



YLIOPPILASTUTKINTOLAUTAKUNTA  
STUDENTEXAMENSNÄMNDEN

## Fysiikka 26.3.2021

Lopulliset hyvän vastauksen piirteet 18.5.2021

Lopullisista hyvän vastauksen piirteistä ilmenevät perusteet, joiden mukaan koesuorituksen lopullinen arvostelu on suoritettu. Tieto siitä, miten arvosteluperusteita on sovellettu kokelaan koesuoritukseen, muodostuu kokelaan koesuorituksesta saamista pisteistä, lopullisista hyvän vastauksen piirteistä ja lautakunnan määräyksissä ja ohjeissa annetuista arvostelua koskevista määräyksistä. Lopulliset hyvän vastauksen piirteet eivät välttämättä sisällä ja kuvaa tehtävien kaikkia hyväksytyjä vastausvaihtoehtoja tai hyväksytyin vastauksen kaikkia hyväksytyjä yksityiskohtia. Koesuorituksessa mahdollisesti olevat arvostelumerkinnät katsotaan muistiinpanoluonteisiksi, eivätkä ne tai niiden puuttuminen näin ollen suoraan kerro arvosteluperusteiden soveltamisesta kokelaan koesuoritukseen.

Fysiikan ylioppilaskokeessa arvioinnin kohteita ovat lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisen fysiikan tiedon osaaminen ja soveltamisen taito. 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. Kokeessa arvioidaan niin ikään kokelaan kykyä ymmärtää ja eritellä fysiikan luonteen mukaisia aineistoja. Arvioinnissa kiinnitetään huomiota siihen, että vastauksissa on käytetty fysiikan käsitteitä ja käsiterakenteita asianmukaisesti ja että vastaukset on esitetty selkeästi ja asiasisällön puolesta johdonmukaisesti ja hyvin jäsennellysti.

Hyvä vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Siitä käy ilmi, 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 tilanteessa. Kun vastaukseen liittyy tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafista esityksiä, nämä on tehty selkeästi ja fysiikassa noudatettujen yleisten periaatteiden mukaisesti. Esimerkiksi voimakuviossa voimavektorit on erotettu vektorien komponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä vaativan tehtävän hyvässä vastauksessa on suureyhtälöt ja kaavat perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen fysiikan kannalta oikein. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut ja muut riittävät perustelut sekä lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei tarvitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä symbolia, lukuarvoa ja yksikköä kullekin suurelle käytetään. Symbolisten laskentaohjelmistojen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu ja lopputuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen suhteen ratkaistu suureyhtälö.

## Osa 1

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

Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Veturiin kohdistuva kokonaisvoima on nolla.

1.2 Liikemäärä säilyy törmäyksessä.

1.3 Vaunu ja veturi kohdistavat toisiinsa yhtä suuret voimat.

1.4 Veturi liikkuu vakiokiihtyvyydellä.

1.5 Veturin liike-energian muutos on suoraan verrannollinen veturin kulkemaan matkaan.

1.6 Hiukkanen alkaa liikkua tasaisella kiihtyvyydellä.

1.7 Hiukkanen pysyy paikallaan.

1.8 Palloon A kohdistuu pienempi paino kuin palloon B.

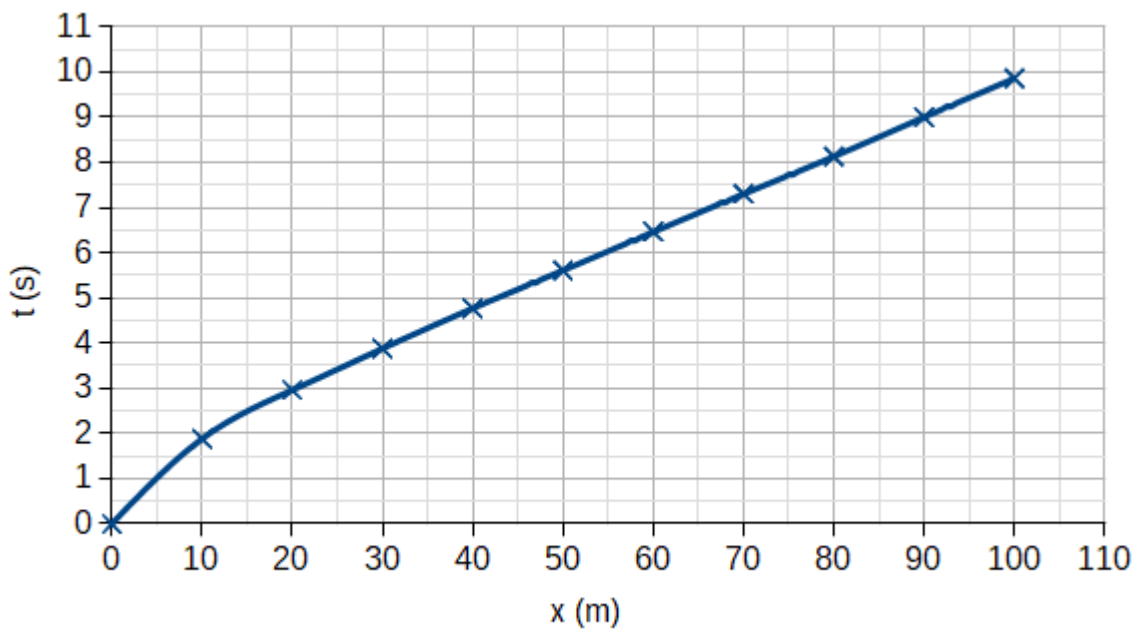
1.9 Lämpökapasiteetti.

1.10 Kasvihuonekaasut absorboivat Maan pinnan lämpösäteilyä paremmin kuin Auringon säteilyä.

## Osa 2

2. Pikajuoksu (15 p.)

2.1 Kuvaaja.



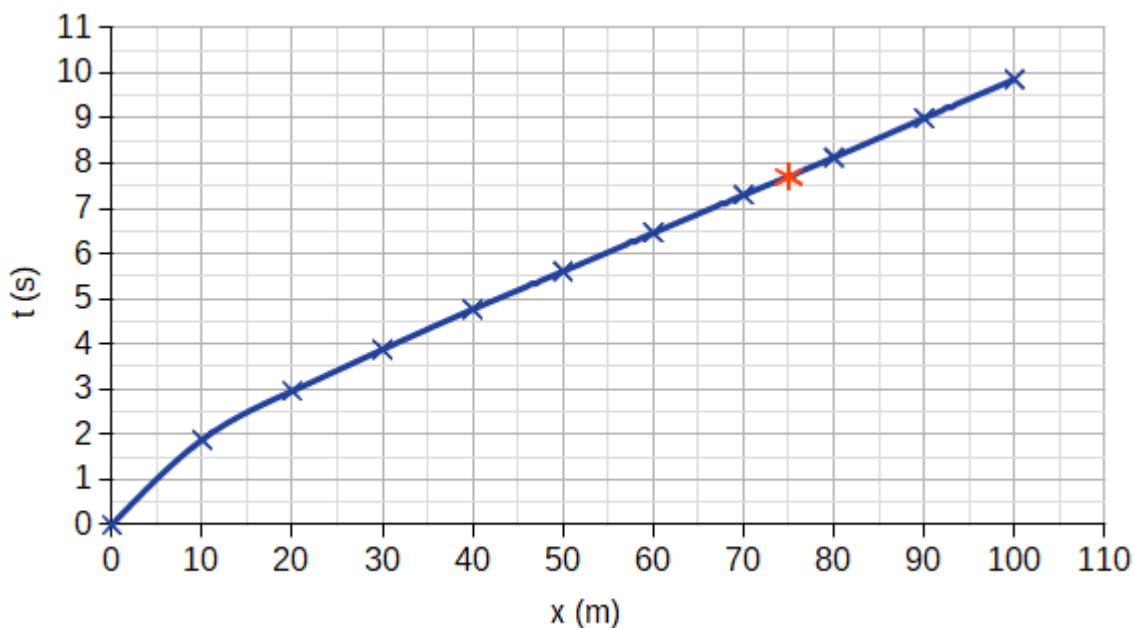
*Pisteitys:*

*On esitetty kuvaaja, jossa mittaustulokset näkyvät erillisinä mittauspisteinä ja pisteiden perusteella on piirretty tasoitus tai sovite (5 p.).*

*Jos kaikki datapisteet eivät ole näkyvissä, vähennetään 2 pistettä. Jos asteikoissa on virheitä, suureen tunnus puuttuu tai yksikkö puuttuu, vähennetään kustakin virheestä 1 piste. Murtoviivasta, suorasta tai toisen asteen polynomista tasoituksena tai puuttuvasta tasoituksesta vähennetään 1 piste.*

*Tyypillinen virhe: Tasoituksena on murtoviiva tai suora.*

2.2 Kuvaajasta lukemalla saadaan, että 75 metrin kohdalla Lewisin aika oli 7,7 sekuntia.



*Pisteitys:*

*On annettu tulos 7,55 s...7,84 s kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.). Vastauksesta ilmenee periaate, jolla tulos on saatu (2 p.). Jos tulos on vain kuvassa, vähennetään 1 piste. Jos lopputuloksesta puuttuu yksikkö tai yksikkö on väärä, lopputulos on väärin.*

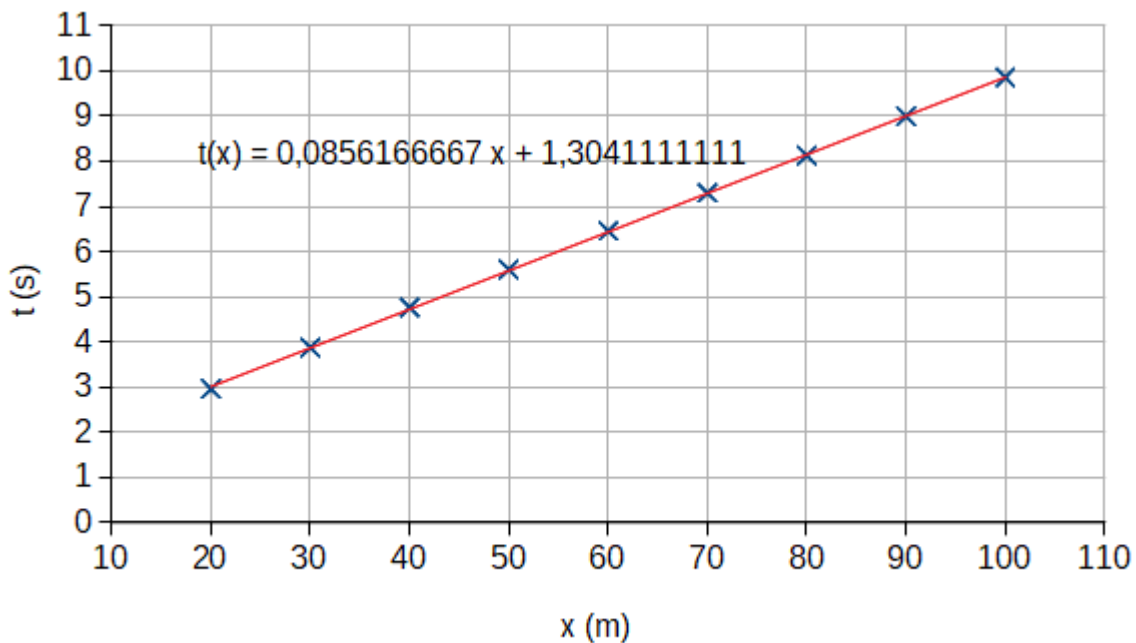
2.3. Matkavälillä 20–100 m väliajat asettuvat suoralle, joten Lewisin juoksu oli tällä välillä tasaista etenemisliikettä. Tälle välille sovitetun suoran yhtälö on

$$t(x) = 0,0856166667 \frac{\text{s}}{\text{m}} x + 1,3041111111 \text{ s}.$$

Suoran kulmakerroin on  $k = 0,0856166667 \frac{\text{s}}{\text{m}}$ .

Jos oletetaan, että Lewis säilyttäisi nopeutensa 200 metriin asti, olisi hänen loppuaikansa 200 m:n matkalla

$$t_{200\text{m}} = t_{100\text{m}} + k\Delta x = 9,86 \text{ s} + 0,0856166667 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot (200 \text{ m} - 100 \text{ m}) = 18,421667 \text{ s} \approx 18,42 \text{ s}.$$



*Pisteitys:*

*Ratkaisu laskemalla: On määritetty mihin tahansa mittauspistejoukkoon välillä 10 m...100 m sovitetusta suorasta loppunopeus 11,27 m/s...11,81 m/s tai kulmakerroin 0,084 s/m...0,087 s/m (2 p.). On esitetty lasku/periaate lopputuloksen saamiselle (2 p.). Lopputulos 18,33 s...18,78 s on annettu kolmen tai neljän numeron tarkkuudella (2 p.).*

*Ratkaisu ekstrapoloimalla: On ekstrapoloitu mihin tahansa mittauspistejoukkoon 10 m...100 m sovitettu suora 200 m:iin tai tehty ekstrapolaatio tangentin avulla (2 p.). On näytetty /selitetty loppuajan määrittäminen suoralta (2 p.). Lopputulokset 18,33 s...18,78 s on annettu kolmen tai neljän numeron tarkkuudella (2 p.).*

*Jos lopputuloksessa on liikaa tai liian vähän merkitseviä numeroita, vähennetään 1 piste. Jos menetelmä on selvästi väärä, tehtävästä saa 0 pistettä.*

*Tyypillisiä virheitä: On sovitettu suora koko mittauspistejoukkoon, käytetty 100 m:n loppunopeutta 200 m:n keskinopeutena tai annettu 200 m:n loppuajaksi 100 m:n loppuaika kaksinkertaisena.*

### 3. Kaasupullo (15 p.)

Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan pullossa olevan argonikaasun ainemäärä on

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{280 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = 433,57295 \text{ mol.}$$

Argonin moolimassa on  $M = 39,948 \text{ g/mol}$ , joten pullossa olevan kaasun massa on

$$m_{\text{Ar}} = nM = 17,320 \text{ kg} \approx 17 \text{ kg.}$$

Argonin ja pullon yhteinen massa on

$$m = m_{\text{Ar}} + m_0 = 43,320 \text{ kg} \approx 43 \text{ kg.}$$

Argonin massa voidaan laskea myös argonin tiheyden ja ideaalikaasun moolitilavuuden avulla:

$$m_{\text{Ar}_0} = \rho V_m n.$$

Argonin tiheyden taulukkoarvossa olevan epäselvyyden takia, hyväksytään moolitilavuudeksi  $22,4 \text{ l/mol}$  ( $0^\circ\text{C}$ ) ja  $24,055 \text{ l/mol}$  ( $20^\circ\text{C}$ ). Lopputulokset vaihtelee välillä  $43 \text{ kg}$  ja  $45 \text{ kg}$ .

Argonin massan voi laskea myös määrittämällä tilanyhtälön avulla argonin tilavuuden 101 kPa:n paineessa ja 0°C:ssa (tai 20°C:ssa taulukon epäselvyyden takia) ja kertomalla argonin tiheydellä  $\rho = 1,78 \text{ kg/m}^3$ .

*Pisteitys:*

*On mainittu argonin käyttäytyvän ideaaligasun tavoin (3p.). On esitetty argonin ainemäärän tai tilavuuden suureyhtälö (2 p.) ja oikea välitulos (2 p.) sekä argonin massan suureyhtälö (2 p.) ja oikea välitulos (2 p.). Kokonaismassan määrittäminen on esitetty suureyhtälönä tai selitetty sanallisesti (2 p.) ja on annettu massan arvo 43 kg...45 kg kahden tai kolmen numeron tarkkuudella (2 p.).*

*Jos lasku on suoritettu esittämättä kaikkia välituloksia, vastauksena annettu oikea suureyhtälö ja lopputulos korvaavat pisteityksessä kaikki puuttuvat välitulokset.*

#### 4. Siltakytkentä (15 p.)

4.1. Sähkövirran suunta on jännitelähteestä kohti pistettä a eli suuremmasta potentiaalista pienempään. Pisteiden c ja jännitelähteen välillä sähkövirran suunta on edelleen kohti pienempää jännitettä eli kohti jännitelähdettä.

Nämä sähkövirrat ovat yhtä suuret, koska molemmissa tapauksissa on kyse osasta saman virtapiirin haarautumatonta johdinta. Tai: Sähkövirrat ovat yhtä suuret, koska virtapiirin komponenttiin sisään tuleva sähkövirta on aina samansuuruinen kuin poistuva sähkövirta.

*Pisteitys: Molempien sähkövirtojen suunnat on annettu oikein (2 p.). Sähkövirtojen on todettu olevan yhtä suuret (2 p.)*

4.2. Kun pisteiden b ja d välillä ei ole sähkövirtaa, myös jännite niiden välillä on nolla.

*Pisteitys: On annettu oikea vastaus (1 p.) ja sille perustelu (2 p.).*

4.3. Sähkövirta jakautuu pisteessä a kahteen osaan: sähkövirta  $I_1$  kulkee vastuksen

$R_1$  läpi ja sähkövirta  $I_2$  vastuksen  $R_2$  läpi. Virta  $I_1$  jatkaa säätövastuksen  $R_3$  läpi ja virta  $I_2$  jatkaa tuntemattoman vastuksen  $R_x$  läpi, koska pisteiden b ja d välillä ei ole sähkövirtaa.

Tästä voidaan päätellä, että jännitteet  $U_{ad}$  ja  $U_{ab}$  ovat yhtäsuuret, eli Ohmin lain mukaan pätee

$$R_1 I_1 = R_2 I_2. \quad (1)$$

Myös jännitteet  $U_{dc}$  ja  $U_{bc}$  ovat yhtäsuuret, josta puolestaan seuraa Ohmin lain perusteella

$$R_3 I_1 = R_x I_2. \quad (2)$$

Jaetaan yhtälöt keskenään, jolloin saadaan

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x}. \quad (3)$$

Tästä voidaan ratkaista tuntematon resistanssi  $R_x$ :

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_1}. \quad (4)$$

*Pisteitys: On esitetty päättely, josta käy ilmi, että potentiaalierot  $U_{ab}$  ja  $U_{ad}$  ovat yhtäsuuret, ja jossa on sovellettu näihin Ohmin lakia (5 p.). Resistanssille  $R_x$  on esitetty oikea lauseke (3 p.).*

## 5. Voimat (15 p.)

### 5.1.

B

$\vec{F}_1$ : Ilmanvastus

$\vec{F}_3$ : Kitka



$\vec{F}_6$ : Pinnan tukivoima

$\vec{F}_7$ : Pinnan tukivoima

$\vec{F}_8$ : Paino

Yksittäisten voimien nimeämisissä vain B-vaihtoehdossa mukana olevat voimat ( $\vec{F}_1, \vec{F}_3, \vec{F}_6, \vec{F}_7, \vec{F}_8$ ) arvostellaan. Voimien nimeämisistä voi saada pisteitä, vaikka olisi valinnut väärän voimakuvion.

*Pisteitys:*

*On valittu oikea kuva (4 p.) ja nimetty kuvan voimat (1 p./voima).*

*Tyypillisiä virheitä: On valittu voimakuvio E. Kitka on nimetty liukukitkaksi.*

5.2.

C

$\vec{F}_1$ : Pinnan tukivoima

$\vec{F}_3$ : Paino

Yksittäisten voimien nimeämisissä vain C-vaihtoehdossa mukana olevat voimat ( $\vec{F}_1, \vec{F}_3$ ) arvostellaan. Voimien nimeämisistä voi saada pisteitä, vaikka olisi valinnut väärän voimakuvion.

*Pisteitys:*

*On valittu oikea kuva (4 p.) ja nimetty kuvan voimat (1 p./voima).*

*Tyypillisiä virheitä: On valittu voimakuvio B. Voima  $F_1$  on nimetty vaijereiden tukitai jännitysvoimaksi.*

6. Maanjäristysaallot (15 p.)

6.1 P-aalto etenee järjestyskeskuksesta havaitisijaan matkan  $s = v_P t_P$ , jossa  $v_P = 8,0$  km/s.

S-aalto etenee saman matkan eli  $s = v_S t_S$ , jossa  $v_S = 4,8$  km/s. Havaittu aikaero on

$t_S - t_P = 30$  s.

Matka  $s$  voidaan selvittää ratkaisemalla ensin joko  $t_P$  tai  $t_S$  yhtälöstä

$$s = v_P t_P = v_S t_S.$$

Siirtämällä termit ja jakamalla  $v_S$ :llä saadaan

$$t_S - \frac{v_P}{v_S} t_P = 0.$$

Sijoitetaan tähän yhtälöön

$$\frac{v_P}{v_S} = \frac{8,0 \text{ km/s}}{4,8 \text{ km/s}} = \frac{5}{3} \quad \text{ja} \quad t_P = t_S - 30 \text{ s},$$

jolloin saadaan aika  $t_S$  ratkaistua:  $t_S = 75 \text{ s}$ .

Etäisyys  $s$  on

$$s = v_S t_S = 4,8 \text{ km/s} \cdot 75 \text{ s} = 360 \text{ km}.$$

Aaltoliikkeen perusyhtälöstä  $v = f\lambda$  saadaan

$$\lambda_P = \frac{v_P}{f_P} = \frac{8,0 \text{ km/s}}{2 \text{ Hz}} = 4 \text{ km} \quad \text{ja} \quad \lambda_S = \frac{v_S}{f_S} = \frac{4,8 \text{ km/s}}{10 \text{ Hz}} = 0,48 \text{ km} \approx 0,5 \text{ km}.$$

*Pisteitys:*

*On esitetty suureyhtälöt etäisyyksien ja havaintoaikojen välille (3 p.). Vastaukseksi on annettu 360 km tai 400 km (2 p.) On esitetty aaltoliikkeen perusyhtälö (1 p.) ja annettu aallonpituudet yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkudella (1 p. kumpikin).*

6.2 P-aaltoja voidaan kuvata pitkittäisellä aaltoliikkeellä ja S-aaltoja poikittaisella aaltoliikkeellä.

Seismiset aallot etenevät eri aineissa ja kerroksissa eri nopeuksilla. Ne taittavat ja heijastuvat aineiden ja eri tiheyksisten kerrosten rajapinnoista. Eri havaintopisteisiin tulleet järjestysaallot ovat kulkeneet maapallon kerrosten läpi eri reittejä.

Yhdistämällä eri havaintopisteiden seismografienn mittaustulokset, saadaan näin tietoa maapallon sisäosien kerrosten rakenteesta ja kerrosten rajapintojen sijainnista.

S-aaltoja ei esiinny nesteessä, joten niiden puuttuminen tietyillä maanpinnan vyöhykkeillä suhteessa havaittuihin järistyskeskuksiin osoittaa, että maapallon ytimessä on nestemäinen osa. S-aallot eivät esimerkiksi etene maapallon läpi suoraan sen puolelta toiselle.

*Pisteitys:*

*On nimetty pitkittäinen (P) ja poikittainen (S) aaltoliike (3 p.) On todettu, että seismisillä aalloilla on eri nopeuksia Maan eri kerroksissa (1 p.), ja että aallot heijastuvat ja/tai taittuvat kerrosten rajapinnoilla (1 p.). On mainittu, että S-aallot eivät etene nesteissä (1 p.), ja esitetty tähän liittyvää pohdintaa (1 p.).*

## 7. Heijastuminen ohuesta kalvosta (15 p.)

7.1. Valo heijastuu osittain kalvon yläpinnasta ja osittain pinnan ja kalvon rajapinnasta. Nämä heijastuneet aallot interferoivat keskenään.

Aallot joko vahvistavat tai vaimentavat toisiaan sen mukaan, kuinka suuri vaiheero niillä on. Jos vaihe-eroa ei ole, aallot vahvistavat toisiaan voimakkaimmin. Jos vaihe-ero vastaa puolta aallonpituutta, aallot vaimentavat toisiaan eniten.

Vaihe-ero riippuu kalvon paksuudesta ja heijastumisissa mahdollisesti tapahtuvista puolta aallonpituutta vastaavista vaihesiirroista.

*Pisteitys:*

*Todettu/esitetty kuvana valon heijastuminen molemmista rajapinnoista (2 p.). Mainittu interferenssi/yhteisvaikutus ja viitattu kalvossa kuljettuun matkaan tai aaltojen vaiheeroon (2 p.). Esitetty kalvon paksuuden (1 p.) ja vaihesiirtojen (1 p.) vaikutus*

*aaltojen vaihe-eroon.*

7.2. Molemmissa heijastumisissa tapahtuu puolta aallonpituutta vastaava vaihesiirto, koska valo saapuu niissä optisesti harvemmasta aineesta optisesti tiheämpään aineeseen. Tällöin heijastuneet aallot ovat samassa vaiheessa ja vahvistavat toisiaan voimakkaimmin, jos kalvon alapinnalta heijastunut aalto on kulkenut kalvossa yhden aallonpituuden mittaisen matkan (tai tämän matkan kokonaisen monikerran). Jos kalvon paksuutta merkitään  $L$ :llä, saadaan ehto

$$2L = \lambda_{\text{asetoni}}, \quad (5)$$

jossa  $\lambda_{\text{asetoni}}$  on valon aallonpituus asetonissa.

Valon taittumislain mukaan

$$\frac{\lambda_{\text{asetoni}}}{\lambda_{\text{ilma}}} = \frac{n_{\text{ilma}}}{n_{\text{asetoni}}}, \quad (6)$$

joten

$$\lambda_{\text{asetoni}} = \frac{n_{\text{ilma}}}{n_{\text{asetoni}}} \lambda_{\text{ilma}}. \quad (7)$$

Asetonikerroksen paksuus on

$$L = \frac{\lambda_{\text{asetoni}}}{2} = \frac{n_{\text{ilma}}}{2n_{\text{asetoni}}} \lambda_{\text{ilma}} \simeq 250 \text{ nm}. \quad (8)$$

(Paksuus voi olla myös tämän monikerta.)

*Pisteitys:*

*On todettu, että vaihesiirrot eivät vaikuta tilanteessa (2 p.). On esitetty kalvon paksuuden ja valon aallonpituuden välinen ehto vahvistavalle interferenssille (3 p.). On esitetty taitekertoimen ja aallonpituuden yhteys tai todettu aallonpituuden riippuvan aineesta (2 p.). Paksuuden suureyhtälö ja arvoon 250 nm pyöristynvä lopputulos on esitetty kahden tai kolmen numeron tarkkuudella (monikerrat hyväksytään) (2 p.).*

## 8. Radon (15 p.)

8.1. Radon ja sen radioaktiiviset hajoamistuotteet lähettävät säteilyä, joka ionisoi solujen molekyylejä. Huoneilmassa olevaa radonia päätyy hengityksessä ihmisen keuhkoihin, jossa niiden hajoamisesta syntyvä säteily voi vaurioittaa solujen perimäainesta. Tämä aiheuttaa keuhkosityöpää.

*Pisteitys:*

*Säteilyn on todettu olevan ionisoivaa (2 p.). On mainittu radonin kulkeutuminen huoneilmasta keuhkoihin (1 p.) ja tämän mahdollisina vaikutuksina perimäaineksen (DNA) vaurioituminen ja/tai keuhkosityöpä (1 p.)*

*Tyypillisiä virheitä: On väitetty alfahiukkasten tai alfasäteilyn kulkeutuvan ilman mukana. Radonin terveysvaikutukset on ilmaistu epätarkasti.*

8.2. Hajoamisketjussa järjestysluku muuttuu seuraavasti:  $92 \rightarrow 90 \rightarrow 91 \rightarrow 92 \rightarrow 90 \rightarrow 88 \rightarrow 86$ . Koska alfahajoamisessa järjestysluku pienenee kahdella ja  $\beta^-$ -hajoamisessa kasvaa yhdellä, niin hajoamisketjussa syntyy neljä alfahiukkasta ja kaksi  $\beta^-$ -hiukkasta.

*Pisteitys:*

*On annettu hiukkasten oikeat lukumäärät (2 p.). Vastaus on perusteltu hajoamisyyhtälöiden tai hajoamisketjussa tapahtuvien varauslukumuutosten avulla (3 p.).*

*Tyypillinen virhe: Beetahiukkasiksi on laskettu myös (anti)neutriinot.*

8.3. Kaivoveden aktiivisuus litraa kohden on

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N,$$

jossa  $\lambda$  on hajoamisvakio,  $N$  on radioaktiivisten ydinten lukumäärä ja  $T_{1/2}$  on puoliintumisaika. Ydinten lukumäärä on siis

$$N = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} A = \frac{3,82 \cdot 24 \cdot 3\,600 \text{ s}}{\ln 2} \cdot 460 \frac{1}{\text{s}} \approx 219\,030\,000.$$

Vastaus: Yhdessä litrassa porakaivovettä on noin 220 miljoonaa radon-atomia.

*Pisteitys:*

*On nimetty hajoamisvakio  $\lambda$  (2 p.) (Jos  $\lambda$ :n lukuarvolla on väärä yksikkö, näitä pisteitä ei saa.). On esitetty suureyhtälö ydinten lukumäärälle hajoamisvakion tai puoliintumisajan avulla (2 p.). On annettu vastaus, joka pyöristyy arvoon 220 miljoonaa atomia (2 p.).*

*Tyypillinen virhe:  $\lambda$  on jätetty nimeämättä tai sitä on kutsuttu aallonpituudeksi.*

### **Osa 3**

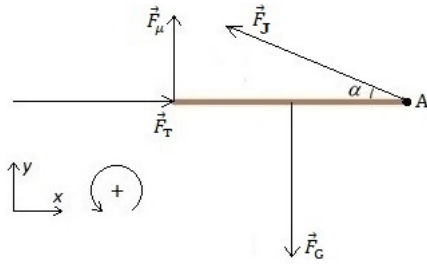
9. Sauvan tasapaino (20 p.)

9.1. Voimakuvio.

Sauvan massa ja pituus ovat  $m = 7,9$  kg ja  $L = 1,9$  m, ja putoamiskiihtyvyys on  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>. Tasapainossa olevaan sauvaan vaikuttavat painon  $\vec{F}_G$  lisäksi seinän aiheuttama tukivoima  $\vec{F}_T$ , seinän aiheuttama kitka  $\vec{F}_\mu$  ja köyden jännitysvoima  $\vec{F}_J$  (ks. kuva).

Kun koordinaatisto, momentin positiivinen suunta ja momenttipiste A valitaan kuvan mukaisesti, saadaan voimaehdot ja momenttiehto muotoon

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_T - F_J \cos \alpha = 0, \\ \sum F_y &= F_\mu + F_J \sin \alpha - F_G = 0, \\ \sum M_A &= F_G \frac{L}{2} - F_\mu L = 0.\end{aligned}$$



Sauvan paino on  $F_G = mg = 77,5$  N. Momenttiehdosta saadaan kitkavoimaksi  $F_\mu = F_G/2 = 38,75$  N. Sauvan pituus supistuu yhtälöstä, joten se ei vaikuta tuloksiin.

Rajatapauksessa sauvan vasen pää on liukumaisillaan ja lepokitka siis suurimmillaan,  $F_\mu = F_{\mu\max} = \mu_0 F_T$ , jossa  $\mu_0 = 0,76$  on seinän ja sauvan välinen lepokitkerroin. Seinän tukivoima on siten  $F_T = F_\mu/\mu_0 = 50,99$  N.

Kun voimaehdot kirjoitetaan muotoon

$$F_J \cos \alpha_r = F_T,$$

$$F_J \sin \alpha_r = F_G - F_\mu,$$

joissa  $\alpha_r$  on kyseistä tilannetta vastaava rajakulma, ja jaetaan alempi yhtälö puolittain ylemmällä, saadaan

$$\tan \alpha_r = \frac{F_G - F_\mu}{F_T} = \mu_0 = 0,76.$$

Rajakulma on  $\alpha_r = 37,23^\circ$ . Tasapaino on mahdollinen, kun  $\alpha < \alpha_r \simeq 37^\circ$ .

*Pisteitys:*

*On esitetty sauvan voimakuvio (4 p.). Voimakuviosta ei saa pisteitä, jos yksikin voima puuttuu tai siinä on ylimääräisiä voimia tai jos voimia jaettu komponentteihin, jotka eivät erotu voimista tai joiden pituudet eivät ole oikein. Voimakuvion pisteistä vähennetään yksi piste, jos voimat eivät ole kiinni kappaleessa tai vaikuttavat väärään pisteeseen tai jos voimien summa selvästi nolasta poikkeava.*

On esitetty tehtävän kannalta oikeat  $x$ - ja  $y$ -suuntaiset tasapainoyhtälöt skalaarimuodossa (2 p. + 2 p.) sekä tasapainoyhtälö momentin suhteen skalaarimuodossa (momenttipiste kerrottu) (2 p.). (Vektoreiden ja skalaarien käyttämisestä samassa yhtälössä väärin vähennetään 2 pistettä.) On esitetty rajakulman suureyhtälö (2 p.) ja tulos, eli sallittu kulma on enintään  $37^\circ$  tai  $37,2^\circ$  (2 p.).

Tyypillinen virhe: Momenttiehdon puuttuminen.

9.2. Nyt  $\alpha = 25^\circ < \alpha_r$ , joten tasapaino on mahdollinen. Kohdan 9.1 perusteella  $F_G \simeq 78 \text{ N}$  ja  $F_\mu \simeq 39 \text{ N}$ . Jälkimmäisestä ja ensimmäisestä voimaehdosta saadaan köyden jännitysvoimaksi  $F_J$  ja seinän tukivoimaksi  $F_T$

$$F_J = \frac{F_G - F_\mu}{\sin \alpha} = 91,69 \text{ N} \simeq 92 \text{ N},$$

$$F_T = F_J \cos \alpha = 83,1 \text{ N} \simeq 83 \text{ N}.$$

*Pisteitys:*

On annettu painon (1 p.), kitkan (2 p.), jännitysvoiman (2 p.) ja tukivoiman (1 p.) arvot kahden tai kolmen numeron tarkkuudella (väärästä tarkkuudesta vähennetään 1 piste).

Tyypillinen virhe: On käytetty lepokitkakertoimen suurinta arvoa.

10. Energiavarasto (20 p.)

10.1. Lämpövarastoon varastoidaan aineiston mukaan enimmillään  $Q = 9\,000 \text{ MWh}$  energiaa. Lämpömäärän  $Q$  ja lämpötilan muutoksen  $\Delta T$  välillä on voimassa yhtälö

$$Q = cm\Delta T,$$

jossa  $c$  on aineen ominaislämpökapasiteetti ja  $m$  on massa. Toisaalta massa on



$m = V\rho$ , jossa  $V$  on tilavuus ja  $\rho$  on tiheys. Lämpötilan muutos on

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{Q}{cV\rho} \\ &= \frac{(9\,000 \cdot 10^6 \text{ Wh}) \cdot (3\,600 \frac{\text{s}}{\text{h}})}{(4\,190 \text{ J}/(\text{kg K})) \cdot (150\,000 \text{ m}^3) \cdot 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 51,55 \text{ K} \approx 52 \text{ K}.\end{aligned}$$

Veden lämpötila nousee noin  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Pisteitys:*

*On esitetty lämpötilan muutoksen suureyhtälö (2 p.) ja annettu lopputulos 50 K tai 52 K tai  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  tai  $52 \text{ }^\circ\text{C}$  (3 p.).*

*Tyypillinen virhe: Yksikkönä on käytetty lämpötilan yksikön sijasta kulman yksikköä aste.*

10.2. Taulukkokirjan mukaan veden tiheys lämpötiloissa  $T_0 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $T_1 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  on  $\rho_0 = 0,9999 \text{ kg/l}$  ja  $\rho_1 = 0,9653 \text{ kg/l}$ . Vesimäärän massa ei muutu, ja se on  $m = V_0\rho_0$ , jossa  $V_0$  on veden tilavuus alkutilanteessa. Vesimäärän tilavuuden muutos on

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_1 - V_0 = \frac{m}{\rho_1} - \frac{m}{\rho_0} \\ &= V_0 \left( \frac{\rho_0}{\rho_1} - 1 \right) \\ &= 150\,000 \text{ m}^3 \left( \frac{0,99990}{0,96534} - 1 \right) = 5\,370 \text{ m}^3 \approx 5\,400 \text{ m}^3.\end{aligned}$$

Siirtyvän veden tilavuus on  $5\,400 \text{ m}^3$ .

*Pisteitys:*

*On esitetty tilavuuden suureyhtälö (2 p.) ja annettu oikea lopputulos  $5\,400 \text{ m}^3$  tai  $5\,000 \text{ m}^3$  (3 p.). Jos on käytetty väärää ratkaisutapaa, mutta on mainittu ilmiöksi lämpölaajeneminen, tehtävästä saa 2 pistettä.*

*Tyypillinen virhe: Käytetty lineaarista lämpölaajenemisen kaavaa ja tilavuuden lämpötilakerrointa.*

10.3. Uusiutuvista energialähteistä tuulivoiman ja aurinkoenergian teho riippuu sääoloista ja vuorokaudenajasta. Fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset

eivät ole riippuvaisia säästä, ja niiden teho on hyvin ennustettavissa ja paremmin sovitettavissa energian kulutushuippuihin. Energiavarastot tasaavat uusiutuvan energian tuotantohuippuja.

*Pisteitys:*

*Mainittu esimerkki uusiutuvasta energiasta (aurinko-, tuuli- tai aaltoenergia) ja siihen liittyvästä tuotannon lyhytaikaisesta vaihtelusta sään (pilvisyys, tuulettomuus) / vuorokaudenajan takia (2 p.). Energiavarastoja on todettu tarvittavan uusiutuvan energian tuotannon tasoittamiseksi / energian saannin jatkuvuuden turvaamiseksi silloin, kun uusiutuvan energian tuotanto on tilapäisesti pientä (2 p.).*

*Tyypillinen virhe: On tarkasteltu energiatuotantoa kokonaisuutena. Tarkasteltu Vaasan ratkaisua kaukolämmön energiavarastona.*

#### 10.4.

Lämpövarastoa käytetään tasaamaan tuotanto- ja kulutushuippuja kaukolämpöverkossa, kun taas sähköakkuja käytetään samaan tarkoitukseen sähköverkossa. Lämpövaraston energian muuttaminen sähköverkossa siirrettäväksi energiaksi ei ole kannattavaa, koska se vaatisi häviöllisen lämpövoimakoneen käyttämistä.

Sähköakku reagoi nopeammin tehontarpeen muutoksiin kuin lämpövarasto ja sähköä siirtäminen varastosta pitkiä matkoja on helpompaa kuin lämmön. Sähköakun kapasiteetti on huomattavasti pienempi kuin lämpövaraston, minkä vuoksi se ei sovellu hyvin lämmitykseen käytettävän energian varastointiin.

*Pisteitys:*

*Todettu, että energiavarastoilla on erilaiset käyttökohteet (sähkö/lämpö) tai että energian muuntaminen muodosta toiseen ei ole kannattavaa (2 p.). Todettu varastojen erilaiset käyttöönottonopeudet (2 p.) ja merkittävä kapasiteettiero (1 p.). Sähköä siirtämisen varastosta (sähköverkon avulla pitkiäkin matkoja) on todettu olevan helpompaa kuin lämmön (1 p.).*

*Tyypillinen virhe: Vertailtiin teknisiä ratkaisuja ja ympäristövaikutuksia.*

## 11. Aurinkopaneeli (20 p.)

11.1. Aurinkoa kohti suuntaaminen lisää aurinkokennoihin osuvan säteilyn intensiteettiä, ts. aurinkokennoihin osuvien fotonien määrää. Tämä puolestaan lisää kennoissa muodostuvien varauksenkuljettajien (elektronien ja aukkojen) määrää ja siten kennosta saatavaa sähkövirtaa.

*Pisteitys:*

*Vastauksesta käy ilmi ajatus, että paneelien suuntaaminen kasvattaa paneeleihin saapuvien fotonien määrää (2 p.) ja että tämä lisää syntyvien elektroni-akkuparien lukumäärää (1 p.).*

11.2. Fotonien energia on käänteisesti verrannollinen aallonpituuteen. Matalaenergisillä fotoneilla ei ole riittävästi energiaa muodostamaan piissä elektroni-aukko-paria (synnyttämään varauksenkuljettajia).

*Pisteitys:*

*Vastauksesta käy ilmi sekä energian ja aallonpituuden riippuvuus toisistaan että energian riittämättömyys (3 p.).*

11.3. Piihin absorboituva fotoni luovuttaa energiansa yhdelle elektronille. Aallonpituuden pienentyessä fotonien energia kasvaa, mutta aurinkokenno ei pysty muuntaamaan sähköön avulla siirrettäväksi energiaksi korkeaenergiaisten fotonien energiasta sitä osuutta, joka ylittää elektroni-aukko-parin muodostumiseen vaadittavan energian. Fotonien energian kasvaessa tämä hukkaan menevä osuus kasvaa, jolloin spektrivaste vastaavasti pienenee.

*Pisteitys:*

*On tarkasteltu yhden fotonin luovuttamaa energiaa elektroni-aukkoparille tai elektronille (3 p.). On todettu, että energiaa jää yli sitä enemmän, mitä suurempi energia on (2 p.).*

11.4. Hyvässä vastauksessa tarkastellaan seuraavia seikkoja:

- Osa kennoon osuneesta säteilystä ei absorboidu, vaan heijastuu kennon pinnasta tai läpäisee kennon.
- Osa säteilystä absorboituu, mutta ei muodosta elektroni-aukko-pareja: säteily, jonka aallonpituus on yli 1 100 nm ja säteily, joka absorboituu kennon pintarakenteisiin. Näissä tapauksissa absorboituneen säteilyn energia muuntuu kokonaan kennon sisäenergiaksi.
- Myös sellaisesta kennoon absorboituvasta säteilystä, joka muodostaa elektroni-aukkopareja, ei saada kaikkeaa energiaa sähköisesti siirrettävään muotoon: elektroni-aukko-parin muodostamiseen vaadittavan energian ylittävä osuus menee elektronin liike-energiaksi ja niin kennon sisäenergiaksi. (Lisäksi osaa muodostuneista varauksenkuljettajista ei saada kerättyä ulkoiseen piiriin: mitä kauempana diodin p-n-liitoksesta elektroni-aukko-pari muodostuu, sitä enemmän tapahtuu elektronien ja aukkojen rekombinaatiota, jolloin energiaa muuntuu kennon sisäenergiaksi tai säteilyn energiaksi.)

*Pisteitys:*

*On mainittu säteilyn heijastuminen paneelista (2 p.) ja absorptio rakenteisiin (2 p.).*

*On todettu pitkäaaltoisen säteilyn läpimeno tai kohdassa 11.3 kuvattu energia ylijäämä tai on kerrottu energian keräämisen muista ongelmista (1 p.).*

11.5. Kuvasta 11.A (ja tehtävästä 11.2) nähdään, että säteily, jonka aallonpituus on  $\lambda \leq 1\,100$  nm (tai aineiston kuvasta  $\lambda \leq 1\,200$  nm), muodostaa kennossa varauksenkuljettajia. Aallonpituutta  $\lambda = 1\,100$  nm vastaava fotonin energia on  $E = hc/\lambda$ , jossa  $h$  on Planckin vakio  $6,62607004 \cdot 10^{-34}$  Js ja  $c$  valonnopeus  $2,99792458 \cdot 10^8$  m/s. Elektroni-aukko-parin muodostumiseen siis tarvitaan energia  $E = hc/\lambda \simeq 1,8 \cdot 10^{-19}$  J = 1,1 eV.

*Pisteitys:*

*On esitetty suureyhtälö energialle (2 p.) ja vastaus  $1,0\dots1,1$  eV tai  $1,6\cdot10^{-19}$  J...1,8·  
 $10^{-19}$  J (2 p.).*