



## FYSIIKAN KOE 15.3.2019 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Alla oleva vastausten piirteiden, sisältöjen ja pisteitysten luonnehdinta ei sido ylioppilastutkintolautakunnan arvostelua. Lopullisessa arvostelussa käytettävistä kriteereistä päättää tutkintoaineen sensorikunta.

Fysiikka pyrkii ymmärtämään luonnon perusrakennetta, luonnonilmiöiden perusmekanismeja ja niiden säännönmukaisuuksia. Fysiikassa käsitteellinen tieto ja tietorakenteet pyritään ilmaisemaan mahdollisimman kattavina ja yleisinä. Kokeellinen menetelmä on fysiikan tiedon perusta, ja saavutettu tieto esitetään usein matemaattisina teoriarakenteina ja malleina. Malleilla on keskeinen asema myös kehitettäessä, sovellettaessa ja käytettäessä näin saavutettua tietoa. Fysiikan tiedonhankinnalle, tiedon esittämiselle ja sen soveltamiselle on tyypillistä teorian ja kokeellisuuden nivoutuminen toisiinsa.

Fysiikan kokeessa arvioinnin kohteita ovat sekä fysikaalisen tiedon ymmärtäminen että tiedon soveltamisen taito lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti. Kokeessa arvioidaan myös kokelaan kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitoja. Näitä ovat muun muassa kokeensuunnittelu, yleisimpien mittavälineiden käytön hallinta, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen. Luonnontieteiden ja teknologian alaan liittyviä ongelmia ratkaistaan käyttäen ja soveltaen fysiikan käsitteitä ja käsiterakenteita. Luo- vuutta ja kekseliäisyyttä osoittavat ratkaisut katsotaan erityisen ansiokkaiksi. Arviointiin vaikuttavat myös kokelaan vastausten selkeys, asiasisällön johdonmukaisuus ja jäsentyneisyys.

Fysiikan tehtävän vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Kokelas osaa yhdistellä tietoa ja soveltaa oppimaansa. Vastaus osoittaa, että kokelas on tunnistanut oikein fysikaalisen ilmiön ja tarkastelee tilannetta fysikaalisesti mielekkäällä tavalla. Kokelas osaa kuvata sovellettavan fysikaalisen mallin ja perustella, miksi mallia voidaan käyttää kyseisessä tehtävässä. Usein vastauksessa tarvitaan tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafista esitystä. Kuviot, kaaviot ja graafiset esitykset ovat selkeitä ja oppiaineen yleisten periaatteiden mukaisia. Voimakuviossa todelliset voimat erotetaan vektorikomponenteista selkeästi.

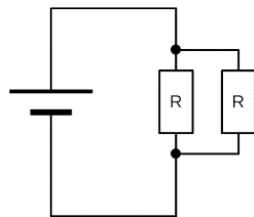
Matemaattista käsittelyä edellyttävissä tehtävissä suureyhtälöt ja kaavat on perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen, esimerkiksi lähtien jostain fysiikan peruslaista tai -periaatteesta. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut sekä muut riittävät perustelut ja lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei digitaalisessa kokeessa tarvitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä lukuarvoa ja yksikköä kullekin suuresymbolille käytetään. Fysiikan kokeessa kaikki funktio-, graafiset ja symboliset laskimet ovat sallittuja. Symbolisen laskimen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan

ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu. Laskimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edellyttämällä tavalla.

## OSA I

### 1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta (20 p.)

- 1.1. Lepokitka
- 1.2. Veteen siirtyi enemmän lämpöä kuin kiviin.
- 1.3. Metalli johtaa lämpöä pois iholta nopeammin kuin puu.
- 1.4.



- 1.5. Pallo, Matti ja maapallo
- 1.6. Uimahypyssä hyppääjän ilmalennon aikana.
- 1.7. Köyteen syntyy seisova aaltoliike.
- 1.8. Kestomagneetti on paikallaan käämin sisällä.
- 1.9. Energia
- 1.10. Vahva vuorovaikutus

## OSA II

### 2. Lämmönsiirtyminen (15 p.)

#### 2.1.

Kuva liittyy lämmön johtumiseen. (1 p.)

Kappaleiden valmistusmateriaalien lämmönjohtavuudet ovat erilaiset. Sormesta johtuu enemmän lämpöä vasemmanpuoleiseen kappaleeseen, ja kappale näyttää lämpökameraku-  
vassa lämpimämmältä kuin oikeanpuoleinen kappale. Tästä voidaan päätellä, että sen läm-  
mönjohtavuus on suurempi kuin oikeanpuoleisen kappaleen. Kappale voisi olla esimerkiksi  
metallia. Oikeanpuoleinen kappale ei johda lämpöä, jolloin kappale näyttää tasaisen viileältä,  
vaikka sormea pidetään siinä kiinni. Kappale voisi olla esimerkiksi luuta tai puuta. (4 p.)

#### 2.2.

Kuva liittyy lämmön kulkeutumiseen (konvektioon). (1 p.)

Punaiseksi värjätty vesi on lämpimämpää kuin astiassa oleva kirkas vesi. (2 p.) Punainen vesi  
muodostaa kerroksen kirkkaan veden pinnalle, koska lämpimän veden tiheys on pienempi  
kuin kylmemmän veden. (2 p.)

(Lämpö siirtyy konvektiolla, eli punaiseksi värjätty vesi siirtää energiaa pienestä astiasta isom-  
paan astiaan. Vesien lämpötilat tasaantuvat, ja vedet sekoittuvat toisiinsa.)

#### 2.3.

Kuva liittyy lämmön siirtymiseen säteilemällä. (1 p.)

Henkilö on lämpimämpi kuin huoneilma, joten hän lähettää tehokkaammin lämpösäteilyä kuin  
ympäristö. Säteily heijastuu ikkunasta. Lämpökamera mittaa tätä heijastunutta lämpösäteilyä.  
Ikkuna itsessään ei lämpene henkilön vaikutuksesta, eli lämpökamera ei kuvaa ikkunan pinta-  
lämpötilaa vaan sen pinnasta heijastunutta säteilyä. (4 p.)

### 3. Kondensaattorin kapasitanssin määrittäminen (15 p.)

Kondensaattorin varaus on  $Q = \int I dt$ , mikä vastaa purkausvirran kuvaajan ja  $t$ -akselin väliin jäävää pinta-alaa.

Määritetään eri latausjännitteitä vastaavat varaukset jollain datankäsittelyohjelmalla integroimalla. LoggerPro-ohjelmalla saadaan taulukossa esitetyt tulokset.

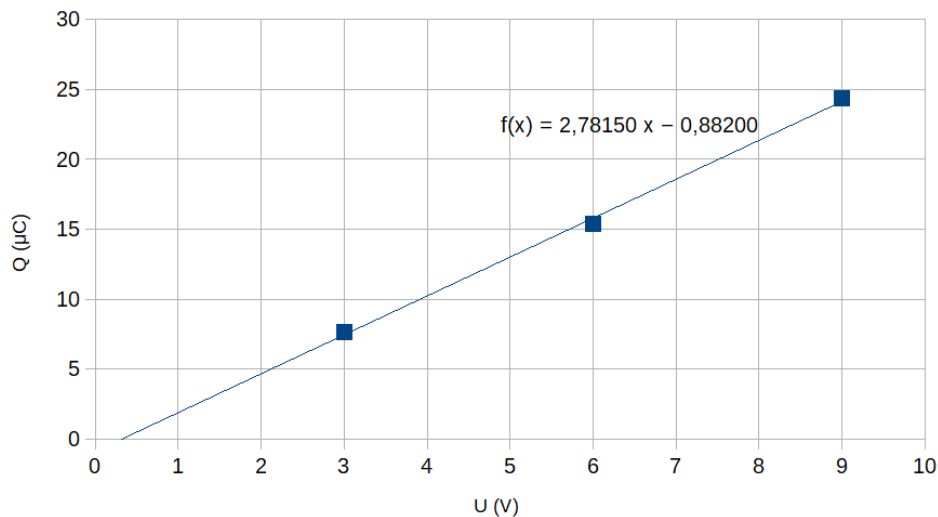
$U$ (V)	3,0	6,0	9,0
$Q$ ( $\mu\text{C}$ )	7,67	15,39	24,36

(6 p.)

Kondensaattorin kapasitanssi määritellään  $C = \frac{Q}{U}$ , jossa  $Q$  on kondensaattorin varaus jännitteellä  $U$ .

Piirretään tuloksista  $(U, Q)$ -kuvaaja. Yhtälön  $Q = CU$  mukaisesti kondensaattorin kapasitanssi on pisteisiin sovitetun suoran kulmakerroin.

(6 p.)



Kulmakertoimen avulla saadaan kondensaattorin kapasitanssiksi  $C = 2,8 \mu\text{F}$ .

(3 p.)

(Suoransovituksen laskettu epävarmuus kertoo, että sopiva tarkkuus on tässä kaksi merkitsevää numeroa.)

#### 4. Vaunujen törmäyksiä (15 p.)

##### 4.1.

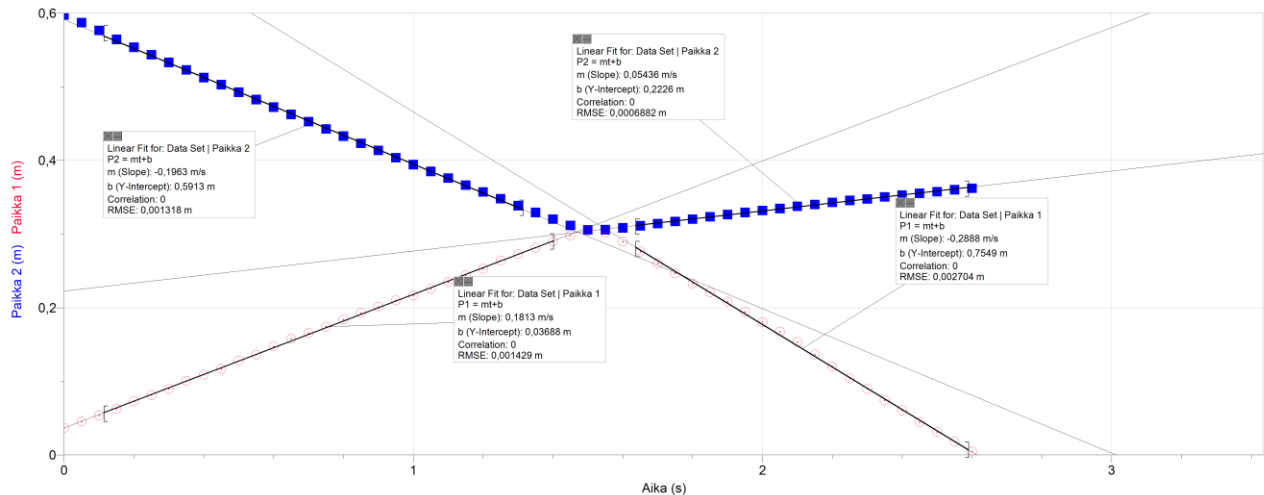
Sovitetaan vaunujen paikkojen kuvaajiin suorat ennen törmäystä ja sen jälkeen. Suoran kulmakerroin vastaa vaunun nopeutta, sillä  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ .

(1 p.)

Törmäyksen A tapauksessa vaunun 1 nopeudeksi ennen törmäystä saadaan  $v_1 = 0,181 \text{ m/s}$  ja vaunun 2 nopeudeksi  $v_2 = -0,196 \text{ m/s}$ .

Törmäyksen jälkeen nopeudet ovat  $u_1 = -0,289 \text{ m/s}$  ja  $u_2 = 0,0544 \text{ m/s}$ .

(2 p.)



(4 p.)

##### 4.2.

Ideaalisen kimmoisan törmäyksen tapauksessa sekä vaunujen yhteenlaskettu liikemäärä että niiden yhteenlaskettu liike-energia säilyvät eli

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 \text{ ja } K_1 + K_2 = K'_1 + K'_2,$$

jossa pilkuttomat suureet viittaavat tilanteeseen ennen törmäystä ja pilkulliset törmäyksen jälkeen.

Ideaalisessa törmäyksessä liikemäärän muutos on siis ennusteen mukaan nolla,

$$\Delta p_{ideal} = 0.$$

(2 p.)

Sijoittamalla kohdan 4.1 tulokset ja vaunujen massat  $m_1 = 0,606 \text{ kg}$  ja  $m_2 = 1,126 \text{ kg}$  saadaan liikemääräksi ennen törmäystä

$$p_{1,ennen} = m_1 v_1 = 0,109686 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}, \quad p_{2,ennen} = m_2 v_2 = -0,220696 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}$$

ja törmäyksen jälkeen

$$p_{1,jälkeen} = m_1 u_1 = -0,175134 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}, \quad p_{2,jälkeen} = m_2 u_2 = 0,061254 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p = p_{1,jälkeen} + p_{2,jälkeen} - (p_{1,ennen} + p_{2,ennen}) = -0,00287 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}.$$

Voidaan huomata, että vaunujen yhteenlaskettu liikemäärä pienenee hieman. Pieneneminen on kuitenkin vähäistä verrattuna vaunujen liikemääriin, joten ennuste pitää paikkansa sangen hyvin.

(2 p.)

Kimmoisassa törmäyksessä myös liike-energian muutos on nolla,

$$\Delta K_{ideal} = 0.$$

(2 p.)

Sijoittamalla kohdan 4.1. tulokset ja vaunujen massat saadaan liike-energiaksi ennen törmäystä

$$K_{ennen} = K_1 + K_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = 0,0315548 \text{ J}$$

ja törmäyksen jälkeen

$$K_{jälkeen} = K_1' + K_2' = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = 0,0269730 \text{ J.}$$

Liike-energia pienenee

$$\Delta K = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right) = -4,5818 \cdot 10^{-3} \text{ J} \approx -4,58 \text{ mJ.}$$

Suhteutettuna liike-energiaan ennen törmäystä pieneminen on

$$\frac{\Delta K}{K_{ennen}} = -0,1452017 \approx -15 \text{ \%}.$$

Törmäys ei siis toteuta täysin ennustetta, vaan liike-energia pienenee jonkin verran.

(2 p.)

## 5. Benji-hyppy (15 p.)

5.1. Hyppääjä on ratansa alimmassa kohdassa hetkellä  $[t_b]$ . (2 p.)

5.2. Köysi on täysin löystyneenä hetkellä  $[t_d]$ . (2 p.)

5.3. Hyppääjän kiihtyvyys on suurimmillaan hetkellä  $[t_b]$ . (2 p.)

5.4. Köyden jännitysvoima ja hyppääjän paino kumoavat toisensa ensimmäisen kerran hetkellä  $[t_a]$ . (2 p.)

5.5. Hyppääjä ohittaa värähtelyn tasapainoaseman ensimmäisen kerran hetkellä  $[t_a]$ . (2 p.)

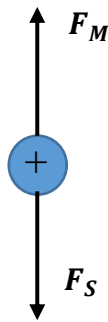
5.6. Köysi pysyy jännittyneenä tästä hetkestä  $[t_e]$  eteenpäin. (2 p.)

5.7. Hyppääjän liike-energia on suurin hetkellä  $[t_a]$ . (3 p.)

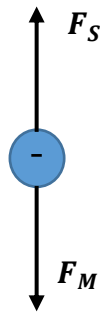
## 6. Nopeusvalitsin (15 p.)

### 6.1.

Varattuun hiukkaseen vaikuttaa nopeusvalitsimessa sekä sähkökentän sähköinen voima  $F_S = qE$  että magneettikentän magneettinen voima, joka on muotoa  $F_M = qvB$ , kun hiukkasen nopeus ja magneettivuon tiheys ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Jos hiukkanen on positiivisesti varautunut, voimien suunnat ovat voimakuvion 1 mukaisia eli magneettinen voima vaikuttaa ylöspäin ja sähköinen voima alaspäin. Jos taas hiukkanen on negatiivisesti varautunut, voimien suunnat ovat päinvastaiset voimakuvion 2 mukaisesti. (Selitys + voimakuviot 6 p.)



Voimakuvio 1



Voimakuvio 2

Hiukkanen, jonka lentorata kulkee suoraan nopeusvalitsimen läpi, on tasaisessa etenemisliikkeessä, eli sillä ei ole kiihtyvyyttä. Tällöin Newtonin II lain mukaan siihen vaikuttavien voimien summa on nolla, eli magneettinen ja sähköinen voima ovat tasapainossa  $F_M = F_S$ . Tämän perusteella nopeudella  $v = \frac{E}{B}$  liikkuvat hiukkaset pääsevät valitsimen läpi. (3 p.)

Jos hiukkasen nopeus on tätä nopeutta suurempi, on magneettinen voima suurempi kuin sähköinen voima ja hiukkanen kaartuu magneettisen voiman vaikutussuuntaan. Jos taas hiukkasen nopeus on valittua nopeutta pienempi, on sähköinen voima suurempi kuin magneettinen voima ja hiukkasen lentorata taipuu sähköisen voiman suuntaan. (2 p.)

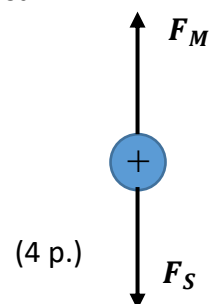
(Hiukkaset ovat yleensä niin pienimassaisia, ettei gravitaatiovoimaa tarvitse huomioida voimatarkasteluissa. Samoin hiukkaset liikkuvat lähes tyhjiössä, joten liikettä vastustavia voimia ei ole.)

### 6.2.

Suoraan lentävään hiukkaseen vaikuttava magneettinen voima  $F_M = qvB$  ja sähköinen voima  $F_S = qE$  ovat tasapainossa.

$$qvB = qE$$

$$B = \frac{E}{v} = \frac{132000 \text{ V/m}}{230000 \text{ m/s}} = 0,5739 \text{ T} \approx 0,57 \text{ T}$$

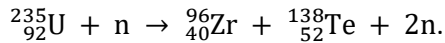
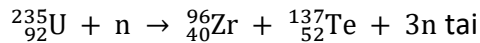




## 7. Olkiluodon ydinvoimala (15 p.)

### 7.1.

Valitaan ketjureaktion mahdollistavaksi fissioreaktioksi



(4 p.)

### 7.2.

Yhdessä fissioreaktiossa vapautuu energiaa massakadon verran. Luetaan atomimassat aineistosta:  $M_U = 235,044 \text{ u}$ ,  $M_{Zr} = 95,9083 \text{ u}$ ,  $M_{Te} = 136,926 \text{ u}$ ,  $M_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Käytetään muunnosta  $u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ja valonnopeuden arvoa  $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

$$Q = (M_U + M_n)c^2 - (M_{Zr} + M_{Te} + 3M_n)c^2$$
$$Q \approx 2,880 \cdot 10^{-11} \text{ J} \approx 180 \text{ MeV}$$

Hyväksytään vastaava lasku myös, mikäli vapautuvien neutronien määrä on 1 tai 2, jolloin  $Q$  on välillä 180 MeV ja 190 MeV.

(6 p.)

### 7.3.

Sähkötehon  $P$  tuottamiseksi täytyy reaktorin tuottaa ajassa  $t$  energia  $E = \frac{P}{\eta}t$ .

Energia on peräisin reaktioista, joita tapahtuu  $n = \frac{E}{Q}$  kappaletta.

(3 p.)

Kuukaudessa tarvittava polttoaineen massa saadaan kertomalla reaktioiden määrä yhden  ${}^{235}_{92}\text{U}$ -atomin massalla.

$$m = nM_U = \frac{M_U P t}{\eta Q}$$

Sijoitetaan  $M_U = 235,044 \text{ u} \cdot 1,661 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{u}}$ ,  $P = 1,6 \cdot 10^9 \text{ W}$ ,

$t = 30 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 2,592 \cdot 10^6 \text{ s}$ ,  $\eta = 0,37$  ja  $Q = 2,880 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ , jolloin saadaan

$m = 151,9141622 \text{ kg} \approx 150 \text{ kg}$ .

(2 p.)

(Hyväksytään myös annetun vapautuvan energian 180 MeV perusteella laskettu tulos 140 kg.)

Lisätietona todettakoon, että Olkiluoto 3 käyttää vuodessa noin 32 tonnia asennetusta 128 tonnin latauksesta. Polttoaine on rikastettua luonnonuraa, jossa  ${}^{235}_{92}\text{U}$ -isotoopin osuus on 3...5 %. Tämän perusteella voidaan laskea  $m = \frac{32000 \text{ kg}}{12\text{kk}} \cdot 0,05 \approx 133 \text{ kg/kk}$ .)

## 8. Kangastuksia (15 p.)

### 8.1.

Kuuma maanpinta lämmittää ilmaa pinnan yläpuolelta, ja ilma viilenee ylöspäin mentäessä. Eri lämpötilassa olevat ilmassat muodostavat kerroksia, joiden tiheys on pienin lähellä maan pintaa. Myös ilman taitekerroin kasvaa ylöspäin mentäessä. (2 p.)

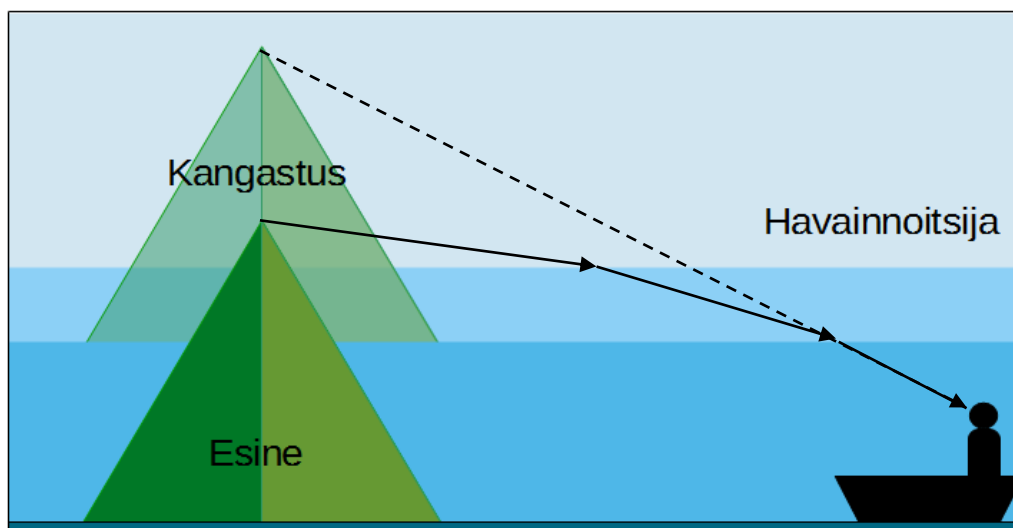
Valo on aaltoliikettä, ja se taittuu optisesti erilaisten aineiden rajapinnalla taittumislain mukaisesti. Kuvasta 8.B nähdään, että pyramidin huipulta lähtevät valonsäteet taittuvat ilmakerrosten rajapinnoilla. Koska valo kulkee optisesti tiheämmästä ilmasta optisesti harvempaan, valo taittuu normaalista pois päin. Kun tulokulma kahden ilmakerroksen välillä on suurempi kuin kokonaisheijastuksen rajakulma, valo heijastuu rajapinnasta. Heijastunut valo jatkaa matkaansa havaitsijalle taittuen aina rajapinnalla. (3 p.)

Havaitsija näkee esineen kuvan, kun esineestä lähtevät valonsäteet tulevat havaitsijan silmiin. Katsoja näkee esineen kuvan silmiin tulevien säteiden jatkeiden suunnassa. Havaitsija siis näkee pyramidin kangastuksen alhaalla kuvan 8.B mukaisesti. (2 p.)

### 8.2.

Merellä vedenpinnan lähellä oleva ilmassa on viileämpää kuin ylempänä oleva ilmassa. Tällöin ilma on tiheämpää pinnan lähellä ja sen taitekerroin on suurempi kuin ylempänä olevan ilman taitekerroin. Eri lämpötiloissa olevat ilmassat muodostavat kerroksia. (2 p.)

Valo kulkee ilmakerrosten läpi taittuen rajapinnoilla normaaliin päin. Havainnoitsija näkee valon tulevan suunnasta, joka on ylempänä kuin pyramidin todellinen huippu on. Havainnoitsija siis näkee yläpuolisen kangastuksen. (2 p.)



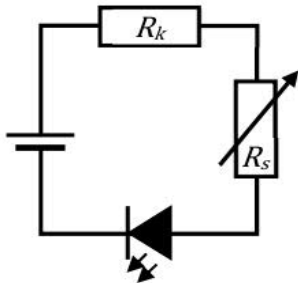
(Kuvan täydennys 4 p.)

### OSA III

#### 9. Ledin valotehon säätö (20 p.)

##### 9.1.

Oikea kytkentäkaavio B): Komponentit ovat sarjassa ja diodi on kytketty päästösuuntaan.



(3 p.)

##### 9.2.

Aineiston 9.B mukaan ledin 100 %:n valoteho on 300 lm. Tällöin 150 lm ja 900 lm vastaavat 50 %:n ja 300 %:n suhteellista valotehoa. Niihin liittyvät virrat ovat aineiston 9.B alemman kuvaajan mukaan  $I_{min} = 300 \text{ mA}$  ja  $I_{max} = 2650 \text{ mA}$ .

(3 p.)

Aineiston 9.B ylemmästä kuvaajasta nähdään, että ledin jännitehäviö näillä virroilla on  $U_{L,min} = 2,71 \text{ V}$  ja  $U_{L,max} = 3,26 \text{ V}$ .

(2 p.)

Kaikkien komponenttien läpi kulkee yhtä suuri virta.

$$U_A = R_k I + R_s I + U_L,$$

(2 p.)

$$R_k + R_s = \frac{U_A - U_L}{I}$$

Kun tähän sijoitetaan  $I_{min} = 300 \text{ mA}$  ja  $U_{L,min} = 2,71 \text{ V}$  sekä akun jännite  $U_A = 4,5 \text{ V}$ , saadaan  $R_k + R_s \approx 6,0 \Omega$ .

Kun sijoitetaan maksimivirtaa  $I_{max} = 2650 \text{ mA}$  vastaava arvo  $U_{L,max} = 3,26 \text{ V}$ , saadaan  $R_k + R_s \approx 0,47 \Omega$ .

Näin ollen kiinteän vastuksen arvon tulee olla  $0,47 \Omega$  ja säätövastuksen  $5,5 \Omega$ .

(5 p.)

##### 9.3.

900 lm:n valontuotto vastaa maksimivirtaa  $I_{max} = 2650 \text{ mA}$ . Akusta otettu teho on

$$P_A = U_A I_{max} = 4,5 \text{ V} \cdot 2,650 \text{ A} = 12 \text{ W}.$$

(5 p.)

## 10. Kaksoisrakokoe (20 p.)

### 10.1.

Interferenssi on aaltoliikkeen ominaisuus. Kvanttimekaniikan mukaan hiukkaselle voidaan määrittää (de Broglien) aallonpituus.

(3 p.)

### 10.2.

Hiukkasen de Broglien aallonpituus on

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

jossa  $h$  on Planckin vakio,  $p$  on hiukkasen liikemäärä,  $m$  massa ja  $v$  nopeus.

Tästä saadaan nopeudeksi  $v = \frac{h}{m\lambda}$ , jossa aallonpituus saadaan aineistossa 10.A esitetyn lausekkeen mukaan  $\lambda = \frac{d\Delta y}{D}$ .

Yhdistämällä lausekkeet hiukkasen nopeudeksi saadaan

$$v = \frac{hD}{md\Delta y}.$$

(5 p.)

Luetaan kuvasta 10.B päämaksimin ja 1. sivumaksimin välinen etäisyys  $\Delta y = 30 \mu\text{m}$ . Fullereenimolekyylin massa on  $m(C_{60}) = 60 \cdot 12,0107 \text{ u} \approx 1,20 \cdot 10^{-24} \text{ kg}$ . Tehtävänannosta saadaan  $d = 100 \text{ nm}$  ja  $D = 1,25 \text{ m}$ . Sijoitetaan arvot nopeuden lausekkeeseen, jolloin saadaan  $v \approx 200 \text{ m/s}$ .

(5 p.)

### 10.3.

Päämaksimi havaitaan varjostimen keskellä, koska vaihe-eroa ei synny. 1. sivumaksimi havaitaan varjostimella pisteessä, jossa eri raoista saapuneet aallot ovat samassa vaiheessa. Tällöin toisesta raosta saapuneen aallon kulkema lisämatka kuvan 1 mukaisesti on yksi aallonpituus eli  $d \sin \alpha = \lambda$ .

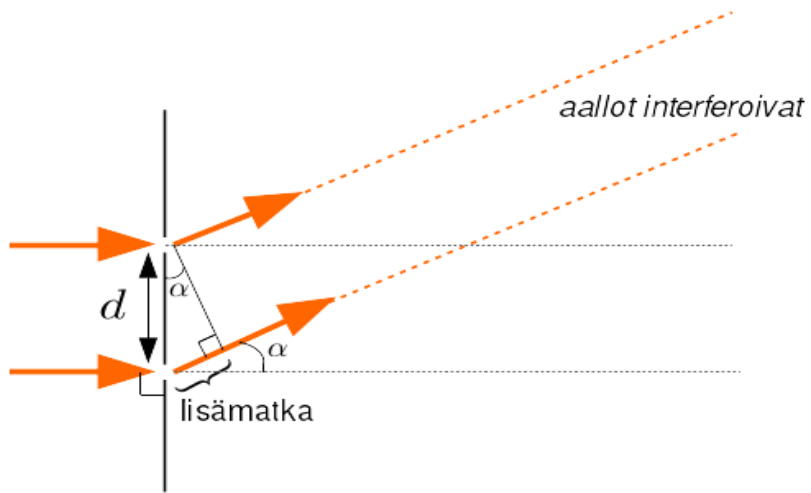
Kuvasta 2 nähdään, että  $\tan \alpha = \frac{\Delta y}{D}$ .

$$\Delta y = D \tan \alpha = \frac{D \sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{D\lambda}{d \cos \alpha}.$$

Koska  $D \gg d$  ja siten  $\alpha$  on hyvin pieni, niin  $\cos \alpha \approx 1$ .

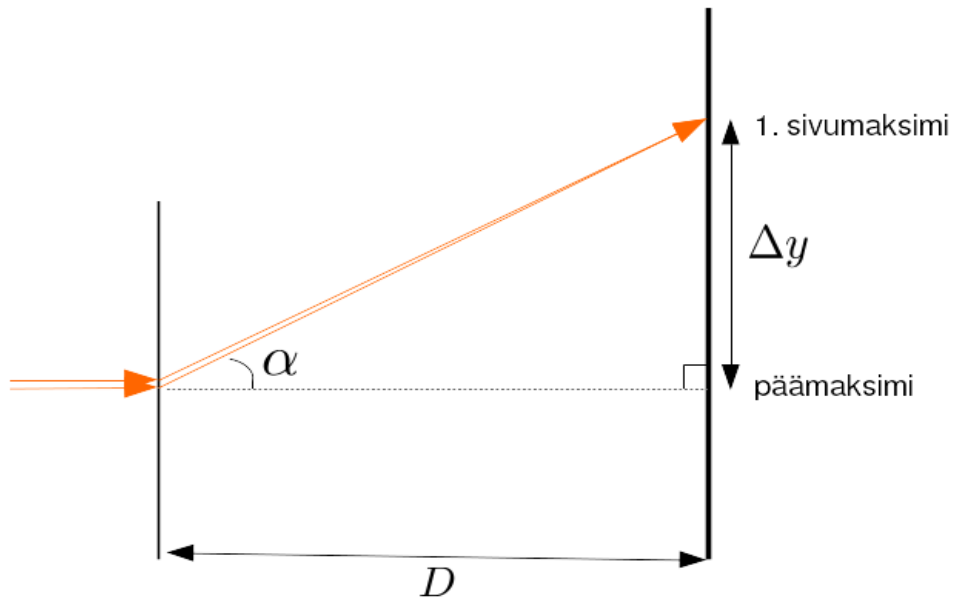
$$\Delta y = \frac{\lambda D}{d}$$

(4 p.)



Kuva 1

Kuva (3 p.)



Kuva 2

## **11. Sydämen sykkeen mittaus (20 p.)**

### **11.1.**

Ihmiskeho johtaa hyvin sähköä, jolloin sydämen lyönnin synnyttämä jännitepiikki aiheuttaa jännite-eron myös ihon pinnalla. (3 p.)

### **11.2.**

- Mittaustapa 1: Mitataan kudoksen läpi menevää valoa. Veri absorboi valoa. (3 p.)
- Mittaustapa 2: Mitataan heijastunutta valoa, jonka voimakkuus riippuu vereen absorboituneesta valosta. (3 p.)
- Ilmiö: veren määrän vaihtelu suonissa sydämenlyönnin seurauksena aiheuttaa vaihtelua heijastuneessa ja/tai absorboituneessa valossa. (2 p.)

### **11.3.**

- Kehon liikkeet (1 p.), ulkopuolelta tuleva valo (1 p.) ja laitteen liikkuminen (1 p.) aiheuttavat häiriöitä.
- PPG-mittaus on häiriöaltis, koska sydämen syke aiheuttaa signaaliin vain heikkoa vaihtelua. (2 p.)
- EKG-mittaus mittaa sydämen sähköistä toimintaa, joten se ei ole altis yllä mainituille häiriöille. (1 p.)

### **11.4.**

EKG mittaa sydämenlyönnin aiheuttamaa jännitepiikkiä – signaali kulkee nopeasti sydäimestä sensoriin. PPG mittaa veren määrän muutosta kädessä, mutta paineaallon eteneminen sydäimestä käteen kestää jonkin aikaa. Erilainen etenemisnopeus aiheuttaa aikaeron mitatussa signaalissa. (3 p.)