säteilyn voimakkuutta. Huomataan, että säteilyn voimakkuus näyttää olevan kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön eli

$$I \sim \frac{1}{r^2}.$$

Pistemäinen gammasäteilylähde säteilee kaikkiin suuntiin. Säteily jakautuu pallopinnalle, jonka pinta-ala on suoraan verrannollinen pallon säteen toiseen potenssiin. Säteilyteho pinta-alayksikköä kohti heikkenee vastaavasti, eli säteilyn intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.



- 16-8.** Säteilyn vaikutusta ihmiseen kuvaa efektiivinen annos, joka ilmaisee säteilyn aiheuttaman terveydellisen kokonaishaitan. Efektiivisen annoksen suuruuteen vaikuttavat esimerkiksi säteilyn kokonaisenergia, säteilylaji, yksittäisten hiukkasten liike-energiat, gamma- ja röntgensäteilyn aallonpituus sekä säteilylle altistunut kehon osa.

Efektiivistä annosta ei voida suoraan mitata, vaan se lasketaan erilaisista tekijöistä, kuten absorboituneesta säteilyenergiasta ja eri säteilylajien erilaisesta ionisointikyvystä. Esimerkiksi alfasäteily on noin 20 kertaa

haitallisempaa kuin beeta- tai gammasäteily, vaikka absorboituneet energiat olisivat yhtä suuret. Efektiivinen kokonaisannos riippuu myös niistä elimistä, joihin säteily kohdistuu. Säteily on haitallisinta siellä, missä on uusiutuvia soluja. Esimerkiksi tietty määrä keuhkoihin, mahalaukkuun tai punaiseen luuytimeen osuvaa säteilyä aiheuttaa 12-kertaisen efektiivisen annoksen verrattuna vastaavaan säteilyyn, joka osuu ihoon tai aivoihin. Säteilyn valvonnassa pitää tarvittaessa pystyä mittauksilla erittelemään esimerkiksi edellä mainittuja seikkoja. Efektiivisen annoksen yksikkö on 1 Sv (sievert). Sievert on suuri yksikkö: esimerkiksi Suomessa asuvien keskimääräinen kokonaisannos on noin 3,7 mSv vuodessa.

Suomen luonnossa esiintyvä säteily aiheutuu pääasiassa U-238- ja Th-232- hajoamissarjojen radioaktiivisista isotoopeista. Suomessa asuvien ihmisten suurin säteilyannos on peräisin sisäilman α -aktiivisesta radonisotopista $^{222}_{86}\text{Rn}$. Radon on ongelma tietyillä alueilla erityisesti omakotitalojen sisäilmassa, jos maaperästä vapautuva radon pääsee huonosti eristetyin alapohjan läpi talon sisäilmaan. Hengitysilman radonin aiheuttaman säteilyannoksen osuus on Suomessa yli puolet (noin 2 mSv) väestön vuotuisesta säteilyn kokonaisannoksesta. Radonin haittoja osataan torjua rakennusteknisin keinoin. Vaihtelevia määriä radonia ja muita $^{238}_{92}\text{U}$:n hajoamisketjun radioaktiivisia tuotteita on myös porakaivojen vesissä.

Avaruudesta tulee Maahan esimerkiksi gammasäteilyä, varauksisia hiukkasia ja neutroneita, vaikka ilmakehä suodattaa suurimman osan säteilystä. Radioaktiivisia aineita joutuu ihmisen elimistöön esimerkiksi ruoan ja hengityksen mukana. Kaliumin pitkäikäistä ($T_{1/2} = 1,29 \cdot 10^9 \text{ a}$) radioaktiivista isotooppia $^{40}_{19}\text{K}$ pääsee maaperästä elimistöön ravinnon ja juomaveden mukana. Elimistöön siirtyy myös uraanin isotooppeja ja hajoamisketjun tytärnuklideja, esimerkiksi radiumia.

16-9. a) Radonpitoisuuden yksikkö on 1 Bq/m^3 , joten radonpitoisuus tarkoittaa radonytimien hajoamisten määrää kuutiometrissä yhden sekunnin aikana.

b) Radonpitoisuutta huoneilmassa vähennetään tekemällä talojen pohjat tiiviiksi, jolloin rakennusten alta ei pääse huoneilmaan radonia. Lattian ja maaperän väliseen tilaan voidaan tehdä myös tuuletus, joka vähentää radonin kulkeutumista huoneilmaan. Joissakin tapauksissa asuinrakennuksen paikan valinnalla jopa samalla tontilla voidaan vaikuttaa radonsäteilyn määrään huoneilmassa.

TESTAA, OSAATKO S. 143

1. a c 2. c 3. a 4. c 5. a c 6. a 7. a, b 8. c 9. a c d 10. a 11. b c 12. a b c 13. a

KERTAUSTEHTÄVIEN RATKAISUT

1.
 - a) Karkea virhe on seurausta mittaamisvälineen epätarkoituksenmukaisesta ja väärästä käsittelystä tai lukemavirheestä. Mittaussarjan karkeat virheet paljastuvat usein tuloksia vertailtaessa. Selvästi virheellisen mittaustuloksen voi jättää pois tulosten tarkastelussa tai mittaus voidaan uusaa.
 - b) Systemaattinen virhe voi syntyä siitä, että mittarin asteikkoa ei ole laadittu (kalibroitu) oikein, analogisen mittarin osoitinta luetaan vinosti tai mittaolosuhteiden vaihtelu (lämpötila, ilmanpaine, ilman kosteus) vaikuttaa mittaustuloksiin. Systemaattinen virhe pyrkii vääristämään tulosta aina samaan suuntaan. Systemaattinen virhe on usein vaikea havaita. Virhe voi paljastua, kun mittaus toistetaan toisenlaisella mittausrjestelyllä.
 - c) Satunnaista virhettä on jokaisessa mittauksessa ja sen olemassaolo voidaan todeta toistamalla sama mittaus useaan kertaan. Satunnaista virhettä voidaan pienentää suorittamalla mittaus tietokoneen avulla; esimerkkinä sähköinen ajanotto juoksukilpailuissa.
2.
 - a) Mittaustuloksessa 1,300 kg on 4 merkitsevää numeroa. Mittaustuloksessa 0,0020 cm³ on 2 merkitsevää numeroa.
 - b) Esimerkiksi mittaustuloksessa 1,23 s on 3 merkitsevää numeroa.
 - c) Laudan todellinen pituus on välillä 3,295 m–3,304 m.
3.
 - a) $44 \text{ mm}^2 = 44 \cdot (0,001 \text{ m})^2 = 44 \cdot (10^{-3} \text{ m})^2 = 44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.
 - b) $31\,536\,000 \text{ s} = 31,536 \cdot 10^6 \text{ s}$ tai $3,1536 \cdot 10^7 \text{ s}$.
 - c) $23,5 \text{ GHz} = 23,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ tai $2,35 \cdot 10^{10} \text{ Hz}$.
 - d) $0,000\,034 \text{ s} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,34 \text{ }\mu\text{s}$.

4. a) Lasketaan tiheyksien keskiarvot ja arvojen poikkeamat.

	ρ (g/cm ³)	$ \Delta\rho $ (g/cm ³)
	5,13	0,085
	4,98	0,065
	5,06	0,015
	5,01	0,035
keskiarvo	5,045	0,050

Aineen tiheys on $5,05 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

- b) Aineiden tiheydet pienimmästä alkaen: C, A, D, B ja E.

5. Graniitin tiheys on $\rho = \frac{m}{V} = \frac{1800 \text{ kg}}{0,66 \text{ m}^3} \approx 2700 \text{ kg/m}^3$.

6. Oikea vaihtoehto on a.

Tiheyden yhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$ massaksi saadaan

$$m = \rho V = \rho \cdot Ah = \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = 760 \text{ kg/m}^3 \cdot \pi \cdot (0,21 \text{ m})^2 \cdot 5,5 \text{ m} \approx 580 \text{ kg}.$$

7. Tiheyden yhtälöstä $\rho = \frac{m}{V}$ tilavuus on

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{6,2 \text{ kg}}{14 \text{ kg/m}^3} \approx 0,44 \text{ m}^3.$$

8. Muunnetaan vauhdin 80 km/h yksiköksi m/s :

$$80 \text{ km/h} = \frac{80}{3,6} \text{ m/s} \approx 22 \text{ m/s}, \text{ joten sekunnissa pyörä etenee } 22 \text{ m}.$$

9. a) Vauhti on oikea termi kuvaamaan liikettä silloin, kun liikkeen suuntaan ei kiinnitetä huomiota ja vain kuljetun matkan pituudella on merkitystä. Nopeutta käytettäessä on aina tiedettävä kappaleen liikkeen suunta.

b) Keskivauhti on

$$v = \frac{s}{t} = \frac{4,719 \text{ km}}{1 \text{ min } 5,591 \text{ s}} = \frac{4719 \text{ m}}{65,591 \text{ s}} = 71,9458 \text{ m/s} \approx 259,0 \text{ km/h.}$$

10. a) Signaali saapuu Maahan

$$t = \frac{s}{v} = \frac{420 \text{ km}}{299792 \text{ km/s}} \approx 0,0014 \text{ s} = 1,4 \text{ ms kuluttua.}$$

b) ISS etenee 15 minuutissa eli 900 sekunnissa matkan

$$s = vt = 7,7 \text{ km/s} \cdot 900 \text{ s} \approx 6900 \text{ km.}$$

11. 25 km:n matkaan kuluva aika on

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{25 \text{ km}}{40 \text{ km/s}} = 0,625 \text{ h.}$$

30 km:n matkaan kuluva aika on

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{30 \text{ km}}{80 \text{ km/s}} = 0,375 \text{ h.}$$

Matkaan kulunut kokonaisaika on

$$t = t_1 + t_2 = 0,625 \text{ h} + 0,375 \text{ h} = 1,000 \text{ h.}$$

Keskivauhti koko matkalla on

$$v = \frac{s}{t} = \frac{55 \text{ km}}{1,000 \text{ h}} = 55 \text{ km/h.}$$

12. Tehdään yksikkömuunnos:

$$78 \text{ km/h} = \frac{78}{3,6} \text{ m/s} \approx 21,667 \text{ m/s.}$$

Pyörän vauhti ohituksen jälkeen on

$$v = v_0 + at = 21,667 \text{ m/s} + 3,7 \text{ m/s}^2 \cdot 3,0 \text{ s} = 32,767 \text{ m/s} \approx 120 \text{ km/h}.$$

13. Putoamiskiihtyvyys on

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 1,2 \text{ m}}{(2,2 \text{ s})^2} \approx 9,8 \text{ m/s}^2.$$

14. Paineen yhtälö $p = \frac{F}{A}$ voidaan kirjoittaa muotoon $p = \frac{G}{A} = \frac{mg}{A}$,

josta massa on

$$m = \frac{pA}{g} = \frac{2,2 \text{ MPa} \cdot 250 \text{ cm}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{2,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 250 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \approx 5600 \text{ kg}.$$

15. Aineet asettuvat tiheyksien mukaiseen järjestykseen, aineen A tiheys on suurin ja aineen C pienin. Näin ollen järjestys on C, B ja A.

16. a) Kappale on tasaisessa liikkeessä, etenee poispäin ja on lähtiessään myös pienen matkan päässä mittajasta. Jalankulkija tarkkailee vakionopeudella liikkuvaa autoa.

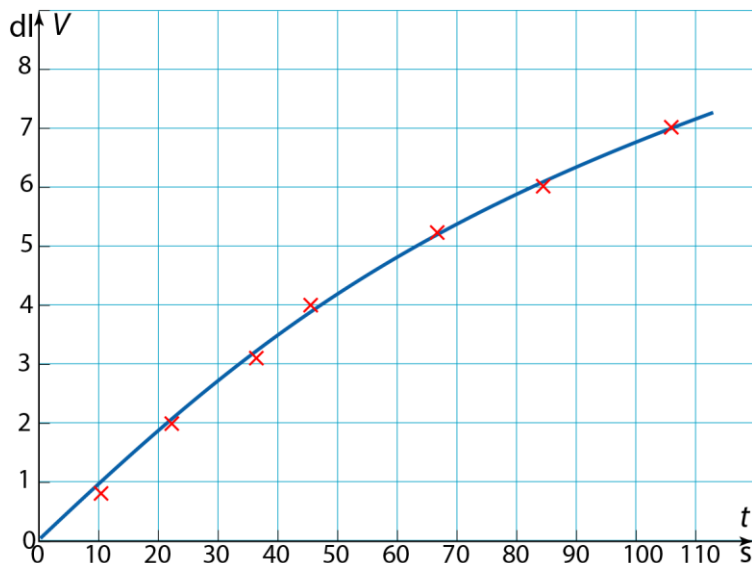
b) Kappale liikkuu tasaisella nopeudella kohti havaitsijaa ja pysähtyy. Ystävä tulee sinua kohti ja jää juttelemaan.

c) Kappale etenee vakionopeudella. Havaitsija katsoo auton liikettä maantiellä.

d) Kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Mittauksen alkaessa kappaleella on alkunopeus. Jalankulkija tarkkailee risteykseen tulevaa autoa, jonka nopeus kasvaa.

e) Kappaleella on alkunopeus. Kappaleen nopeus pienenee tasaisesti ja lopulta kappale pysähtyy. Auto jarruttaa ennen pysähtymistään liikennevaloihin.

17. a) Mittaustulokset t, V -koordinaatistossa.



b) Riippuvuus ei ole lineaarinen.

c) Vettä oli poistunut purkista 30 sekunnin kuluttua noin 2,7 dl.

18. a) Nopeudet saadaan fysikaalisina kulmakertoimina:

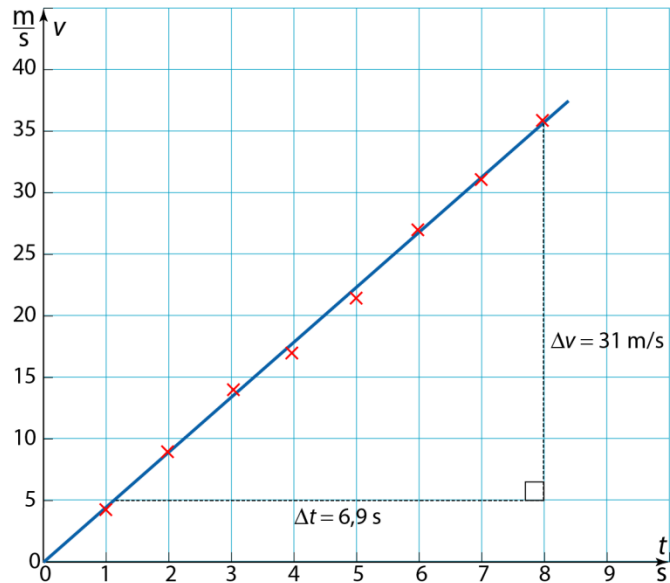
$$A: v_A = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{9,0\text{m}}{3,0\text{s}} = 3,0\text{m/s},$$

$$B: v_B = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8,0\text{m}}{8,0\text{s}} = 1,0\text{m/s},$$

$$C: v_C = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2,0\text{m}}{6,0\text{s}} \approx 0,33\text{m/s}.$$

b) A:n ja B:n välinen etäisyys on yli 4 m ajanhetkestä 2,0 s alkaen.

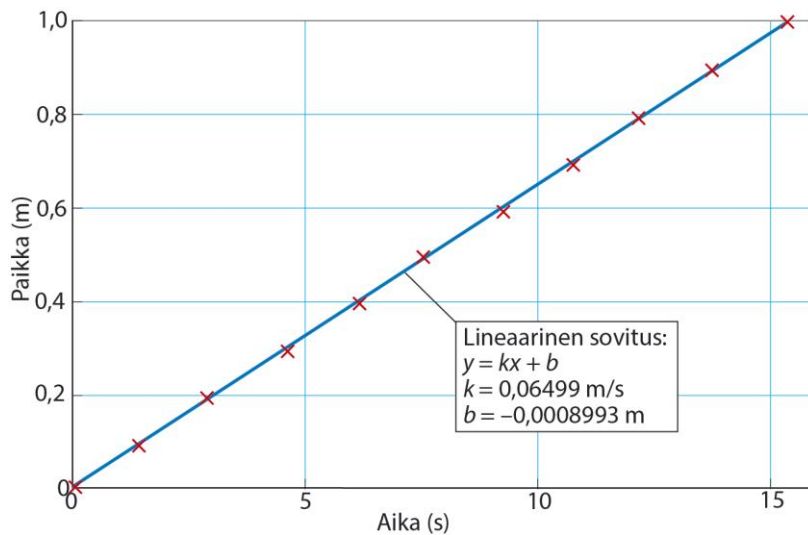
19. a)



Pahvilaatikon putoamiskihtiys on

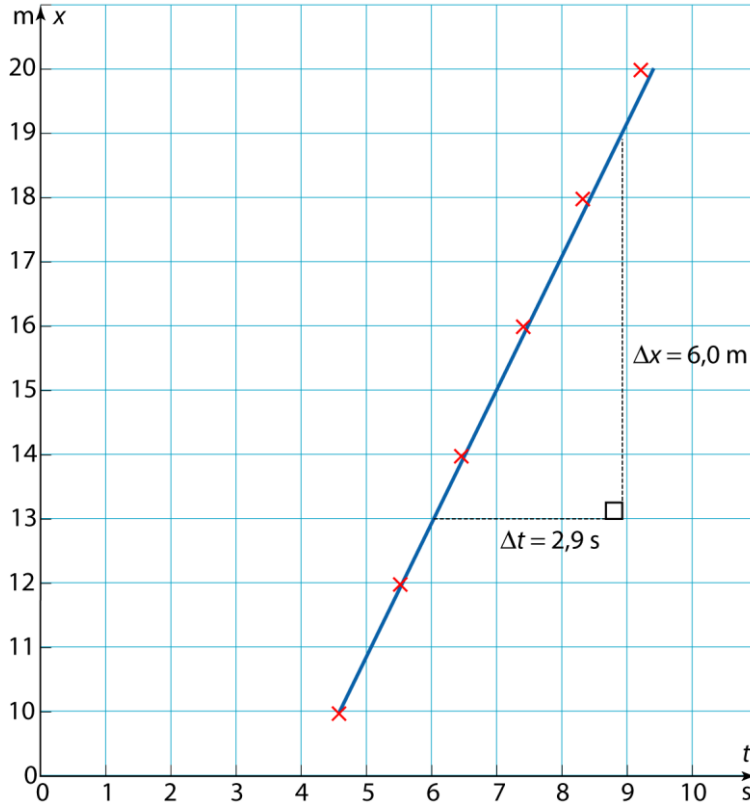
$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{31 \text{ m/s}}{6,9 \text{ s}} \approx 4,5 \text{ m/s}^2.$$

b)



Ilmakuplan nopeus on $0,06499 \text{ m/s} = 6,5 \text{ cm/s}$.

20. a) Jääpalan paikka ajan funktiona:



- b) Riippuvuus on lineaarinen.

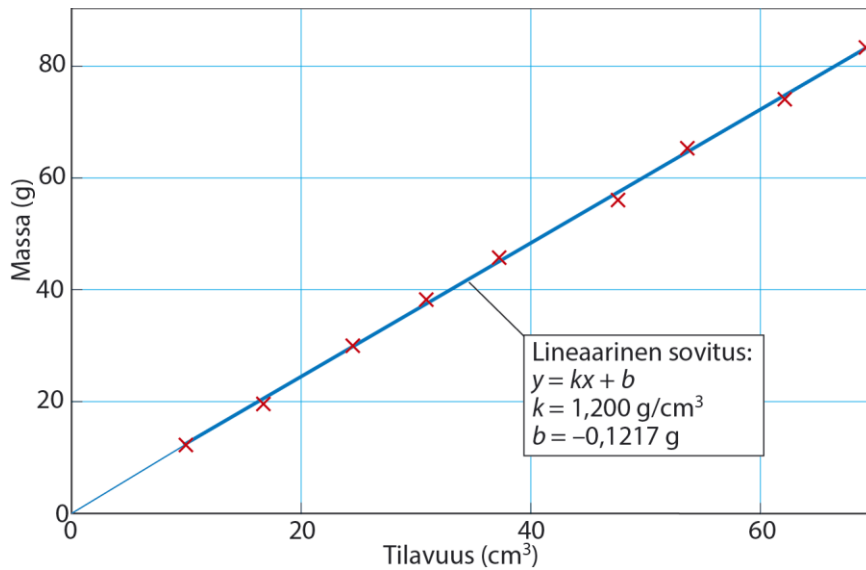
- c) Jääpalan nopeus saadaan t, x -koordinaatistoon piirretyn suoran fysikaalisena kulmakertoimena:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{19,0 \text{ m} - 13,0 \text{ m}}{8,9 \text{ s} - 6,0 \text{ s}} = \frac{6,0 \text{ m}}{2,9 \text{ s}} \approx 2,1 \text{ m/s}.$$

- d) Jääpalan paikka ajanhetkellä $6,0 \text{ s}$ on $13,0 \text{ m}$.

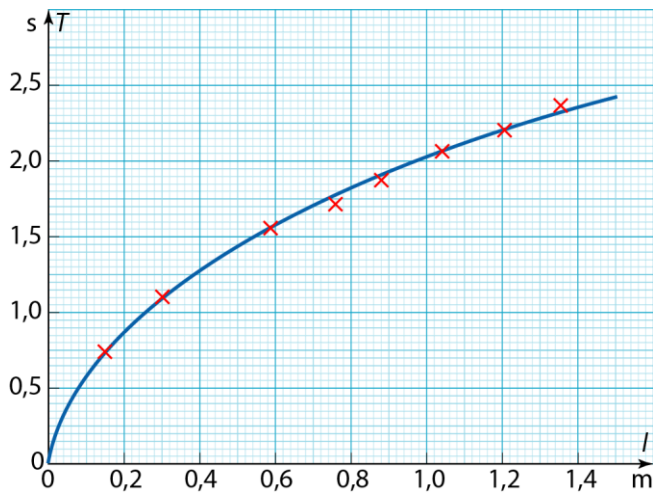
- e) Jääpala on 19 m :n päässä lähtöpisteestään $8,9 \text{ s}$:n kuluttua.

21. Tiheys saadaan V, m -koordinaatiston fysikaalisena kulmakertoimena. Koska mittauspisteet asettuvat peräkkäin, sovitetaan mittauspistejoukkoon suora.



Aineen tiheys on $1,2 \text{ g/cm}^3$.

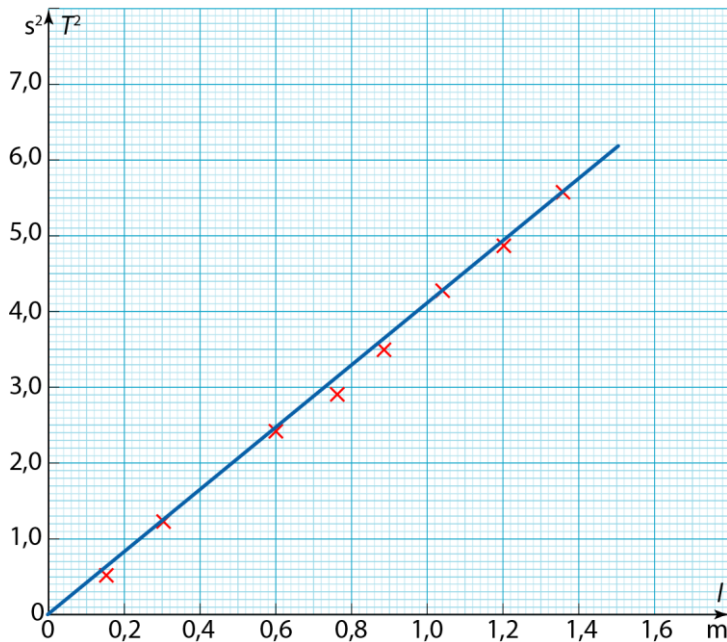
22. a) Mittaustulokset l, T -koordinaatistoissa.



Heilurin pituuden l ja heilahdusajan T välillä ei ole lineaarista riippuvuutta.

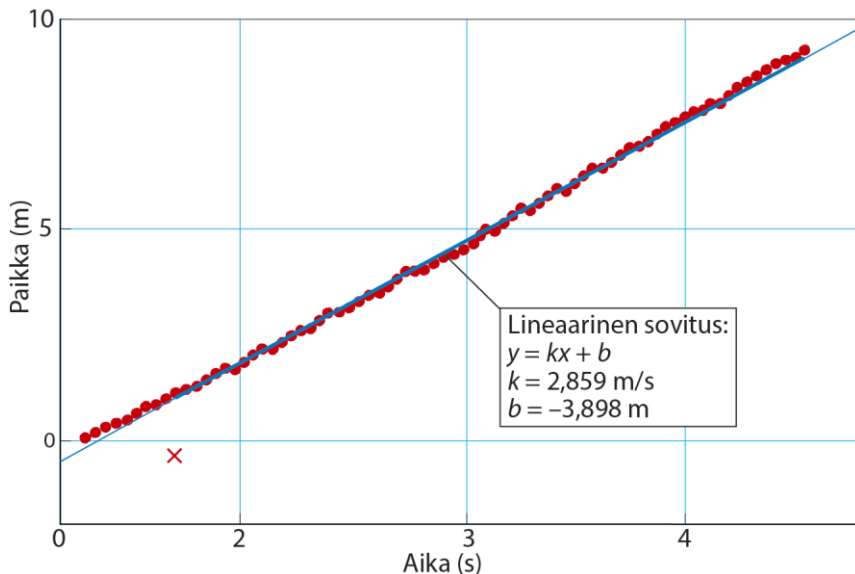
l (m)	T (s)	T^2 (s ²)
0,14	0,74	0,55
0,30	1,10	1,21
0,59	1,55	2,40
0,76	1,71	2,92
0,88	1,88	3,53
1,04	2,07	4,28
1,20	2,21	4,88
1,35	2,36	5,57

Mittaustulokset l, T^2 -koordinaatistoissa.



b) Heilurin pituuden l ja heilahdusajan neliön T^2 välillä on lineaarinen riippuvuus.

23.



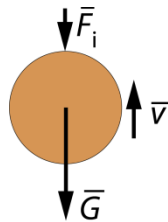
Moottoripyörän nopeus on 2,9 m/s.

24. a) Väite on väärin, ks. väite c.
b) Väite on väärin, ks. väite c.
c) Väite on oikein.
25. a) Vedessä uiva kala on kosketusvuorovaikutuksessa veden kanssa ja etävuorovaikutuksessa Maan kanssa.
b) Maan kiertoradalla oleva satelliitti on gravitaatiovuorovaikutuksessa Maan kanssa.
c) Puun oksalla istuva lintu on kosketusvuorovaikutuksessa oksan kanssa ja etävuorovaikutuksessa Maan kanssa.
d) Kuun pinnalla seisova astronautti on kosketusvuorovaikutuksessa kuunpinnan kanssa ja etävuorovaikutuksessa Kuun kanssa.

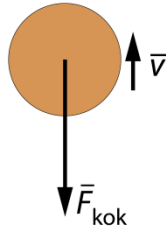
26. $\vec{T}$ on voima, jonka vaa'an koukku kohdistaa kalaan. Sen vastavoima on voima, jonka kala kohdistaa koukkuun. Tämän voiman suunta on alas, ja se on yhtä suuri kuin $\vec{T}$.

$\vec{G}$ on Maan kalaan kohdistama paino. Sen vastavoima on voima, jonka kala kohdistaa Maahan. Tämän voiman suunta on vastakkainen $\vec{G}$:lle eli suunta on ylös, ja se on yhtä suuri kuin $\vec{G}$. Huomaa, että kun piirretään kalan Maahan kohdistamaa voimaa, tämä voima piirretään Maan keskipisteeseen.

27. Kuva b. Maan ja kappaleen gravitaatiovuorovaikutuksesta aiheutuu kappaleeseen kohdistuva paino alas ja vähäinen ilmanvastus, jonka suunta on myös alas.



Palloon kohdistuvat voimat ovat paino ja ilmanvastus



$\vec{F}_{\text{kok}}$ kuvaa palloon kohdistusvien voimien yhteisvaikutusta.

28. Newtonin II lain mukaan autoon kohdistuvan kokonaisvoiman suuruus on

$$F_{\text{kok}} = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1220 \text{ kg} \cdot \frac{\frac{100}{3,6} \text{ m/s}}{8,9 \text{ s}} \approx 3,8 \text{ kN}.$$

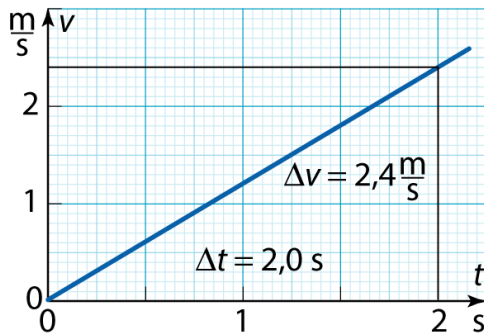
29. a) Paikka on vakio, joten kappale on paikallaan.
 b) Kappaleen nopeus pienenee tasaisesti, joten kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä ($a < 0$).
 c) Kappale on kiihtyvässä liikkeessä. Kiihtyvyys kasvaa tasaisesti.

d) Kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on positiivinen vakio, joten kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä.

e) Käyrän jyrkkyys kasvaa, joten vauhti kasvaa eli kappale on kiihtyvässä liikkeessä. (Jos kuvaaja on paraabeli, liike on tasaisesti kiihtyvää.)

f) Kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on nolla, joten Newtonin II lain mukaan kappale on paikallaan tai tasaisessa liikkeessä.

30. a)



Kiihtyvyys on vakio ja sen suuruus on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2,4 \text{ m/s}}{2,0 \text{ s}} = 1,2 \text{ m/s}^2.$$

b) Newtonin toisesta laista $\vec{F} = m\vec{a}$ saadaan massaksi

$$m = \frac{F}{a} = \frac{0,60 \text{ N}}{1,2 \text{ m/s}^2} = 0,50 \text{ kg}.$$

31. a) Newtonin II lain mukaan matkustajaan kohdistuvan pysäyttävän voiman suuruus on

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 62 \text{ kg} \cdot \frac{\frac{85}{3,6} \text{ m/s}}{1,6 \text{ s}} = 914,9 \text{ N} \approx 910 \text{ N}.$$

b) Pysäyttävän voiman ja matkustajaan kohdistuvan painon suhde on

$$\frac{F}{G} = \frac{F}{mg} = \frac{914,9 \text{ N}}{62 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 1,5.$$

Pysäyttävä voima on 1,5-kertainen matkustajaan kohdistuvaan painoon verrattuna.

32. Oikein ovat a ja c. Kuvaaja a esittää paikallaan olevaa kappaletta ja kuvaaja c tasaisessa liikkeessä olevaa kappaletta. Kummassakin tapauksessa Newtonin II lain mukaan kappaleeseen kohdistuvien voimien summa eli kokonaisvoima on nolla.
33. Harhauttaja tekee vartalollaan nopean edestakaisen liikkeen, jolloin vastustaja reagoi ensimmäiseen liikkeeseen. Tällöin vastustajan liike on väärään suuntaan verrattuna harhauttajan toiseen liikkeeseen. Harhautetun pelaajan liike jatkuu väärään suuntaan hetken aikaa jatkavuuden lain mukaan.
34. Törmäyksessä auton nopeus hidastuu yhtäkkiä. Ilman turvavyötä matkustajaan ei kohdistu merkittävää voimaa, joka estäisi häntä jatkamasta tasaista suoraviivaista liikettään jatkavuuden lain mukaisesti. Tällöin matkustaja sinkoutuu eteenpäin suhteessa autoon kunnes osuu edessä olevaan turvatyynyyn, penkkiin, kojelautaan tai tuulilasiin.
35. Kun lyödään renkaan sisäreunaan, renkaan muoto muuttuu yhtäkkisesti matalammaksi ja kolikko putoaa suoraan astiaan. Aluksi kolikkoon kohdistuvat renkaan tukivoima ja paino kumoavat toisensa, jolloin kolikko pysyy levossa. Kun lyödään renkaan sisäreunaan, tukivoima katoaa yhtäkkisesti. Tällöin kolikkoon jää vaikuttamaan vain paino, joka muuttaa kolikon liikettä. Näin kolikko joutuu kiihtyvään liikkeeseen ja putoaa astiaan. Putoamisen aikana kolikkoon kohdistuu myös ilmanvastus, jonka suunta on ylös.

Todetaan vielä: kolikkoon ei kohdistu renkaan liikkeen suuntaisia voimia, joten kolikon massan hitaus estää kolikon liikkeen sivusuunnassa. Massa tuntee gravitaation vaikutuksen ja siksi kolikko putoaa astiaan. Jos yritetään saada kolikko astiaan lyömällä renkaan ulkoreunaan, renkaan muoto muuttuu korkeammaksi, jolloin rengas sinkauttaa kolikon korkealle ilmaan. Tämä johtuu siitä, että renkaan kolikkoon kohdistama tukivoima on hetkellisesti suurempi kuin kolikkoon kohdistuva paino. Rengas liikkuu myös lyönnin suunnassa, joten liikkuva rengas kohdistaa kosketuksen aikana kolikkoon liikkeen suuntaisen kitkan. Näin ollen kolikon liike ei suuntaudu suoraan ylös. Kolikko tuskin osuu astiaan alas tultuaan, jos lyödään renkaan ulkoreunaan. Ilmalennon aikana kolikkoon kohdistuvat voimat ovat alas suuntautuva paino ja liikkeen suunnalle vastakkainen ilmanvastus.

- 36.** a) 1. Lattia kohdistaa kengän pohjaan lepokitkan, kun kävelijä lähtee liikkeelle. Kitka aiheuttaa kävelijän kiihtyvyyden.
2. Polkupyörää poljettaessa tien pinta kohdistaa polkupyörän takarenkaaseen liikkeen suuntaisen lepokitkan. Lepokitka ylläpitää tai kiihdyttää polkupyörän ja pyöräilijän liikettä.
- b) 1. Kitka vastustaa pulkan liikettä pulkkaa vedettäessä.
2. Puu kohdistaa ruuviin kitkan, joka estää ruuvien kiertymisen seinästä.
- 37.** a) Kun laskuvarjohyppääjä putoaa suoraan alas, häneen kohdistuu kaksi vastakkaissuuntaista voimaa, paino ja ilmanvastus. Ilmanvastus kasvaa nopeuden kasvaessa. Lopulta, kun ilmanvastus on yhtä suuri kuin paino, hyppääjään kohdistuva kokonaisvoima on nolla. Tällöin Newtonin II lain mukaan hyppääjän kiihtyvyys on nolla, eli hyppääjä on saavuttanut vakionopeuden.
- b) Paniikkijarrutuksessa, varsinkin kuivalla asfaltilla, auton liike hidastuu nopeasti. Matkustaja pyrkii jatkavuuden lain mukaan jatkamaan etenemisliikettään alkuperäisellä nopeudella, jolloin hän voi lyödä päänsä tuulilasiin. Matkustajan liikkeen hidastumiseen auton mukana tarvitaan

voima. Turvavyö kohdistaa matkustajaan tarvittavan voiman.

c) Maan ja Kuun välillä on gravitaatiovuorovaikutus. Maan massa on paljon suurempi kuin Kuun massa. Maan ja Kuun toisiinsa kohdistamat voimat ovat yhtä suuria, mutta Kuu on niin paljon kevyempi, että Kuun nopeuden suunta muuttuu ja Kuu kiertää Maata. Maata voidaan pitää gravitaatiokeskuksena.

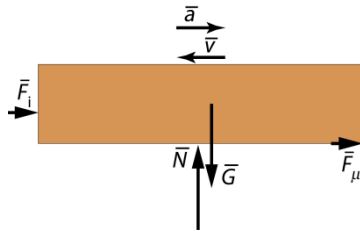
38. a) Veturin kiihtyvyys on

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{\Delta t} = \frac{4,3 \text{ m/s} - 5,6 \text{ m/s}}{76 \text{ s}} \approx -0,01711 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Newtonin II lain mukaan veturiin kohdistuvan liikesuunnalle vastakkaisen kokonaisvoiman suuruus on

$$F = ma = 82\,000 \text{ kg} \cdot (-0,01711 \text{ m/s}^2) \approx -1,4 \text{ kN}.$$

b)



$\vec{G}$ on veturiin kohdistuva paino,

$\vec{N}$ on kiskojen veturin pyöriin kohdistama tukivoima ($\vec{N}$ esittää kaikkiin pyöriin kohdistuvaa tukivoimaa), $\vec{F}_\mu$ on kiskojen veturin pyöriin kohdistama kitka ($\vec{F}_\mu$ esittää kaikkiin pyöriin kohdistuvaa kitkaa), $\vec{F}_i$ on ilmanvastus.

39. Perusvuorovaikutukset ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus. Esimerkki-ilmiöitä: gravitaatio pitää planeetat

kiertämässä Aurinkoa, sähkömagneettinen vuorovaikutus pitää atomin koossa, vahva vuorovaikutus sitoo kvarkit toisiinsa, heikko vuorovaikutus aiheuttaa beeta-radioaktiivisuuden.

- 40.** a) Heikoimmasta vahvimpaan: gravitaatiovuorovaikutus, heikko vuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus.
b) Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on fotoni, vahvan vuorovaikutuksen gluoni ja heikon vuorovaikutuksen välibosonit. Gravitaation välittäjähiukkasta sanotaan gravitoniksi, mutta sitä ei ole havaittu.
- 41.** a) Vahva vuorovaikutus.
b) Heikko vuorovaikutus.
c) Sähkömagneettinen vuorovaikutus.
d) Gravitaatiovuorovaikutus.
- 42.** a) Sähkömagneettinen vuorovaikutus.
b) Gravitaatiovuorovaikutus.
c) Gravitaatiovuorovaikutus.
d) Vahva vuorovaikutus.
e) Sähkömagneettinen vuorovaikutus.
- 43.** Alkuräjähdysteorian tärkeimmät havaintotodisteet ovat galaksien loitoneminen, kevyiden alkuaineiden (vety, helium, litium) määrät maailmankaikkeudessa ja kosminen taustasäteily.
- 44.** a) Valon spektriviivojen siirtyminen pitempiä aallonpituuksia kohti silloin, kun säteilyn lähde, esimerkiksi galaksi, loittonee.
b) Kosminen taustasäteily on sähkömagneettista säteilyä, joka syntyi

varhaisessa maailmankaikkeudessa silloin, kun atomit muodostuivat.

c) Pimeä aine on toistaiseksi tuntematonta ainetta, joka vaikuttaa gravitaatiovuorovaikutuksella esimerkiksi tähtien ja galaksien liikkeisiin ja valon kulkuun.

45. a) Kosminen inflaatio alkoi,

b) kevyiden alkuaineiden ytimet syntyivät,

c) atomit muodostuivat ja kosminen taustasäteily syntyi,

d) tultiin nykyhetkeen.

46. A2, B1, C3.

47. a) Valovuosi on se matka, jonka valo etenee tyhjiössä yhden vuoden aikana eli $9,46055 \text{ Pm} = 9,46055 \cdot 10^{15} \text{ m}$.

b) Tähtitieteellinen yksikkö (AU) on Maan keskimääräinen etäisyys Auringosta, $1 \text{ AU} = 149,5979 \text{ Gm} = 149,5979 \cdot 10^9 \text{ m}$.

c) Linnunrata on galaksi, jossa Aurinkokunta sijaitsee.

d) Supernovaksi sanotaan Aurinkoa hieman raskaampien tähtien sisäosien romahtamista ydinreaktioiden päätyttyä tähden keskustassa ja siihen liittyvää tähden ulko-osien räjähdysmäistä leviämistä avaruuteen.

48. a) Kivistä ja jäästä koostuva Aurinkoa kiertävä taivaankappale.

b) Planeetta huomattavasti pienempi kivinen taivaankappale, joka kiertää Aurinkoa.

c) Pienikokoinen asteroidi.

d) Auringon läheltä sivuuttava komeetta, josta aurinkotuuli irrottaa ainesta Auringosta poispäin suuntautuvana pyrstönä.

e) Tähdenlento eli meteori on ilmakehään saapuva ja siinä kitkan takia kirkkaana hehkuva hyvin pieni meteoroidi.

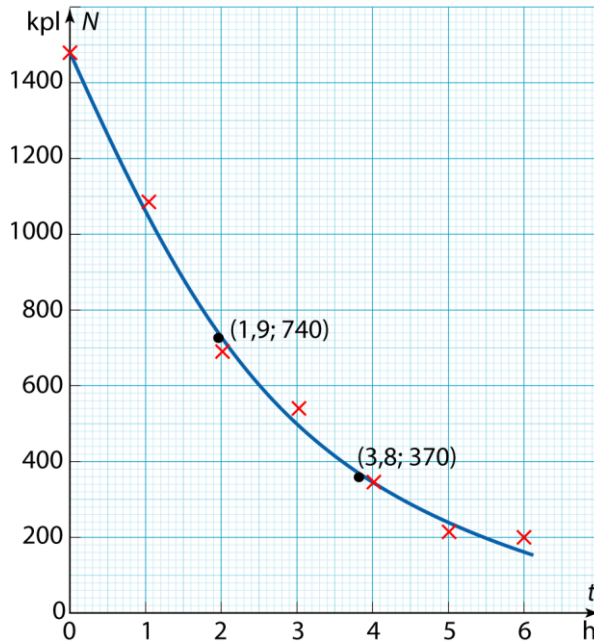
f) Maanpintaan törmäävä meteoroidi tai komeetta tai näiden osa.

- 49.** a) Aurinkotuuli on Auringosta tulevaa varattujen hiukkasten virtaa.
- b) Revontulet syntyvät aurinkotuulen hiukkasten törmätessä ilmakehän atomeihin. Törmäyksien seurauksena atomit lähettävät valoa, jonka väri riippuu siitä, minkä aineen atomista on kyse.
- c) Maan magneettikenttä ohjaa sähkömagneettisen vuorovaikutuksen seurauksena aurinkotuulen hiukkaset kohti Maan magneettisia napoja, joten revontulia näkyy eniten magneettisten napojen ympärillä.
- 50.** a) Avaruussäällä tarkoitetaan Auringon aktiivisuuden vaikutusta Maan magneettikenttään ja aurinkotuulen voimakkuuden muutoksia.
- b) Magneettinen myrsky on Maan magneettikentässä tapahtuva voimakas muutos, joka johtuu Auringon pinnalla tapahtuvista suurista purkauksista.
- c) Magneettinen myrsky voi aiheuttaa häiriöitä sähköverkkoihin ja tiedonsiirtojärjestelmiin synnyttäessään niihin sähkövirtoja. Öljy- ja kaasuputkistoihin syntyneet virrat aiheuttavat korroosioaurioita.
- 51.** Atomi koostuu ytimeä ja sen ympärillä olevista elektroneista. Ydin koostuu nukleoneista eli protoneista ja neutroneista, joita sitoo yhteen vahvan voiman jännösvoima eli ydinvoima. Nukleonit koostuvat kvarkeista, joita sitoo toisiinsa vahva vuorovaikutus, jonka aiheuttama vetovoima on suurempi kuin protonien välinen sähkömagneettinen hylkimisvoima. Elektronit ja ytimen sitoo toisiinsa elektronien ja ytimessä olevien protonien välinen sähkömagneettinen vuorovaikutus. Elektronien sanotaan muodostavan ytimen ympärille elektronipilven.

52. a) Nukleoni on ytimessä olevien hiukkasten, protonin ja neutronin, yhteisnimitys.
b) Aineen pienimmät tunnetut muodot eli kvarkit ja leptonit, joita molempia on kuutta eri lajia.
c) Kvarkki on perushiukkanen, josta esimerkiksi protoni ja neutroni muodostuvat. Vahvan vuorovaikutuksen takia kvarkit eivät esiinny luonnossa toisistaan erillään.
53. a) Oikein.
b) Oikein.
c) Väärin. Protoni ja neutroni koostuvat u- ja d-kvarkeista.
d) Väärin. Protoneita ja neutroneita sitoo toisiinsa vahva vuorovaikutus.
e) Oikein.
54. a) Standardimallin mukaan kahden hiukkasen välinen vuorovaikutus tapahtuu välittäjähiukkasen avulla. Välittäjähiukkasen mukana hiukkasen välillä siirtyy mm. energiaa.
b) Standardimallissa on seuraavat hiukkaset:
– Perushiukkaset eli kvarkit (u-, d-, c-, s-, t- ja b-kvarkki) ja leptonit (elektroni, myoni, tau, elektronin neutriino, myonin neutriino ja taun neutriino). Perushiukkasilla on vastahiukkaset eli antihiukkaset.
– Vuorovaikutusten välittäjähiukkaset (fotoni, gluoni, välibosonit W ja Z, gravitoni (ei havaittu)).
– Higgsin hiukkanen, joka liittyy hiukkasten massojen syntyyn.
55. a) Voit havaita valon silmien näkösolujen hermojen avulla. Valon aiheuttama hermoärsytys havaitaan aivoissa. Infrapunasäteily tuntuu ihon pinnalla lämmön tunteena.

b) Esimerkiksi alfa-, beeta- ja gammasäteily kohdistuvat sinuun tällä hetkellä. Kaikkien ihmisten kehossa on erilaisia radioaktiivisia isotooppeja, esimerkiksi veteen liuenneina uraania ja radonia ja ravinnosta saatuna isotooppeja kalium-40 ja hiili-14. Tietty ytimet lähettävät alfasäteilyä ja toiset beetasäteilyä, samalla syntyy sähkömagneettista gammasäteilyä.

56. a) Mittaustulokset t , N -koordinaatistossa.



b) Kuvaajan mukaan atomiytimien määrä (1480) vähenee puoleen (740) noin 1,9 tunnin (1h 50 min) välein. Radioaktiivisen isotoopin puoliintumisaika on 1,9 h.

57. a) Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä, joka koostuu sähkö- ja magneettikentässä etenevistä värähtelyistä.

b) Hiukkassäteily voi olla alfa-, beeta- ja neutronisäteilyä.

c) Ionisoiva säteily on säteilyä, joka törmätessään aineeseen pystyy irrottamaan elektroneja atomien elektronikuorilta eli atomit ionisoituvat.

58. a) Gammasäteilyä syntyy avaruuden kaukaisissa räjähdyksissä.

Avaruudesta tuleva gammasäteily ei pääse ilmakehän läpi.

Gammasäteilyä syntyy myös atomin ytimissä radioaktiivisten hajoamisten yhteydessä. Gammasäteily on hyvin lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä. Siksi sen energia on suuri. Kaikkialla luonnossa on pieniä määriä gammasäteilyä lähettäviä aineita. Gammasäteilyä käytetään sädehoidossa.

b) Röntgensäteilyä säteilevät mm. mustat aukot, neutronitähdet, valkoiset kääpiöt ja galakseissa räjähtävät tähdet. Röntgensäteilyä syntyy myös atomin elektroniverhossa. Tähän perustuu röntgenkuvauslaitteistojen toiminta. Röntgensäteilyä käytetään kuvantamisessa.

59. a) Raskaan alkuaineen ydin voi hajota siten, että se lähettää alfahiukkasen, joka koostuu kahdesta protonista ja kahdesta neutronista. Alfahiukkasen rakenne on sama kuin heliumatomin ytimellä. Kun ydin lähettää α -hiukkasen, ydin muuttuu toisen alkuaineen ytimeksi.

b) Beetasäteily on elektroni- tai positronisäteilyä.

c) Kun radioaktiivisen alkuaineen ytimessä neutroni muuttuu protoniksi, ydin emittoi β^- -hiukkasen eli elektronin ja antineutriinon. Antineutriino on varaukseton hiukkanen.

Kun radioaktiivisen alkuaineen ytimessä protoni muuttuu neutroniksi, ydin emittoi β^+ -hiukkasen eli positronin ja neutriinon. Positronit ovat samanlaisia kuin elektronit mutta niiden varaus on positiivinen. Positronit ovat elektronien antihhiukkasia. Neutriino on varaukseton hiukkanen.

60. Säteilylle altistumisajan tulee olla mahdollisimman lyhyt. Kun säteilylähteitä käytetään ja säilytetään, etäisyyden ihmisiin on oltava mahdollisimman suuri. Säteilylähteen ja ihmisten väliin on asetettava riittävä säteilysuoja, esimerkiksi lyijylevyjä vaimentamaan gammasäteilyä riittävästi.