

Tehtävien ratkaisut

Heikki Lehto • Raimo Havukainen • Jukka Maalampi • Janna Leskinen

FYSIIKKA

Fysiikka luonnontieteenä

1 Johdanto fysiikan maailmaan

1-1. Uudempaa näkemystä edustavat seuraavat väitteet:

- Maa on pallon muotoinen.
- Maailmankaikkeus on jatkuvasti laajeneva.
- Aurinko on Aurinkokunnan keskus.
- Atomien osia ovat ydin ja elektronipilvi.
- Kaikki fysiikan tapahtumat voidaan selittää perusvuorovaikutusten avulla.

1-2. 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	maakeskeinen maailmanjärjestys	400 eaa.
Marie Curie	radioaktiivisuus	1900
Sir Isaac Newton	voimien yleinen teoria	1600–1700
Anders Celsius	lämpötila-asteikko	1700

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. Kopernikaaninen maailmankuva valtasi helpoimmin alaa uskonpuhdistuksen omaksuneissa maissa.

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 optiikkaa ja keksi valon spektrin.

c) Tarinan mukaan omena putosi puun alla istuneen Newtonin päähän, tällöin Newton keksi painovoiman. Newton itse kertoi nähneensä ikkunasta omenan putoavan.

1-4. a) Galileo Galilei (1564–1642) voidaan pitää nykyaikaisen luonnontieteellisen tutkimusmenetelmän isänä. Hän tutki mm. putoamisliikettä vierittämällä kuulia kaltevilla tasolla. Galilei päätteli tekemiensä kokeiden perusteella kaikkien kappaleiden putoavan tyhjiössä yhtä nopeasti. Hän oli ensimmäisiä historian tuntemia henkilöitä, joka ymmärsi liikkeen jatkuvuuden lain. Galilei ei kyennyt kuitenkaan kirjoittamaan sitä riittävän selkeään muotoon. Hän ei myöskään ymmärtänyt, miksi kappaleet putosivat maan pinnalle.

Puolalainen Marie Curie (1867–1934) 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 palkinnot.

Albert Einstein (1879–1955) on ehkä historian tunnetuin fyysikko. Hän loi suhteellisuusteorian ja selitti valosähköilmiön. Einsteinin luoma suhteellisuusteoria on yksi nykyfysiikan pääteorioista. Siinä hän korjasi klassisen fysiikan käsityksiä ajan ja avaruuden rakenteesta. Suhteellisuusteorian ehkä tunnetuin seuraus on massan ja energian vastaavuus, $E = mc^2$. Nykyaikana tätä tietoa hyödynnetään esimerkiksi ydinenergian tuotannossa. Valosähköilmiön selitys 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) Vuonna 1939 Nils Bohr kertoi Einsteinille, että saksalaistutkijat olivat onnistuneet halkaisemaan uraaniytimen: jos halkeaminen saataisiin onnistumaan hallittuna ketjureaktiona, tuloksena olisi valtava räjähdys. Einstein kirjoitti tutkijakollegoidensa kehotuksesta kirjeen presidentti Rooseveltille, jossa hän kehotti Yhdysvaltoja rakentamaan atomipommin ennen saksalaisia. Einsteinin kirje oli yksi syistä, kun Yhdysvallat aloitti Manhattan-projektin atomipommin kehittämiseksi. Einstein ei itse osallistunut pommin kehittelyyn, Einstein ei siis ollut atomipommin isä. Hiroshiman ja Nagasagin pommitusten jälkeen Einstein toimi aktiivisesti ydinasekiellon puolestapuhujana.

d) *Gunnar Nordström* (1881–1923) oli suomalainen fyysikko. Hänet tunnetaan erityisesti painovoimateoriastaan, jonka hän loi ennen Einsteinin yleistä suhteellisuusteoriaa. Nordström on saanut melko paljon huomiota ulkomailla, mutta Suomessa hän on melko tuntematon henkilö. Nordström oli kiinnostunut erityisesti uusien ilmiöiden kuten radioaktiivisuuden tutkimuksesta.

1-5. 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 julkaisu, 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.

1-6. a) Ruotsalainen Alfred Nobel oli liikemies, joka loi omaisuutensa mm. öljyteollisuudessa. Hän myös keksi dynamiitin, jonka tutkimustyössä perimmäisen oivalluksen tekijänä oli myös suomalainen tutkija. Nobelin testamentin mukaisesti vuonna 1895 perustettiin hänen nimeään kantava säätiö. Nobelin säätiön rahaston tuotosta jaetaan vuosittain Nobelin palkinto tieteellisistä ja taiteellisista saavutuksista.

b) Ensimmäinen palkittu oli Wilhelm Röntgen vuonna 1901. Hän sai palkintonsa röntgensäteilyn keksimisestä.

Fysiikan Nobel-palkitut (joulukuu 2008):

http://fi.wikipedia.org/wiki/Nobelin_fysiikanpalkinto

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/index.html

2 Kokeellisuus

2-1. a) Rakkaus, kauneus, maku ja tyylikkyys ovat ominaisuuksia, joita on vaikea mitata yksikäsitteisesti.

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

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

2-2. a) Etuliite k (kilo) tarkoittaa tuhatta: $k = 10^3 = 1000$, joten $2,5 \text{ km} = 2500 \text{ m}$.

b) Etuliite μ (mikro) tarkoittaa miljoonasosaa: $\mu = 10^{-6} = \frac{1}{10^6} = \frac{1}{1\,000\,000} = 0,000\,001$,
joten $4,1 \mu\text{m} = 0,000\,0041 \text{ m}$.

c) Etuliite M (mega) tarkoittaa miljoonaa: $M = 10^6 = 1\,000\,000$, joten
 $1000 \text{ MW} = 1000\,000\,000 \text{ W}$.

2-3. a) Tilavuusvirran yksikkö SI-järjestelmässä on m^3/s .

b) Massavirta liittyy esimerkiksi turpeen kuljetukseen hihnan avulla auton lavalta voimalaan. Massavirran yksikkö SI-järjestelmässä olisi kg/s .

c) Paperilatu ilmoitetaan usein massana pinta-alayksikköä kohden: esimerkiksi $75 \text{ g}/\text{m}^2$.

2-4. Denier kertoo langan vahvuuden. Langan vahvuus 1 den tarkoittaa, että langan massa on 1 gramma 9000 metriä kohti. Esimerkiksi arakisukkahousujen merkintä 20 den tarkoittaa siis, että käytetyn langan massa on $20 \cdot \frac{1}{9000} \text{ g}/\text{m} \approx 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ g}/\text{m} = 2,2 \text{ mg}$ metriä kohti.

2-5. Britanniassa ja Yhdysvalloissa käytetään usein massan yksikkönä naulaa (*pound*, lyhenne 1 lb), $1 \text{ lb} = 0,4536 \text{ kg}$. Hintalapun merkintä 5,32 dollaria naulalta vastaa/tarkoittaa hintaa

$\frac{5,32}{0,4536} \text{ \$/kg} = 11,73 \text{ \$/kg}$. Tuottoon hinta on siis 3,99 \$.

2-6. Täydennä taulukko. Huomaa, että mittaustulossarakkeessa olevat arvot voi itse keksiä.

Suure	Mittaustulos	Merkitsevät numerot
pituus	103 m	3
massa	58 kg	2
aika	0,13 s	2
tilavuus	1,2 cm^3	2
pinta-ala	12,45 m^2	4
nopeus	110 km/h	2 (tai 3)

2-7. DIN, Deutsche Industrie Normen, Saksalainen standardijärjestelmä

ASA, American Standards Association

ASCII, American Standard Code for Information Interchange, Kansainvälinen erilaisten merkkien koodijärjestelmä

UNICODE, UNiVersal CODE, on nykyisin 21-bittinen merkkien koodausjärjestelmä. Se kattaa lähes kaikkien maailman kielten kirjoitusjärjestelmät sekä suuren joukon erikoismerkkejä. Uusi järjestelmä luotiin, koska ASCII ja sen laajennukset eivät enää riitä kansainvälisessä julkaisemisessa ja aiemmin käytössä olleet useat erilaiset koodausjärjestelmät eivät ole keskenään yhteensopivia. Jokaisella Unicode-merkillä on oma yksilöivä koodinsa, joka ei ole sidottu käyttöjärjestelmään, ohjelmaan tai kieleen.

WLAN, Wireless Local Area Network, Langattomien verkkoyhteyksien standardi. WLAN-yhteydellä on saatavissa parhaimmillaan 11 Mbps (käytännössä 6–8 Mbps) nopeus tietokoneen ja tukiaseman välillä. Kantomatka yhteydellä on tilasta ja esteistä riippuen n. 30–100 metriä.

2-8. a) Stadion lat. *stadium* oli vanha muinaiskreikkalainen pituuden yksikkö. Sen suuruus vaihteli paikkakunnittain. Stadion oli metreinä 165 m – 210 m. Stadion tarkoitti alun perin kilpajuoksurataa ja myöhemmin koko urheilukenttää. Stadion oli muodoltaan soikea ja muistutti nykyistä urheilukenttää. Stadionin keskellä oli juoksurata, jonka pituus oli 192,27 m.

Olympian kisojen voittajien tietoja on olemassa jo vuodelta 776 eKr. Silloin ainoa kilpailulaji oli stadionjuoksu, pituudeltaan 192 m, voittaja oli Koroibos. Kisoja on mahdollisesti järjestetty jo aiemminkin.

b) Vanhoja suomalaisia pituusmittoja ovat poronkusema, noin 13 km, ja Penin kuuluma (peninkulma), noin 10 km. Peni oli koira, jonka haukunta kuului tyynellä ilmalla noin 10 km:n päähän.

2-9. a) Digitaalikamerassa on kenno, joka koostuu pienistä valoherkistä kuvapisteistä, pikseleistä. Niiden määrä ilmaistaan miljoonina pisteinä eli megapikseleinä. Digitaalikameran valokennossa on 7 miljoonaa pikseliä.

b) Ellan massa on 55 kg.

c) Tililläni on rahaa 3 000 €.

d) Aamulla maapallon pyörimisestä johtuen Aurinko tulee esille horisontin takaa, illalla Aurinko jää horisontin taakse.

2-10. a) 1500 m = 1,5 km

b) 15 000 000 W = 15 MW

c) 3 400 000 000 Hz = 3,4 GHz

d) 0,003 5 m = 3,5 mm

e) 0,000 0026 m = 2,6 μm

2-11. a) $450 \text{ nm} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

b) $25 \text{ cm}^2 = 25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ja $11 \text{ mm}^2 = 11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

c) $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$

d) $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml}$

e) $5,5 \text{ cm}^3 = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

2-12. a) $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg} = 6 \text{ 000 000 000 000 000 000 000 000 kg}$

b) $2 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 0,000 \text{ 002 kg} = 0,002 \text{ g}$

2-13. a) $2,5 \text{ h} = 2 \text{ h} + 0,5 \text{ h} = 2 \text{ h} + 30 \text{ min} = 2 \text{ h } 30 \text{ min}$

b) $3,4 \text{ h} = 3 \text{ h} + 0,4 \text{ h} = 3 \text{ h} + 0,4 \cdot 60 \text{ min} = 3 \text{ h} + 24 \text{ min} = 3 \text{ h } 24 \text{ min}$

c) $1,25 \text{ h} = 1 \text{ h} + 0,25 \cdot 60 \text{ min} = 1 \text{ h} + 15 \text{ min} = 1 \text{ h } 15 \text{ min}$

2-14. a) $1 \text{ h } 30 \text{ min} = 1 \frac{30}{60} \text{ h} = 1,5 \text{ h}$

b) $5 \text{ h } 15 \text{ min} = 5 \frac{15}{60} \text{ h} = 5,25 \text{ h}$

c) $4 \text{ h } 37 \text{ min} = 4 \frac{37}{60} \text{ h} \approx 4,62 \text{ h}$

2-15. a) $24 \text{ m/s} = 24 \cdot 3,6 \text{ km/h} \approx 86 \text{ km/h}$

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

2-16. a) $2100 \text{ kcal} = 2100 \cdot 10^3 \cdot 4,1868 \text{ J} \approx 8,8 \text{ MJ}$

b) Karaatti on massan yksikkö: $m = 0,23 \text{ ka} = 0,23 \cdot 200 \text{ mg} = 46 \text{ mg}$.

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

2-17. a) Koska $1 \text{ oz} = 28,35 \text{ g}$, kaakaojauheannospussin massa on $0,80 \text{ oz} = 0,80 \cdot 28,35 \text{ g} \approx 23 \text{ g}$.

b) Koska $1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$, on $130 \text{ kcal} = 130 \cdot 4,1868 \text{ kJ} \approx 540 \text{ kJ}$. Kaakaoannoksessa on lähes kolme kertaa niin paljon energiaa kuin omenassa (200 kJ).

2-18. a) Muunnetaan nopeuden yksiköksi mailia tunnissa: $100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{100}{1,609} \text{ mph} \approx 62 \text{ mph}$.

b) 1 solmu on meripeninkulma tunnissa:

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

2-19. a) Yksi tuuma: $1'' = 1 \text{ in} = 25,40 \text{ mm}$. Muunnetaan näyttöruudun halkaisijan yksiköksi

tuuma: $d = \left(\frac{1020}{25,40} \right)'' \approx 40''$. Kyseessä on siis $40''$:n televisio.

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

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

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

2-20. Kulutus litra/100 km on SI-järjestelmän mukaisesti m^3/m :

$$6,5 \text{ l}/100 \text{ km} = 6,5 \text{ dm}^3/100 \text{ 000 m} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/100 \text{ 000 m} = 6,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 = 0,065 \text{ mm}^2$$

Konkreettinen tulkinta: Jos auton polttoaineen kulutus on $6,5 \text{ l}/100 \text{ km}$, se vastaisi ”polttoainelieriötä”, jonka pituus on 100 km ja pohjan ala on $0,065 \text{ mm}^2$.

2-21. a) Purkin sisällön tilavuus voi pyöristyssääntöjen mukaan vaihdella välillä $0,5 \text{ l} - 1,4 \text{ l}$. Purkissa olevalla merkinnällä tarkoitetaan tilavuutta $1,0 \text{ l}$ tai $1,00 \text{ l}$.

b) Jos punnuksen massaksi ilmoitetaan 1 kg , massa on ilmoitettu yhden merkitsevän numeron tarkkuudella. Tällöin massa voi vaihdella välillä $0,5 \text{ kg} \dots 1,4 \text{ kg}$.

Jos punnuksen massaksi ilmoitetaan $1,000 \text{ kg}$, massa on ilmoitettu neljän merkitsevän numeron tarkkuudella.

Jos punnuksen massaksi ilmoitetaan 1000 g , merkitseviä numeroita voi olla yhdestä neljään.

Epätarkin on 1 kg tai 1000 g ja tarkin $1,000 \text{ kg}$ tai 1000 g .

c) Pyöristyssääntöjen mukaan massa voi olla välillä $245 \text{ g} \dots 254 \text{ g}$.

2-22. Koska 2% nopeudesta 95 km/h on $0,02 \cdot 95 \text{ km/h} \approx 2 \text{ km/h}$, lukema voi vaihdella välillä $93 \text{ km/h} \dots 97 \text{ km/h}$.

2-23. a) Kotona voidaan mitata esimerkiksi kahvinkeittimeen tulevan kahvin määrää, leivonnassa tarvittavien kananmunien määrää, lämpötilaa jne.

b) Ihmisen omasta reaktioajasta johtuen mitattua aikaa ei voi ilmoittaa sekunnin sadasosan tarkkuudella: järkevä tarkkuus on $12,4 \text{ s}$.

c) Kaikissa mittareissa, myös lämpömittareissa, on tietty epätarkkuus mittarin lukemaan liittyen. Mittarin lukeman esittäminen digitaalisesti ei takaa välttämättä yhtään tarkempaa mittaustulosta perinteiseen mittariin verrattuna. Jos esimerkiksi käyttää digitaalista yleismittaria lämpötilan mittaamiseen, lukeman virhe voi olla suuruusluokkaa $\pm 3 \%$. Ulkoilman lämpötilaan vaikuttaa moni seikka ja esimerkiksi yhden celsiusasteen lämpötilan nopeat muutokset ovat tavallisia tuulen ja pilvisyyden vaihdellessa. Ulkoilman lämpötila lienee järkevää ilmoittaa asteen tarkkuudella eli $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

2-24. Hiukset kasvavat sentistä puoleentoista senttiin kuukaudessa. Tehdään muunnokset arvolla 1 cm/kk ja oletetaan, että kuukaudessa on 30 vuorokautta:

$$1 \frac{\text{cm}}{\text{kk}} = 1 \cdot \frac{0,01 \text{ m}}{30 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = 1 \cdot \frac{0,01 \text{ m}}{2592000 \text{ s}} \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} = 0,000000004 \text{ m/s}.$$

Tuloksen virhe on merkittävä, koska hiusten kasvu on hyvin yksilöllistä.

2-25. a) Lukema on 5,1 mm. b) Lukema on 7,8 mm.

2-26.

t/s	$ \Delta t /\text{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

a) Putoamisaika on $t = 2,5 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$. Suhteellinen virhe on $\frac{0,087 \text{ s}}{2,467 \text{ s}} \approx 0,035 = 3,5 \%$.

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

2-27. Lukemien keskiarvo $20,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Lähinnä tätä arvoa ovat mittarit, joiden lukema ovat $20,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

2-28. a) Erot voivat johtua esim. siitä, että osa mittareista on voinut olla lähellä viileää ikkunaa. Toisaalta luokkahuoneen lämpöpattereiden vaikutus on lähellä pattereita suurempi kuin kauempana.

b) Tässä tapauksessa keskiarvon käyttö ei ole järkevää.

2-29. Kuvaajassa 3 ja 4 on kyse lineaarisesta mallista.

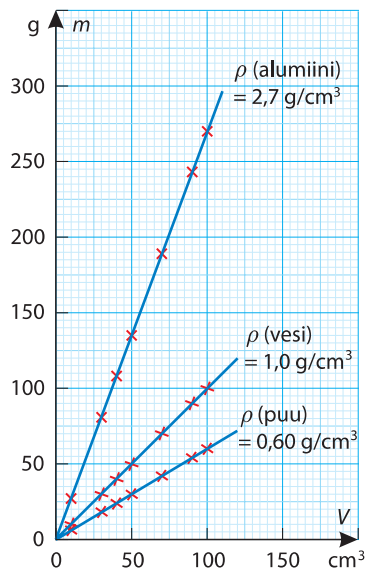
2-30. Tiheydet saadaan fysikaalisina kulmakertoimina:

$$\rho_{\text{Al}} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{212 \text{ g} - 0 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3 - 0 \text{ cm}^3} = \frac{212 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3} \approx 2,7 \text{ g/cm}^3$$

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

$$\rho_{\text{vesi}} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{80 \text{ g} - 0 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3 - 0 \text{ cm}^3} = \frac{80 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3} = 1,0 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{puu}} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{48 \text{ g} - 0 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3 - 0 \text{ cm}^3} = \frac{48 \text{ g}}{80 \text{ cm}^3} = 0,60 \text{ g/cm}^3 = 600 \text{ kg/m}^3$$



2-31. Kiven tiheys on $\rho = \frac{m}{V} = \frac{150 \text{ g}}{48 \text{ cm}^3} \approx 3,1 \text{ g/cm}^3$.

Muutetaan tiheyden yksiköksi kg/m^3 .

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

2-32. 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 $m = \rho V = 1,293 \text{ kg/m}^3 \cdot 160,225 \text{ m}^3 \approx 210 \text{ kg}$.

2-33. Kiven korkeus on noin 2,5 m. Oletetaan kivi pallon muotoiseksi, jolloin kivipallon säde on 1,25 m. Tällöin kiven tilavuus on $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot (1,25 \text{ m})^3 \approx 8,18 \text{ m}^3$. Jos oletetaan kiven tiheydeksi 2200 kg/m^3 , kiven massa on $m = \rho V = 2200 \text{ kg/m}^3 \cdot 8,18 \text{ m}^3 \approx 18\,000 \text{ kg}$. Joten taitaisi jäädä kivi paikalleen.

2-34. a) Vesi jäähtyy hitaimmin mukissa C.

b) Kyseessä ei ole lineaarinen malli.

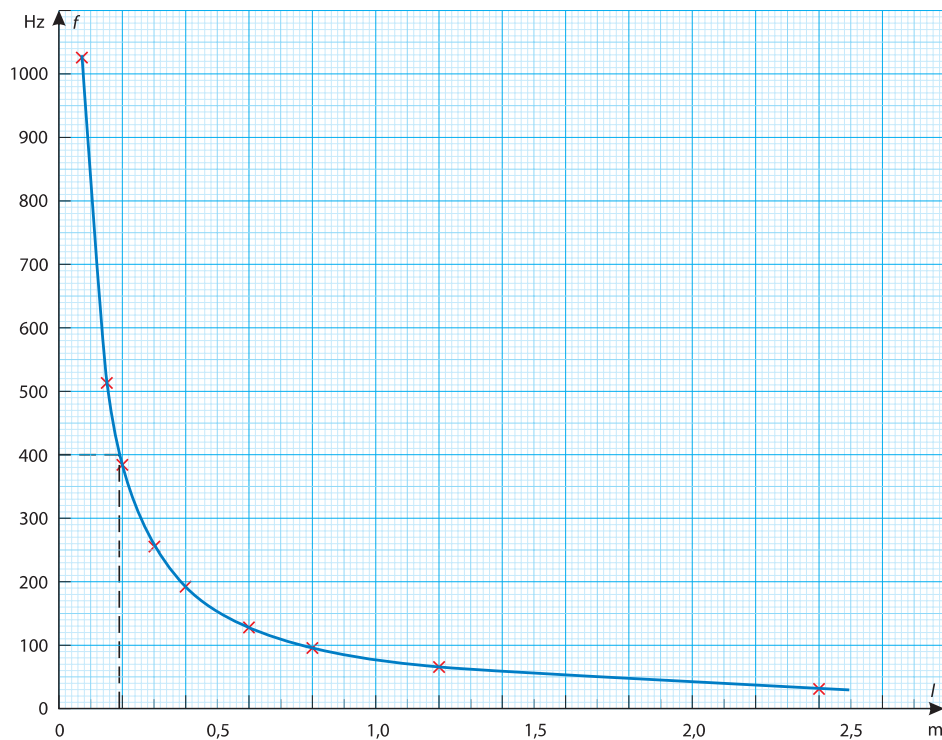
c) Muki A, lämpötila on $36 \text{ }^\circ\text{C}$

Muki B, $58 \text{ }^\circ\text{C}$

Muki C, $72 \text{ }^\circ\text{C}$

d) Huoneen lämpötila oli noin $20 \text{ }^\circ\text{C}$, (eli lämpötila, johon mukeissa oleva vesi jäähtyy).

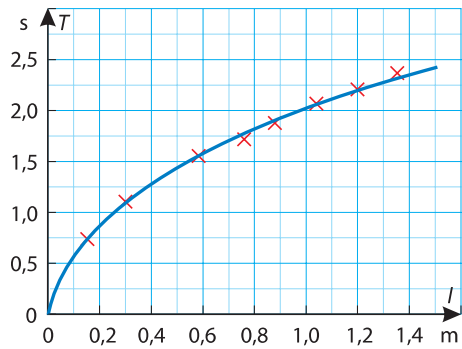
2-35. a)



b) Riippuvuus ei ole lineaarinen.

c) Langan pituus on 19 cm.

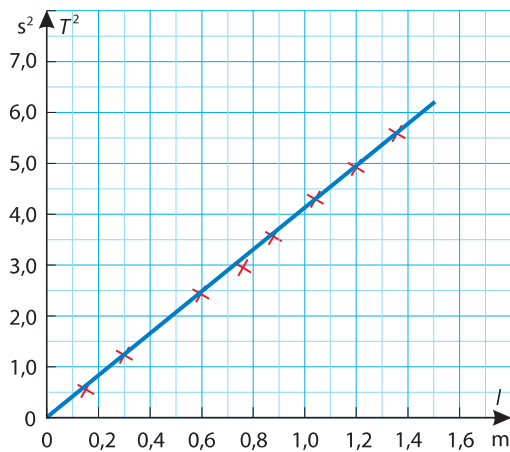
2-36. Mittaustulokset (l, T)-koordinaatistoissa.



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

Mittaustulokset (l, T^2)-koordinaatistoissa.

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



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

Testaa osaatko, sivu 39

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

3 Liike

3-1. a) Lentokoneen keskivauhti on $v = \frac{s}{t} = \frac{1700 \text{ m}}{5,0 \text{ s}} = 340 \text{ m/s} \approx 1200 \text{ km/h}$.

b) Lentoaika on $t = \frac{s}{v} = \frac{15000 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \approx 44 \text{ s}$.

3-2. Pendolinon keskivauhti on $v = \frac{s}{t} = \frac{154 \text{ km}}{1 \text{ h } 18 \text{ min}} = \frac{154 \text{ km}}{1,3 \text{ h}} \approx 120 \text{ km/h}$.

3-3. Merinahkakilpikonnin keskivauhti on $v_k = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{21000 \text{ km}}{647 \cdot 24 \text{ h}} \approx 1,4 \text{ km/h}$.

3-4. Koska $1 \text{ mi} = 1,609344 \text{ km}$, Lindan keskivauhti on $40 \text{ mph} = 40 \cdot 1,609344 \text{ km/h} = 64,37376 \text{ km/h} = 17,8816 \text{ m/s}$. Sillan pituus on

$$s = vt = 17,8816 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 36 \cdot 60 \text{ s} = 17,8816 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2160 \text{ s} \approx 39 \text{ km}.$$

3-5. Ensimmäiseen 63 km :n matkaan kulunut aika on

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1} = \frac{63 \text{ km}}{95 \text{ km/h}} \approx 0,663 \text{ h}$$

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 $t = t_1 + t_2 = 0,663 \text{ h} + 0,84 \text{ h} = 1,503 \text{ h}$.

Keskivauhti oli $v = \frac{s}{t} = \frac{126 \text{ km}}{1,503 \text{ h}} \approx 84 \text{ km/h}$.

3-6. Äänen kulkema kokonaismatka on $s = vt = 1500 \text{ m/s} \cdot 0,028 \text{ s} = 42 \text{ m}$. Näin ollen muikkuparvi on 21 m :n syvyydellä.

3-7. Yhtälöstä $v = \frac{s}{t}$ lentoajaksi saadaan

$$t = \frac{s}{v} = \frac{8700 \text{ km}}{910 \text{ km/h}} \approx 9,560 \text{ h} = 9 \text{ h} + 0,560 \cdot 60 \text{ min} \approx 9 \text{ h } 34 \text{ min}.$$

Lähtöaikaan 20.15 lisätään $9 \text{ h } 34 \text{ min}$, jolloin kone on Bangkokissa 05.50 Suomen aikaa. Koska aikaero Helsingin ja Bangkokin välillä on viisi tuntia, lento on perillä Bangkokissa paikallista aikaa noin klo 10.50 .

3-8. Oletetaan signaalin kulkumatkaksi $2 \cdot 1,0 \text{ m} = 2,0 \text{ m}$. Näin ollen aika on

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2,0 \text{ m}}{280 \text{ km/h}} = \frac{2,0 \text{ m}}{\frac{280}{3,6} \text{ m/s}} \approx 0,03 \text{ s}.$$

3-9. a) Autojen kohdatessa ne ovat kumpikin yhtä lähellä Helsinkiä.

b) Kumpikin autoista on niiden kohdatessa liikkunut yhtä kauan. Helsingistä lähtenyt auto on ollut maantiellä ajan $t = \frac{s}{v_1} = \frac{s}{95 \text{ km/h}}$ ja Turusta lähtenyt $t = \frac{165 \text{ km} - s}{v_2} = \frac{165 \text{ km} - s}{75 \text{ km/h}}$. Yhtälö

$$\frac{s}{95 \text{ km/h}} = \frac{165 \text{ km} - s}{75 \text{ km/h}} \text{ saadaan ristiin kertomalla muotoon}$$

$$s \cdot 75 \text{ km/h} = 95 \text{ km/h} \cdot (165 \text{ km} - s) \text{ ja edelleen}$$

$$s \cdot 75 \text{ km/h} = 95 \text{ km/h} \cdot 165 \text{ km} - 95 \text{ km/h} \cdot s$$

$$s \cdot 75 \text{ km/h} + 95 \text{ km/h} \cdot s = 95 \text{ km/h} \cdot 165 \text{ km}$$

$$s(75 \text{ km/h} + 95 \text{ km/h}) = 95 \text{ km/h} \cdot 165 \text{ km ja}$$

$$s = \frac{95 \text{ km/h} \cdot 165 \text{ km}}{75 \text{ km/h} + 95 \text{ km/h}} \approx 92 \text{ km}.$$

Kohtaamispaikka on 92 km Helsingistä.

3-10. a) Etenemisliikkeessä on esimerkiksi koulumatkalla oleva pyöräilijä.

b) Pyörimisliikkeessä on esimerkiksi mikroaaltouunin alusta.

c) Ääniraudan värähtely on esimerkki värähdysliikkeestä.

d) Suoraviivaisessa liikkeessä oleva kappale liikkuu pitkin suoraa, vain eteenpäin tai takaisinpäin.

3-11. a) Väite on oikein. Koska (t, x) -koordinaatistossa liikkeen kuvaaja aikavälillä $t_0 \dots t_1$ on suora, liike on tasaista.

b) Väite on väärin. Välillä $t_1 \dots t_2$ kävelijä on paikallaan.

c) Väite on väärin. Välillä $t_2 \dots t_3$ kävelijän nopeus alussa on suurempi kuin lopussa, joten liike ei ole tasaista.

d) Väite on väärin. Aikavälillä $t_0 \dots t_1$ kävelijän kulkema matka aikayksikköä kohden on pitempi kuin välillä $t_2 \dots t_3$, joten kävelijän nopeus välillä $t_0 \dots t_1$ on suurempi kuin välillä $t_2 \dots t_3$.

e) Väite on oikein. Suoran jyrkkyys kuvaa kävelijän nopeutta. Suora välillä $t_3 \dots t_4$ on jyrkempi kuin suora välillä $t_4 \dots t_5$.

3-12. a) A ja B ovat lähteneet liikkeelle samasta paikasta, B 2 sekuntia myöhemmin kuin A.

A etenee alussa nopeammin kuin B.

A:n liike hidastuu ennen hetkeä 4,0 s, jolloin A pysähtyy.

B:n kävelynopeus sen sijaan kasvaa, kunnes B pysähtyy hetkellä 6,0 s.

Ajanhetkellä 6,0 s A lähtee palaamaan takaisin kohti lähtöpistettään, aluksi hyvin nopeasti mutta vauhtiaan hidastaen.

B lähtee hetkellä 7,0 s palaamaan takaisinpäin.

B:n liike on tasaista koko paluumatkan.

B käy kauempana lähtöpisteestä kuin A.

A:n liike kestää sekunnin kauemmin kuin B:n.

b) Kävelijät kohtaavat hetkellä 5,6 s ja 12,0 s.

c) Kävelijät ovat samassa paikassa samaan aikaan 3 kertaa eli hetkillä 0,0 s, 5,6 s ja 12,0 s.

3-13. Vaihtoehto c) kuvaa kappaleen liikettä (x, t) -koordinaatistossa. Huomaa, että välillä $t_3 \dots t_4$ kappaleen keskinopeus on negatiivinen ja liike nopeampaa kuin välillä $t_1 \dots t_2$.

3-14. a) Mittauksen alettua auto on paikallaan 1,0 sekunnin, kunnes se lähtee liikkeelle.

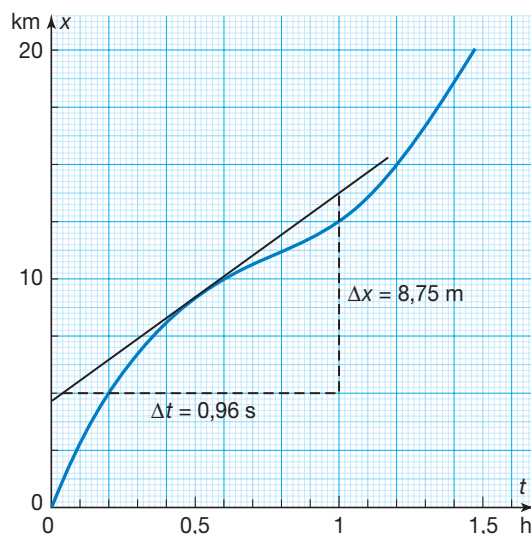
Hetkellä 2,0 s auto pysähtyy.

Hetkellä 4,0 s auto lähtee takaisinpäin ja pysähtyy hetkellä 8,0 s.

b) Auton keskinopeus aikavälillä 1,0...4,0 s on $v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5,0 \text{ m} - 3,0 \text{ m}}{4,0 \text{ s} - 1,0 \text{ s}} = \frac{2,0 \text{ m}}{3,0 \text{ s}} \approx 0,67 \text{ m/s}$.

Auton keskinopeus aikavälillä 4,0 s...8,0 s on $v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0,0 \text{ m} - 5,0 \text{ m}}{8,0 \text{ s} - 4,0 \text{ s}} = \frac{-5,0 \text{ m}}{4,0 \text{ s}} \approx -1,3 \text{ m/s}$.

3-15. a) Pyöräilijän paikka hetkellä 0,20 h on 5,0 km ja hetkellä 1,00 h on 12,5 km.



b) Pyöräilijän keskinopeus välillä 0,20 h...1,00 h on

$$v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12,5 \text{ km} - 5,0 \text{ km}}{1,00 \text{ h} - 0,20 \text{ h}} = \frac{7,5 \text{ km}}{0,80 \text{ h}} \approx 9,4 \text{ km/h.}$$

c) Nopeus hetkellä 0,50 h saadaan tangentin fysikaalisena kulmakertoimena:

$$v(0,50 \text{ h}) = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8,75 \text{ km}}{0,96 \text{ h}} \approx 9,1 \text{ km/h.}$$

3-16. a) Auton liike on esitetty (t, x) -koordinaatistossa.

Koska kuvaaja on aikavälillä 0...25 s suora, auton nopeus on vakio ja liike tasaista.

Välillä

25 s ... 35 s auton nopeus kasvaa

35 s ... 45 s auton nopeus pienenee

45 s ... 60 s auto on paikallaan

60 s ... 70 s auton nopeus kasvaa

70 s ...90 s auton nopeus on vakio.

b) Auton keskinopeus on $v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{900 \text{ m} - 200 \text{ m}}{80 \text{ s} - 20 \text{ s}} \approx 12 \text{ m/s.}$

c) Koska kuvaaja on jyrkin ajanhetkellä $t = 35 \text{ s}$, auton suurin nopeus saadaan tähän kohtaan piirretyn tangentin fysikaalisena kulmakertoimena. Auton suurin nopeus on

$$v_{\max} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{330 \text{ m}}{11 \text{ s}} = 30 \text{ m/s.}$$

Auto on paikallaan aikavälillä 45 s ... 60 s; tällöin auton nopeus on pienin eli 0 m/s.

3-17. Kiväärin luoti osuu maalitauluun ajan $t_1 = \frac{x}{v_1} = \frac{350 \text{ m}}{820 \text{ m/s}} \approx 0,427 \text{ s}$ kuluttua. Luodin

osumisesta syntyvä ääni kulkee 350 m matkan ajassa $t_2 = \frac{x}{v_2} = \frac{350 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \approx 1,029 \text{ s}$. Näin ollen

osumisääni kuullaan laukaisupaikalla ajan $t = t_1 + t_2 = 0,427 \text{ s} + 1,029 \text{ s} \approx 1,5 \text{ s}$ kuluttua.

3-18. a) Pallo osuu lattiaan ensimmäisen kerran hetkellä 0,67 s.

b) Ensimmäinen pomppu kestää noin $1,16 \text{ s} - 0,67 \text{ s} = 0,49 \text{ s}$.

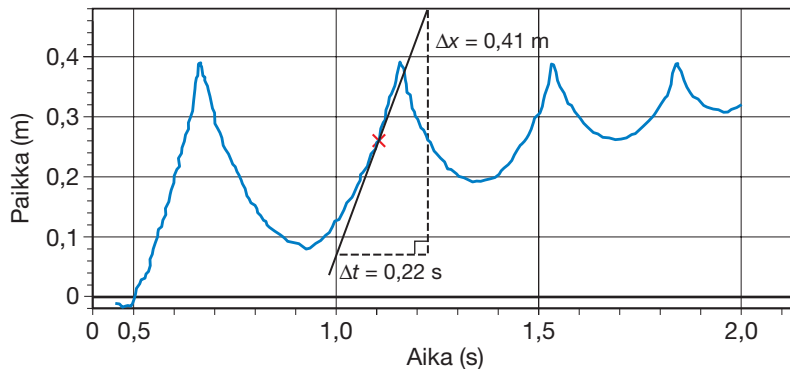
c) Pallo pomppaa 1. pompulla $0,39 \text{ m} - 0,080 \text{ m} = 0,31 \text{ m}$ ja
2. pompulla $0,39 \text{ m} - 0,19 \text{ m} = 0,20 \text{ m}$.

d) Pallo on ensimmäisen pompun lakipisteessä hetkellä $t = 0,92 \text{ s}$.

e) Pallon nopeus saadaan kohtaan $t = 1,1$ s piirretyn tangentin fysikaalisena kulmakertoimena:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0,48 \text{ m} - 0,070 \text{ m}}{1,22 \text{ s} - 1,00 \text{ s}} = \frac{0,41 \text{ m}}{0,22 \text{ s}} \approx 1,9 \text{ m/s.}$$

Nopeus on 1,9 m/s.



f) Pomppujen korkeudet ovat (noin):

1. pomppu 0,31 m
2. pomppu 0,20 m
3. pomppu 0,13 m
4. pomppu 0,08 m

Viidennen pomppun arvioitu korkeus on 0,05 m = 5 cm.

3-19. Tasaista liikettä edustavat kuvaajat a), c) ja e).

(Huom. Periaatteessa myös kohta d voisi edustaa tasaista liikettä: onhan $v = 0$ m/s.)

3-20. a) Kappaleiden A ja B liike on tasaista, koska kummankin kuvaaja on suora.

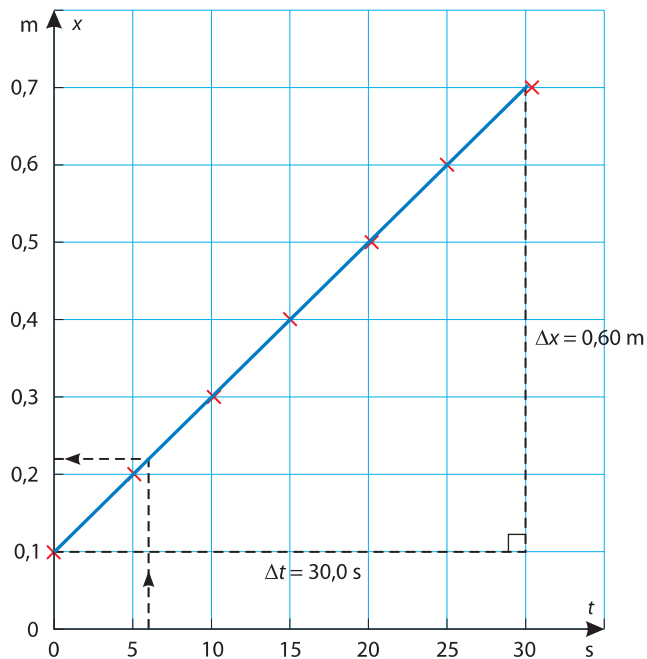
b) Kappaleen A nopeus on suurempi, koska kuvaaja A on jyrkempi kuin kuvaaja B.

c) Kappale B on hitaampi; sen nopeus saadaan fysikaalisena kulmakertoimena:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{6,0 \text{ m} - 0,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{6,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s}} = 1,2 \text{ m/s.}$$

3-21.

a) (t, x) -koordinaatisto:



b) Ilmakuplan paikan ja ajan välinen riippuvuus on lineaarinen.

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

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

3-22. Kappaleen nopeus ajan funktiona:

Aikavälillä 0...4 s kappaleen nopeus on

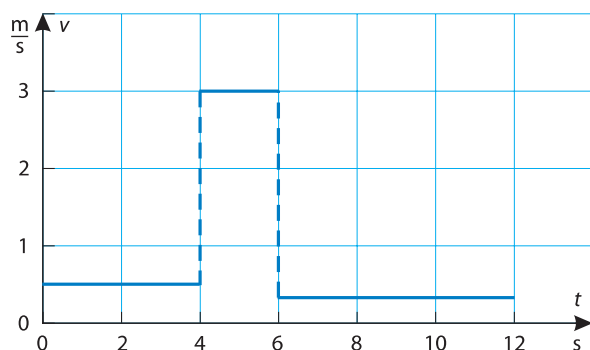
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2,0 \text{ m}}{4,0 \text{ s}} = 0,50 \text{ m/s}.$$

Aikavälillä 4...6,0 s kappaleen nopeus on

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6,0 \text{ m}}{2,0 \text{ s}} = 3,0 \text{ m/s}.$$

Aikavälillä 6,0...12,0 s kappaleen nopeus on

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

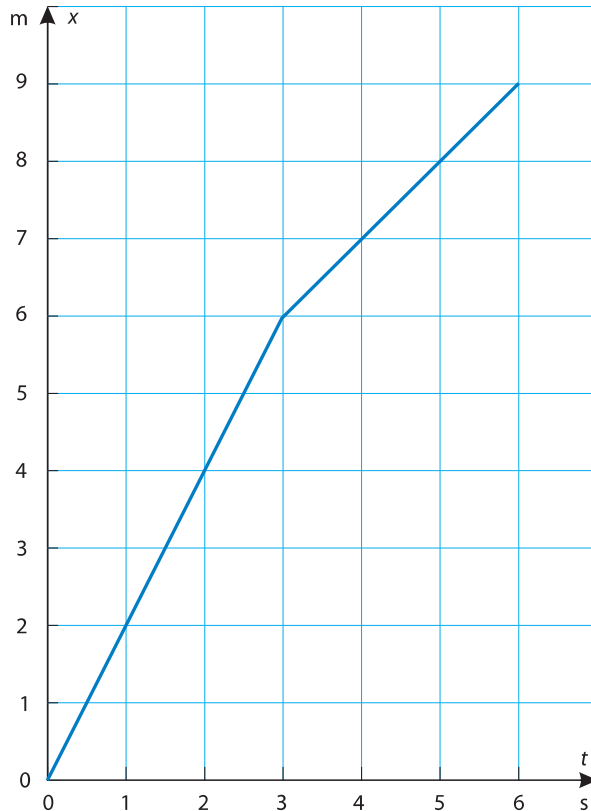


3-23. a) Kappaleen aikavälillä 0,0...7,5 s kulkema matka on $x = v\Delta t = 6,0 \text{ m/s} \cdot 7,5 \text{ s} = 45 \text{ m}$.

b) Kappaleen aikavälillä 0,0...7,5 s kulkema matka on

$$x = v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2 = 1,5 \text{ m/s} \cdot 2,5 \text{ s} + 3,0 \text{ m/s} \cdot 5,0 \text{ s} \approx 19 \text{ m}.$$

3-24. Koska aikavälillä 0...3,0 s kappaleen nopeus on 2,0 m/s, kappaleen paikka 3,0 s kuluttua on 6,0 m. Aikavälillä 3,0...6,0 s kappaleen nopeus on 1,0 m/s, joten kappaleen paikka 6,0 s kuluttua on 9,0 m.



3-25. a) Kappaleet kohtaavat hetkellä 2,0 s.

b) Kappale A: lähtöpaikka on origo eli $x_0 = 0,0 \text{ m}$ ja nopeus on

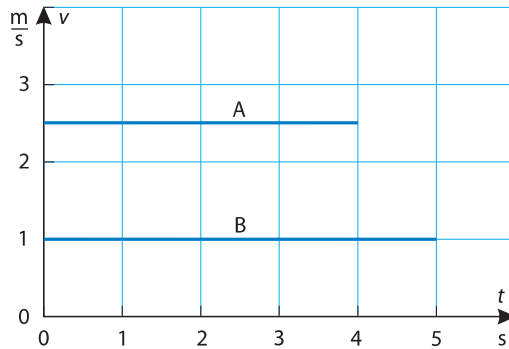
$$v_A = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10,0 \text{ m} - 0,0 \text{ m}}{4,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = 2,5 \text{ m/s}.$$

Näin ollen kappaleen A paikan yhtälö on $x = 0,0 \text{ m} + 2,5 \text{ m/s} \cdot t = 2,5 \text{ m/s} \cdot t$.

Kappale B: lähtöpaikka on $x_0 = 3,0 \text{ m}$ ja nopeus $v_B = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8,0 \text{ m} - 3,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = 1,0 \text{ m/s}$. Näin ollen

kappaleen B paikan yhtälö on $x = 3,0 \text{ m} + 1,0 \text{ m/s} \cdot t$.

c)



Kappaleiden kulkemat matkat:

A: Tapa 1: Koska kuvaaja alkaa origosta, matka on yhtä suuri kuin paikan koordinaatti 10 m.

Tapa 2: $x = v\Delta t = 2,5 \text{ m/s} \cdot 4,0 \text{ s} = 10 \text{ m}$

B: Tapa 1: Kuvaaja ei ala origosta, joten paikan muutos $7,0 \text{ m} - 3,0 \text{ m} = 4,0 \text{ m}$ ilmaisee kuljetun matkan.

Tapa 2: $\Delta x = v\Delta t = 1,0 \text{ m/s} \cdot 4,0 \text{ s} = 4,0 \text{ m}$.

3-26. Maan ja Kuun välinen etäisyys on

$s = vt = 299\,800 \text{ km/s} \cdot 1,28 \text{ s} \approx 384\,000 \text{ km} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$.

3-27. Signaalin kulku-aika on $t = \frac{s}{v} = \frac{1,5 \cdot 149,5979 \text{ Gm}}{2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \approx 750 \text{ s}$. (noin 12 min 30 s)

3-28. Ukonilman keskus on etäisyydellä $s = vt = 340 \text{ m/s} \cdot 6 \text{ s} \approx 2\,000 \text{ m} = 2 \text{ km}$.

3-29. a) Kun pudotus tapahtuu Pisan kaltevan tornin huipulta, ilman vastuksesta johtuen euron kolikko putoaa maahan ennen höyhentä.

b) Kun pudotus tapahtuu tyhjiöputkessa, ilman vastusta ei ole, joten euron kolikko ja höyhen putoavat samalla nopeudella ja ovat putken pohjalla samaan aikaan.

3-30. a) Koska samalta korkeudelta yhtä aikaa pudotetut sulka ja vasara osuvat kuunpinnalle samanaikaisesti, 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.

Video pudotuksesta löytyy osoitteessa (joulukuu 2008):

<http://video.google.com/videoplay?docid=6926891572259784994>

3-31. Kohdassa a) on kysymys tasaisesti kiihtyvistä liikkeistä: kappaleen kiihtyvyys on vakio. Kohdissa b) ja c) on kyse kiihtyvistä liikkeistä: kohdassa b) kappaleen kiihtyvyys pienenee ja kohdassa c) kiihtyvyys kasvaa ajan funktiona.

3-32. 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.

d) Putoavaa kiveä aivan putoamisen alussa esittää kuvaaja 5, jos positiivinen suunta on valittu alas.

3-33. a) Kaltevalla tasolla liikkuvan auton liike on tasaisesti kiihtyvää, koska (t, v) -koordinaatiston kuvaaja on suora. Mittauksen alkaessa auton nopeus oli 0,25 m/s.

b) Auton keskikihtyvyys saadaan (t, v) -koordinaatistoon piirretyn suoran fysikaalisena

kulmakertoimena:
$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{1,25 \text{ m/s} - 0,25 \text{ m/s}}{3,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{1,0 \text{ m/s}}{3,0 \text{ s}} \approx 0,33 \text{ m/s}^2.$$

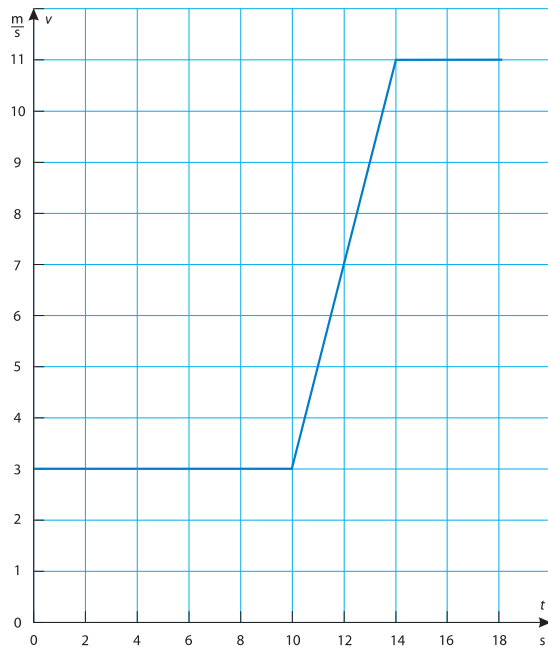
3-34. a) Aluksi auto liikkuu vakionopeudella. Tämän jälkeen kuljettaja siirtyy vastaantulevan liikenteen kaistalle ja aloittaa edellä ajavan auton ohituksen. Hetkellä 20,0 s tapahtuu törmäys vastaantulevan auton kanssa, ja auton nopeus pienenee 0,20 sekunnissa arvoon 0,0 m/s.

b) Ohituksessa käytetty keskikihtyvyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{30,0 \text{ m/s} - 20,0 \text{ m/s}}{20,0 \text{ s} - 10,0 \text{ s}} = \frac{10,0 \text{ m/s}}{10,0 \text{ s}} = 1,0 \text{ m/s}^2.$$

ja yhteentörmäyksestä aiheutuva keskikihtyvyys

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{0,0 \text{ m/s} - 30,0 \text{ m/s}}{20,20 \text{ s} - 20,00 \text{ s}} = \frac{-30,0 \text{ m/s}}{0,20 \text{ s}} = -150 \text{ m/s}^2.$$

3-35.

3-36. a) Vuoristoratavaunun keskikiihtyvyyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\frac{206}{3,6} \text{ m/s} - 0,0 \text{ m/s}}{3,5 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} \approx 16 \text{ m/s}^2.$$

b) Formula 1 -auton keskikiihtyvyyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\frac{206}{3,6} \text{ m/s} - 0,0 \text{ m/s}}{5,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} \approx 11 \text{ m/s}^2.$$

3-37. F1-auton keskikiihtyvyyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{0,0 \text{ m/s} - \frac{130}{3,6} \text{ m/s}}{0,14 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{-\frac{130}{3,6} \text{ m/s}}{0,14 \text{ s}} \approx -260 \text{ m/s}^2.$$

3-38. Skootterin nopeuden kasvu 4,0 sekunnissa on $4,0 \cdot 1,5 \text{ m/s} = 6,0 \text{ m/s}$. Koska $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$, skootterin nopeus mäen alaosassa on $10 \text{ m/s} + 6,0 \text{ m/s} = 16 \text{ m/s} \approx 58 \text{ km/h}$.

3-39. a) Metrojunan suurin nopeus on 30 m/s.

b) Junan kiihdytysaika on 45 s.

c) Junan jarrutusaika on 30 s.

d) Junan liike on tasaista 45 s.

e) Junan keskikiihtyvyys pysäkiltä lähdettäessä on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{30,0 \text{ m/s} - 0,0 \text{ m/s}}{45,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{30,0 \text{ m/s}}{45,0 \text{ s}} \approx 0,67 \text{ m/s}^2.$$

ja jarrutettaessa ennen seuraavaa pysäkkiä

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{0,0 \text{ m/s} - 30 \text{ m/s}}{120,0 \text{ s} - 90,0 \text{ s}} = \frac{-30 \text{ m/s}}{30,0 \text{ s}} = -1,0 \text{ m/s}^2.$$

f) Metroasemien välinen etäisyys saadaan fysikaalisena pinta-alana:

$$\begin{aligned} s &= \frac{\Delta t_1 v}{2} + \Delta t_2 v + \frac{\Delta t_3 v}{2} \\ &= \frac{45,0 \text{ s} \cdot 30,0 \text{ m/s}}{2} + (90,0 \text{ s} - 45,0 \text{ s}) \cdot 30,0 \text{ m/s} + \frac{(120,0 \text{ s} - 90,0 \text{ s}) \cdot 30,0 \text{ m/s}}{2} \approx 2,5 \text{ km}. \end{aligned}$$

Testaa, osaatko s. 69

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

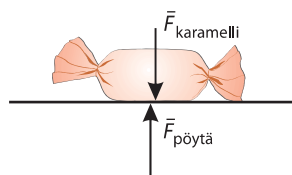
4 Vuorovaikutus ja voima

4-1. Kaikki kappaleisiin kohdistuu ainakin gravitaatiovuorovaikutuksen aiheuttama gravitaatiovoima. Kappaleita, joihin ei kohdistu mitään voimaa, ei ole olemassa.

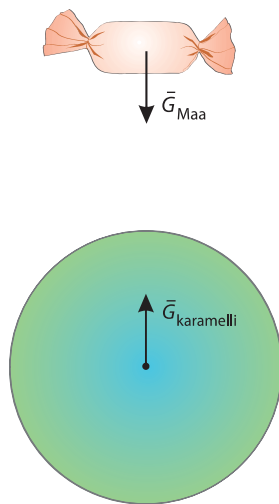
4-2. Sinun kanssasi kosketusvuorovaikutuksessa olevia kappaleita voivat olla esimerkiksi lattia, tuoli, kynä, silmälasit, sormus ja korvakoru.

Sinun kanssasi gravitaatiovuorovaikutuksessa olevia kappaleita ovat Maa, Kuu, Aurinko, lähellä olevat luokkatoverisi ja kaikki pienetkin kappaleet kuten tuoli ja pöytä, vaikka pienten kappaleiden aiheuttamaa vähäistä gravitaatiovoimaa ei yleensä edes mainita.

4-3.



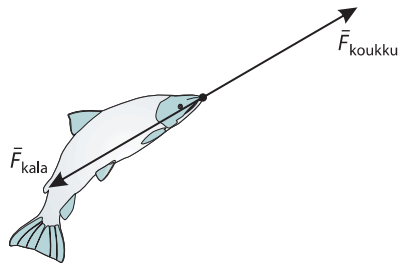
Karamelli on kosketusvuorovaikutuksessa pöydän pinnan kanssa. Karamelli painaa pöytää yhtä suurella voimalla kuin pöytä tukee karamellia. Karamelli on kosketusvuorovaikutuksessa ilman kanssa. Karamellin ja ilman toisiinsa kohdistamat voimat ovat yhtä suuria. (Karamelliin kohdistuu myös ilmasta aiheutuva noste, jota tarkastellaan Liikkeen lait -kurssilla.)



Karamelli on gravitaatiovuorovaikutuksessa Maan kanssa. Maa vetää karamellia yhtä suurella voimalla kuin karamelli Maata.

Karamelli vetää lapsia puoleensa gravitaatiovoimalla. Se on niin vähäinen, että sillä ei ole merkitystä, kun lapset hakeutuvat karamellin luo.

4-4. a) Kala vetää koukkua 70 N:n suuruisella voimalla ja koukku vetää kalaa yhtä suurella vastakkaisuuntaisella voimalla. Edelleen koukku vetää siimaa yhtä suurella voimalla, siimaan vaikuttaa 70 N:n suuruinen voima. Eemelin heittouistin ja siima vetävät toisiaan vastaavalla tavalla. Siiman jännitysvoima on 70 N. Siima kestää 110 N jännitysvoiman. Siima ei katkennut. Kyse ei siis ole kalajutusta.



\vec{F}_{koukku} on koukun kalaan kohdistama voima.

\vec{F}_{kala} on kalan koukkuun kohdistama voima.

b) Kenkään vaikuttavat voimat ovat paino \vec{G} ja koukun kenkään kohdistama tukivoima \vec{F} . (Ilmasta kenkään kohdistuva noste on vähäinen.)



Painon \vec{G} vastavoima on kengän Maahan kohdistama yhtä suuri vetovoima $-\vec{G}$. Koukun tukivoiman vastavoima on kengän koukkuun kohdistama voima $-\vec{F}$.

4-5. Moukarin irtoamisen jälkeen moukariin vaikuttaa vain paino ja ilmanvastus, jotka eivät muuta moukarin liikkeen suuntaa ylhäältäpäin katsottaessa. Moukari jatkaa liikkettään ympyrän tangentin suuntaisesti, joten viiva 2 kuvaa moukarin lentorataa irtoamisen jälkeen.

4-6. a) Takaikkunalla 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 tullilasiin tai muuhun esteeseen. Takaikkunan hyllyn tavaroihin kohdistama kitka ei pysty mainittavasti hidastamaan nopeutta.

b) Auton jarruttaessa langan varassa riippuva Nalle-karhu pyrkii säilyttämään liikkeensä eli auton nopeuden. Jos autoa jarrutetaan, Nalle siirtyy langan varassa kohti tuulilasia ja autoa kiihdytettäessä kohti auton takaosaa. Vakionopeudella ajettaessa Nallen lanka osoittaa suoraan kohti auton lattiaa.

c) Kirveen tai vasaran varren saa tiukasti paikalleen naputtamalla varren päätä kovaa alustaa vasten. Jatkavuuden lain mukaan raskas metalliosa pyrkii jatkamaan liikkettään jokaisella lyönnillä kohti vartta, kun varsi pysähtyy alustaan.

4-7. 1) Katossa levossa riippuvaan lamppuun, 2) pöydällä levossa olevaan kynään ja 3) vakionopeudella vaakasuoralla tiellä liikkuvaan autoon kohdistuva kokonaisvoima on nolla. Lamppuun kohdistuvat voimat ovat paino ja ripustuslangan tukivoima. Pöydällä olevaan kynään kohdistuvat voimat ovat paino ja pöydän tukivoima. Vaakasuoralla tiellä vakionopeudella liikkuvaan autoon kohdistuvat voimat ovat paino, tien pinnan tukivoima, ilmanvastus ja muut liikevastukset ja tien pinnan vetäviin pyöriin kohdistama liikkeen suuntainen kitka. Huomaa, että kaikkiin vakionopeudella liikkuviin kappaleisiin kohdistuva kokonaisvoima on nolla, esimerkiksi myös silloin kun auto liikkuu vakionopeudella ylä- tai alamäessä.

4-8. Kappale C on levossa ja kappaleet A ja B liikkuvat vakionopeudella, joten kaikkiin kappaleisiin kohdistuva kokonaisvoima on nolla eli yhtä suuri.

4-9. a) Autoon kohdistuvan pysäyttävän keskimääräisen voiman F suuruutta voidaan tarkastella Newtonin II lain mukaisen liikeyhtälön $F = ma$ perusteella. Auton massa on m ja kiihtyvyys a . Lumihankeen suistuva auto voi pysähtyä hitaasti useiden metrien matkalla, eli kiihtyvyys on pieni. Lumihangen autoon kohdistama voima on pieni ja auto voi säilyä ehjänä, ellei hangessa ole kiviä tai muita kovia esteitä.

b) Auton nopeus on aluksi melko pieni, vain 15 km/h, mutta betonipylväs ei jousta, joten auto pysähtyy lyhyellä matkalla lyhyessä ajassa. Pylväs kohdistaa autoon pysähtymisen aikana suuren voiman, jota auton rakenteet eivät kestä. Auton etuosa rikkoontuu ja turvavyönyt todennäköisesti laukeavat. Turvavyöt kohdistavat kuljettajaan ja matkustajiin voiman, joka pysäyttää heidän liikkeensä. Jos autossa ei ole turvavyöjä eikä matkustajalla ole turvavyötä, matkustaja jatkaa liikettään auton alkuperäisellä nopeudella jatkavuuden lain mukaisesti, kunnes jokin voima pysäyttää hänet. Etupenkillä istuva matkustaja voi satuttaa päänsä esimerkiksi tuulilasiin.

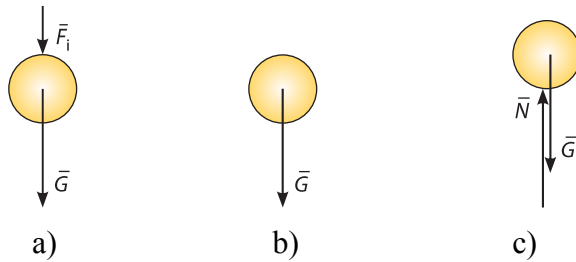
4-10. a) Newtonin II lain mukaan muuttuvassa liikkeessä olevan kappaleen liikeyhtälö on $F = ma = m\Delta v/\Delta t$. Liikeyhtälöstä nähdään, että liikkeen muutokseen tarvittavan voiman suuruus on sitä pienempi, mitä pidempi on vuorovaikutusaika.

Niin seiväs- kuin korkeushyppääjätkin putoavat hypyn jälkeen paksulle patjalle. Patja painuu kasaan putoavan hyppääjän alla ja pysäyttää putoamisliikkeen pidemmässä ajassa kuin kova maa. Patjan hyppääjään kohdistama voima on siten pienempi kuin alustan ollessa kova.

b) Kappaleen liikeyhtälöstä $F = ma = m\Delta v/\Delta t$ nähdään, että liikkeen muutokseen tarvittavan voiman suuruus on sitä suurempi, mitä suurempi on nopeuden muutos ja sitä pienempi, mitä pienempi on nopeuden muutos.

Tuolilta hypätessäsi nopeus ennen maahan osumishetkeä on melko pieni. Lattiasta jalkoihin kohdistuva voima on niin pieni, että loukkaantumista ei satu, varsinkin jos joustat polvillasi, jolloin vuorovaikutusaika lattian kanssa pitenee ja voima pienenee.

Tikapuiden ylimmältä puolelta hypätessäsi nopeus juuri ennen maahan osumista on melko suuri, jolloin myös liikkeen pysäyttämiseen tarvittava voima on suurempi kuin tuolilta hypätessäsi, jotta pysähtyminen tapahtuisi samalla matkalla. Jos hyppykorkeus on kovin suuri, polvien joustaminenkaan ei ehkä riitä, jolloin suuri jalkoihin kohdistuva voima voi aiheuttaa loukkaantumisen.

4-11.

Kuvissa \vec{G} on palloon kohdistuva paino, \vec{F}_i on ilmanvastus ja \vec{N} on lattian palloon kohdistama tukivoima.

4-12. a) Päätuen merkitys on suurin peräänajotilanteessa, jossa etummaisien auton nopeus törmäyksen seurauksena kasvaa yhtäkkiä. Penkistä matkustajaan kohdistuva voima aiheuttaa nopeuden muutoksen matkustajan vartaloon, mutta ilman niskatukea pää pyrkii jatkamaan tasaista suoraviivaista liikettään alkuperäisellä nopeudella ja retkahtaa taaksepäin suhteessa vartaloon, mistä voi aiheutua vakavia niskavammoja.

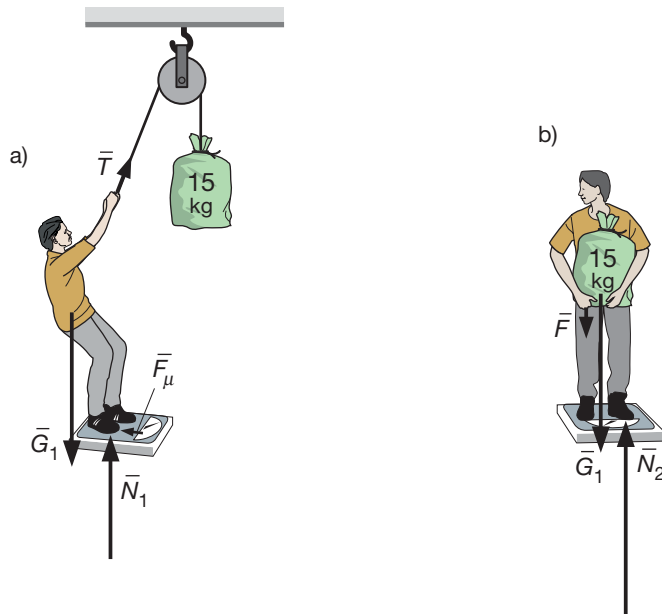
b) Törmäyksessä auton nopeus hidastuu yhtäkkiä. Ilman turvavyötä matkustajaan ei kohdistu merkittävää voimaa, joka estäisi häntä jatkamasta tasaista suoraviivaista liikettään Newtonin I lain mukaan. Tällöin matkustaja sinkoutuu eteenpäin suhteessa autoon kunnes osuu edessä olevaan turvatyynyyn, penkkiin, kojelautaan tai tuulilasiin. Turvavyö kohdistaa matkustajaan voiman, joka muuttaa hänen liikettään likimain samalla tavalla kuin auton liike muuttuu, joten turvavyö estää matkustajan törmäämisen auton koviin rakenteisiin. Turvavyö kohdistaa voiman melko laajalle alalle lantioon ja rintakehään, mikä lieventää mahdollisia vammoja. Turvavyö joustaa, mikä pidentää pysähtymisaikaa ja pienentää pysäyttävää voimaa ($F = ma = m\Delta v/\Delta t$). Voiman pieneminen lieventää vammoja.

4-13. a) Käsi ja vyö kohdistavat toisiinsa yhtä suuret, mutta vastakkaissuuntaiset voimat. Voimat ovat sinun, vyön ja vaa'an muodostaman systeemin sisäisiä voimia, joilla ei ole vaikutusta vaakaan. Vaa'an lukema ei muutu.

b) Tässä tapauksessa kätesi kohdistaa voiman ovenkarmiin ja ovenkarmi sinuun. Ovenkarmin sinuun kohdistama voima ylöspäin on sinun ja vaa'an muodostaman systeemin ulkopuolinen voima. Vaa'an lukema pienenee.

4-14. Lattia kohdistaa kengän pohjiin kitkan, joka Newtonin II lain mukaan antaa sinulle ja kärryille kiihtyvyyden ja saa siten sinut ja kärryt lähtemään liikkeelle. Kitka on sinun ja kärryjen muodostamaan systeemiin vaikuttava ulkopuolinen voima. Työntäessäsi kärryjä, kohdistat niihin käsilläsi voiman, joka Newtonin II lain mukaan aiheuttaa kärryille kiihtyvyyden. Käsien voima on kärryihin kohdistuva ulkopuolinen voima.

4-15.



$$m_1 = 78 \text{ kg}, \quad m_2 = 15 \text{ kg}$$

Kuvassa a) Jussiin kohdistuu paino \bar{G}_1 , vaa'an tukivoima \bar{N}_1 , kitka \bar{F}_μ ja köyden kosketusvoima \bar{T} .

Kuvassa b) Jussiin kohdistuu paino \bar{G}_1 , vaa'an tukivoima \bar{N}_2 ja säkin kosketusvoima \bar{F} , joka on yhtä suuri kuin säkkiin kohdistuva paino \bar{G}_2 .

Vaaka mittaa vaa'an pintaan vaikuttavan kosketusvoiman \bar{N} suuruuden ja vaa'an asteikko ilmaisee massan, joka vastaa kosketusvoiman suuruisen painon suuruutta. Painoa vastaava massa on $m = G/g$, kun g on putoamiskiihtyvyys.

Kuvassa a) köyden aiheuttama voima vaikuttaa vaa'an ja kengänpohjien välistä kosketusvoimaa pienentävästi ja samalla vaa'an lukema pienenee. Lukema on $78 \text{ kg} - 15 \text{ kg} = 63 \text{ kg}$.

Kuvassa b) säkkiin kohdistuva paino vaikuttaa vaa'an lukemaa suurentavasti. Lukema on $78 \text{ kg} + 15 \text{ kg} = 93 \text{ kg}$.

4-16. a) Koska polkupyöräilijä on paikallaan, pyöräilijään vaikuttava kokonaisvoima on Newtonin II lain mukaan nolla.

b) Koska polkupyöräilijä etenee tasaisella nopeudella, häneen vaikuttava kokonaisvoima on Newtonin II lain mukaan nolla.

c) Polkupyöräilijän nopeus hidastuu, kunnes hän pysähtyy. Aluksi kokonaisvoima suuntautuu liikesuuntaa vastaan, kunnes pyöräilijän pysähtyttyä voima on nolla.

4-17. a) Auton kiihtyvyys on voimakkaimman jarrutuksen aikana $-7,2 \text{ m/s}^2$.

b) Koska auton kiihtyvyys on negatiivinen, auton nopeus pienenee.

c) Auton nopeuden pieneneminen aiheutuu renkaiden ja alustan pinnan välisestä kitkasta ja vähäisessä määrin autoon kohdistuvasta ilman vastuksesta.

d) $m = 1485 \text{ kg}$, $a = -7,2 \text{ m/s}^2$

Newtonin II lain mukaan kiihtyvyyttä vastaava jarruttava voima on

$$F = ma = 1485 \text{ kg} \cdot (-7,2 \text{ m/s}^2) \approx -11 \text{ kN}.$$

4-18. $m = 88 \text{ kg}$, $a = 3,2 \text{ m/s}^2$

Newtonin II lain mukaan juoksijaan kohdistuva kokonaisvoima on suuruudeltaan

$$F = ma = 88 \text{ kg} \cdot 3,2 \text{ m/s}^2 \approx 280 \text{ N}.$$

4-19. $m = 250\,000 \text{ kg}$, $\Delta t = 46 \text{ s}$, $v_0 = 0,0 \text{ m/s}$, $v_1 = 76 \text{ km/h}$

a) Junan kiihtyvyys on $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{76 \text{ m/s}}{46 \text{ s}} = 1,652 \text{ m/s}^2$. Newtonin II lain mukainen junan

liiketytalo on $F = ma$, jossa F on kokonaisvoiman suuruus:

$$F = 250\,000 \text{ kg} \cdot 1,652 \text{ m/s}^2 \approx 413\,000 \text{ N} = 413 \text{ kN}.$$

b) Junan kiihtyvyys aiheutuu kokonaisvoimasta. Kokonaisvoima koostuu kiskojen vetäviin pyöriin vaikuttavasta kiihtyvyyden suuntaisesta lepokitkasta, sekä kiihtyvyydelle vastakkaisuuntaisista liikevastuksista esimerkiksi ilmanvastuksesta.

4-20. $m = 82\,000 \text{ kg}$, $v_0 = 5,6 \text{ m/s}$, $v_1 = 4,3 \text{ m/s}$, $\Delta t = 76 \text{ s}$

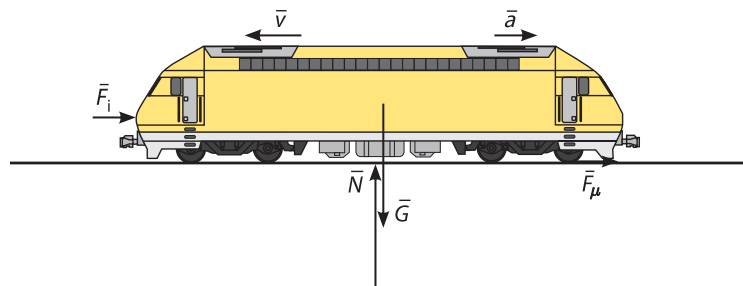
a) Veturin kiihtyvyys on

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

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{F}_μ on kiskojen veturin pyöriin kohdistama kitka.

\vec{F}_i on ilmanvastus.

4-21. a) $m = 92 \text{ kg}$, $g_{\text{Maa}} = 9,81 \text{ m/s}^2$

Astronauttiin kohdistuva paino Maassa on $G_{\text{Maa}} = mg_{\text{Maa}} = 92 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 900 \text{ N}$.

b) Astronautin massa ei riipu paikasta, joten se on myös Kuussa 92 kg.

c) $m = 92 \text{ kg}$, $g_{\text{Kuu}} = 1,622 \text{ m/s}^2$

Astronauttiin kohdistuva paino Kuussa on $G_{\text{Kuu}} = mg_{\text{Kuu}} = 92 \text{ kg} \cdot 1,622 \text{ m/s}^2 \approx 150 \text{ N}$.

d) $m = 92 \text{ kg}$, $g_{\text{Mars}} = 3,74 \text{ m/s}^2$

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

4-22. $m = 74 \text{ kg}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

a) Eetu vetää Maata puoleensa yhtä suurella, mutta vastakkaissuuntaisella voimalla kuin Maa Eetua. Eetun vaikeudet nousta aamulla ylös johtuvat jostakin muusta syystä.

b) Eetu vetää siis Maata puoleensa voimalla, jonka suuruus on

$$G = mg = 74 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 730 \text{ N}.$$

4-23. $a = 1,40 \text{ m}$, $b = 0,88 \text{ m}$, $c = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Lasilevyn massa on

$$m = \rho V = \rho abc = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,40 \text{ m} \cdot 0,88 \text{ m} \cdot 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 9,240 \text{ kg} \approx 9,2 \text{ kg},$$

jolloin siihen kohdistuva paino on $G = mg = 9,240 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 91 \text{ N}$.

4-24. $m = 78 \text{ kg}$, $a = 16 \text{ m/s}^2$

a) Newtonin II lain mukaan hyppääjään vaikuttava kokonaisvoiman suuruus on

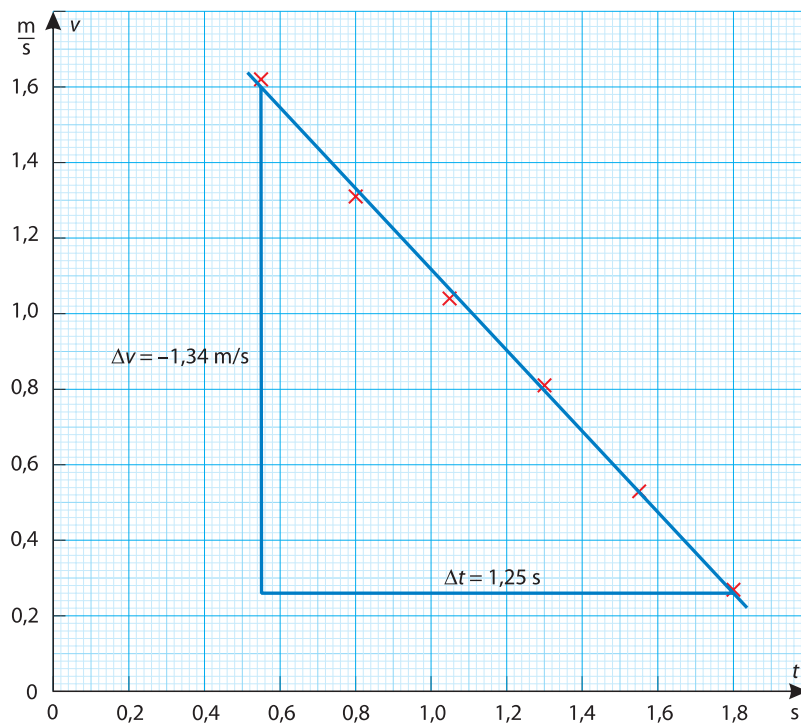
$$F = ma = 78 \text{ kg} \cdot 16 \text{ m/s}^2 = 1,2 \cdot 10^3 \text{ N} = 1,2 \text{ kN}.$$

b) Hyppääjään vaikuttavat gravitaatiovuorovaikutuksesta johtuva paino sekä jalan ja alustan välinen kosketusvoima. Ilmanvastuksen merkitys ponnistuksen aikana on vähäinen.

c) Ponnistaessa hyppääjä on kiihtyvässä liikkeessä ylöspäin, jolloin jalan ja alustan välisen kosketusvoiman on oltava painovoimaa suurempi, ja siten se on myös suurin vaikuttava voima.

4-25.

a)



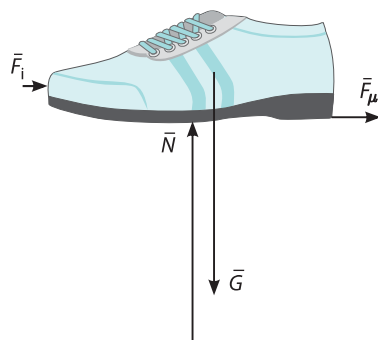
b) Kengän keskimääräinen kiihtyvyys kuvaajan perusteella on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,26 \text{ m/s} - 1,60 \text{ m/s}}{1,80 \text{ s} - 0,55 \text{ s}} = \frac{-1,34 \text{ m/s}}{1,25 \text{ s}} = -1,072 \text{ m/s}^2 \approx -1,1 \text{ m/s}^2.$$

c) Newtonin II lain mukaan kenkään vaikuttavan kokonaisvoiman suuruus on

$F = ma_k = 0,376 \text{ kg} \cdot (-1,072 \text{ m/s}^2) \approx -0,40 \text{ N}$. Kokonaisvoima vaikuttaa liikesuuntaan nähden vastakkaiseen suuntaan.

d) ja e) Kenkään kohdistuvat paino \bar{G} , lattian kenkään kohdistama tukivoima \bar{N} ja kitka \bar{F}_μ sekä ilmanvastus \bar{F}_i . Edellisistä paino ja tukivoima vaikuttavat pystysuorassa suunnassa ja niiden summa on nolla, joten liikkeen muutos aiheutuu kitkasta ja ilmanvastuksesta. Työssä tutkituilla nopeuksilla ilmanvastuksen vaikutus on hyvin pieni.



Testaa osaatko s. 95

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

5 Maailmankaikkeus

5-1. a) Perusvuorovaikutukset ja niiden välittäjähiukkaset ovat gravitaatiovuorovaikutus, välittäjähiukkanen gravitoni, sähkömagneettinen vuorovaikutus, fotoni vahva vuorovaikutus, gluoni heikko vuorovaikutus, välibosoni.

b) Suhteellinen voimakkuus (voimakkaimmasta heikoimpaan):

1. vahva vuorovaikutus
2. sähkömagneettinen vuorovaikutus
3. heikko vuorovaikutus
4. gravitaatiovuorovaikutus.

5-2. a) Vallitseva vuorovaikutus on gravitaatiovuorovaikutus.

- b) Vallitseva vuorovaikutus on vahva vuorovaikutus.
c) Vallitseva vuorovaikutus on sähkömagneettinen vuorovaikutus.
d) Vallitseva vuorovaikutus on sähkömagneettinen vuorovaikutus.
e) Vallitseva vuorovaikutus on heikko vuorovaikutus.

5-3. a) Väite on väärin. Etä- ja kosketusvuorovaikutukset eivät ole perusvuorovaikutuksia. Vuorovaikutukset voidaan jakaa etä- ja kosketusvuorovaikutuksiin.

- b) Väite on väärin. Gravitaatiovuorovaikutus vaikuttaa kaikkien kappaleiden välillä.
c) Väite on oikein.
d) Väite on oikein.
e) Väite on oikein.

5-4. a) Lenkillä ollessasi olet kosketusvuorovaikutuksessa maan pinnan ja ilman kanssa ja gravitaatiovuorovaikutuksessa Maan kanssa.

- b) Uidessasi olet kosketusvuorovaikutuksessa veden ja ilman kanssa ja gravitaatiovuorovaikutuksessa Maan kanssa.
c) Ilmassa ollessasi olet kosketusvuorovaikutuksessa ilman kanssa ja gravitaatiovuorovaikutuksessa Maan kanssa.

5-5. a) Vuorovaikutuslajit ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.

- b) Hallitseva vuorovaikutus on 1) sähkömagneettinen vuorovaikutus, 2) gravitaatiovuorovaikutus, 3) vahva vuorovaikutus ja 4) sähkömagneettinen vuorovaikutus.

5-6. a) Isaac Newton on eräs tieteen historian kuuluisimmista henkilöistä. Hän istuskeli tarun mukaan puun alla.

b) Runo kuvaa gravitaatiovuorovaikutusta ja siitä johtuvaa omenan kiihtyvää liikettä.

c) Omenan vetovoima, joka kohdistuu maapalloon, oli omenan painon suuruinen. Newtonin kolmannen lain mukaan omenan ja maapallon toisiinsa kohdistamat voimat ovat yhtä suuria, mutta vastakkaisuuntaisia.

d) Omenapuu on melko matala, joten omenan nopeus on verraten pieni ja ilmanvastus on siksi vähäinen. Omenalla ja madolla on siten yhtä suuri putoamiskiihtyvyys, joten madonreiän seinän matoon kohdistama tukivoima on nolla. Omenan sisällä oleva mato ei voi havaita painovoimaa putoamisen aikana.

5-7. a) Maan magneettikentän etelänapa (pohjoinen magneettinapa) on Pohjois-Kanadassa noin 800 km:n päässä maantieteellisestä pohjoisnavasta.

b) Maan magneettinen pohjoisnapa (eteläinen magneettinapa) on Etelämantereella. Magneettikentän navat eivät yhdy maantieteelliseen pohjois- ja etelänapaan.

5-8. a) Maailmakaikkeus koostuu galaksijoukoista, galakseista, tähdistä, tähtiä kiertävistä taivaankappaleista, tähtienvälisestä aineesta sekä erilaisista pienistä kappaleista kuten plutoidit.

Toisaalta maailmankaikkeuden tunnetusta aineesta vetyä on noin 73 %, heliumia 25 % ja loput muita alkuaineita.

b) Tämänhetkisen tietämyksen mukaan maailmankaikkeuden ikä on noin 13,7 miljardia vuotta.

5-9. a) Valovuodella tarkoitetaan valon vuodessa kulkemaa matkaa.

b) Tähtitieteellinen yksikkö kuvaa Maan ja Auringon välistä keskietaisyttä.

5-10. a) Galaksijoukko koostuu useista galakseista; galakseja voi olla muutama tai tuhansia.

b) Galaksit muodostuvat tähdistä, tähtien kiertolaisista, kaasusta ja pölystä.

c) Linnunrata on galaksi, jossa Aurinkokunta sijaitsee. Linnunrata kuuluu Paikalliseen galaksiryhmään.

d) Asteroidi on kooltaan pienempi kuin planeetta mutta meteoroidia isompi kivinen kappale, joka kiertää Aurinkoa.

e) Komeetat eli pyrstötähdet ovat Aurinkoa kiertäviä ainekasauimia, joiden keskus on kiveä ja jäätä. Komeetan keskukset ovat yleensä halkaisijaltaan kilometrin suuruusluokkaa.

Aurinkotuuli irrottaa keskuksesta ainetta, komeetalle syntyy pyrstö. Komeetan pyrstö suuntautuu aina pois päin Auringosta. Komeetat kiertävät Aurinkoa pitkin ellipsin muotoisia ratoja. Useimpien komeettojen kiertoajat Auringon ympäri ovat niin pitkiä, että niitä on voitu havaita vain kerran. Halley'n komeetan kiertoaika Auringon ympäri on 76 vuotta, siksi Halley'n komeetta on havaittu useita kertoja.

f) Meteoroidin osuessa riittävän suurella nopeudella Maan ilmakehään ne voivat kuumentua ilman aiheuttaman kitkan takia ja syntyy tähdenlento. (Meteoroidi on siis asteroidia pienempi kivinen kappale).

5-11. a) Planeetta heijastaa valoa, tähti synnyttää itse valonsa.

b) Meteoroidi on avaruudessa liikkuva pieni kappale, jonka halkaisija voi vaihdella muutamasta millimetristä satoihin metreihin. Maan pinnalle asti päässyttä kappaletta sanotaan meteoritiiksi.

5-12. a) Gravitaatiovoima pakottaa Kuun Maata kiertävälle radalle.

b) Auringon ja Maan välinen gravitaatiovoima pakottaa Maan Aurinkoa kiertävälle radalle.

c) Aurinko kiertää Linnunradan keskustan ympäri.

5-13. a) Väite on väärä. Pohjantähti synnyttää omaa valoa. Pluto on Aurinkokuntamme reunalla, ja se on paljon lähempänä kuin pohjantähti. Pluto ei synnytä itse valoa, vaan heijastaa Auringon valoa. Siksi sitä on vaikea havaita.

b) Väite on väärä. Newtonin III lain mukaisesti Maa vetää Kuuta puoleensa yhtä suurella voimalla kuin Kuu Maata.

c) Väite on väärä. Vuodenajat eivät aiheudu siitä, että Maan etäisyys Aurinkoon muuttuu. Vuodenajat aiheutuvat siitä, että Maan pyörimisakseli muodostaa noin 23° kulman Maan ratatason normaalin kanssa.

5-14. a) Aurinkokunnan keskustähtenä on Aurinko. Sitä kiertää kahdeksan planeettaa, muutama plutoidi (kuten Pluto), asteroidit (asteroidivyöhyke), meteoroidit ja komeetat sekä pölyä ja kaasuja. Myös planeettojen kuut kiertävät planeettojen mukana Aurinkoa. Planeetat ja kuut kiertävät keskuskappaletaan ellipsinmuotoisilla radoillaan. Aurinko, planeetat, kuut ja muutkin kappaleet pyörivät oman akselinsa ympäri. Rakennetta koossa pitävä vuorovaikutus on gravitaatio. Gravitaatiovuorovaikutuksen aiheuttama kahden kappaleen välinen

gravitaatiovoima on $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$, γ on gravitaatiovakio, m_1 ja m_2 ovat keskenään

vuorovaikuttavien kappaleiden massa ja r on kappaleiden keskipisteiden välinen etäisyys.

b) Auringon säteilemä energia on peräisin Auringon sisällä tapahtuvista (pääasiassa) vetyytimien fuusioreaktioista. Kuuma Auringon pinta lähettää suurella teholla sähkömagneettista säteilyä, joka etenee avaruuden tyhjiyden läpi Maahan.

5-15. a) Väittämä on totta.

b) Väittämä on totta.

c) Väittämä on totta ($10^9 \text{ m} = 10^6 \text{ km}$).

d) Väittämä on väärin. Aurinko sijaitsee yhdessä Linnunratamme kierteishaarassa.

e) Väittämä on väärin. Auringon lähin naapuritähti on Proxima Centauri.

f) Väittämä on totta.

5-16. a) Atomi koostuu ytimestä jonka ympärillä ovat elektronit. Ytimessä ovat protonit ja neutronit.

b) Atomin halkaisija on noin 10000-kertainen ytimen halkaisijaan verrattuna.

5-17. a) Kvarkit ovat ylöskvarkki (u, [sanasta] up), alaskvarkki (d, down), outouskvarkki (s, strange), lumokvarkki (c, charm), totuuskvarkki (t, truth) ja kauneuskvarkki (b, beauty).

b) Näkyvä aine koostuu u- ja d-kvarkeista.

c) Perushiukkasia ovat kvarkit ja leptonit.

5-18. a) Protoni muodostuu kahdesta u-kvarkista ja yhdestä d -kvarkista (uud). Näin ollen

protonin sähkövaraus on $+\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = 1e$.

b) Neutroni muodostuu kahdesta d-kvarkista ja yhdestä u-kvarkista (ddu). Neutronin

sähkövaraus on $-\frac{1}{3}e + \left(-\frac{1}{3}e\right) + \frac{2}{3}e = 0$.

5-19. a) Väite on oikein.

b) Väite on väärin. Atomia ei voi tutkia sen pienen koon takia optisella mikroskoopilla.

c) Väite on oikein.

d) Väite on väärin. Vahva vuorovaikutus aiheuttaa ydinvoiman, joka sitoo ytimen nukleonit toisiinsa.

e) Väite on väärin. Kaikki ympärillämme oleva näkyvä aine koostuu u- ja d-kvarkeista, elektroneista ja elektronin neutriinoista.

5-20. a) Väite on oikein.

b) Väite on oikein.

c) Väite on väärä. Maailmankaikkeudessa syntyy jatkuvasti uusia tähtiä.

d) Väite on oikein. Tähten elinikä riippuu tähden koosta: suurempi tähti kuluttaa vedyn loppuun nopeammin kuin pienempi.

e) Väite on oikein.

f) Väite on väärä. Kun tähden pääsarjavaihe päättyy, tähdestä tulee punainen jättiläinen. Jos tähden massa on pieni, sen luhistuessa tähden pintakerros leviää avaruuteen. Jäljelle jää kuumana hehkuva pieni ydin. Tähdessä tulee lopulta hiiltä ja happea sisältävä ns. valkoinen kääpiö.

5-21. a) Kun tähteä kokoon vetävä gravitaatiovoima ja vastakkaiseen suuntaan vaikuttava ytimen säteilypaineesta aiheutuva voima ovat tasapainossa, tähden tila muodostuu vakaaksi. Tällöin sanotaan, tähti on pääsarjassa.

b) Tähdän elinkaareen liittyvässä tähden pääsarjavaiheessa vety loppuu tähden ytimestä. Tähdän ulkoreunoilla on kuitenkin vielä vetyä jäljellä ja tähden säteilypaine laajentaa tähteä: tähdestä tulee punainen jättiläinen.

c) Jos tähden massa on noin kolminkertainen Auringon massaa verrattuna, tähden luhistuessa syntyvät reaktiot saavat aikaan valtaisan räjähdysen, supernovan.

d) Supernovan kesto on lyhyt, vain muutama päivä. Supernovan fuusioreaktioissa syntyy myös rautaa raskaampia alkuaineita kuten lyijyä ja urania, jotka leviävät ympäröivään avaruuteen. Tähdän ydin luhistuu nopeasti pyöriväksi neutronitähdeksi.

e) Jos tähden massa on huomattavan suuri, gravitaatiovuorovaikutuksesta tulee tähden sisällä hallitsevin vuorovaikutus. Kun tällainen tähti luhistuu, sen ydinosan sisältämä aine tiivistyy ja päättyy yhteen pisteeseen eli singulariteettiin. Tällaista kohdetta sanotaan mustaksi aukoksi. Mustan aukon vetovoima vangitsee lähes kaiken materian ja energian. Musta aukko voidaan havaita mustaan aukkoon syöksyvän materian lähettämän röntgensäteilyn avulla sekä tarkkailemalla mustan aukon vaikutusta ympäröivään aineeseen.

5-22. Kolmen kelvinin taustasäteily, kevyiden alkuaineiden suhteelliset määrät ja galaksien loittoneminen ovat tärkeimmät alkuräjähdysteoriaa tukevat havainnot.

5-23. Galaksit loittoneminen toisistaan voidaan havaita mm. Linnunradan ulkopuolisten galaksien tähtien lähettämästä valosta. Valon spektriviivat ovat siirtyneet kohti spektrin punaista päätä (punasiirtymä), eli spektriviivojen aallonpituudet ovat pitempiä kuin laboratoriossa mitatut vastaavat aallonpituudet. Tämän perusteella tiedetään, että säteilyä lähettävä kohde etäännyy Maasta ja maailmankaikkeus laajenee.

5-24. a) On päätelty, että maailmankaikkeudessa on oltava ainetta, jota emme havaitse. Tätä ainetta nimitetään pimeäksi aineeksi. Pimeän aineen luonteesta ei olla vielä varmoja.

b) Pimeän aineen olemassaolo voidaan päätellä galaksien ja jopa yksittäisten tähtien, tähtijoukkojen ja kaasupilvien liikkeestä avaruudessa: pimeä aine vaikuttaa taivaankappaleiden liikkeeseen. Pimeän aineen sijainti on saatu selville sen gravitaation vaikutuksesta taustalla olevien tähtien valon kulkuun.

5-25. Pimeällä energialla tarkoitetaan jonkinlaista painovoiman vastavoimaa, joka kiihdyttää maailmankaikkeuden laajenemista. Pimeän energian luonnetta ei vielä tiedetä.

Testaa, osaatko s. 125

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

6 Energian vapautuminen ja sitoutuminen

6-1. a) Vapaa energia on välittömästi hyödynnettävissä esimerkiksi lämmittämään asuntoja tai tuottamaan sähköä. Esimerkiksi Auringon säteilyenergia lämmittää säteilyn kohdetta ja tuulen ja virtaavan veden energia muuntuu sähköksi pyörivissä generaattoreissa.

Sidottu energia pitää ensin vapauttaa, ennen kuin se voidaan käyttää hyödyksi. Esimerkiksi kemiallinen energia vapautetaan polttoaineista lämmöksi polttamalla.

b) Vapaita energialajeja ovat esimerkiksi maalämpö, tuulen ja virtaavan veden energia, aaltojen energia sekä säteilyenergia. Sidottuja energialajeja ovat esimerkiksi massaan sisältyvä energia ($E = mc^2$), kemiallinen energia, atomiytimen sidosenergia ja kappaleiden ja vesivaraston paikkaan liittyvä potentiaalienergia.

6-2. a) Suoralla aurinkoenergialla tarkoitetaan Auringon säteilyenergian välitöntä muuntamista lämmöksi tai sähköksi. Esimerkiksi aurinkopaneelien valokennot muuntavat Auringon säteilyenergiaa sähköksi. Epäsuoralla aurinkoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka sitoutuu kasveihin, maaperään, veteen ja ilmaan. Esimerkiksi ilman, maaperän ja veden lämpö, kasvien ja fossiilisten polttoaineiden kemiallinen energia, veden liike- ja potentiaalienergia ja tuulen liike-energia ovat epäsuoraa aurinkoenergiaa.

b) Auringon säteilylämpö voidaan ottaa talteen lämmönkerääjillä, joissa kiertävä vesi lämpenee. Lämpö siirretään lämmön varaajaan. Säteily voi lämmittää myös lämpöä varastoivan aurinkovaraajan suurta massaa.

c) Aurinkokennoissa (valokennoissa) säteily muuntuu suoraan sähkövirraksi, joka voidaan hyödyntää liittämällä kennot sähkölaitteisiin tai sähköverkkoon. Sähkö voidaan myös varastoida akkuihin. Aurinkokennoilla tuotettua sähköä käytetään esimerkiksi avaruusluotaimissa, maata kiertävissä satelliiteissa, veneissä ja kesämökeillä. Sähköverkon ulottumattomissa olevissa paikoissa aurinkosähköä käytetään esimerkiksi valaistukseen ja veden pumppaukseen. Valokennoja on myös laskimissa ja rannekelloissa.

6-3. Auringosta maanpinnalle tuleva sähkömagneettinen säteily sisältää ultraviolettisäteilyn, näkyvän valon sekä koko infrapunasäteilyn aallonpituusalueen. Maanpinta lähettää vain pitkäaaltoista infrapunasäteilyä.

6-4. a) Auringon säteily lämmittää maaperää, joka ottaa vastaan osan Auringon lähettämästä sähkömagneettisesta säteilystä. Lämmennyt maaperä lähettää pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka ei läpäise ilmakehän kasvihuonekaasuja yhtä hyvin kuin lyhyemmät aallonpituudet. Kaasut lämpenevät ja lähettävät säteilyä takaisin maahan. Maapallon keskilämpötila olisi 20–30 °C alempi, jos kasvihuonekaasuja ei olisi. Ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiseksi. Aikojen kuluessa on syntynyt tasapainotila, jolloin maapallon lämpötila pysyy likimain vakiona, koska maapallolle tulee yhtä paljon säteilyenergiaa kuin samassa ajassa energiaa poistuu. Kasvihuoneissa lasiseinät toimivat kasvihuonekaasujen tavoin. Kasvihuoneissakin lämpötila kohoaa ympäristöä korkeammaksi ja lopulta lämpötila asettuu likimain vakioksi.

b) Kasvihuoneilmiö voimistuu kun pitkäaaltoista infrapunasäteilyä vastaanottavien kaasujen määrä kasvaa ilmakehässä. Tällöin maanpinnalle palautuvan säteilyn osuus kasvaa ja avaruuteen poistuvan säteilyn osuus pienenee. Ilmakehän ja koko maapallon lämpötila kohoaa vähitellen.

c) Liikkumisessa tulee suosia kävelemistä, polkupyöräilyä ja joukkoliikennettä mopediin, moottoripyörien ja henkilöautojen sijasta. Osa automatkoista ja lentomatkoista voidaan korvata junamatkoilla. Junien kasvihuonekaasupäästöt ovat vähäisiä, muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Lomamatkailussa kotimaisia kohteita pitäisi suosia enemmän lentokoneilla tehtävän kaukomatkailun sijaan.

Kertakäyttötuotteiden kulutusta tulee vähentää. Joitakin kertakäyttötuotteita voi ottaa toistuvaan käyttöön. Esimerkiksi monet muoviset elintarvikkeiden pakkausrasiat sopivat pakastamiseen. Kotona harvoin tarvittavat työkalut ja muut laitteet tai tavarat voi monissa tapauksissa vuokrata tai lainata. Nykyään useimmat kulutustavarat tehdään helposti kierrätettäviksi. Esimerkiksi käytöstä poistetut sähkölaitteet kuten matkapuhelimet, tulee viedä elektroniikkaromun kierrätyspisteisiin. Samalla kun luonnon raaka-aineita säästyy, myös valmistusmateriaalien käsittelyssä säästyy energiaa jaa siten kasvihuonekaasujen päästöt ilmakehään vähenevät.

Ruokaan liittyviä tapoja on mahdollista muuttaa ilmakehää vähemmän rasittaviksi. Ruokaa tulee hankkia sen verran kuin sitä syödään. Ruuan poisheittäminen aiheuttaa vauriassa maissa paljon kasvihuonekaasujen päästöjä. Ravintona kannattaa käyttää lähellä tuotettua ruokaa kuljetusten aiheuttamien haittojen vähentämiseksi Kasvikunnan tuotteiden lisääminen ruokavalioon ja samalla lihan vähentäminen on ilmakehän kannalta hyvä ratkaisu. Myös kasvikunnan eri tuotteiden tuotannon välillä on eroja kasvihuonekaasujen päästöissä. Esimerkiksi kotimainen peruna on lähellä tuotettua ruokaa, lisäksi perunan tuotanto aiheuttaa selvästi vähemmän kasvihuonekaasujen päästöjä kuin riisin tuotanto. Riisipellot ovat merkittäviä metaanilähteitä.

6-5. 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.

6-6. Auringon säteily enimmäkseen heijastuu tai siroaa puhtaasta lumesta. Heijastumisessa ja siroamisessa aallonpituus ei muutu, joten säteilyn lyhytaaltainen osuus läpäisee suurimmaksi osaksi ilmakehän ja poistuu avaruuteen. Pitkäaaltoisesta infrapunasäteilystä huomattava osa sitoutuu kasvihuonekaasuihin lämmittämään ilmakehää. Hiilipöly sitoo tehokkaasti säteilyenergiaa joka muuntuu lämmöksi. Hiilipölyn lähettämä pitkäaaltoinen infrapunasäteily sitoutuu ilmakehään, jolloin ilmakehä lämpenee enemmän kuin säteilyn heijastuessa ja sirotessa puhtaasta lumesta. Hiilipölyn vastaanottama energia sulattaa lunta ja jäätä, jolloin lumettoman maan ja jäättömän veden pinta-ala kasvaa. Tämä vähentää tulevan säteilyn heijastumista ja siroamista ja sen sijaan lisää edelleen säteilyenergian sitoutumista maanpintaan ja veteen, ja samalla pitkäaaltoisen infrapunasäteilyn voimistumista.

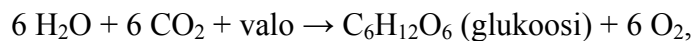
6-7. a) Palmuöljyä saadaan öljypalmun siemenistä. Hehtaarin viljelmältä saadaan noin 10000 kg:n siemensato, josta saadaan öljyä noin 3000 kg. Palmuöljyä tuotetaan pääasiassa Kaakkois-Aasian maissa öljypalmuplantaaseilla.

b) Biopolttoaineiden kuten palmuöljyn hyvä puoli on, että ne ovat peräisin uusiutuvista energialähteistä. Biopolttoaineilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Öljypalmujen käytöllä energian tuotannossa on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta etua verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin vain jos palmut istutetaan ennestään avoimille paikoille. Öljyä poltettaessa ilmakehään vapautuu hiilidioksidia, jota palmut sitovat kasvaessaan.

Palmuöljyn tuotannossa huono puoli on, että kasvava palmuöljyn tuotanto vaatii paljon lisää palmujen kasvatukseen sopivaa maa-alaa. Tästä johtuen sademetsiä hakataan palmujen tieltä. Sademetsät ovat tehokkaimpia hiilen (hiilidioksidin) sitoja, joten sademetsien väheneminen vapauttaa hiiltä ja samalla hiilidioksidia ilmakehään ja näin nopeuttaa kasvihuoneilmiötä ja siten ilmakehän lämpenemistä. Sademetsien korvaaminen öljypalmuplantaaseilla, ja niillä tuotetun öljyn käyttö polttoaineena on esimerkiksi ilmakehän kannalta huonompi vaihtoehto kuin fossiilisten polttoaineiden käyttö.

6-8. Auringon energia on peräisin atomiytimien sidosenergiasta, jota vapautuu kevyiden ytimien yhdistyessä raskaammiksi. Ytimien yhdistymisreaktiota kutsutaan fuusioksi. Suurin osa Auringon energiantuotosta on lähtöisin reaktioista, joissa kaksi vety-ydintä yhdistyy heliumtimeksi.

6-9. Fotosynteesissä eli vihreiden kasvien yhteyttämisessä kasvien solut tuottavat Auringon valon energian avulla vedestä ja ilmakehän hiilidioksidista glukoosia ja happea. Kasvit käyttävät glukoosia ravintonaan ja happi vapautuu ilmakehään. Fotosynteesiä kuvataan yhtälöllä



Eli kuusi vesimolekyyliä ja kuusi hiilidioksidimolekyyliä muodostaa yhden glukoosimolekyylin ja lisäksi kuusi happimolekyyliä.

6-10. Ilmaston lämpenemisellä on esimerkiksi seuraavia haitallisia vaikutuksia. Mannerjäätiköt sulavat, jolloin merenpinta nousee ja asuttuja rannikkoalueita ja kokonaisia saariryhmiä jää veden alle. Vuoristojen pysyvät jääpeitteet vähenevät ja katoavat, ja samoin käy vuorten rinteiden sulamisvesille. Nykyään elinkelpoiset alueet vuorten rinteillä vähenevät vesipulan takia. Pohjoisen napa-alueen jäiden sulaminen aiheuttaa jään olemassaolosta riippuvien eläimien elinalueiden pienenemisen ja eläinten määrän vähenemisen. Samalla esimerkiksi Grönlannin ihmisten elinolosuhteet muuttuvat kun osa ravinnosta katoaa. Tuulet lisääntyvät ja hirmumyrskyt muuttuvat yhä tavallisemmiksi ja voimakkaammiksi. Trooppiset taudit lisääntyvät ja leviävät entistä laajemmille alueille. Esimerkiksi mainituista syistä johtuen elinkelpoisen maa-ala pienenee, ja ihmiset joutuvat pakolaisiksi. Ilmaston lämpeneminen sulattaa ikirouta-alueita, jolloin esimerkiksi Siperian valtavat suoalueet vapauttavat lisää kasvihuonekaasuja ilmakehään. Sama voi tapahtua myös merenpohjassa sen lämmetessä.

6-11. Jos Aurinko sammuisi yhtäkkiä, maapallon pinnan lämpötila laskisi nopeasti ja tasaantuisi noin kuukaudessa $-70 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilaan. Tämän jälkeen Maan kuuma ydin ja lämpöä tuottavat radioaktiiviset reaktiot pitäisivät lämpötilan lähes vakiona. Maapallon pinnalla luonnonolosuhteissa on mitattu kylmimmillään noin $-90 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötiloja.

7 Säteily

7-1. Valaisimet lähettävät valoa ja infrapunasäteilyä. Lämmittimet ja kuumat sähköliesien levyt lähettävät infrapunasäteilyä. Hehkuvat lämpövastukset kiukaissa, lämmittimissä ja grilleissa lähettävät infrapunasäteilyä ja valoa. Mikroaaltouunin magnetroni synnyttää ja lähettää uuniin mikroaaltosäteilyä. Säteily ei pääse ulos uunista. Matkapuhelin välittää tiedon mikroaaltosäteilynä, joka tosin on pienitehoista. Erilaiset näyttöruudut esimerkiksi televisioissa, tietokoneissa, puhelimissa ja kameroissa lähettävät valoa.

7-2. a) Eksyneiden etsimiseen käytettävät infrapunakamerat muodostavat kuvan kohteen lämpötilaerojen perusteella. Lämmin kohde lähettää enemmän säteilyä ja säteilyn aallonpituusalueeseen kuuluu lyhyempiä aaltoja kuin kylmän kohteen lähettämään säteilyyn. Talvella lumi ja maaperä ovat paljon kylmempiä kuin ihmisen lämpötila, joten eksynyt erottuu lämpökameran kuvassa hyvin. Lämpökamerat muodostavat kuvan myös pimeässä, vieläpä selvemmin kuin päivällä, jolloin Auringon säteilystä peräisin oleva infrapunasäteily häiritsee.

b) Mikroaaltosäteily ja UV- eli ultraviolettisäteily ovat molemmat ionisoimatonta sähkömagneettista säteilyä. Kumpaakaan säteilyä ihminen ei voi nähdä. Aallonpituudeltaan mikroaallot ovat pidempiä kuin ultraviolettisäteily. Mikroaaltosäteilyä synnytetään magnetronissa ja sähköisissä värähtelypiireissä. Ultraviolettisäteilyä syntyy hyvin korkeissa lämpötiloissa esimerkiksi Auringossa ja hitsausliekissä. UV-säteilyllä on muitakin syntytapoja. Niihin perehdytään Aine ja säteily kurssilla. UV-säteily pysähtyy ihoon ja aiheuttaa siinä biologisia ja kemiallisia ilmiöitä. Mikroaaltosäteily tunkeutuu syväälle kudoksiin ja lämmittää niitä. Pienitehoisen mikroaaltosäteilyn ei ole todettu aiheuttavan haittoja terveydelle. Haittojen mahdollista olemassaoloa tutkitaan koko ajan.

7-3. a) Mikroaaltosäteily läpäisee pinnan hyvin ja tunkeutuu syväälle ruokaan. Mikroaaltojen säteilyenergia muuntuu lämmöksi sekä ruuan pinnalla että muutaman senttimetrin syvyydellä ruuassa. Ruoka lämpenee, mutta ei kuumene erityisen voimakkaasti pinnalta, joten ruoka ei ruskistu pinnalta. Jos ruokaa kuumennetaan mikroaaltouunissa suurella teholla liian kauan, vesi höyrystyy ja poistuu ruuan sisältä, jolloin ruoka kuivuu.

b) Hehkuvien sähkövastusten lähettämän valon ja infrapunasäteilyn energiasta suurin osa jää ruuan pintaan, joka kuumenee voimakkaasti. Ruuan pinta ruskistuu nopeasti, mutta ruoka lämpenee sisältä hitaasti. Lämpö siirtyy ruuan sisälle lähinnä johtumalla. Ruoka ruskistuu, kun lämpötila nousee tarpeeksi korkealle (yli 150 °C). Esimerkiksi tietyt ruoan proteiinien aminohapot ja sokerimolekyylit voivat reagoida keskenään muodostaen ruskeita väriaineita. Ruuan ruskistuminen riippuu siis lämpötilasta ja pinnan kemiallisesta rakenteesta.

7-4. a) Ultravioletti eli UV-säteily aiheuttaa kemiallisia ja biologisia muutoksia ihmisen ihossa, iho ruskettuu ja syntyy D-vitamiinia. Toisaalta UV-säteily vanhentaa ihoa ja suurina määrinä lisää erilaisten ihosyöpäsairauksien riskejä. Esimerkiksi keväthangilla UV-säteily aiheuttaa lumisokeutena tunnetun silmänsairauden. Se on silmän sarveiskalvon tilapäinen vaurio, johon liittyy tulehdus.

b) Auringon paistaessa ultraviolettisäteilyltä voi suojautua vaatetuksella ja suojavoiteilla. Silmät tulee suojata aurinkolaseilla, joissa on UV-suodatus.

c) Turvalliset aurinkolasit suodattavat tehokkaasti ultraviolettia- ja infrapunasäteilyä (IP-säteilyä). Aurinkolasien tumma väri vähentää kirkkaan valon aiheuttamaa häikäisyä, mutta tummasta väristä ilman UV- ja IP-säteilyn suodatusta voi aiheutua haittoja silmille. Tummiin lasien läpi katsottuna silmän pupillit ovat suuremmat kuin ilman laseja. Silmien pupillit eivät reagoi UV- ja IP-säteilyyn, joten tummiin lasien läpi katsottuna silmään pääsee enemmän UV- ja IP-säteilyä kuin ilman laseja, jos suodatuksia ei ole.

7-5. a) Avaruudesta ei tule yöllä juuri lainkaan lämpösäteilyä. Vain ilmakehä lähettää lämpösäteilyä kohti maanpintaa. Jos pilviä ei ole ja vesihöyryn määrä ilmassa on vähäinen, maanpintaan saapunut säteily on vähäistä. Viileä tunne johtuu siitä, että lämpösäteilyä poistuu kehosta eikä yläpuolella oleva ilmakehä ja avaruus lähetä yhtä paljon säteilyä tilalle. Keho menettää vähitellen energiaa.

b) Kylmän pinnan voit aistia viemällä kätesi lähelle pintaa. Käden iho lähettää enemmän lämpösäteilyä kylmän pinnan suuntaan kuin kylmä pinta lähettää käteen. Käsi ja pinta eivät ole säteilytasapainossa, ero tuntuu viileytenä iholla.

7-6. Ruuassa on aina vesimolekyylejä ja 2,45 GHz:n taajuinen sähkömagneettinen säteily saa tehokkaimmin vesimolekyylit värähtelemään, sillä kyseinen taajuus on vesimolekyylien ominaisvärähtelytaajuus. Vesimolekyylien värähtely saa koko ruuan lämpenemään.

7-7. Laseria käytetään lääketieteellisissä sovelluksissa laserleikkauksissa leikkaamaan kudosta hyvin tarkasti esimerkiksi näönkorjausleikkauksissa. Laserilla poistetaan iholta luomia, syntymämerkkejä ja tatuointeja. Kauneuskirurgiassa laserilla voidaan poistaa rypyjä. Laserilla voidaan porata hampaita kivuttomasti, mutta menetelmää käytetään vielä vähän.

7-8. Lämpövuotoja on ikkunoiden ja ovien kohdalla sekä räystään alla. Seinän vaaleissa kohdissa on huonommat lämpöeristeet kuin punaisissa kohdissa. Talon ulkopinnan matalin lämpötila on katolla noin $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja korkein lämpötila vähintään $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ikkunoiden ja ovien pinnoilla.

7-9. a) Pierre Curie työskenteli Henri Becquerelin ja vaimonsa Marie Curien kanssa. Curiet ja Becquerel saivat jaetun Nobelin palkinnon vuonna 1903 radioaktiivisuuden löytämisestä ja sen tutkimisesta.

b) Radium on raskas alkuaine, jonka järjestysluku on 88 alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä. Radiumin tunnetuin isotoppi on $^{226}_{88}\text{Ra}$, jota syntyy kallioperässä uraanin ($^{238}_{92}\text{U}$) hajoamisketjussa. $^{226}_{88}\text{Ra}$ on alfa-aktiivinen ja myrkyllinen aine ja sen puoliintumisaika on 1600 vuotta.

c) Beeta- ja gammasäteilyä käytetään lääketieteessä esimerkiksi tuhoamaan syöpäkasvaimia. Gammasäteilyä käytetään kehon läpivalaisuun, jolloin saadaan tietoa kehon rakenteesta ja rakenteellisista muutoksista. Lääketieteessä radioaktiivisia aineita käytetään merkkiaineina, joiden avulla tutkitaan esimerkiksi verenkiertoa tai seurataan lääkeaineiden kulkeutumista.

7-10. Ionisoivan sähkömagneettisen säteilyn fotoneilla ja hiukkassäteilyn hiukkasilla on paljon energiaa. Fotonit ja hiukkaset vuorovaikuttavat aineen kanssa. Ionisoiva säteily pystyy ionisoimaan atomeja ja tuhoamaan elävää solukkoa tai aiheuttamaan soluissa muutoksia. Ionisoimattoman säteilyn fotoneilla ja hiukkasilla on niin vähän energiaa, että ne eivät ionisoi.

7-11. a) Taustasäteilyllä tarkoitetaan ionisoivaa säteilyä, joka on peräisin ympäristöstämme ja omasta elimistöstämme.

b) 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.

7-12. a) Röntgensäteily ja gammasäteily ovat molemmat lyhytaaltoista, ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä. Avaruudesta tulee Maahan sekä röntgen- että gammasäteilyä.

b) Gammasäteilyn lyhyimmät aallonpituudet ovat lyhyempiä kuin röntgensäteiden aallonpituudet. Gammasäteilyä syntyy atomien ytimissä, kun ytimen sidosenergiaa vapautuu gammasäteilynä ja monissa hiukkasreaktioissa varsinkin tähdissä. Röntgensäteilyä syntyy raskaiden alkuaineiden atomien elektroniverhojen muutoksissa, kun elektronien sidosenergiaa vapautuu röntgensäteilynä. Röntgensäteilyä syntyy myös varauksisten hiukkasten jarruuntuessa voimakkaasti esimerkiksi röntgenputken anodilla. Jarruuntumisessa varauksisten hiukkasen liike-energiaa muuntuu röntgensäteilyksi.

7-13. a) Saman alkuaineen eri isotoopeilla on ytimessä eri määrä neutroneja. Esimerkiksi ${}^{54}_{26}\text{Fe}$, ${}^{55}_{26}\text{Fe}$, ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ovat raudan isotooppeja. Raudalla on muitakin isotooppeja. Eri isotoopit ovat joko pysyviä tai radioaktiivisia.

b) Isotooppeja, joiden puoliintumisaika on alle 10 ms, ovat esimerkiksi ${}^8_3\text{Li}$ eli litium-8 (8,44 ms) ja ${}^{213}_{84}\text{Po}$ eli polonium-213 (4,2 μs). Isotooppeja, joiden puoliintumisaika on yli 10^{10} a, ovat esimerkiksi ${}^{82}_{34}\text{Se}$ eli seleeni-82 ($1,0 \cdot 10^{19}$ a) ja ${}^{128}_{52}\text{Te}$ (tellurium-128, $1,5 \cdot 10^{24}$ a).

7-14. a) Kun ytimet lähettävät heliumatomin ytimiä, syntyy alfasäteilyä.

b) Kun ytimet lähettävät elektroneja, syntyy beetasäteilyä (beetamiinussäteilyä).

c) Kun ytimet lähettävät positroneja, syntyy beetasäteilyä (beetaplussäteilyä).

7-15. a) Radioaktiivisissa ytimissä tapahtuu muutoksia, joiden seurauksena syntyy ionisoivaa säteilyä, yleensä sekä hiukkassäteilyä, että sähkömagneettista gammasäteilyä.

b) Radioaktiivisen aineen puoliintumisaika on se aika, jonka kuluessa alkuperäisen aineen ytimistä on puolet jäljellä ja puolet hajonnut muiksi alkuaineiksi.

c) Radioaktiivisen näytteen aktiivisuus tarkoittaa hajoanneiden ytimien määrää aikayksikössä, yleensä sekunnissa. Aktiivisuuden symboli on A ja yksikkö 1 Bq (becquerel) = 1 hajoaminen sekunnissa.

d) Ionisoimaton säteily tarkoittaa energialtaan niin vähäisiä hiukkasia tai sähkömagneettisen säteilyn fotoneja, että ne eivät pysty irrottamaan elektroneja atomeista. Sähkömagneettisen säteilyn spektrin pitkäaalton pää – ultraviolettisäteily, näkyvävalo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot – ovat ionisoimatonta säteilyä.

7-16. $A = 1000$ Bq

a) 1 Bq tarkoittaa yhtä ytimen hajoamista sekunnissa. Koko kehossa hajoaa sekunnissa 1100 ydintä, joten minuutissa hajoaa $60 \cdot 1100$ ydintä eli 66 000 ydintä.

b) Vuorokaudessa hajoaa $60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 1100$ ydintä eli noin 95 miljoonaa ydintä.

7-17. $^{137}_{55}\text{Cs}$: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.

7-18. Koska $\frac{160 \frac{1}{\text{h}}}{640 \frac{1}{\text{h}}} = \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$, hiilinäytteen ikä on kaksi radioaktiivisen hiilen $^{14}_6\text{C}$

puoliintumisaikaa. Muinaisnäytteen ikä on $2 \cdot 5730 \text{ a} = 11\,460 \text{ a} \approx 11\,000 \text{ a}$.

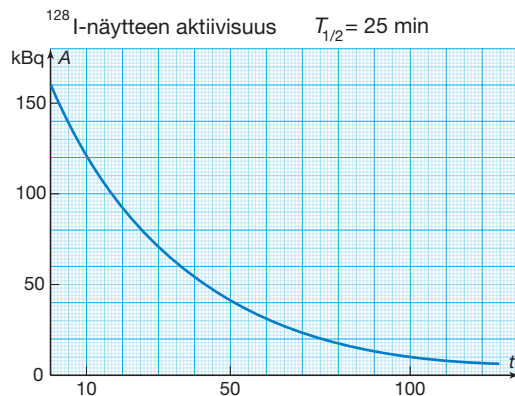
7-19. Koska $\frac{0,15 \cdot 10^{-12}}{1,2 \cdot 10^{-12}} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$, mammutin luun ikä on kolme $^{12}_6\text{C}$:n puoliintumisaikaa, $3 \cdot 5730 \text{ a} = 17\,190 \text{ a} \approx 17\,000 \text{ a}$. Mammutti eli noin 17 000 vuotta sitten.

7-20. a) Radioaktiivisten aineiden ytimet voivat lähettää hajotessaan alfa-, beeta- ja gammasäteilyä (α -, β - ja γ -säteilyä). Alfahiukkaset ovat helium- (^4_2He -) ytimiä, beetahiukkaset elektroneja (β^- -hiukkasia) tai positroneja (β^+ -hiukkasia) ja γ -säteily on lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä.

b) Kuvion mukaan jodinäytteen aktiivisuus on mittauksen alkaessa 160 Bq. Puoliintumisajan kuluttua aktiivisuudesta on puolet jäljellä. Kuvion mukaan aktiivisuus pienenee ajan myötä seuraavasti:

Aktiivisuus A/Bq	160	80	40	20	10	5
Aika t/min	0	25	50	75	100	125

Taululukon perusteella voidaan asettaa aika-akseli kuvioon.



Kymmenesosa alkuperäisestä aktiivisuudesta on $A = A_0/10 = 160 \text{ Bq}/10 = 16 \text{ Bq}$. Kuvion mukaan aktiivisuus on pienentynyt arvoon 16 Bq, kun aikaa on kulunut 82 minuuttia.

7-21. a) Tavanomaisissa oloissa ionisoivalta säteilyltä ei tarvitse eikä voi suojautua mitenkään. Joillakin alueilla olevat suuret radonkaasun pitoisuudet aiheuttavat tähän poikkeuksen. Radonalueilla voidaan vähentää säteilylle altistumista merkittävästi, kun talojen rakenteet ja alapohjan tuuletus tehdään niin, että huoneilman radon pysyy vähäisenä.

b) Jos säteilyltä on suojauduttava nopeasti, annetaan yleinen hälytysmerkki. Kotona on avattava radio tai televisio ja seurattava viranomaisten ohjeita ja toimittava niiden mukaan. Ulkoa on siirryttävä sisätiloihin ja seurattava viranomaisten ohjeita kuten kotona. Viranomaisten ohjeita löytyy myös teksti-tv:stä ja Internetistä.

7-22. a) Väite on väärin. Jos huoneilmassa on radonkaasua, se ei vähene itsestään radioaktiivisen hajoamisen seurauksena, koska uutta radonia tulee koko ajan huoneeseen. Radonin määrä pysyy likimain vakiona.

b) Väite on väärin. Radioaktiiviset alfa- ja beetalähteet lähettävät myös gammasäteilyä, jolta suojautumiseen tarvitaan senttimetrien paksuisia lyijylevyjä. Jos hajoamistuotteina syntyy kaasumaisia radioaktiivisia isotooppeja, myös kaasuilta tulee suojautua. Kaasut tulee johtaa pois hengitysilmaasta.

c) Väite on oikein. Jos ionisoivansäteilylähteen aiheuttama säteilyannos on niin vähäinen, että se ei erotu taustasäteilystä saatavasta annoksesta, voidaan sanoa, että laitteen lähettämä ihmisiin kohdistuva säteily on merkityksetöntä. Tällaisia säteilylähteitä ovat esimerkiksi jotkut palovaroittimet ja itsevalaisevien kellojen osoittimet.

7-23. a) Röntgenkuvauksessa röntgensäteily läpäisee kehon. Lyijyliivit suojaavat tehokkaasti röntgensäteilyltä niitä kehon osia, joista ei tarvita kuvaa.

b) Potilaan saama säteilyannos yhdessä tai muutamassa röntgenkuvauksessa on vähäinen. Sairaanhoidtaja ottaa ehkä satoja tai tuhansia röntgenkuvia vuoden aikana. Sairaanhoidtajan saamaa säteilyannosta määritettäessä ja säteilyn aiheuttamia riskejä arvioitaessa on otettava huomioon koko työuran aikana otettujen kuvien määrä ja kuvauksissa saatu kokonaisannos. Tästä syystä sairaanhoidtaja menee säteilysuojan taakse ottaessaan röntgenkuvia. Jos sairaanhoidtaja ei suojaudu säteilyltä, säteilystä koituu hänelle vuosien kuluessa suurempia riskejä kuin potilaalle. Säteilytyössä olevien henkilöiden saamia säteilyannoksia seurataan koko ajan.

7-24. a) Merkkiaineen avulla tehtävässä merkkiainetutkimuksessa potilaan elimistöön annetaan lääkeainetta, johon on sekoitettu pieniä määriä gammasäteilyä lähettävää ainetta. Lääkeaineella voidaan tutkia esimerkiksi verenkiertoa. Radioaktiivisen aineen kulkua voidaan seurata gammakameralla.

b) Gammakameran yksi käyttötarkoitus mainittiin a-kohdassa. Potilaalle annettava lääkeaine voidaan valita niin, että se hakeutuu hoidettavaan kohteeseen esimerkiksi syöpäkasvaimeen (isotooppihoito). Gammakameralla voidaan seurata lääkeaineen kulkeutumista kasvaimeen ja hoidon edistymistä (kasvaimen pienenemistä). Gammakameralla voidaan ottaa potilaasta myös läpivalaisukuvia.

7-25. 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 huoneilman radonia. Joissakin tapauksissa asuinrakennuksen paikan valinnalla jopa samalla tontilla voidaan vaikuttaa radonsäteilyn määrään huoneilmassa.

7-26. $r_1 = 1 \text{ m}$, $r_2 = 5 \text{ m}$

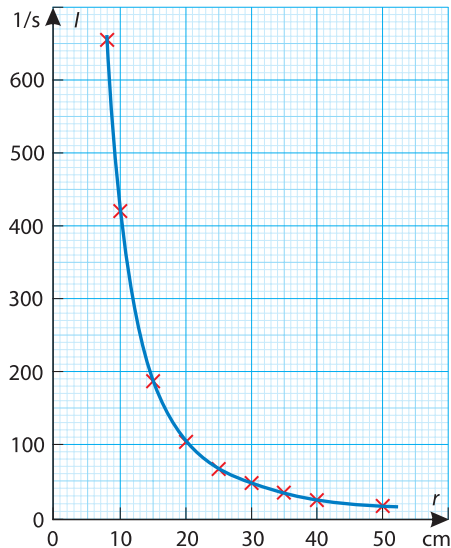
Gammasäteilyn intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden toiseen potenssiin.

Kahdella eri etäisyydellä säteilylähteestä intensiteettien suhde on $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, joten

$$I_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} I_1 = \frac{(1 \text{ m})^2}{(5 \text{ m})^2} I_1 = \frac{1}{25} I_1. \text{ Säteily heikkenee etäisyyden takia } 1/25 \text{ osaan huoneen}$$

kauimmaisessa nurkassa verrattuna 1 m:n etäisyyteen säteilylähteestä. Säteilyannos 5 m:n päässä on korkeintaan yhtä suuri kuin 1 m:n päässä $5 \cdot 25$ minuutin = 125 minuutin kuluttua eli noin 2 tunnin työskentelyn jälkeen. Säteilyn vähäistä vaimenemista ilmassa ei otettu huomioon ratkaisussa.

7-27. a)

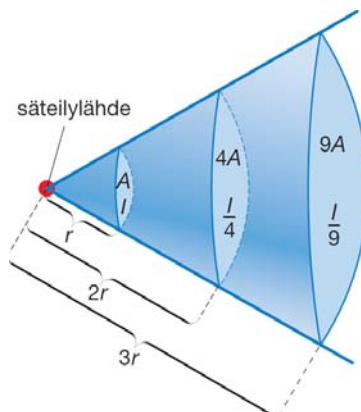


b) Taulukon arvot asettuvat piirtämistarkkuuden rajoissa käyrälle. Merkitään taulukkoon laskentataajuuden arvot 10 cm:stä alkaen 10 cm välein:

$r_1 = 10 \text{ cm}$	$20 \text{ cm} = 2r_1$	$30 \text{ cm} = 3r_1$	$40 \text{ cm} = 4r_1$	$50 \text{ cm} = 5r_1$
420 1/s	$104 \text{ 1/s} \approx 420/4 \text{ 1/s}$	$47 \text{ 1/s} \approx 420/9 \text{ 1/s}$	$25 \text{ 1/s} \approx 420/16 \text{ 1/s}$	$17.1 \text{ 1/s} = 420/25 \text{ 1/s}$

Laskentataajuus kuvaa säteilyn voimakkuutta. Huomataan, että säteilyn voimakkuus näyttää olevan kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön eli $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$.

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.



7-28. $T_{1/2} = 20 \text{ min}$, $A_1 = 16 \cdot 10^8 \text{ Bq}$, $A_2 = 1,0 \cdot 10^8 \text{ Bq}$, $t = 24 \text{ h}$

a) Jos ^{11}C :n aktiivisuus lääkeaineen antamishetkellä on pienin sallittu $1,0 \cdot 10^8 \text{ Bq}$, on

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1,0 \cdot 10^8 \text{ Bq}}{16 \cdot 10^8 \text{ Bq}} = \frac{1}{16}, \text{ eli aktiivisuus on vähentynyt yhteen kuudestoista osaan}$$

alkuperäisestä. Radioaktiivisesta aineesta on yhden puoliintumisajan kuluttua puolet jäljellä.

Koska $\frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^4$, lääkkeen valmistamisesta antamishetkeen on kulunut 4 puoliintumisaikaa, eli $4 \cdot 20 \text{ min} = 80 \text{ min}$.

Lääkeaine on annettava viimeistään 1 h 20 min kuluttua lääkeaineen valmistamisesta.

b) 24 tuntia on $24 \cdot 60 \text{ min} = 1440 \text{ min}$, joka on $1440 \text{ min} / 20 \text{ min} = 72$ puoliintumisaikaa. 24 tunnin kuluttua ^{11}C -isotoopin aktiivisuus potilaassa on

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{72} \cdot 1,0 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 2,1 \cdot 10^{-14} \text{ Bq} \approx 0 \text{ Bq}.$$

Aktiivisuus on 0 Bq hyvin suurella tarkkuudella, eli potilaassa ei ole ^{11}C -isotooppia 24 tunnin kuluttua lääkeaineen antamisesta.

Testaa osaatko, s. 165

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

Kertaustehtäviä

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

1. (d) Aineet asettuvat tiheyksien mukaiseen järjestykseen, aineen A tiheys on suurin ja aineen C pienin. Näin ollen järjestys on C, B ja A.

2. (b) Muunnetaan nopeuden 80 km/h yksiköksi m/s: $80 \text{ km/h} = \frac{80}{3,6} \text{ m/s} \approx 20 \text{ m/s}$, joten sekunnin aikana pyörä etenee 20 m.

3. (b, d) Keskivauhti on $v_k = \frac{s}{t} = \frac{4,719 \text{ km}}{1 \text{ min } 5,591 \text{ s}} = \frac{4719 \text{ m}}{65,591 \text{ s}} = 71,9458 \text{ m/s} \approx 259 \text{ km/h}$.

4. (c) Nopeus on $10 \text{ m/s} + 3,0 \text{ s} \cdot 2,0 \text{ m/s}^2 = 16 \text{ m/s}$.

5. (a, c) Kuvaaja a esittää paikallaan olevaa kappaletta ja kuvaaja c esittää tasaisessa liikkeessä olevaa kappaletta. Kummassakin tapauksessa Newtonin I lain mukaan kappaleeseen kohdistuvien voimien summa on nolla.

6. (b) Maan ja kappaleen gravitaatiovuorovaikutuksesta aiheutuu kappaleeseen kohdistuva paino alas ja vähäinen ilmanvastus, jonka suunta on myös alas.

7. (a) Newtonin II lain mukaan auton liikeyhtälö on $F = ma$. Kiihtyvyys on $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, joten autoon kohdistuvan kokonaisvoiman suuruus on

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

8. (a, b) Kaikki luonnon ilmiöt voidaan selittää a) Newtonin lakien avulla b) perusvuorovaikutusten avulla.

9. (a) $1/16 = (1/2)^4$, joten aktiivisuus on neljän puoliintumisajan kuluttua $A = A_0 \cdot (1/2)^4 = A_0/16$, kun A_0 on alkuperäinen aktiivisuus.

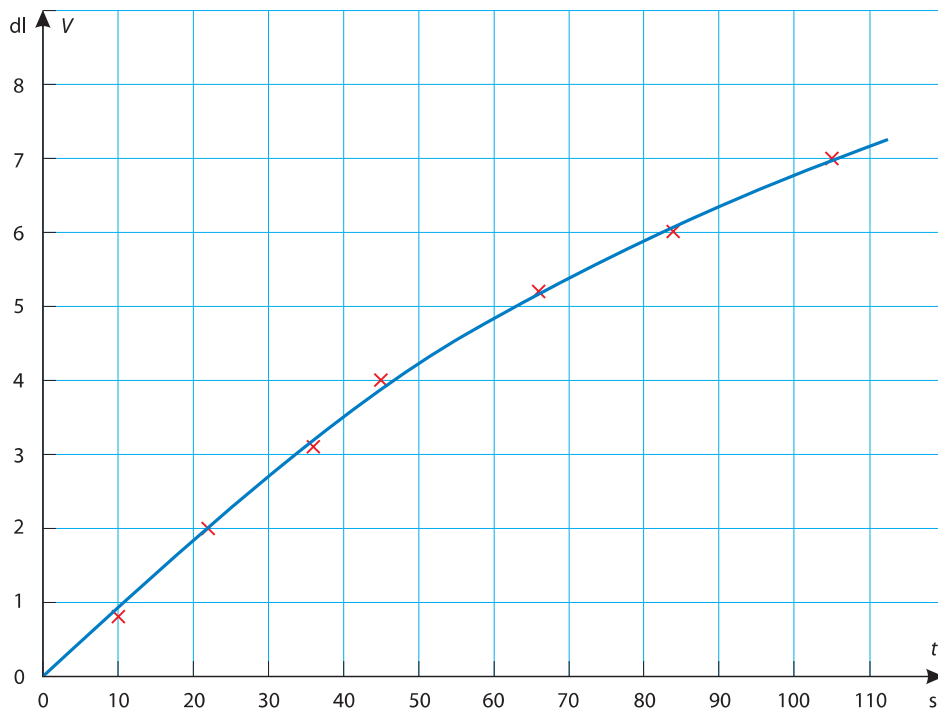
10. (b) Säteilyn intensiteetti ja havaittujen gammapulssien määrä on kääntäen verrannollinen säteilyn ilmaisimen ja säteilylähteen väliseen etäisyyden neliöön, $(10 \text{ cm}/30 \text{ cm})^2 = 1/9$. Pulseja havaitaan $5682/9 \approx 630$.

11. Lasketaan tiheyksien keskiarvot ja arvojen poikkeamat.

ρ_i g/cm ³	$ \Delta\rho_i $ 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 $(5,05 \pm 0,05)$ g/cm³

12. a)



b) Riippuvuus ei ole lineaarinen.

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

13.a) Oletetaan äänen nopeudeksi 340 m/s. Ääni kuullaan ajan $t = \frac{s}{v} = \frac{100 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \approx 0,3 \text{ s}$ kuluttua.

b) Aika on $t = \frac{s}{v} = \frac{0,0055 \text{ m}}{0,12 \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \approx 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ s} = 0,15 \text{ ns}$.

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

15. Keskinopeudet saadaan fysikaalisina kulmakertoimina:

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

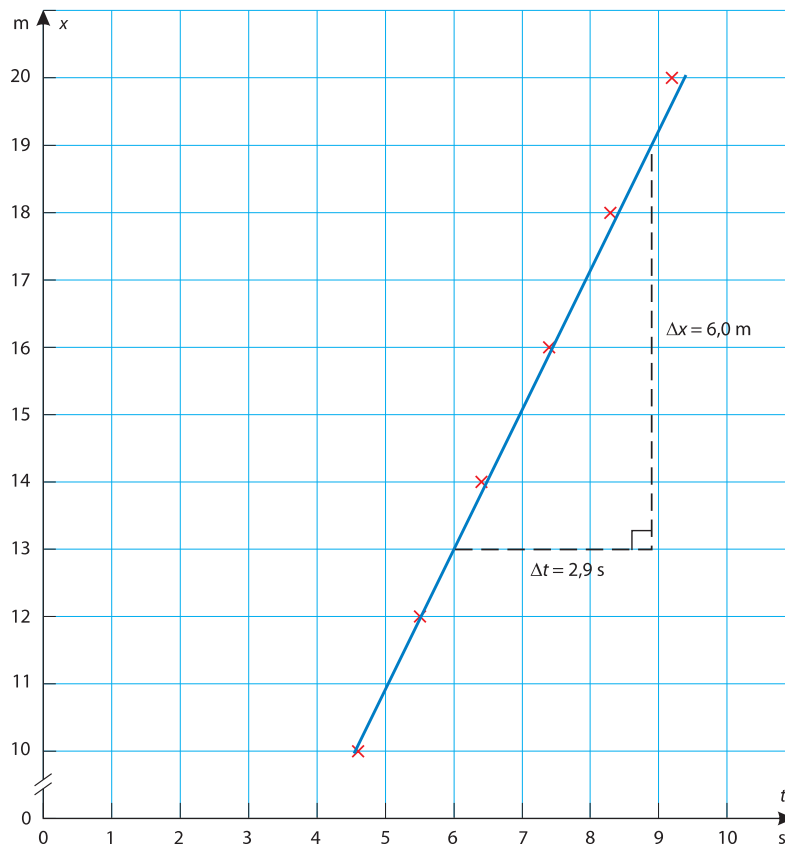
$$\text{B: } v_B = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8,0 \text{ m}}{8,0 \text{ s}} = 1,0 \text{ m/s},$$

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

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

16.

a) Jääpalan paikka ajan funktiona:



b) Riippuvuus on lineaarinen.

c) Jääpalan nopeus saadaan (t, s) -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 s on 13,0 m.

e) Jääpala on 19 m päässä lähtöpisteestä 8,9 s kuluttua.

17.

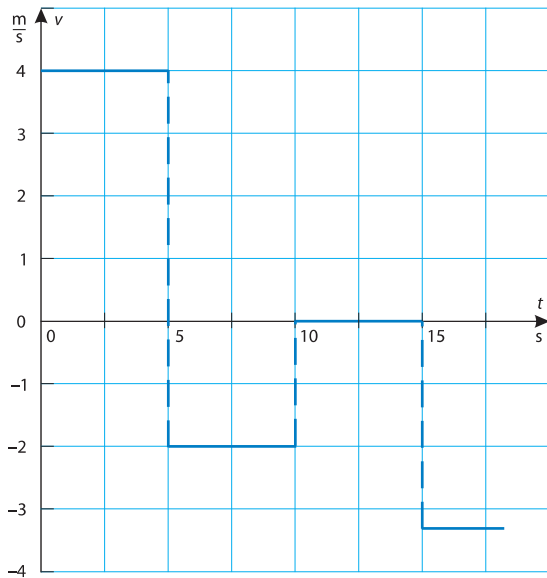
a) Kappaleen nopeudet:

$$\text{aikaväli } 0 \dots 5 \text{ s: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20,0 \text{ m} - 0,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{20,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s}} = 4,0 \text{ m/s}.$$

$$\text{aikaväli } 5 \dots 10 \text{ s: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10,0 \text{ m} - 20,0 \text{ m}}{10,0 \text{ s} - 5,0 \text{ s}} = \frac{-10,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s}} = -2,0 \text{ m/s}.$$

aikaväli 10...15 s: kappale on paikallaan $v = 0 \text{ m/s}$.

$$\text{aikaväli } 15 \dots 18 \text{ s: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0,0 \text{ m} - 10,0 \text{ m}}{18,0 \text{ s} - 15,0 \text{ s}} = \frac{-10,0 \text{ m}}{3,0 \text{ s}} \approx -3,33 \text{ m/s}.$$



b) Kappaleen 18,0 sekunnissa kulkeva matka saadaan fysikaalisena pinta-alana:

$$s = 4,0 \text{ m/s} \cdot 5,0 \text{ s} + |-2,0 \text{ m/s}| \cdot 5,0 \text{ s} + |-3,33 \text{ m/s}| \cdot 3,0 \text{ s} = 40 \text{ m}.$$

18. a) Tilanteessa A jarrupoljinta painetaan ensin kevyesti, mutta painaminen kasvaa jarrutuksen edetessä. Tilanteessa B jarrupoljinta painetaan koko ajan samalla voimakkuudella. Tilanteessa C jarrupoljinta painetaan ensi hyvin voimakkaasti, mutta jarrutuksen edetessä poljinta löysätään hieman.

b) Kuljettu matka (t, v) -koordinaatistossa saadaan fysikaalisena pinta-alana. Koska käyrän C ja koordinaattiakselien rajaama pinta-ala on pienin, on tämän mallin mukaan myös jarrutusmatka pienin jarrutettaessa mallin C mukaan.

c) Jarrutusmatka saadaan fysikaalisena pinta-alana:

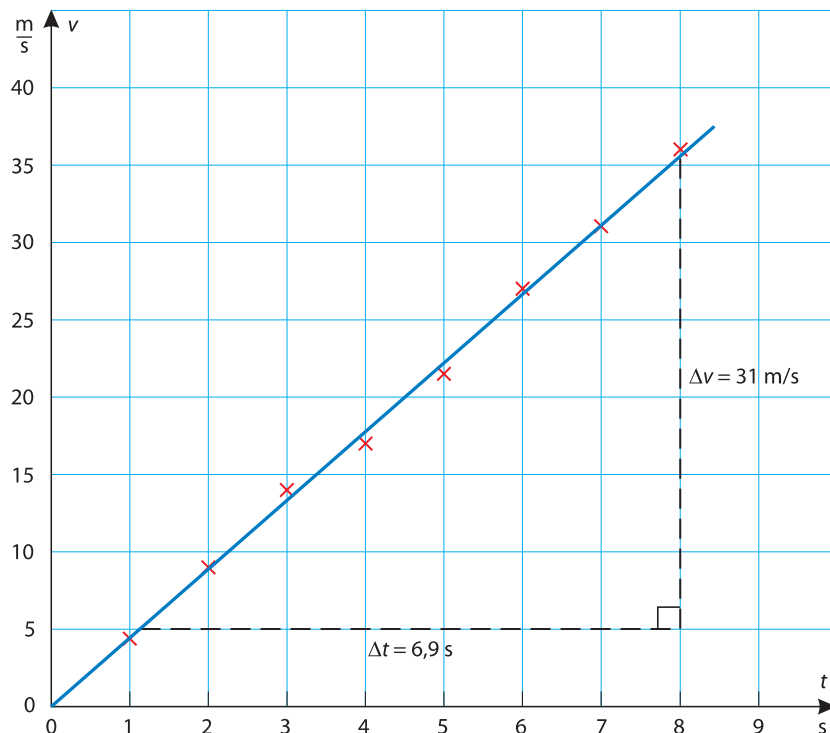
$$s = v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_3 t_3 = 5,0 \text{ m/s} \cdot 0,90 \text{ s} + \frac{15,0 \text{ m/s} \cdot 0,90 \text{ s}}{2} + \frac{5,0 \text{ m/s} \cdot 1,20 \text{ s}}{2} = 14,25 \text{ m} \approx 14 \text{ m}.$$

19. a) Moottoripyörän keskikiikthyvyys on $a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{6,0 \text{ m/s} - 2,0 \text{ m/s}}{3,0 \text{ s}} = \frac{4,0 \text{ m/s}}{3,0 \text{ s}} \approx 1,3 \text{ m/s}^2$.

b) Junan keskikiikthyvyys on $a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,0 \text{ m/s} - \frac{36}{3,6} \text{ m/s}}{15 \text{ s}} = \frac{-10 \text{ m/s}}{15 \text{ s}} \approx -0,67 \text{ m/s}^2$.

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

21.



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

22. a) Kappale on tasaisessa liikkeessä ja etenee pois päin ja on lähtiessään myös pienen matkan päässä mittajasta. Jalankulkija tarkkailee vakionopeudella liikkeelle lähtevää autoa liikennevalojen vaihtuessa vihreäksi.
- b) Kappale liikkuu tasaisella nopeudella kohti havaitsijaa ja pysähtyy. Ystävä tulee sinua kohti ja jää juttelemaan.
- c) Kappale etenee vakionopeudella. Havaitsijan ohi kulkeva auto maantiellä.
- d) Kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Mittauksen alettua kappaleella on alkunopeus. Jalankulkija tarkkailee risteykseen tulevaa autoa, risteystä ylittäessä auton nopeus kasvaa.
- e) Kappaleella on alkunopeus. Kappaleen nopeus pienenee tasaisesti ja lopulta kappale pysähtyy. Auto jarruttaa ennen pysähtymistään liikennevaloihin.

23. 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.

24. Raskaan tiilikasan massa on paljon suurempi kuin raskaan lekan massa. Raskas tiilikasa pyrkii säilyttämään liiketilansa, eli pyrkii pysymään levossa. Lekan liikkeen pysähtyminen tiilikasaan ei aiheuta suurta tiilikasan liikkeen muutosta.

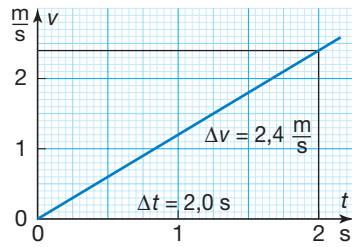
25. a) Paikka on vakio, joten kappale on paikallaan.
- b) Kappaleen vauhti pienenee tasaisesti, joten kappale on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä ($a < 0$).
- c) Kappale on kiihtyvässä liikkeessä. Kiihtyvyys kasvaa tasaisesti.
- d) Kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on positiivinen vakio, joten kappale 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 I lain mukaan kappale on paikallaan tai tasaisessa liikkeessä.

26. $\Delta t = 3,2 \text{ s}$, $m = 81 \text{ kg}$, $v_1 = 0,6 \text{ m/s}$, $v_2 = 13,1 \text{ m/s}$

Newtonin II lain mukaan urheilijan liikeyhtälö on $F = ma$, joten urheilijaan kohdistuvan kokonaisvoiman suuruus on $F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = 81 \text{ kg} \cdot \frac{13,1 \text{ m/s} - 0,6 \text{ m/s}}{3,2 \text{ s}} \approx 320 \text{ N}$.

(Urheilijaan – mukaan lukien sauvat ja sukset – kohdistuvia voimia ovat paino, sauvoihin kohdistuva kosketusvoima ja suksien pohjiin kohdistuva kitka. Urheilijaan kohdistuva paino ja sauvoihin kohdistuva kosketusvoima eivät ole pinnan suuntaisia, mutta niillä on vaikutus urheilijan liikkeen muuttumiseen. Kitka on pinnan suuntainen. Kun urheilija työntää sauvoilla, maanpinnan sauvoihin kohdistama kosketusvoima lisää urheilijan vauhtia. Jaloilla vauhdin potkiminen synnyttää suksien pohjiin liikkeen suuntaisen kitkan, joka myös lisää vauhtia.)

27. a)



Kiihtyvyys on vakio ja sen suuruus on kuvion mukaan

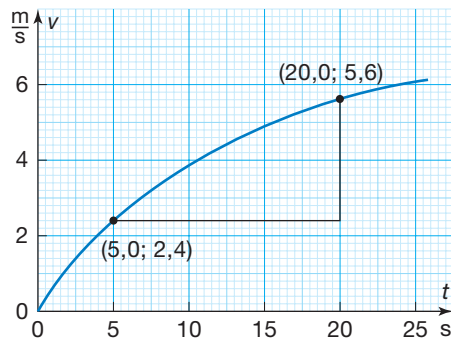
$$a = \Delta v / \Delta t = (2,4 \text{ m/s}) / 2,0 \text{ s} = 1,2 \text{ m/s}^2.$$

b) Vaunun liikeyhtälö on $F = ma$, joten vaunun massa on

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

28. a) Polkupyörään ja pyöräilijään kohdistuvat voimat ovat paino, ilmanvastus ja tien pinnan renkasiin kohdistama liikettä vastustava kitka, jonka merkitys on vähäinen. Paino ja kitka pysyvät vakioina, kun nopeus kasvaa alamäessä. Nopeuden kasvaessa myös ilmanvastus kasvaa. Alussa kiihtyvyys on suurin. Kiihtyvyys pienenee sitä pienemmäksi, mitä suurempi ilmanvastus on ja mitä suurempi nopeus on.

b)



Polkupyörään ja pyöräilijään kohdistuva keskimääräinen kokonaisvoima F_k saadaan Newtonin II lain mukaisesta liikeyhtälöstä $F_k = ma_k$, kun a_k on keskimääräinen kiihtyvyys välillä 5,0 s ... 20,0 s,

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{5,6 \text{ m/s} - 2,4 \text{ m/s}}{20,0 \text{ s} - 5,0 \text{ s}} = 0,2133 \text{ m/s}^2.$$

Polkupyörään ja pyöräilijään kohdistuva keskimääräinen kokonaisvoima on

$$F_k = ma_k = 89 \text{ kg} \cdot 0,2133 \text{ m/s}^2 \approx 19 \text{ N}.$$

29. a) Jousivaaka mittaa vaakaan kohdistuvan voiman, joka on yhtä suuri kuin astronauttiin kohdistuva paino. Paino kuussa on $G_{\text{Kuu}} = mg_{\text{Kuu}} = 106 \text{ kg} \cdot 1,622 \text{ m/s}^2 = 171,93 \text{ N}$.

Vaaka on tehty mittaamaan massaa maassa. Jos vaakaa kuormitetaan Maassa voimalla 171,93 N, vaaka näyttää samaa lukemaa kuin Kuussa astronautin seisoessa jousivaa'alla. Vaaka näyttää lukemaa $m_{\text{näyttö}} = G_{\text{Kuu}}/g_{\text{Maa}} = 171,93 \text{ N}/(9,81 \text{ m/s}^2) \approx 17,5 \text{ kg}$.

b) Kappaleen massa ei riipu siitä onko kappale Maassa vai Kuussa. Astronautin massa on Kuussa 106 kg.

c) Taivaankappaleiden aiheuttama gravitaatiovoima kohdistuu avaruusalukseen ja astronauttiin siten, että molemmilla on sama kiihtyvyys. Molemmat ovat vapaassa putoamisliikkeessä, joten vaakaan ei kohdistu voimaa. Vaaka näyttää nollaa (0,0 kg).

30. a) Newtonin II lain mukaisen liikeyhtälön perusteella matkustajaan kohdistuvan pysäyttävän voiman suuruus on keskimäärin

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

b) Tapa 1: Pysäyttävän voiman ja matkustajaan kohdistuvan painon suhde on

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

Tapa 2: Pysäyttävän voiman ja matkustajaan kohdistuvan painon suhde on

$$\frac{F}{mg} = \frac{m \frac{\Delta v}{\Delta t}}{mg} = \frac{\Delta v}{g} = \frac{\frac{85}{3,6} \text{ m/s}}{1,6 \text{ s}} \approx 1,5.$$

Huomataan, että matkustajan massalla ei merkitystä voimien suhteeseen.

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

c) Matkustajaan kohdistuvan pysäyttävän voiman suuruus on $F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Turvavyöt joustavat rajussa törmäyksessä, jolloin voiman vaikutusaika Δt pitenee, ja matkustajaan kohdistuvan voiman suuruus pienenee. Matkustajan elimistö joutuu pienemmän rasituksen kohteeksi.

31. Koiran ja ulkoiluttajan muodostama systeemi voi olla paikallaan, tasaisessa liikkeessä tai kiihtyvässä liikkeessä, joka tapauksessa voiman ja vastavoiman lain mukaan koira kohdistaa hihnaan yhtä suuren voiman kuin hihna koiraan, samoin ulkoiluttaja kohdistaa hihnaan yhtä suuren voiman kuin hihna ulkoiluttajaan. Mainitut neljä voimaa ovat systeemin sisäisiä voimia, joilla ei ole vaikutusta systeemin liikkeeseen. Kun koira ja ulkoiluttaja ovat paikallaan tai (likimain) tasaisessa liikkeessä, systeemiin kohdistuva ulkoinen kokonaisvoima on keskimäärin likimain nolla. Tällöin ulkoiluttajan kenkien ja maanpinnan välinen kitka on yhtä suuri ja vastakkaissuuntainen kuin koiran tassujen ja maanpinnan välinen kitka. Kun ulkoiluttaja vetää koiran liikkeelle, systeemi on kiihtyvässä liikkeessä, tällöin ulkoiluttajan kengän pohjiin vaikuttaa suurempi kitka kuin koiran jalkoihin.

32. Jatkavuuden lain mukaan kappaleet ovat paikallaan tai tasaisessa suoraviivaisessa liikkeessä, jos kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima on nolla. Kaarteessa tienpinnan renkaisiin kohdistama kitka muuttaa auton liikkeen suuntaa. Matkustaja pyrkii jatkamaan liikettään suoraan ja matkustajan ylävartalo kallistuu kohti auton seinää ulkokaarten puolelle. Matkustajaan kohdistuu istuimen kitka, ja turvavöiden ja seinän tukivoima, jotka muuttavat matkustajan liikkeen suunnan samaksi kuin auton liikkeen suunta.

33. Omena ja punnus on ripustettu yhtä pitkän varren päähän. Vaaka on tasapainossa, joten omenan massa on yhtä suuri kuin punnuksen massa 100,0 g. Kuvan mukaisessa tilanteessa vaaka on tasapainossa, kun kummallakin puolella olevaan kappaleeseen kohdistuu yhtä suuri paino. 100,0 g:n omena kohdistuu yhtä suuri paino kuin 100,0 g:n punnuksen sekä Maassa että Kuussa. Tarvitaan siis 100,0 g:n punnus.

34. a) Kun laskuvarjohyppäjän liikesuunta on 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 hyppääjällä ei ole kiihtyvyyttä, eli on hyppääjä on saavuttanut vakionopeuden.

b) Paniikkijarrutuksessa, varsinkin kuivalla asfaltilla, auto hidastuu nopeasti. Matkustaja pyrkii jatkavuuden lain mukaan jatkamaan etenemisliikettään alkuperäisellä nopeudella, jolloin hän voi lyödä päänsä tuulilasiin. Matkustajan liikkeen hidastumiseen auton mukana tarvitaan myös 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.

d) Kosminen säteily vuorovaikuttaa ilmakehän kaasumolekyylien kanssa. Säteily menettää energiaa vuorovaikutuksessa, joten ilmakehä suojaa maanpinnalla olevaa ihmistä paremmin kuin korkealla olevaa ihmistä. Maan pinnalle pääsee paljon vähemmän säteilyä kuin lentokoneiden lentokorkeudelle, joten ihminen altistuu ionisoivalle säteilylle lentokoneessa enemmän kuin maanpäällä. Lentokoneen ohut seinä ei suojaa suurenergiseltä kosmiselta säteilyltä. (Ylemmissä ilmakehän osissa molekyylien ja kosmisen säteilyn vuorovaikutus synnyttää lisää ionisoivaa säteilyä. Tällekin säteilylle altistutaan enemmän lentokoneessa kuin maanpinnalla.)

35. Perusvuorovaikutuksia ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.

Gravitaatiovuorovaikutus vaikuttaa kaikkien kappaleiden välillä. Sähkömagneettinen vuorovaikutus havaitaan kaikkien sähköisten kappaleiden välillä. Vahva vuorovaikutus havaitaan atomin ytimessä, kvarkkien välillä ja heikko vuorovaikutus kaikkien alkeishiukkasten välillä.

Suhteellisesti voimakkain on vahva vuorovaikutus (vertailuluku 1), sen jälkeen sähkömagneettinen vuorovaikutus (10^{-3} – 10^{-2}), sitten heikko vuorovaikutus (10^{-12} – 10^{-5}) ja heikoimpana gravitaatiovuorovaikutus (10^{-38}).

Gravitaatiovuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on gravitoni, sähkömagneettisen vuorovaikutuksen fotoni, heikon vuorovaikutuksen välibosoni ja vahvan vuorovaikutuksen gluoni.

- 36.** Vallitseva vuorovaikutus on
 a) vahva vuorovaikutus
 b) heikko vuorovaikutus
 c) sähkömagneettinen vuorovaikutus
 d) gravitaatiovuorovaikutus.

- 37.** a) Valovuosi on valon vuodessa kulkema matka.
 b) Tähtitieteellinen yksikkö on Maan ja Auringon keskitäisyys.
 c) Linnunrata on galaksi, johon Aurinkokunta kuuluu.
 d) Alkuräjähdyksellä tarkoitetaan tapahtumaa, jossa maailmankaikkeus sai alkunsa.
 e) Supernovalla tarkoitetaan tähden luhistuessa syntyvää valtaisa räjähdystä.

- 38.** a) Nukleonilla tarkoitetaan ytimessä olevia protoneja ja neutroneja.
 b) Perushiukkasia ovat kvarkit ja leptonit.

Perushiukkaslaji	Elektronin perheen hiukkaset	Myonin perheen hiukkaset	Taun perheen hiukkaset	Sähkövaraus/e
kvarkit	u (up)	c (charm)	t (truth tai top)	$+\frac{2}{3}$
	d (down)	s (strange)	b (beauty tai bottom)	$-\frac{1}{3}$
leptonit	elektroni	myoni	tau	-1
	e	μ	τ (tau)	
	elektronin neutriino	myonin neutriino	taun neutriino	0
	ν_e (nyy)	ν_m	ν_t	

c) Kvarkit ovat aineen pienimpiä rakennehiukkasia. Kvarkkeja ovat u (up) -, d (down)-, c (charm)-, s (strange)-, t (truth tai top)- ja b (beauty tai bottom) -kvarkki.

39. a) Alkuräjähdysteoriaa tukevat kolmen kelvinin taustasäteily, galaksien loittoneminen ja kevyiden alkuaineiden suhteelliset määrät maailmankaikkeudessa ovat tärkeimmät alkuräjähdysteoriaa tukevat havainnot.

b) Punasiirtymällä tarkoitetaan valon spektriviivojen siirtymää kohti spektrin punaista päätä. Galaksien loittoneminen toisistaan voidaan havaita mm. Linnunradan ulkopuolisten galaksien tähtien lähettämästä valosta: spektriviivojen aallonpituudet ovat pitempiä (eli ne ovat siirtyneet kohti spektrin punaista päätä) kuin laboratoriossa mitatut vastaavat aallonpituudet. Tämän perusteella tiedetään, että säteilyä lähettävä kohde etäännyy Maasta.

40. Gravitaatio puristaa tähdessä olevaa vetykaasua, jolloin kaasun lämpötila ja paine kasvavat. Vety-ytimien liittyessä yhteen (fuusioreaktioissa) syntyi heliumia. Vähitellen tähden tila muodostuu vakaaksi, kun tähteä kokoon vetävä gravitaatiovoima ja vastakkaiseen suuntaan vaikuttava ytimen säteilypainesta aiheutuva voima ovat tasapainossa. Tällöin sanotaan, että tähti on **pääsarjassa**.

Tähden pääsarjavaihe päättyy, kun vety tähden ytimessä on loppunut. Tähden ulkoreunoilla on kuitenkin vielä vetyä jäljellä. Tähden säteilypaine laajentaa tähteä. Tähdessä tulee **punainen jättiläinen**. Tähdessä syntyy fuusioreaktioiden seurauksena keskiraskaita ytimiä, kuten rautaa ja nikkeliä. Tähden elinkaaren loppuvaiheessa fuusioreaktiot heikkenevät, tähden lämpötila laskee ja tähden väri muuttuu punaisemmaksi. Tähti alkaa luhistua.

Jos tähden massa on pieni, sen luhistuessa tähden pintakerros leviää avaruuteen. Ydin tiivistyy, ja tähden ydinreaktiot loppuvat, eikä tähti enää tuota energiaa. Jäljelle jää kuumana hehkuva pieni ydin. Tähdessä tulee lopulta hiiltä ja happea sisältävä ns. **valkoinen kääpiö**, joka aluksi loistaa kirkkaasti. Miljoonien vuosien kuluessa valkoinen kääpiö hitaasti jäähtyy ja lopulta sammuu; siitä tulee musta kääpiö.

Jos tähden massa on noin kolminkertainen Auringon massa verrattuna, tähden luhistuessa syntyvät reaktiot saavat aikaan valtaisan räjähdysen, **supernovan**. Supernovan kesto on lyhyt, vain muutama päivä. Supernovan fuusioreaktioissa syntyy myös rautaa raskaampia alkuaineita, kuten lyijyä ja uraania, jotka leviävät ympäröivään avaruuteen. Tähden ydin luhistuu nopeasti pyöriväksi **neutronitähdiksi**. Neutronitähteä sanotaan myös pulsariksi, koska se lähettää säännöllisiä pulsseja radioaaltojen aallonpituusalueella. Neutronitähden keskusta on gravitaation vuoksi äärimmäisen tiheä.

Jos tähden massa on huomattavan suuri, vähintään kolminkertainen Auringon massa verrattuna, gravitaatiosta tulee tähden sisällä hallitsevin vuorovaikutus. Kun tällainen tähti luhistuu, sen ydinosan sisältämä aine tiivistyy tiivistymistään ja päättyy lopulta yhteen pisteeseen, singulariteettiin. Tällaisen kuolleen tähden gravitaatiokenttä on niin voimakas, että valokaan ei pääse sieltä pois. Tällaista kohdetta sanotaan **mustaksi aukoksi**.

41. Auringon säteily synnyttää Maan ilmakehässä lämpötila- ja paine-eroja. Kylmätkin tuulet syntyvät paine-eroista ja siten niiden energia on peräisin Auringosta.

42. a) Auringosta saapuu maanpinnalle ultraviolettia- (UV-) säteilyä, näkyvää valoa ja infrapuna- (IP-) säteilyä. Maanpinta lähettää lämpösäteilynä pitkäaaltoista infrapunasäteilyä.

b) Puhtaaseen lumeen osuva Auringosta tuleva sähkömagneettinen säteily heijastuu ja siroaa suureksi osaksi takaisin ilmakehään. Sironnut näkyvä valo ja UV- ja lyhytaaltainen IP-säteily poistuvat suureksi osaksi avaruuteen. Lumettomilla alueilla mainitut säteilylajit suureksi osaksi absorboituvat maanpintaan tai veteen, jolloin pinnalta ilmakehään lähtevä säteily on enimmäkseen pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka läpäisee huonosti ilmakehän kasvihuonekaasuja, joten ilmakehä lämpenee. Kun lumettomat alueet lisääntyvät, Auringon säteilystä palautuu ilmakehään entistä enemmän pitkäaaltoisena säteilyä, jolloin ilmakehän lämpeneminen kiihtyy.

43. a) Epäsuoraa aurinkoenergiaa ovat esimerkiksi liikkuvan veden ja tuulen energia, fossiilisten polttoaineiden energia, maalämpö, energiakasvien kuten esimerkiksi rapsin, pajun, palmun ja sokeriruohon energia, aaltoenergia, lämpöpumppujen ilmasta tai vedestä ottama energia ja aurinkotornien käyttämä energia.

b) Ydinenergia ja geoterminen energia eivät ole peräisin Auringosta.

c) Maapallon kaikki energiavarat ovat peräisin ydinenergiasta, sillä ydinvoimaloiden energia on peräisin raskaiden atomiytimien halkeamisista (fissioista), Auringon energia on kevyiden ytimien yhdistymisistä (fuusioista) peräisin ja geoterminen energia on peräisin radioaktiivisuuden liittyvistä ydinreaktioista.

44. Emmin suklaasta saama energia on $E_{\text{suklaa}} = 130 \text{ g} \cdot 2200 \text{ kJ}/100 \text{ g} = 2860 \text{ kJ}$.

Emmin energiankulutus on $250 \text{ kcal}/\text{h} = 250 \cdot 4,1868 \text{ kJ}/\text{h} = 1046,7 \text{ kJ}/\text{h}$.

Suklaasta saatu energia kuluu ajassa $\frac{2860 \text{ kJ}}{1046,7 \text{ kJ}/\text{h}} \approx 2,7 \text{ h}$ (2 h 40 min).

45. $E = 66 \text{ TJ}$, $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Polttoaineen massan pieneneminen vastaa energiaa $E = mc^2$, jossa m on massan muutos:

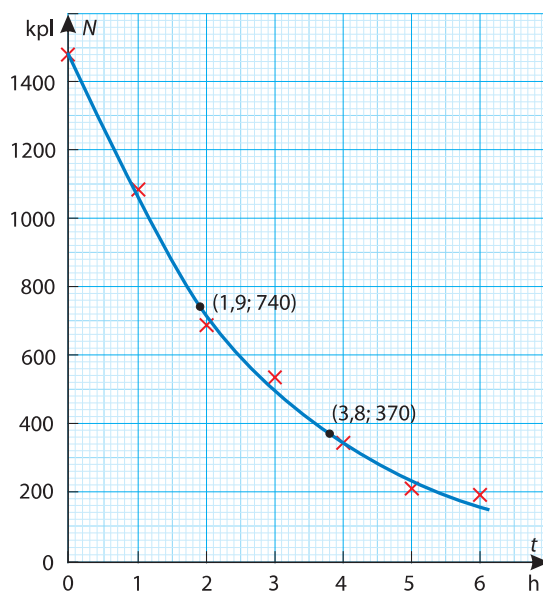
$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{66 \text{ TJ}}{(2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = \frac{66 \cdot 10^{12} \text{ J}}{(2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} \approx 73 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 73 \text{ g}.$$

46. a) Voit havaita valon silmien näkösolujen hermojen avulla. Valon aiheuttama hermoärsytys havaitaan aivoissa. Infrapunasäteily tuntuu ihon pinnalla lämmön tunteena.

b) Esimerkiksi kehossasi, kuten kaikkien ihmisten kehossa, on erilaisia radioaktiivisia isotooppeja. Toiset lähettävät alfasäteilyä ja toiset beetasäteilyä. Samalla syntyy sähkömagneettista gammasäteilyä. Esimerkiksi alfa-, beeta- ja gammasäteily ovat kolme säteilylajia, jotka kohdistuvat sinuun tällä hetkellä.

47. Röntgen- ja gammasäteilyn avulla tehtävät läpivalaisukuvaukset perustuvat säteilyn kykyyn läpäistä erilaisia aineita eri tavalla. Aineet joiden tiheys on suuri, kuten luu, kulta, lyijy ja rauta läpäisevät röntgen- ja gammasäteilyä huonommin kuin aineet joiden tiheys on pieni, kuten ilma, lihakset ja muovit. Raskaista aineista koostuvat kohteet näkyvät läpivalaisukuvissa (negatiivikuvissa) vaaleina ja kevyistä aineista koostuvat kohteet tummina.

48.



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

49. Seuraavassa on mainittu luettelonomaisesti tehtävässä käsiteltäviä asioita. Vastaus on laadittava käyttäen kokonaisia virkkeitä.

a) Ionisoivaksi säteilyksi kutsutaan säteilyä, joka törmätessään aineeseen pystyy irrottamaan elektroneja atomien elektronikuorilta eli atomit ionisoituvat.

– atomiytimien lähettämä α - ja β -hiukkassäteily sekä lyhytaaltainen sähkömagneettinen γ -säteily

– atomin elektroniverhon lähettämä lyhytaaltainen sähkömagneettinen röntgensäteily

b) Vastauksessa on käsiteltävä kolmea kohtaa seuraavista:

Sisäilman radon ($^{222}_{86}\text{Rn}$)

– syntyy uraanin hajoamisketjussa

– kaasu, puoliintumisaika 3,825 d, joten ehtii siirtyä maaperästä ilmakehään ja huonelimaan

– α -aktiivinen ja siksi vaarallinen hengitettynä, lisää keuhkosityövän riskiä suurina pitoisuuksina

– on monin paikoin otettava huomioon rakennusten ja porakaivojen suunnittelussa.

Lääketieteellinen käyttö (tutkimuksissa (eli diagnostiikassa) ja hoidossa)

– röntgensäteily ja γ -säteily läpivalaisukuvauksissa ja sädehoidossa (syöpä)

– radioisotooppien käyttö sisäisenä lähteenä tutkimuksissa (verisuonten tukkeumat)

– radioisotooppien käyttö sisäisenä lähteenä sädehoidossa (syöpäsolujen tuhoaminen)

Ulkoisen säteily maaperästä

– radioaktiivisten aineet maaperässä (luonnon pitkäikäiset isotoopit)

– maaperästä tuleva γ -säteily ja säteilyn lähteet, esim. uraani, torium, radon

– kiviperäisten aineiden käyttö rakennusmateriaaleina ja tästä aiheutuva säteily sisätiloissa

Ulkoisen säteily avaruudesta

– kosminen säteily Auringosta eli aurinkotuuli (esim. protonit ja elektronit)

– kosminen säteily ulkoavaruudesta (enimmäkseen suurenergistä hiukkassäteilyä)

– kosmisen säteilyn aiheuttama ionisoiva säteily ilmakehässä

Luonnon radioaktiiviset aineet kehossa

– uraanisarjan monet radioaktiiviset isotoopit veteen liuenneina, esim. uraani, radon, torium

– kalium-40 ja hiili-14 ravinnon mukana

Tšernobyl

– erityisesti petokaloissa ja sienissä (ruuan mukana ihmiseen) on edelleen laskeuman mukana tullutta isotooppia Cs-137, muita isotooppeja ei ole luonnossa enää merkittäviä määriä

50. a) Oikein. Maaperässä on lukuisia radioaktiivisia isotooppeja joita syntyy pitkäikäisten ytimien esimerkiksi uraanin isotoopin $^{238}_{92}\text{U}$ hajotessa. Myös syntyneet uudet ytimet ovat radioaktiivisia, syntyy hajoamisketju, jossa on useita alkuaineita. Avaruudesta tuleva korkeaenerginen säteily on ionisoivaa, ja se myös synnyttää välillisesti ilmakehässä ionisoivaa säteilyä, esimerkiksi radioaktiivista $^{14}_6\text{C}$ -isotooppia syntyy koko ajan.

b) Oikein. Röntgenkuvia otettaessa pienennetään potilaan saamaa turhaa säteilyannosta suojaamalla kuvattavan alueen ulkopuoliset osat ja erityisesti säteilylle herkät elimet. Raskaat aineet, kuten lyijy on tehokas suoja röntgensäteilyä vastaan. Säteily absorboituu lyijyyn.

c) Väärin. Alfahiukkaset ovat hyvin voimakkaasti ionisoivia, ja siksi ne menettävät nopeasti energiansa vuorovaikuttaessaan atomien ja molekyylien elektronien kanssa. Alfahiukkaset etenevät ilmassa vain senttimetrejä. Alfahiukkanen on helium-atomien ydin, joka ottaa elektroniverhoonsa kaksi elektronia muuttuen samalla helium-atomiksi. Tuuli ei ehdi kuljettaa alfahiukkasia tämän prosessin aikana.