

25% TUTALAISISTA MAFYLTA

25 % kaikista vuonna 2013 tuotantotaloudelle päässeistä oli MAFY-valmennuksen kurssilla. Edellisenä vuonna vastaava luku oli 23 %.

Lääkiskurssi

- 5-8 täysimittaista harjoituspääsykoetta oikeassa koosalissa. Kotona voit tehdä lisää kokeita, yhteensä 18 kpl!
- Yksilöllinen opetus mahdollistaa etenemisen omassa tahdissa. Kaikissa ryhmissä on korkeintaan 15 oppilasta yhtä opettajaa kohden.
- Voit aloittaa **1.10.**, **3.11.**, **7.1.**, **16.2.** tai **30.3.** Opetusajaksi voi yleensä valita joko 9.30-12.30 tai 13-16 tai 17-20.

DI-pääsykoekurssi

- Voit harjoitella matematiikkaa, fysiikkaa ja kemiaa pääsykoetta varten.
- 10 täysimittaista harjoituspääsykoetta ja pitkällä kurssilla lisäksi 6 yo-koetta
- Pitkä kurssi **16.2.-22.5.** ja kevätkurssi **30.3.-22.5.**

Fysiikka, kevät 2015

Mallivastaukset, 11.3.2015

Mallivastausten laatimisesta ovat vastanneet filosofian maisteri Teemu Kekkonen ja diplomi-insinööri Antti Suominen. Antti ja Teemu ovat perustaneet MAFY-valmennuksen, jota ennen Teemu opetti 5 vuotta lukiossa ja Antti toimi tuntiopettajana TKK:lla. Nykyään he opettavat MAFY:n kursseilla ympäri vuoden ja Antti vastaa Mafynetti-ohjelman kehityksestä. Muut mallivastaustiimin jäsenet ovat Sakke Suomalainen, Matti Virolainen ja Viljami Suominen. Nämä mallivastaukset ovat Antti Suominen Oy:n omaisuutta.

MAFY-valmennus on Helsingissä toimiva, valmennuskursseihin sekä matematiikan ja luonnontieteiden opetukseen erikoistunut yritys. Palveluitamme ovat

- lääketieteellisen valmennuskurssit
- DI-valmennuskurssit
- yo-kokeisiin valmentavat kurssit
- Mafynetti - sähköinen oppimateriaali.

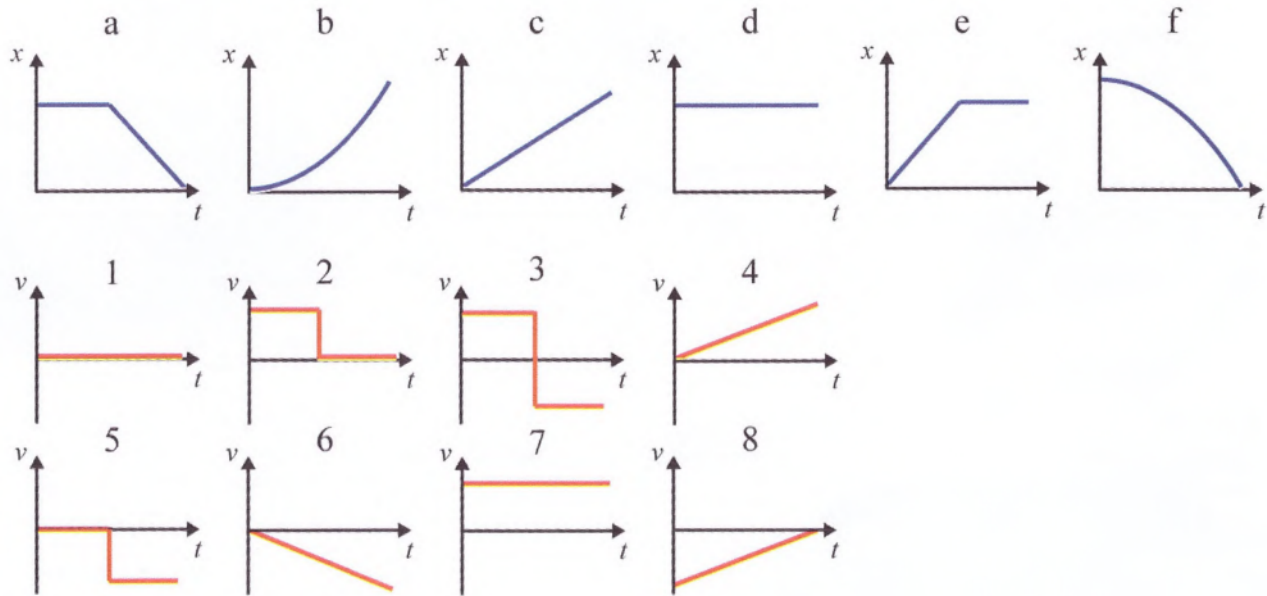
Julkaisemme internet-sivuillamme kaiken palautteen, jonka asiakkaat antavat kurseistamme. Näin varmistamme, että palveluistamme kiinnostuneilla ihmisillä on mahdollisuus saada tarkka ja rehellinen kuva siitä, mitä meiltä voi odottaa.

Tämä asiakirja on tarkoitettu yksityishenkilöille opiskelukäyttöön. Kopion tästä asiakirjasta voi ladata MAFY-valmennuksen internet-sivuilta www.mafyvalmennus.fi. Käyttö kaikissa kaupallisissa tarkoituksissa on kielletty. Lukion fysiikan opettajana voit käyttää tätä tehtäväpakettia oppimateriaalina lukiokursseilla.

MAFY-valmennuksen yhteystiedot:

internet: www.mafyvalmennus.fi
s-posti: info@mafyvalmennus.fi
puhelin: (09) 3540 1373

1. Kuvissa a–f on eräiden kappaleiden paikan x kuvaajat ajan funktiona. Jokaista paikan kuvaajaa vastaa yksi nopeuden v kuvaaja ajan funktiona. Etsi kutakin paikan kuvaajaa vastaava nopeuden kuvaaja vaihtoehdoista 1–8. Anna vastauksena 6 kirjain-numero-paria.



Ratkaisu:

$$a \leftrightarrow 5$$

$$b \leftrightarrow 4$$

$$c \leftrightarrow 7$$

$$d \leftrightarrow 1$$

$$e \leftrightarrow 2$$

$$f \leftrightarrow 6$$

1p / oikea pari

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa.

- a) Kappale pysyy aluksi paikallaan, joten nopeuden täytyy olla aluksi nolla. Tämän jälkeen kappale liikkuu negatiiviseen suuntaan tasaisella nopeudella, joten nopeuden tulee tällöin olla negatiivinen vakio. Ainoa sopiva nopeuden kuvaaja on 5.
- b) Kappale liikkuu kiihtyvällä nopeudella positiiviseen suuntaan. Tähän sopii ai-noastaan nopeuden kuvaaja 4.
- c) Kappale liikkuu tasaisella nopeudella positiiviseen suuntaan. Tähän sopii ai-noastaan nopeuden kuvaaja 7.

- d) Kappale pysyy paikallaan, joten nopeuden tulee olla nolla. Tähän sopii ainoastaan nopeuden kuvaaja 1.
- e) Kappale liikkuu ensin tasaisella nopeudella positiiviseen suuntaan ja tämän jälkeen pysyy paikallaan. Nopeuden tulee siis ensin olla positiivinen ja sitten nolla. Tähän sopii ainoastaan nopeuden kuvaaja 2.
- f) Kappale liikkuu kiihtyvällä nopeudella negatiiviseen suuntaan. Tähän sopii ainoastaan kuvaaja 6.

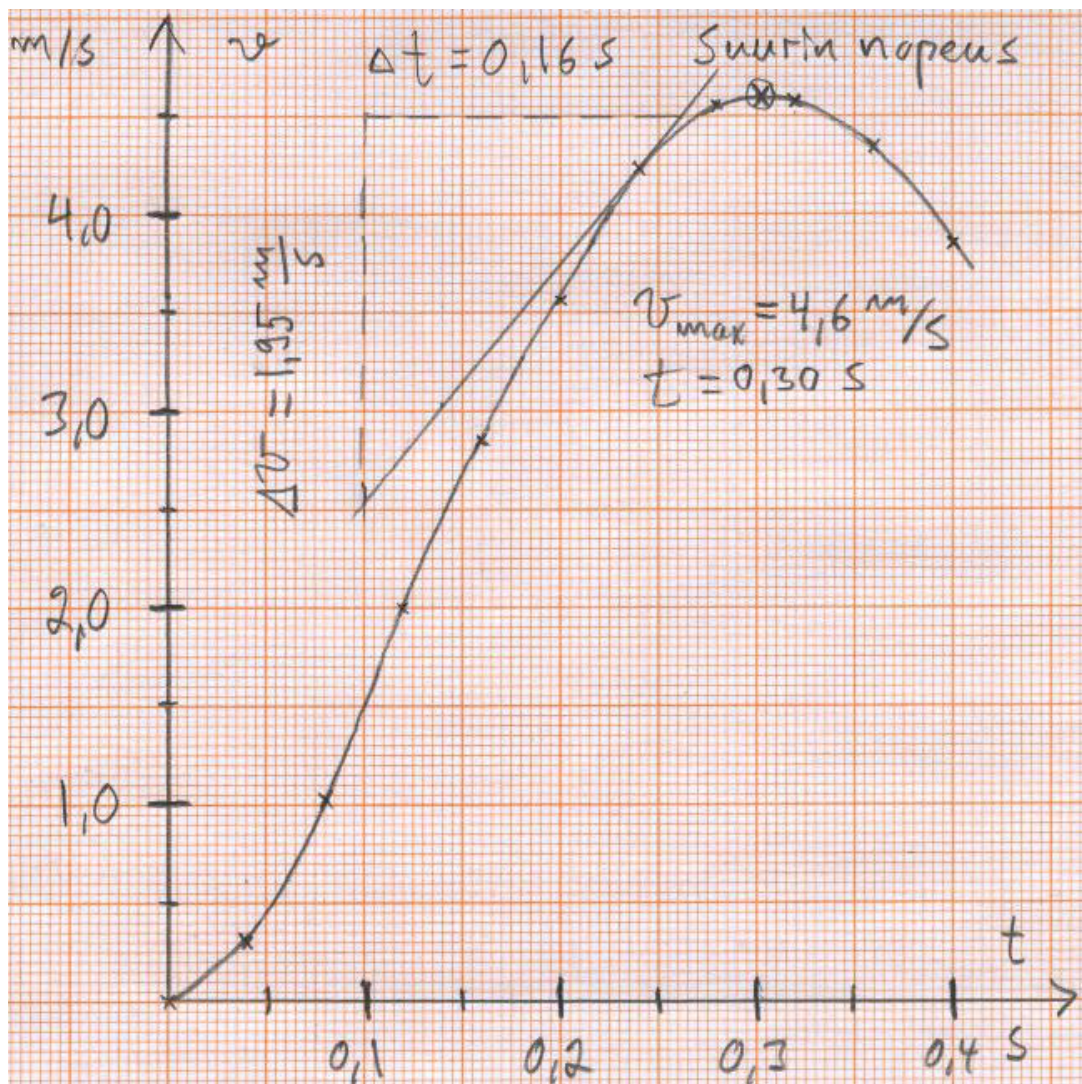
2. Härkäsammakoille (*Rana catesbeiana*) pidetään hyppykilpailuja, joissa parhaat yksilöt hyppäävät yli kaksi metriä pitkiä loikkia. Biologit videoivat tuhansia kilpailuhyppyjä. Taulukko esittää erään härkäsammakon ratanopeuden sammakon ponnistaessa.

t (s)	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40
v (m/s)	0,00	0,31	1,02	1,99	2,85	3,57	4,22	4,56	4,57	4,35	3,86

- Piirrä sammakon ratanopeuden kuvaaja ajan funktiona. (3 p.)
- Merkitse ratanopeuden kuvaajalle piste, jossa sammakon ratanopeus on suurin. (2 p.)
- Määritä ratanopeuden kuvaajasta sammakon kiihtyvyys hetkellä 0,24 s. (1 p.)

Ratkaisu.

a)



3p

- Piste on merkitty kuvaajalle pienellä ympyrällä, jonka keskellä on rasti. 1p (4p)

c) Hetkellinen kiihtyvyys on yhtäsuuri kuin (t, v) -kuvaajalle piirretyn tangentin fysikaalinen kulmakerroin. Hetkellä $t = 0,24 \text{ s}$ kiihtyvyys on

1p (5p)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1,95 \text{ m/s}}{0,16 \text{ s}} = 12,1875 \text{ m/s}^2 \approx 12 \text{ m/s}^2$$

Vastaus: Sammakon kiihtyvyys hetkellä 0,24 s on 12 m/s². 1p (6p)

3. a) Makuupussien lämmöneristävyyttä testattiin seuraamalla arkkupakastimessa olevan makuupussin sisälämpötilaa. Pussin sisään laitettiin keveissä muoviasioissa 45,0 litraa vettä. Veden lämpötila oli aluksi $37,0^{\circ}\text{C}$, ja pakastimen lämpötila oli kokeen ajan $-10,0^{\circ}\text{C}$. Tasan tunnin kuluttua veden lämpötila oli $35,8^{\circ}\text{C}$. Kuinka paljon energiaa vesi oli menettänyt?
- b) Oletetaan, että a-kohdassa lämpöä siirtyi vakionopeudella makuupussista ympäristöön. Kuinka suurella teholla vettä pitäisi lämmittää, että vesi pysyisi $37,0^{\circ}\text{C}$:n lämpöisenä makuupussin sisällä?
- c) Makuupussien rakenteellisia eroja tutkittiin ottamalla ulkona pakkasessa olevista makuupusseista lämpökamerakuvia. Makuupussin sisällä oli koehenkilö. Miksi vetoketju on lämpimin kohta makuupussin pinnalla?

Ratkaisu.

$$V = 45,0 \text{ l}$$

$$T_0 = 37,0^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 35,8^{\circ}\text{C}$$

$$c_v = 4,1819 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s.}$$

- a) Veden tiheys on

$$\rho_v = 998,2 \text{ kg/m}^3 = 0,9982 \text{ kg/l.}$$

Makuupussissa oleva vesi jäähtyy ja luovuttaa lämpöä.

$$\begin{aligned} Q &= c_v m_v \Delta T \quad || m_v = \rho_v V \\ &= c_v \rho_v V \Delta T \quad || \Delta T = (T_0 - T_1) \\ &= c_v \rho_v V (T_0 - T_1) \\ &= 4,1819 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,9982 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 45 \text{ l} \cdot (37,0^{\circ}\text{C} - 35,8^{\circ}\text{C}) \\ &= 225,4151 \dots \text{ kJ} \\ &\approx 225 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Vastaus: Vesi on menettänyt 225 kJ energiaa. 2p

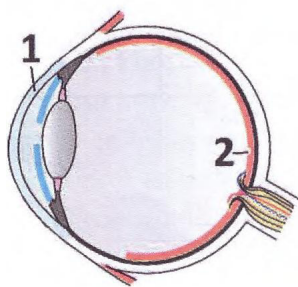
- b) Lämpöä siirtyi vakionopeudella, eli lämmönsiirtymisteho P oli vakio.

$$\begin{aligned} P &= \frac{Q}{\Delta t} \\ &= \frac{225,416 \dots \text{ kJ}}{3600 \text{ s}} \\ &= 62,61558 \dots \text{ W} \\ &\approx 62,6 \text{ W} \end{aligned}$$

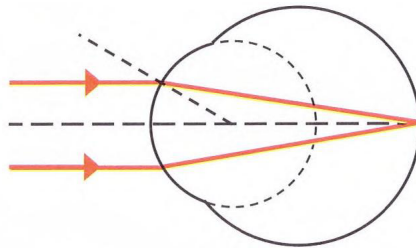
Vastaus: Jotta lämpötila pysyisi vakiona, vettä pitäisi lämmittää samansuuruisella teholla, eli teholla 62,6 W. 2p (4p)

- c) Lämmön johtumisteho väliaineen läpi on verrannollinen väliaineen lämmönjohtavuuteen sekä kääntäen verrannollinen väliaineen paksuuteen. Vetoketjun kohdalla ei ole eristävää paksua ilmakerrosta, joten siinä väliaineen paksuus on pienempi kuin muissa kohdissa makuupussia. Lisäksi vetoketju on valmistettu yleensä metallista tai muovista, jonka lämmönjohtavuus on suurempi kuin ilman. Näin ollen makuupussista johtuu vetoketjun kohdalta aikayksikköä kohden eniten lämpöä, joten ilma lämpenee siinä enemmän kuin muualla makuupussin pinnalla. 1p (6p)

4. a) Kuvassa A on esitetty ihmisen silmän rakenne. Uloimpana silmässä on sarveiskalvo (numero 1), jonka taitekerroin on 1,38. Se toimii tarkan näkemisen kannalta tärkeimpänä taittavana pintana. Sarveiskalvon pinta on pallopinta. Ihminen katselee kaukana olevaa esinettä. Esineestä tulevat valonsäteet taittuvat sarveiskalvon pinnassa kuvan B mukaisesti, kun esine ja silmänpinta ovat ilmassa. Tarkka kuva muodostuu, kun säteet leikkaavat tarkan näkemisen alueella (numero 2). Miksi ihminen ei pysty veden pinnan alla näkemään kaukaisia esineitä tarkasti? Miksi se on mahdollista uimalasien avulla (kuva C)? Piirrä kuva molemmista tapauksista. (4 p.)
- b) Henkilön sanotaan olevan likinäköinen, jos hän ei näe kauas tarkasti. Tämä taittovirhe saadaan korjattua käyttämällä silmälaseja, joissa on kovera linssi. Eräällä uudenaikaisella leikkausmenetelmällä voidaan korja silmän taittovirheitä siten, että sarveiskalvon kaarevuutta muutetaan laserilla. Tuleeko sarveiskalvon kaarevuussädetä kasvattaa vai pienentää, jos likinäköiselle henkilölle tehdään sarveiskalvoa muokkaava leikkaus? (2 p.)



Kuva A.
Silmän rakenne
<<https://peda.net/id/Ndm2RN>>.
Luettu 20.1.2014. (muokattu)



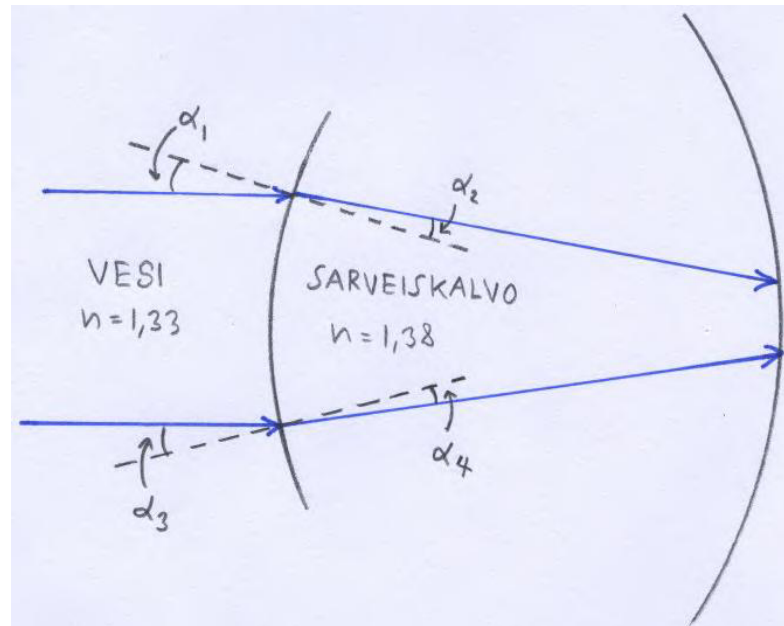
Kuva B.
Valonsäteet taittuvat sarveiskalvon ja ilman rajapinnalla, kun ihminen katsoo kaukaista esinettä.



Kuva C.
<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Tauchen1.jpg>>.
Luettu 20.1.2014.

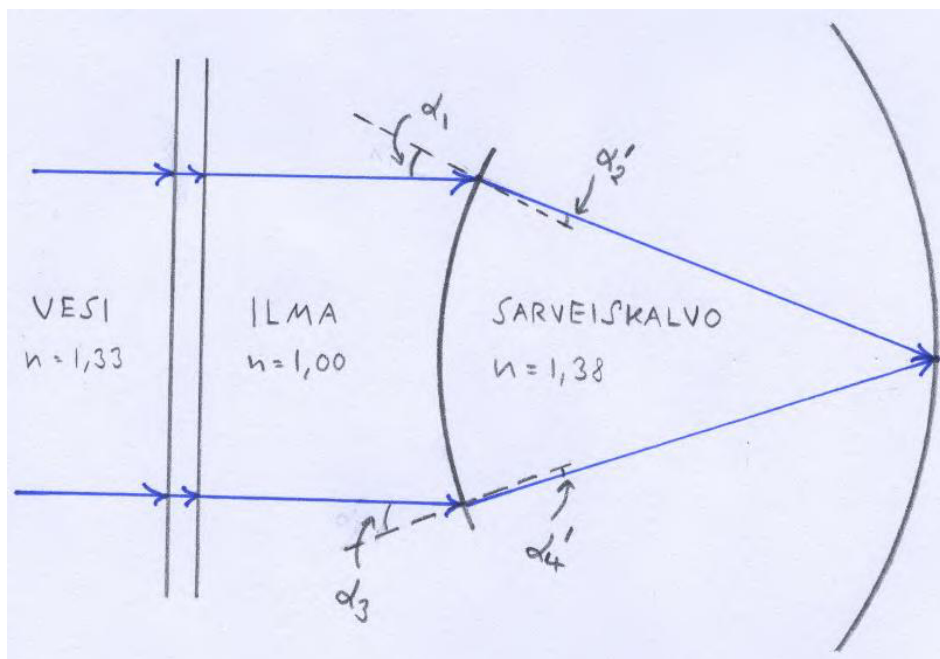
Ratkaisu.

- a) Kun katsellaan kaukana olevaa esinettä, siitä tulevat valonsäteet osuvat sarveiskalvolle likimain yhdensuuntaisina ja sarveiskalvon pääakselin suuntaisesti. Ilman taitekerroin on noin 1,00 ja veden taitekerroin on noin 1,33. Näin ollen valo taittuu vähemmän veden ja sarveiskalvon rajapinnassa kuin ilman ja sarveiskalvon rajapinnassa.



kuva 1p

Vedestä tullessa taitekulmat α_2 ja α_4 ovat suuremmat kuin ilmasta tullessa ja silmä kykenee säätelemään taittokykyyään rajoitetusti. Tästä syystä vedestä tullessaan valonsäteet eivät taitu tarpeeksi ja näin eivät kohtaa tarkan näön alueella. 1p (2p)

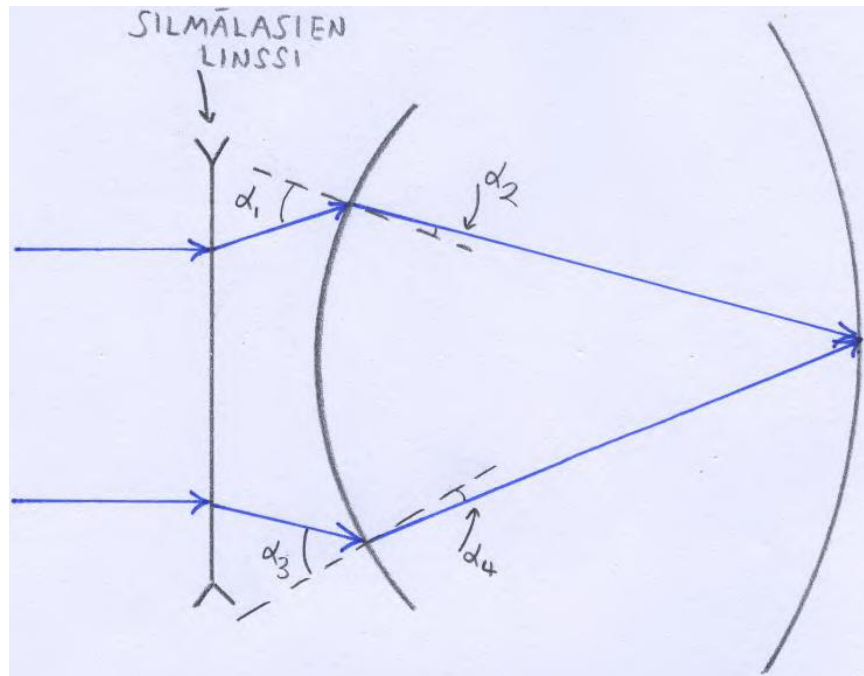


kuva 1p (3p)

Kaukana olevasta kappaleesta tulevat valonsäteet tulevat likimain kohtisuorasti uimalasien pintaan, eli ne eivät juuri muuta siinä suuntaa. Uimalasien ja silmän välissä on ilmaa, joten osuessaan sarveiskalvolle ne taittuvat enemmän kuin ilman uimalaseja. Kuvaan merkityt taitekulmat α'_2 ja α'_4 ovat siis pienemmät kuin taitekulmat α_2 ja α_4 vedestä tullessa samoilla tulokulmilla α_1 ja α_3 . Silmän taittovoimakkuuden riittää olla sama kuin tarkentaessa kauas ilmassa. Tähän silmä pystyy, joten kaukana olevien esineiden näkeminen tarkasti

onnistuu uimalasien avulla. 1p (4p)

- b) Likinäköisen silmän näkö korjataan silmälaseilla, joissa on koverat linssit. Päättelään tästä, taittaako silmä valoa liikaa vai liian vähän. Tiedetään, että kovera linssi hajottaa valonsäteet.



Kuvasta nähdään, että silmälasien kovera linssi sekä suurentaa tulokulmaa sarveiskalvolle että myös taittaa valonsäteet hieman kauemmaksi sarveiskalvon pääakselilta. Koska tulokulmat ovat suuremmat, myös taitekulmat α_2 ja α_4 ovat suuremmat. Näin ollen kuvasta nähdään, että valonsäteiden leikkauspiste on silmälasien kanssa kauempana sarveiskalvosta kuin ilman silmälaseja. Koska silmälasien kanssa nähdään tarkka kuva, likinäköinen silmä siis taittaa valonsäteitä liikaa. 1p (5p)

Koska kaarevampi pinta taittaa valoa enemmän, sarveiskalvon kaarevuutta halutaan vähentää, eli sen kaarevuussädettä halutaan kasvattaa. 1p (6p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa: Todellisuudessa valo taittuu silmässä useammasta pinnasta, mutta tehtävänannon kuva B antaa ymmärtää, että taittumisen ajatellaan tapahtuvan ainoastaan sarveiskalvon ulkopinnasta.

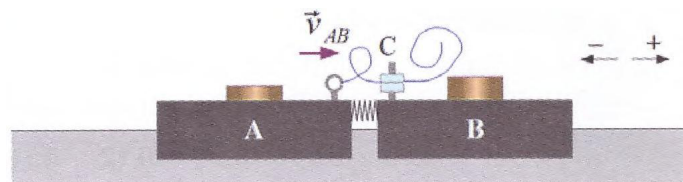
5. Kuvat esittävät kahta kitkattomalla vaakasuoralla ilmatyynyradalla liukuvaa vaunua. Aluksi vaunut liikkuvat yhdessä samalla nopeudella v_{AB} kuvan 1 mukaisesti. Vaunujen välissä on kokoon puristettu jousi. Vaunuun A on kiinnitetty lanka, joka on aluksi löysänä.

Kun jousi laukaistaan, se työntää vaunut irti toisistaan, ja lanka kiristyy. Tällöin lanka liikkuu vaunussa B olevan kitkajarrun C läpi ja alkaa jarruttaa vaunujen liikettä toistensa suhteen (kuva 2).

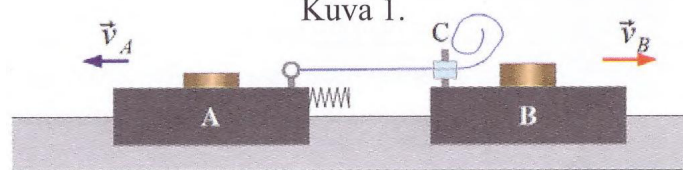
Vaunujen nopeuksia mitataan vasta kun lanka on kiristynyt ja liikkuu kitkajarrun C läpi. Nopeudet on esitetty kuvassa 3.

Vaunujen liikkeeseen vaikuttaa vain langan ja kitkajarrun välinen vuorovaikutus. Vaunun A massa on 222 g, vaunun B massaa ei tunneta.

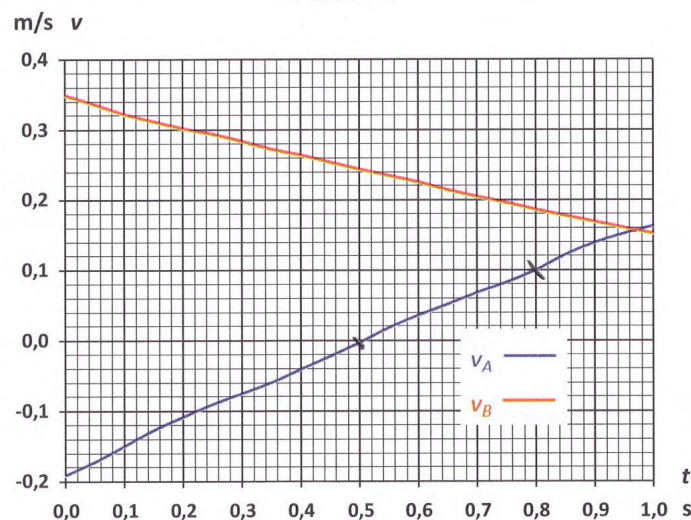
- Kuinka suurella kitkavoimalla kitkajarru vaikuttaa lankaan?
- Kuinka suuri on vaunun B massa?
- Kuinka suuri oli vaunujen yhteinen nopeus v_{AB} ennen jousen laukaisua?



Kuva 1.



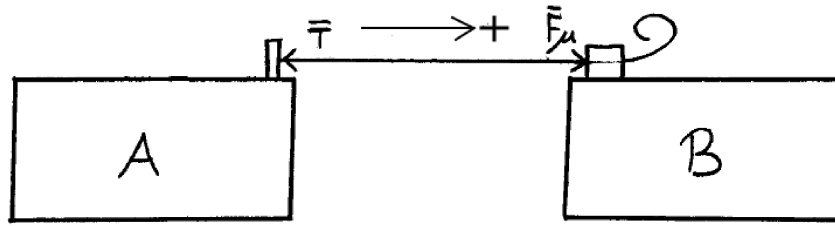
Kuva 2.



Kuva 3.

Ratkaisu.

- Lankaan vaikuttaa vaunun A siihen kohdistama jännitysvoima $\overline{T}$ sekä kitkajarrun siihen kohdistama voima $\overline{F}_\mu$.



Langan massa on mitätön, joten Newtonin toisen lain nojalla saadaan

$$\begin{aligned}\bar{F}_\mu + \bar{T} &= m_{\text{lanka}} \bar{a}_{\text{lanka}} \\ F_\mu - T &= \underbrace{m_{\text{lanka}}}_{\approx 0} a_{\text{lanka}} = 0 \\ T &= F_\mu\end{aligned}\quad (1)$$

Toisaalta Newtonin kolmannen lain nojalla lankaan vaikuttava jännitysvoima T on yhtäsuuri kuin langan vaunuun A kohdistama voima, joten

$$T = m_A a_A. \quad (2)$$

Yhtälöistä (1) ja (2) saadaan lankaan kohdistuvan kitkavoiman suuruudeksi

$$F_\mu = m_A a_A. \quad 1\text{p}$$

Lasketaan kitkavoima. Vaunun A kiihtyvyys saadaan sovittamalla vaunun A nopeuden kuvaajaan suora ja laskemalla kulmakertoimesta keskikiihtyvyyden.

$$\begin{aligned}F_\mu &= m_A a_A \\ &= m_A \frac{\Delta v_A}{\Delta t} \\ &= 0,222 \text{ kg} \cdot \frac{0,173 \text{ m/s} - (-0,182 \text{ m/s})}{1,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} \\ &= 0,07881 \text{ N} \\ &\approx 79 \text{ mN}. \quad 1\text{p (2p)}\end{aligned}$$

- b) Newtonin kolmannen lain nojalla vaunuun B vaikuttaa saman suuruinen, mutta vastakkaisuuntainen kitkavoima kuin lankaan. Newtonin toisen lain nojalla

$$\begin{aligned}-F_\mu &= m_B a_B \quad || : a_B \\ m_B &= \frac{-F_\mu}{a_B} \quad 1\text{p (3p)}\end{aligned}$$

Sovitetaan vaunun B nopeuden kuvaajaan suora ja selvitetään keskikiikhtyvyys kulmakertoimesta.

$$\begin{aligned}
 m_B &= \frac{-F_\mu}{\left(\frac{\Delta v_B}{\Delta t}\right)} \\
 &= \frac{-0,07881 \dots \text{ N}}{\left(\frac{0,2 \text{ m/s} - 0,3 \text{ m/s}}{0,72 \text{ s} - 0,20 \text{ s}}\right)} \\
 &= 0,4097 \dots \text{ kg} \\
 &\approx 410 \text{ g.} \quad \text{1p (4p)}
 \end{aligned}$$

- c) Vaunujen ja langan muodostaman systeemin liikemäärä säilyy koko mittauksen ajan, koska siihen ei vaikuta ulkoisia voimia. Täten vaunujen yhteinen liikemäärä ennen jousen laukaisua on sama kuin vaunujen liikemäärien summa millä hyvänsä mittaushetkellä.

$$(m_A + m_B)v_{AB} = m_A v_A + m_B v_B. \quad (3)$$

Luetaan vaunujen A ja B nopeus yksinkertaisuuden vuoksi hetkellä $t = 0,97 \text{ s}$; nopeudet ovat silloin samat, joten epätarkka vaunun B massa supistuu pois laskelmasta. $v(0,97 \text{ s}) = 0,157 \text{ m/s}$. Näin ollen yhtälöstä (3) saadaan

$$\begin{aligned}
 (m_A + m_B)v_{AB} &= m_A v + m_B v \\
 &= (m_A + m_B)v \quad \parallel : (m_A + m_B) \\
 v_{AB} &= v \\
 &= 0,157 \text{ m/s} \\
 &\approx 0,16 \text{ m/s.} \quad \text{1p (6p)}
 \end{aligned}$$

Vastaus: Kitkajarru vaikuttaa lankaan 79 mN suuruisella kitkavoimalla,
vaunun B massa on 410 g ja vaunujen yhteinen nopeus
ennen jousen laukaisua oli 0,16 m/s.

6. Oletetaan maapallo homogeeniseksi palloksi, joka kiertää Aurinkoa ympyräradalla.
- Kuinka suuri on maapallon liike-energia rataliikkeessä Auringon ympäri? Kuinka suuri on maapallon pyörimisenergia oman aselinsa ympäri?
 - Laske maapallon mekaaninen energia ympyräradallaan.

Ratkaisu.

$$\text{Maan massa } m = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Maan säde } R = 6378,14 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Auringon massa } M = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

- a) **Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa: Tarkastellaan liikettä Auringon suhteen.** Maa on ympyräliikkeessä radalla, jonka säde on $r = 149,598 \cdot 10^9 \text{ m}$. Pyörähdysaika on

$$T = 365,25 \text{ d} = 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 365,25 \text{ s}.$$

Lasketaan Maan liike-energia r -säteisellä ympyräradalla.

$$E_{\text{tr}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad \| v = \omega r$$

$$E_{\text{tr}} = \frac{1}{2}m(\omega r)^2 \quad \| \omega = 2\pi/T$$

$$E_{\text{tr}} = \frac{1}{2}m \left(\frac{2\pi r}{T} \right)^2 \quad \text{1p}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{tr}} &= \frac{1}{2} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot 149,598 \cdot 10^9 \text{ m}}{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 365,25 \text{ s}} \right)^2 \\ &= 2,64994 \dots \cdot 10^{33} \text{ J} \\ &\approx 2,650 \cdot 10^{33} \text{ J}. \quad \text{1p (2p)} \end{aligned}$$

Lasketaan Maan pyörimisenergia pyörimisliikkeessä akselinsa ympäri.

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}J\omega^2 \quad \| \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}J \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad \| J = \frac{2}{5}mR^2$$

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mR^2 \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

$$\begin{aligned} E_{\text{rot}} &= \frac{1}{5} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot (6378,14 \cdot 10^3 \text{ m})^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} \right)^2 \\ &= 2,57048 \dots \cdot 10^{29} \text{ J} \\ &\approx 2,570 \cdot 10^{29} \text{ J} \end{aligned}$$

Vastaus: Liike-energia rataliikkeessä on $2,739 \cdot 10^{33}$ J.

Pyörimisenergia oman akselin ympäri on $2,570 \cdot 10^{29}$ J. 1p (3p)

- b) Lasketaan Maapallon potentiaalienergia, kun oletetaan, että Maapalloon vaikuttaa ainoastaan Auringon painovoima ja että potentiaalin nollassa on tavalliseen tapaan sovittu äärettömän kauas.

$$\begin{aligned} E_{\text{pot}} &= -\gamma \frac{mM_{\text{Aurinko}}}{r} \\ &= -6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \frac{5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{149,598 \cdot 10^9 \text{ m}} \\ &= -5,3883 \dots \cdot 10^{33} \text{ J.} \quad 1\text{p (4p)} \end{aligned}$$

Maapallon mekaaninen energia ympyräradallaan on

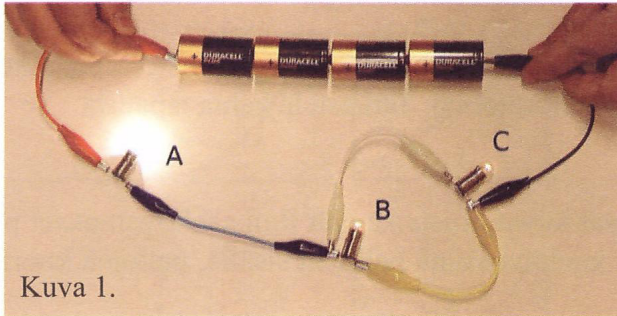
$$\begin{aligned} E &= E_{\text{tr}} + E_{\text{rot}} + E_{\text{pot}} \quad 1\text{p (5p)} \\ &= 2,64994 \dots \cdot 10^{33} \text{ J} + 2,57048 \dots \cdot 10^{29} \text{ J} - 5,3883 \dots \cdot 10^{33} \text{ J} \\ &= -2,7381 \dots \cdot 10^{33} \text{ J} \\ &\approx -2,738 \cdot 10^{33} \text{ J} \end{aligned}$$

Vastaus: Mekaaninen energia on $-2,738 \cdot 10^{33}$ J. 1p (6p)

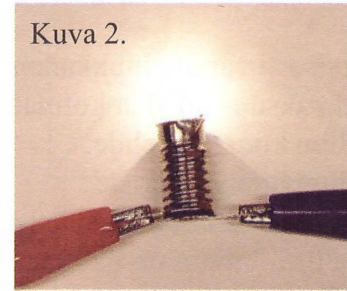
Laskussa käytettiin maapallon ekvaattorisädettä siksi, että maapallon pyörimisakseli on ekvaattoritasoa vastaan kohtisuorassa ja maapallo on likimain sellainen kappale, joka saadaan, kun skaalataan palloa, jonka säde on maapallon ekvaattorisäde, hieman pyörimisakselin suunnassa pienemmäksi. Pyörimisakselin suunnassa skaalaaminen ei muuta hitausmomenttia, jos massa pysyy samana. Todellisuudessa maapallo ei ole aivan tämän muotoinen, mutta tämä on hyvä arvio.

7. Lamputa, 1,5 V:n paristoista ja johtimista rakennetaan kuvan 1 mukainen kytkentä. Kuvasta 2 näkyy, miten johtimet on kytketty lampun kantaan.

- Piirrä kuvan kytkennästä kytkentäkaavio käyttäen komponenttien symboleja. Merkitse kytkentäkaavioon myös lampujen tunnuskirjaimet A, B ja C. (4 p.)
- Piirrä a-kohdan kytkentäkaavio uudelleen ja lisää samaan kytkentäkaavioon mittarit, joilla mitataan lampun A napajännitettä ja lampun C läpi kulkevaa sähkövirtaa. (2 p.)



Kuva 1.

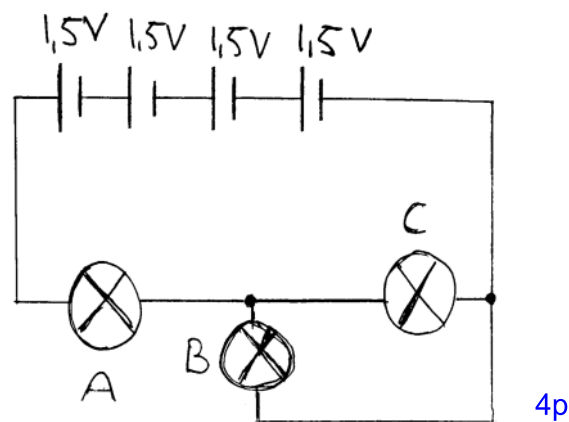


Kuva 2.

Kuvat: YTL

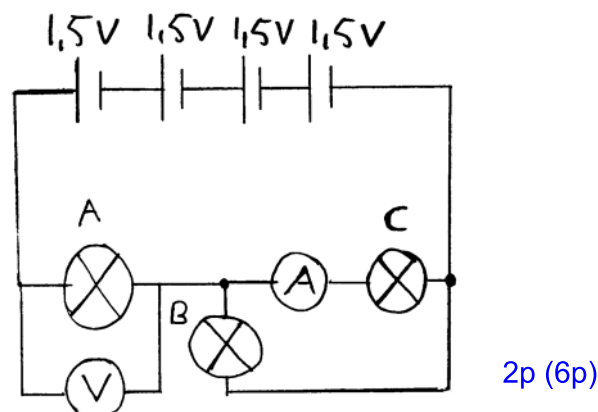
Ratkaisu.

a)



4p

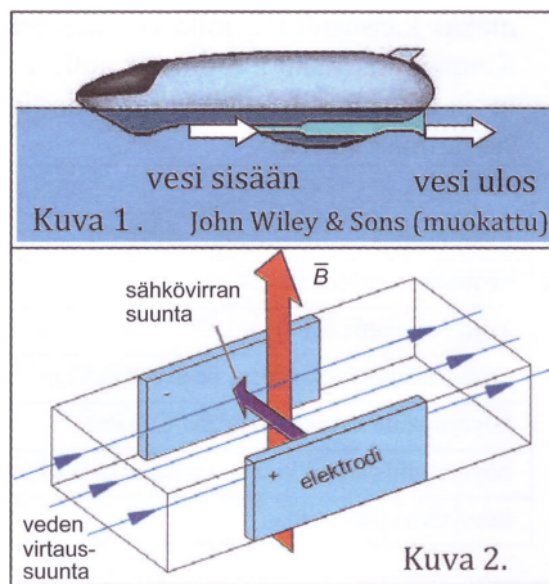
b)



2p (6p)

8. Kuvassa 1 on japanilainen Yamato-prototyypilaiva. Laivan moottori on molemmista päistään avoin metalliputki, jonka läpi merivesi pääsee virtaamaan. Putkessa sijaitsevien elektrodien välillä on jännite, joka synnyttää meriveteen sähkövirran kuvan 2 osoittamaan suuntaan. Vettä kiihdytetään suprajohtavan sähkömagneettin magneettikentän avulla. Tällöin syntyy laivaa eteenpäin työntävä voima. Sähkövirtaa vastaan kohtisuoran magneettikentän magneettivuon tiheys on 15 T.

- Miten elektrodien välille syntyy sähkövirta? (1 p.)
- Miten moottorin työntövoima syntyy? (3 p.)
- Laske moottorin työntövoima, kun elektrodien välinen etäisyys on 0,30 m. Niiden välinen 82 V:n jännite synnyttää sähkövirran, jonka suuruus on 0,70 kA.



Ratkaisu.

- Merivedessä on sekä positiivisia että negatiivisia ioneja. Jännite aiheuttaa sähkökentän elektrodien välille. Sähkökentässä ioneihin kohdistuu sähköinen voima, joka aiheuttaa niiden liikkeen. Positiiviset ionit liikkuvat negatiivisen elektrodin suuntaan ja negatiiviset ionit liikkuvat positiivisen elektrodin suuntaan. Tästä seuraa sähkövirta elektrodien välillä. **1p**

- Magneettikentässä kohtisuorasti kenttäviivoja vastaan liikkuvaan varattuun hiukkaseen kohdistuu magneettinen voima, jonka suuruus on $F = QvB$.

Hiukkaset aiheuttavat sähkövirran $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ja moottorin tilanteessa $v = \frac{l}{\Delta t}$. Näin ollen hiukkasiin kohdistuvan voiman suuruus on yhteensä **1p (2p)**

$$F = \Delta Q \frac{l}{\Delta t} B = \frac{\Delta Q}{\Delta t} l B = I l B,$$

missä I on ionien liikkeestä aiheutuvan virran suuruus, B on magneettikentän magneettivuon tiheys ja l on elektrodien välinen etäisyys. **1p (3p)**

Kuvan (2) tilanteessa sähkövirran ja magneettikentän suunta on sellainen, että voiman suunta on veden virtauksen suuntaan. Tämä voidaan päätellä oikean käden säännöstä. Newtonin III lain mukaisesti varattuihin hiukkasiin kohdistuvalla voimalla on vastavoima, joka työntää laivaa eteenpäin. Laivaa työntävä voima on siis magneettisen voiman suuruinen. 1p (4p)

c)

$$l = 0,30 \text{ m}$$

$$B = 15 \text{ T}$$

$$I = 0,70 \text{ kA} = 0,70 \cdot 10^3 \text{ A}$$

Lasketaan ioneihin kohdistuvan magneettisen voiman suuruus, kun niiden liike aiheuttaa virran I .

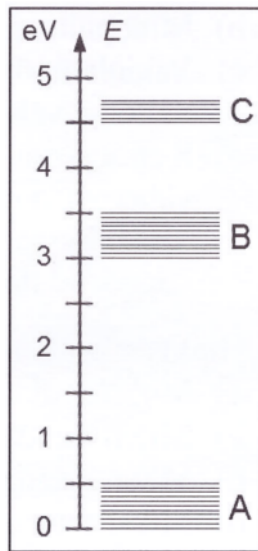
$$\begin{aligned} F &= IlB \\ &= 0,7 \cdot 10^3 \text{ A} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 15 \text{ T} \\ &= 3150 \text{ N} \approx 3,2 \text{ kN} \end{aligned} \quad 1\text{p (5p)}$$

Aiemmin todettiin, että moottorin työntövoima on yhtä suuri kuin laskettu voima.

Vastaus: Moottorin työntövoima on 3,2 kN. 1p (6p)

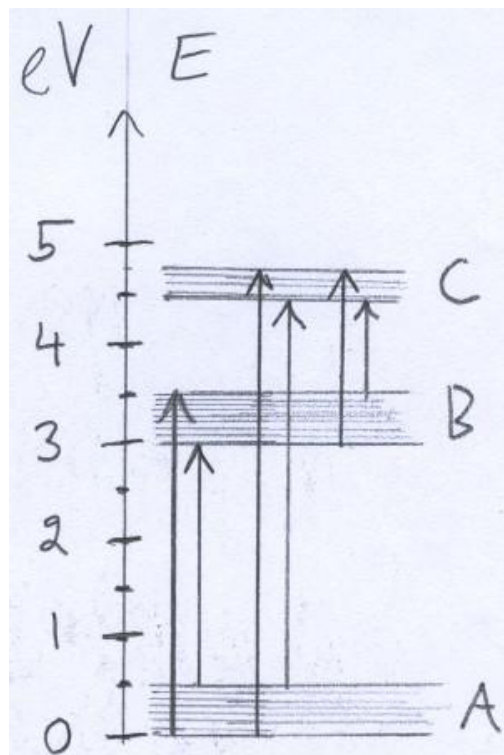
9. Kvartsikiteen rakennepoikkeamien energiatiloja voidaan mallintaa kuvassa esitellyllä tavalla lähekkäisten tilojen ryhminä. Ryhmiä kutsutaan tässä energiavyöhykkeiksi. Vyöhykettä A kutsutaan perustilojen vyöhykkeeksi. Kun kvartsikide ottaa vastaan energiaa, se voi virittyä kaikille kuvassa näkyville energiavyöhykkeille, mutta kun se luovuttaa energiaa, se palautuu aina vyöhykkeelle A.

- Millä aallonpituuksilla kvartsikide absorboi ja emittoi säteilyä? (4 p.)
- Miten energiatilojen ryhmittyminen energiavyöhykkeiksi näkyy kvartsikiteen emittoiman säteilyn spektrissä? (2 p.)



Ratkaisu.

a)



Absorbtion yhteydessä kvartsikide voi virittyä vyöhykkeeltä A vyöhykkeelle B, vyöhykkeeltä A vyöhykkeelle C tai vyöhykkeeltä B vyöhykkeelle C.

Virittyminen $A \rightarrow B$ voi kuitenkin tapahtua miltä tahansa vyöhykkeen A energiatilalta mille tahansa vyöhykkeen B tilalle. Suurin energiaero on A:n alimmalta tilalta B:n ylimmälle tilalle ja pienin ero A:n ylimmältä tilalta B:n alimmalle tilalle. Ääritapaukset on merkitty kuvaan vierekkäisillä nuolilla.

Siirtymää $A \rightarrow B$ vastaava energiatilojen ero on vähintään 2,5 eV (lyhempi nuoli) ja enintään 3,5 eV (pidempi nuoli). Vastaavasti siirtymää $A \rightarrow C$ vastaava energiaero on välillä 4,0 eV – 4,75 eV ja siirtymää $B \rightarrow C$ vastaava energiaero on välillä 1,0 eV – 1,75 eV.

Kun kvartsikide absorboi fotonin, kide virittyy ja fotonin energian täytyy olla täsmälleen sama kuin virittymistä vastaava energiatilojen erotus. Näin ollen $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$, josta $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$. 1p

Lasketaan energiatilojen erotuksia vastaavat aallonpituudet:

$$\begin{aligned} \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,5 \text{ eV}} &= 495,95 \dots \text{ nm} \approx 500 \text{ nm} \\ \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3,5 \text{ eV}} &= 354,24 \dots \text{ nm} \approx 350 \text{ nm} \\ \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,0 \text{ eV}} &= 309,96 \dots \text{ nm} \approx 310 \text{ nm} \\ \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,75 \text{ eV}} &= 261,02 \dots \text{ nm} \approx 260 \text{ nm} \\ \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,0 \text{ eV}} &= 1239,87 \dots \text{ nm} \approx 1240 \text{ nm} \\ \frac{4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,75 \text{ eV}} &= 708,49 \dots \text{ nm} \approx 710 \text{ nm} \end{aligned}$$

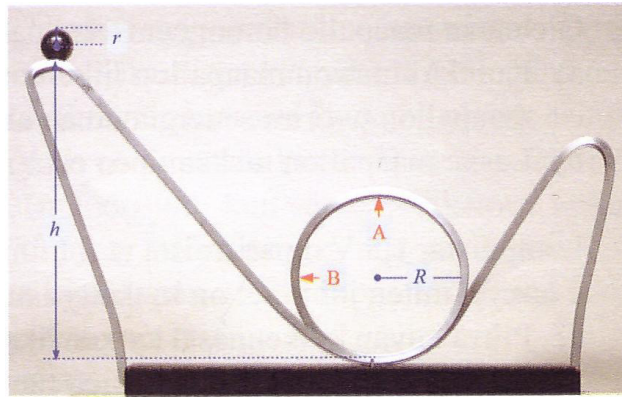
Kvartsikide absorboi säteilyä, jonka aallonpituus on jollakin väleistä 260 nm – 310 nm, 350 nm – 500 nm tai 710 nm – 1240 nm. 1p (2p)

1p (3p) Kun kvartsikide luovuttaa energiaa, se palautuu aina vyöhykkeelle A, joten mahdolliset siirtymät ovat $C \rightarrow A$ tai $B \rightarrow A$. Emittoituvan fotonin aallonpituus on siten jommalla kummalla väleistä 260 nm – 310 nm tai 350 nm – 500 nm. 1p (4p)

- b) Siirtymissä vyöhykkeeltä B perustilojen vyöhykkeelle näkyy useita aallonpituuksia väliltä 350 nm – 500 nm ja vastaavasti siirtymissä vyöhykkeeltä C näkyy useita aallonpituuksia väliltä 260 nm – 310 nm. Spektrin kuvaajassa ei siis näy kapeita piikkejä yksittäisten aallonpituuksien kohdalla vaan edellämaituja vyöhykkeitä vastaavat yhtenäiset leveämmät aallonpituusalueet. 2p (6p)

10. Teräskuula, jonka säde on r ja massa m , lähtee levosta vierimään alaspäin pitkin oheisen kuvan mukaista rataa. Alamäen (korkeus h) jälkeen kuula ohjautuu ympyränmuotoisen (säde R) silmukan sisäpinnalle. Kuula kiertää ”surmansilmukan” irtoamatta radan pinnasta. Kuula vierii liukumatta. Vierintä- ja ilmanvastusta ei huomioida.

- Piirrä voimakuviot kuulaan vaikuttavista voimista kohdissa A ja B. (2 p.)
- Kuinka suuri korkeuseron h on vähintään oltava, että kuula kiertää silmukan irtoamatta radan pinnasta? (4 p.)



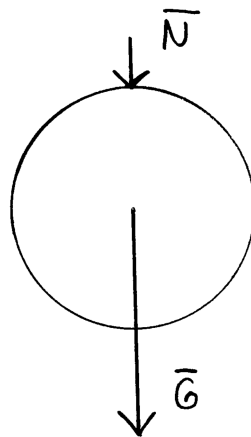
Kuva: YTL

Ratkaisu.

- Kohta A:

$\overline{G}$ on painovoima.

$\overline{N}$ on radan pinnan tukivoima.



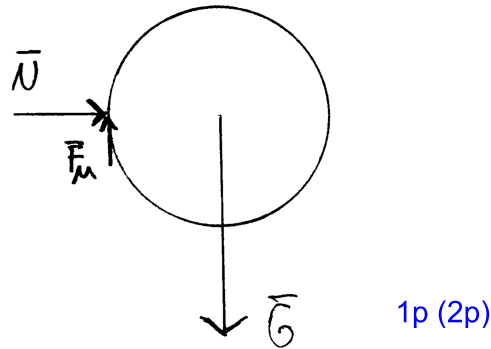
1p

Kohta B:

$\overline{G}$ on painovoima.

$\overline{N}$ on radan pinnan tukivoima.

$\overline{F}_\mu$ on lepokitkavoima.

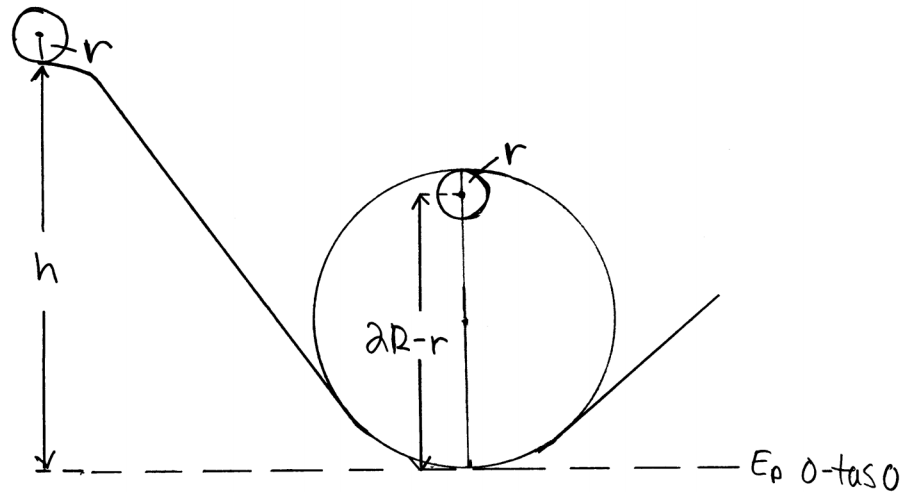


Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa. Kitkavoiman suunnan voi päätellä näin:

Kohdassa B kuula on painovoiman ansiosta kiihtyvässä liikkeessä alaspäin. Koska kuula ei liu'u, vaan se vierii, täytyy myös pyörimisnopeuden kiihtyä. Kuula koskettaa radan pintaa vasemmasta reunastaan. Kosketuskohdassa vaikuttava lepokitkavoima on ainoa voima, joka aiheuttaa momentin kuulan massakeskipisteen suhteen. Momentin suunta täytyy olla myötäpäivään, jotta pyörimisnopeus olisi kiihtyvä ja näin ollen lepokitkavoiman suunta täytyy olla kuten kuvassa.

Kohdassa A painovoima ja tukivoima ovat kohtisuorassa radan suuntaa vastaan, joten ne eivät tässä kohdassa aiheuta kuulaan ratakiihtyvyyttä. Painovoiman ja tukivoiman lisäksi kuulaan ei vaikuta muita voimia kuin mahdollisesti lepokitkavoima. Koska kuula vierii, sen rata- ja pyörimisnopeuden täytyy samanaikaisesti joko kasvaa tai pienetä. Ratanopeus kohdassa A on vasemmalle ja kuula pyörii myötäpäivään. Jos ajatellaan lepokitkavoiman vaikuttavan esim. oikealle, siitä seuraisi, että ratanopeus pienenee, mutta pyörimisnopeus kasvaa. Tämän vuoksi on mahdotonta, että kohdassa A esiintyisi lepokitkavoima oikealle. Sama voidaan päätellä, jos lepokitkavoiman ajatellaan osoittavan vasemmalle.

b)



Lasketaan kuulan nopeuden neliö v^2 kohdassa A. Kuulan mekaaninen energia säilyy, joten

$$E_A = E_L$$

$$E_{PA} = E_{PL} + E_{tr} + E_{rot}$$

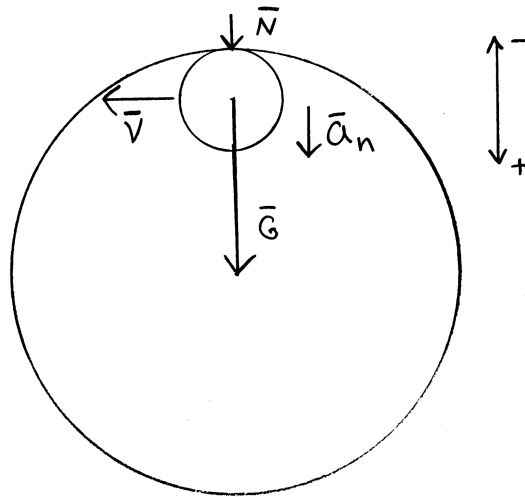
$$mg(h + r) = mg(2R - r) + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2 \quad 1p \text{ (3p)}$$

Sijoitetaan $\omega = \frac{v}{r}$ ja $J = \frac{2}{5}mr^2$.

$$mg(h + r - (2R - r)) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}m \cancel{r^2} \frac{v^2}{\cancel{r^2}} \quad || : m$$

$$g(h - 2(R - r)) = \frac{7}{10}v^2 \quad || \cdot \frac{10}{7}$$

$$v^2 = \frac{10}{7}g(h - 2(R - r)) \quad 1p \text{ (4p)} \quad (1)$$



Kuula kiertää silmukan radasta irtoamatta, jos sen nopeus v on niin suuri, että tukivoima $N > 0$ radan korkeimmassa kohdassa. Kuulan massakeskipisteen radan säde on $R - r$. Tarkastellaan rajatapausta, jossa tukivoima $\bar{N}$ lähestyy nollaa. Newtonin toisen lain nojalla:

$$\bar{N} + \bar{G} = m\bar{a}_n$$

$$N + G = ma_n \quad || N = 0$$

$$G = ma_n \quad || a_n = \frac{v^2}{R - r}, \quad G = mg$$

$$mg = m \frac{v^2}{R - r} \quad || \cdot \frac{R - r}{m}$$

$$(R - r)g = v^2 \quad || \text{Sijoitetaan (1)} \quad 1\text{p (5p)}$$

$$(R - r)g = \frac{10}{7}g(h - 2(R - r)) \quad || : g$$

$$R - r = \frac{10}{7}h - \frac{20}{7}(R - r)$$

$$\frac{10}{7}h = \frac{27}{7}(R - r) \quad || \cdot \frac{7}{10}$$

$$h = \frac{27}{10}(R - r).$$

Vastaus: Korkeuseron on oltava vähintään $h = \frac{27}{10}(R - r)$.

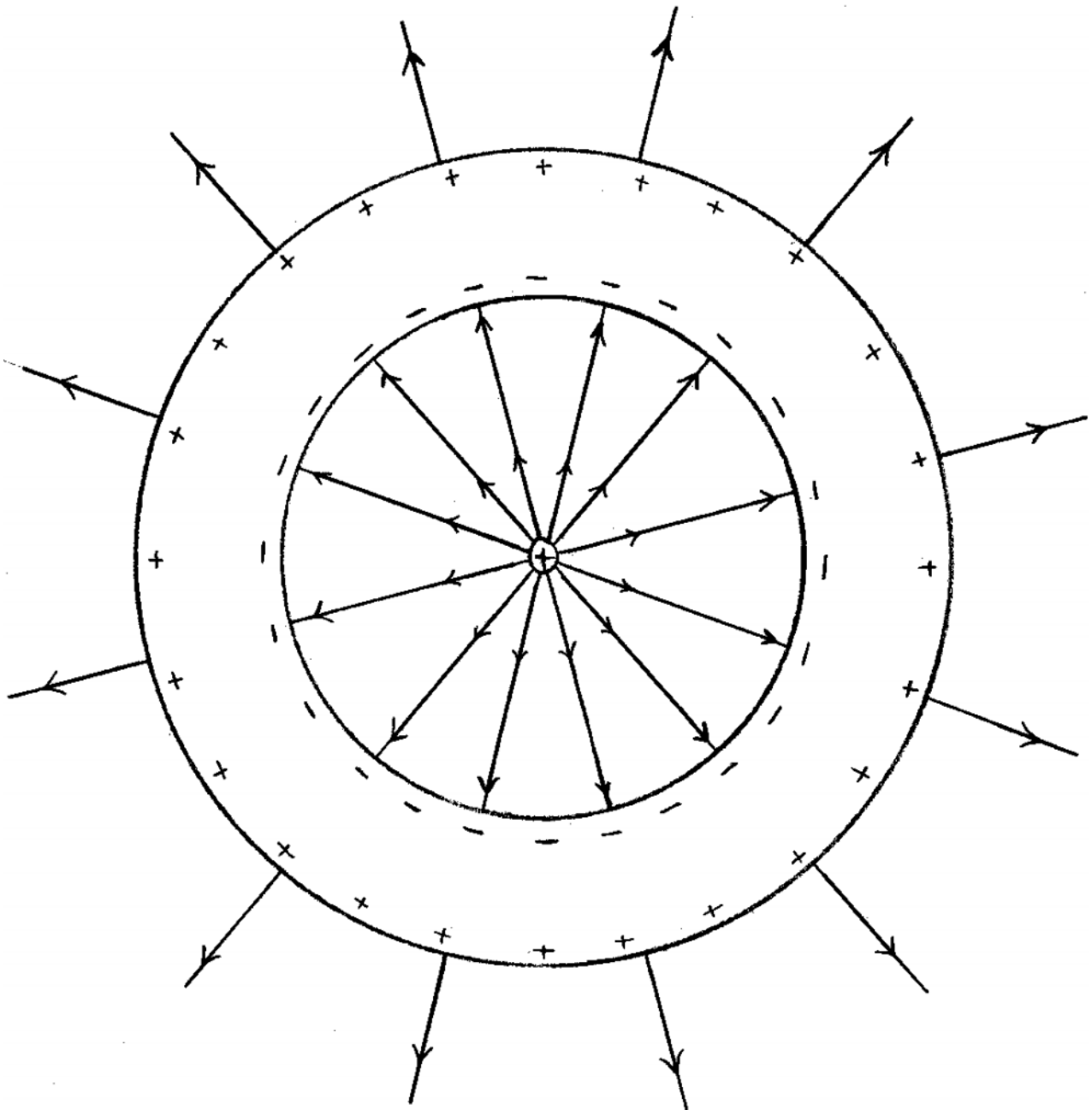
1p (6p)

11. Positiivisesti varattu hiukkanen asetetaan varauksettoman ontton pallon keskipisteeseen. Pallon kuoren paksuus on yksi kolmasosa sen ulkosäteestä. Tarkastele kahta tapausta:

- a) Pallon kuori on johde.
- b) Pallon kuori on eriste.

Piirrä a- ja b-kohdan tapauksista selkeät kuvat, joista käyvät ilmi sähkövaraukset pallon kuoressa. Piirrä kuviin myös sähkökentät kenttäviivoina pallojen sisällä, pallojen kuorissa ja pallojen ulkopuolella.

Ratkaisu.



- a) Tiedetään, että johdekappaleen pinnalle asettuu sellainen varausjakauma, että sen sisällä ei ole sähkökenttää.

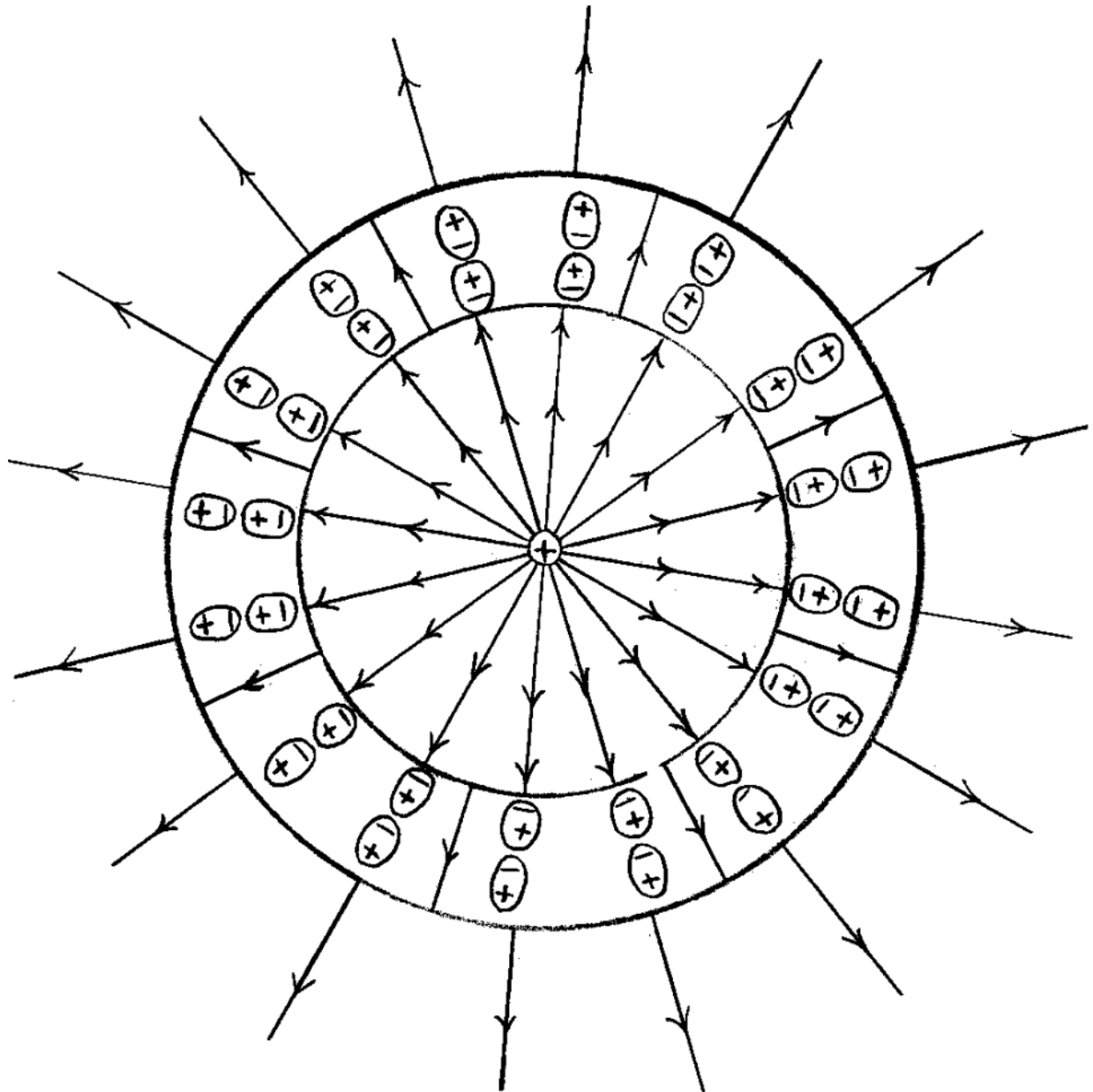
Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa: Jos johteen sisällä olisi sähkökenttä, se kohdistaisi varauksiin voiman ja ne liikkuisivat edelleen. Tämän takia tasapainotilan asetuttua johteen sisällä ei ole enää kenttää. Varausjakauman muodostama kenttä siis kumoaa ulkoisen kentän.

Pallokuoren ulkopinta varautuu siis positiivisesti ja sisäpinta negatiivisesti. Koska varaukset asettuvat pallokuoren pinnalle tasaisesti, ne eivät aiheuta sisäpuolelle lainkaan kenttää, eli sisäpuolella on ainoastaan keskipisteessä olevan varauksen Coulombin kenttä.

Tämän voi päätellä tarkastelemalla umpinaista johdepalloa, jonka nettovaraus ei ole nolla. Varaukset asettuvat symmetrian takia tasaisesti pallon kuorelle, ja tiedetään, että johteen sisällä kenttä on nolla. Tästä voidaan päätellä yleisesti, että pallosymmetrinen varausjakauma ei aiheuta sisäpuolelle sähkökenttää.

Pallokuoren ulkopuolella on myöskin ainoastaan keskipisteessä olevan varauksen Coulombin kenttä, koska negatiivisesti varautuneen sisemmän kuoren ja positiivisesti varautuneen ulomman kuoren kentät kumoavat toisensa ulkopuolella. **3p**

Tämä on vaikea päätellä lukiotiedoilla, mutta siitä voi vakuuttua vertaamalla sähköistä voimaa pallon aiheuttamaan gravitaatiovoimaan. Tiedetään, että pallosymmetrinen massa, kuten planeetta, aiheuttaa ulkopuolellaan olevaan kappaleeseen saman gravitaatiovoiman kuin sen keskipisteessä oleva samanmassainen piste aiheuttaisi. Tämä toimii pallosymmetrisen varausjakauman tapauksessa samoin, ja koska negatiivisella sisäkuorella ja positiivisella ulko-kuorella on sama nettovaraus, niiden kentät kumoavat toisensa pallokuoren ulkopuolella.



- b) Eristeessä varaukset eivät pääse liikkumaan vapaasti, mutta siellä olevat pooliset molekyylit asettuvat kentän suuntaisesti ja niiden muodostama kenttä heikentää ulkoista kenttää. Täten eristeen sisällä kenttä on saman suuntainen keskipisteessä olevan varauksen Coulombin kentän kanssa, mutta heikompi.

Poolisessa molekyylissä elektronitiheys jakautuu siten, että molekyylillä on positiivisesti ja negatiivisesti varattu pää. Sähkökenttä työntää positiivisesta päätä kentän suuntaan ja vetää negatiivista päätä kenttää vastaan, joten molekyylit kääntyvät keskenään samoin kentän suuntaisesti. Jokaisella poolisella molekyylillä on oma plus-päästä miinus-päähän suuntautuva heikko kenttä, ja koska se on erisuuntainen ulkoisen kentän kanssa, se heikentää sitä.

Eristekappaleen ulkopuolella on samanlainen keskipisteessä olevan varauksen muodostama Coulombin kenttä kuin a-kohdassa. **3p (6p)**

Hyvällä tarkkuudella tässäkin tilanteessa pallokuoren varausjakauma on pallosymmetrinen, joten kenttä kappaleen ulko- ja sisäpuolella voidaan päätellä samoin kuin a-kohdassa.

HUOMAUTUS LUKIJALLE: Luultavasti tässä kokeessa saa täydet pisteet, jos kuvat on piirretty oikein. Yleensä tämän tyyppisissä tehtävissä vaaditaan kuitenkin perustelut kuville.

- +12. Kuva esittää painepuhdistinpullo. Kun pullon venttiili avataan, suuttimesta purkautuu voimakas kaasusuiku, jolla voidaan puhalttaa pölyä ja roskaa pois vaikeapääsyisistä kohteista. Kauppanimestään huolimatta pullo ei sisällä ilmaa, vaan 1,1,1,2-tetrafluorietaania (TFE) neste- ja kaasufaasissa. Taulukossa on listattu 1,1,1,2-tetrafluorietaanin, typen ja hapen fysikaalisia ominaisuuksia.

	TFE	typpi	happi
kiehumispiste normaalipaineessa (°C)	-26,3	-195,8	-183,0
kriittinen lämpötila (°C)	101,1	-145,0	-116,6
kriittinen paine (kPa)	4060	3396	5043
ominaislämpökapasiteetti nesteinä (kJ/kg)	1,42		
höyrönpaine lämpötilassa 25 °C (kPa)	666,1		
höyrystymislämpö kiehumispisteessä (kJ/kg)	217,2	199,2	213,1
itsesyttymislämpötila (°C)	770		



<http://www.biltema.fi/ProductImages/23/large/23-556_1.jpg>.
Luettu 20.1.2014.

- Mikä taulukossa mainituista ominaisuuksista määrää pullossa vaikuttavan paineen, kun venttiili on kiinni? (1 p.)
- Mitä pullossa olevalle kaasulle ja nesteelle tapahtuu, kun venttiili avataan? (2 p.)
- Vakiolämpötilassa kaasusuihku pysyy yhtä voimakkaana, vaikka tetrafluorietaanin määrä pullossa vähenee. Miksi? (2 p.)
- Kun kaasua purkautuu pullostas, pullo jäähtyy. Lämpötilan lasku on sitä suurempi, mitä vähemmän nestemäistä tetrafluorietaania on jäljellä. Selitä ilmiö. (2 p.)
- Voiko hyvin suuren paineen kestävä säiliön täyttää ilmalla niin, että säiliössä on huoneenlämpöistä ilmaa sekä neste- että kaasufaasissa? (2 p.)

Ratkaisu.

- Voidaan olettaa, että pullo sisältää lähes yksinomaan TFE:tä, joten sen ollessa ainoa kaasu, kokonaispaine on sama kuin TFE:n osapaine. Annettujen tietojen mukaan pullon sisällä vallitsee tasapainotila, jossa TFE:tä on sekä neste- että kaasufaasissa, eli nesteenä ja höyrinä. Kun pullo on ollut pitkään kiinni, höyry on kylläistä ja paine on TFE:n kylläisen höyrin paine kyseisessä lämpötilassa. Taulukossa on annettu ”höyrönpaine”. Höyrönpaine on nesteen ominaisuus, joka kertoo, kuinka suuri on nesteen pinnan yläpuolelle muodostuvan kylläisen höyrin paine tietyssä lämpötilassa.

Sisätiloissa lämpötila on suuruusluokkaa 25°C , joten taulukossa annetuista tiedoista paineen määrää parhaiten ”höyrönpaine lämpötilassa 25°C ”, jonka suuruus on 666,1 kPa. 1p

- b) Pullon sisällä oleva paine 666,1 kPa on moninkertainen pullon ulkopuoliseen ilmanpaineeseen nähden, joka on suuruusluokkaa 100 kPa. Näin ollen höyryä, eli kaasufaasissa olevaa TFE:tä alkaa syöksyä pullosta ulos, kun venttiili avataan. Tästä seuraa, että höyryn paine pullon sisällä laskee hieman alle kylläisen höyryn paineen, jolloin TFE:tä alkaa nettomääräisesti höyrystyä. Syntyy uusi, dynaaminen tasapainotila, jossa TFE:tä höyrystyy nettomääräisesti samalla vauhdilla kuin venttiilistä purkautuu kaasufaasissa olevaa TFE:tä ulos. Höyrystymisen vuoksi sekä nesteen että kaasun lämpötila alkavat alentua. Nestefaasissa olevan TFE:n määrä siis vähenee ja höyryn paine pullon sisällä laskee hieman alle kylläisen höyryn paineen. **2p (3p)**
- c) Koska pullossa ei ole muita kaasuja kuin TFE:tä ja hydrostaattinen paine on merkityksettömän pieni, on paine nesteessä likimain sama kuin höyryssä. Koska paine alentuu myös nesteessä alle kylläisen höyryn paineen, tapahtuu höyrystymistä kaikkialla nesteessä eikä vain pinnalla, joten jo pieni paineen aleneminen aiheuttaa voimakasta höyrystymistä. B-kohdan mukaisesti venttiilin ollessa auki höyryn paine pullon sisällä alenee hieman kylläisen höyryn paineeseen nähden, mutta alenema ei siis pääse kovin suureksi. **1p (4p)**

Kaasusuihkun voimakkuus riippuu paine-erosta pullon sisä- ja ulkopuolella. Kaasun paine pullon ulkopuolella on suuruusluokkaa 100 kPa ja sisällä paine on lähellä kylläisen höyryn painetta, joka riippuu vain lämpötilasta ja on huoneenlämmössä noin 666,1 kPa. Paine-ero pullon sisä- ja ulkopuolella on hyvin suuri, joten pienet muutokset pullon sisällä olevan kaasun paineessa eivät oleellisesti vaikuta paine-eroon pullon sisä- ja ulkopuolella. Nesteen määrä vaikuttaa jonkin verran höyrystymisnopeuteen ja sitä kautta pullon sisällä olevaan paineeseen, mutta ei oleellisesti paine-eroon pullon sisä- ja ulkopuolella. Näin ollen kaasusuihkun voimakkuus pysyy likimain vakiona lämpötilan pysyessä samana. **1p (5p)**

- d) Jäähtyminen johtuu höyrystymisestä. Kun pullosta poistuu tietty määrä höyryä m_h , höyrystyy sen tilalle sama määrä nestettä pullon sisällä. Nestemäärän m_h höyrystymiseen tarvitaan lämpömäärä $Q_1 = rm_h$, jossa r on höyrystymislämpö. Nesteen lämpötila laskee ja nesteen luovuttama lämpö on $Q_1 = cm\Delta T$, jossa m on jäljellä olevan nesteen määrä. Yhtälöstä $Q_1 = Q_2$ saadaan $\Delta T = \frac{rm_h}{cm}$. Lämpötilan muutos on siis kääntäen verrannollinen jäljellä olevan nesteen määrään m , joten tarkasteltaessa tietyn höyrymäärän m_h purkautumista, alenee lämpötila sitä enemmän, mitä vähemmän pullossa on jäljellä nestettä. **2p (7p)**
- e) Ilma koostuu suurimmaksi osaksi typestä ja hapesta. Molempien kaasujen kriittinen lämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin huoneenlämpö. Kriittistä lämpötilaa korkeammassa lämpötilassa kaasu ei nesteydy puristamalla,

joten huoneenlämmössä ilma ei voi missään paineessa esiintyä sekä neste- että kaasufaasissa. 2p (9p)

+13. Hiukkasfysiikan standardimalli

- a) Mitkä ovat standardimalliin kuuluvat perushiukkaset? (2 p.)
- b) Miten standardimalli selittää hiukkasten väliset vuorovaikutukset? (2 p.)
- c) Miten standardimallissa selitetään hiukkasten massat? (2 p.)
- d) Miksi neutriinojen havaitseminen ja Higgsin hiukkasen tutkiminen on vaikeaa kokeellisesti? (3 p.)

Ratkaisu.

- a) Standardimalliin kuuluvat perushiukkaset ovat kvarkit ja leptonit. Kvarkkeja sekä leptoneita on kolmea perhettä. **1p**

Kvarkeilla perheet muodostuvat u- j a d-kvarkeista, c- ja s-kvarkeista sekä t- ja b-kvarkeista. Leptoneilla perheet muodostuvat elektronista ja elektronin neutriinosta, myonista ja myonin neutriinosta sekä tausta ja taun neutriinosta.

Kaikilla edellä mainituilla perushiukkasilla on myös antishiukkaset, joiden kaikki tunnetut ominaisuudet ovat vastakkaiset massaa lukuunottamatta. **1p (2p)**

- b) Standardimallin mukaan kaikki neljä vuorovaikutusta välittyvät välittäjähiukkasten avulla. Vuorovaikutuksessa kyseessä olevat hiukkaset joko lähettävät tai ottavat vastaan välittäjähiukkasia. **1p (3p)**

Gravitaatiovuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on gravitoni. Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on fotoni. Vahvan vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on gluoni. Heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkaset ovat W^+ , W^- , ja Z-bosonit. **1p (4p)**

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei edellytetä koevastauksessa: Gravitoni on hypoteettinen hiukkanen, joka ei teknisesti ottaen ole osa standardimallia, mutta mainitaan usein standardimallin yhteydessä.

- c) Standardimallissa maailmankaikkeuden täyttää ns. Higgsin kenttä. Tämä kenttä vaikuttaa eri hiukkasiin eri voimakkuudella. Joihinkin hiukkasiin Higgsin kenttä ei vaikuta lainkaan. Hiukkasen massa havaitaan sitä suurempana, mitä suurempi sen vuorovaikutus Higgsin kentän kanssa on. Malli ennustaa Higgsin hiukkasen, jonka ominaisuuksia vastaava hiukkanen on löydetty Euroopan hiukkastutkimuskeskuksen CERNin LHC-hiukkaskiihdyttimellä. **2p (6p)**
- d) Neutriinojen havaitseminen on vaikeaa, sillä ne eivät vuorovaikuta sähkömagneettisen- eivätkä vahvan vuorovaikutuksen kautta ja niiden painovoima on häviävän pieni johtuen niiden äärimmäisen pienestä massasta. Neutriinot vuorovaikuttavat oleellisesti vain heikon vuorovaikutuksen välityksellä ja niiden vuorovaikutusten todennäköisyys muiden hiukkasten kanssa on hyvin pieni, joten niitä voidaan havaita vain erittäin suurilla hiukkasilmäisimillä. **1p (7p)**

Higgsin hiukkasen tuottamiseen hiukkaskiihdyttimellä tarvitaan erittäin suuri energia, koska sen massa on hiukkasten mittakaavassa hyvin suuri. [1p \(8p\)](#)

Higgsin hiukkasen havaitseminen on vaikeaa myös siksi, että sen elinkaika on hyvin lyhyt ja niitä syntyy hiukkasten törmäyksissä erittäin harvoin. Suurenergisessä hiukkaskiihdyttimessä syntyy erittäin paljon erilaisia hiukkasia useissa reaktioketjuissa ja harvoin syntyvän Higgsin hiukkasen havaitseminen suuren mittausdatan seasta on hyvin epätodennäköistä. [1p \(9p\)](#)