



## FYSIIKKA 29.9.2020

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 29.9.2020

Osatehtävässä 11.3. korjattu yksikkö tehtävänannon mukaiseksi 30.9.2020.

Osatehtävässä 11.2. korjattu aallonpituuden arvo 1.10.2020.

Alustavat hyvän vastauksen piirteet on suuntaa-antava kuvaus kokeen tehtäviin odotetuista vastauksista ja tarkoitettu ensisijaisesti tueksi alustavaa arvostelua varten. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät välttämättä sisällä ja kuvaa tehtävien kaikkia hyväksytyjä vastauksia. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät ole osa Ylioppilastutkintolautakunnan yleisissä määräyksissä ja ohjeissa tarkoitettua tietoa siitä, miten arvosteluperusteita on sovellettu yksittäisen kokelaan koesuoritukseen. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät sido Ylioppilastutkintolautakuntaa lopullisen arvostelun perusteiden laadinnassa.

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 liitty-

viä ongelmia ratkaistaan käyttäen ja soveltaen fysiikan käsitteitä ja käsiterakenteita. Luo-  
vuutta ja kekseliäisyyttä osoittavat ratkaisut katsotaan erityisen ansiokkaiksi. Arviointiin vai-  
kuttavat 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 koke-  
las on tunnistanut oikein fysikaalisen ilmiön ja tarkastelee tilannetta fysikaalisesti mielek-  
källä tavalla. Kokelas osaa kuvata sovellettavan fysikaalisen mallin ja perustella, miksi mallia  
voidaan käyttää kyseisessä tehtävässä. Usein vastauksessa tarvitaan tilannekuvioita, voima-  
kuvioita, kytkentäkaavioita tai graafista esitystä. Kuviot, kaaviot ja graafiset esitykset ovat  
selkeitä ja oppiaineen yleisten periaatteiden mukaisia. Voimakuviossa todelliset voimat ero-  
tetaan vektorikomponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä edellyttävissä tehtävissä suureyhtälöt ja kaavat on perusteltu ta-  
valla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen, esimerkiksi lähtien jostain fysiikan pe-  
ruslaista tai -periaatteesta. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut sekä muut riittävät pe-  
rustelut ja lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei digitaalisessa kokeessa tar-  
vitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä lukuarvoa ja yksikköä kul-  
lekin suuresymbolille käytetään. Fysiikan kokeessa kaikki funktio-, graafiset ja symboliset las-  
kimet ovat sallittuja. Symbolisen laskimen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan rat-  
kaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu ja loppu-  
tuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen ratkaistu suureyhtälö. Las-  
kimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edel-  
lyttämällä tavalla.

## Osa I

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

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

1.1. Pallo ja jalka kohdistavat yhtä suuret voimat toisiinsa.

1.2. painovoima ja ilmanvastus

1.3. Ilmanvastus on saman suuruinen kuin hyppääjän ja varusteiden paino.

1.4. Pallon ja tölkin yhteenlaskettu liike-energia ei säily, ja yhteenlaskettu liikemäärä säilyy.

1.5. Johtuminen

1.6. Polttoaineen kemiallinen energia muuttuu liike-energiaksi auton polttomoottorissa.

1.7. Voima vaikuttaa johtimeen kuvassa oikealle tai vasemmalle.

1.8. Aallon etenemisnopeus ja etenemissuunta muuttuvat.

1.9. Pisteissä K ja L sähkövirrat ovat yhtä suuret ja potentiaalit eri suuret.

1.10. A

## Osa II

### 2. Sauna (15 p.)

#### 2.1. (7 p.)

Kiuaskivien energiaa kuluu löylyveden lämmittämiseen höyrystymislämpötilaan sekä ko. löylyveden vesimassan höyrystymiseen.

Kiuaskivet luovuttavat kylmän löylyveden tapauksessa lämpömäärän

$$Q_1 = c_{\text{vesi}}m\Delta T + r_{\text{vesi}}m = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,30 \text{ kg} \cdot (90 \text{ K} - 7 \text{ K}) + 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,30 \text{ kg} \\ = 781,331 \text{ kJ}$$

ja lämpimän veden tapauksessa lämpömäärän

$$Q_2 = c_{\text{vesi}}m\Delta T + r_{\text{vesi}}m = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,30 \text{ kg} \cdot (90 \text{ K} - 40 \text{ K}) + 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,30 \text{ kg} \\ = 739,890 \text{ kJ.}$$

Näin ollen kylmän veden käyttö vähentää kiuaskiviin varastoitunutta energiaa

$$\Delta p = 100 \% \cdot \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} \approx 5,6 \%$$

enemmän kuin lämpimän veden käyttö.

(7 p.)

#### 2.2. (4 p.)

Kiviin varastoinut lämpöenergia vähenee kohdassa 3.1. lasketulla määrällä  $Q_1$ .

Lämpömäärän lausekkeesta  $c_{\text{kivi}}m_{\text{kivi}}\Delta T = Q_1$  saadaan lämpötilaeroksi

$$\Delta T = \frac{Q_1}{c_{\text{kivi}}m_{\text{kivi}}} = \frac{781,331 \text{ kJ}}{1,30 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 100 \text{ kg}} \approx 6,0 \text{ K,}$$

eli kivien lämpötila laskee 6 K (lämpötilasta 250 °C lämpötilaan 244 °C).

(4 p.)

### 2.3. (4 p.)

Pääasiallinen löylyn ihoa lämmittävä vaikutus perustuu energiaan, joka vapautuu löylynheitossa syntyneen vesihöyryn tiivistyessä iholle. Tiivistyminen tapahtuu, koska ihon lämpötila on merkittävästi vesihöyryn lämpötilaa alempi.

Löylyn ihoa lämmittävä vaikutus perustuu osin myös seuraaviin seikkoihin:

Ilman tiheys hetkellisesti kasvaa vesihöyryn syntymisen myötä, ja lämpö johtuu tiheämmästä aineesta eli kosteammasta saunailmasta tehokkaammin iholle kuin harvemmasta aineesta eli kuivemmasta saunailmasta (vrt. nestemäisen veden ihoa polttava vaikutus).

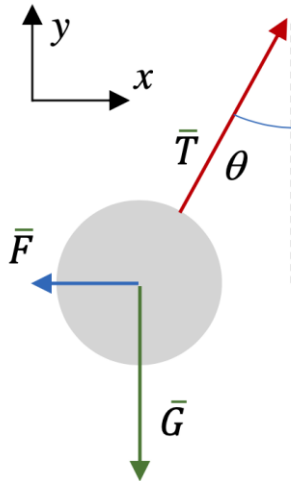
Lisäksi löylynheitto aiheuttaa saunassa vesihöyryn sekä muun ilmamassan virtauksia. Virtauksien ansiosta ihon pinnan lähellä oleva, ihon jäähdyttämä höyry korvautuu kuumemmalla höyryllä. Tällöin saunailman lämpö siirtyy tehokkaammin iholle kuin ennen löylynheittoa (vrt. saunassa iholle puhaltaminen).

(4 p.)

### 3. Varatut pingispallot (15 p.)

#### 3.1. (5 p.)

Piirretään voimakuvio:



Palloon vaikuttavat voimat ovat pallon paino  $\bar{G}$ , langan tukivoima  $\bar{T}$  ja varauksien vuorovaikutuksesta syntyvä sähköinen voima  $\bar{F}$ . (5 p.)

#### 3.2. (10 p.)

Pallot hylkivät toisiaan, joten niissä on samanmerkkinen varaus. Pallot ovat samassa potentiaalissa, koska niiden pinta on johdemateriaalia ja ne ovat yhdistetty johteella. Koska palloilla on yhtä suuret säteet, niiden varaukset  $q$  ovat yhtä suuret. (2 p.)

Pallo on tasapainossa ja tasapainoehdot langan jännityksen  $\bar{T}$ , pallon painon  $\bar{G}$  ja pallojen välisen voiman  $\bar{F}$  avulla vaaka- ja pystysuunnassa ovat

$$-F + T_x = 0,$$

$$T_y - G = 0.$$

Pallojen keskipisteiden etäisyys ja langan pituus määrittävät kulman  $\theta$ :

$$\frac{d}{2} = L \sin \theta,$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{d}{2L}\right).$$

(4 p.)

Tasapainoehdosta pystysuunnassa saadaan

$$T \cos \theta - mg = 0,$$

$$T = \frac{mg}{\cos \theta}.$$

Tasapainoehdosta vaakasuunnassa saadaan

$$F = T \sin \theta,$$

$$F = mg \tan \theta.$$

Pallot vaikuttavat toisiinsa Coulombin voimalla  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2}$ , jossa  $\epsilon_0$  on tyhjiön permittiivisyys.

Koska pallojen varaukset ovat yhtä suuret,  $q_1 = q_2 = q$ , saadaan

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2}.$$

(2 p.)

Merkitsemällä pallojen välisen voiman lausekkeet yhtä suuriksi saadaan

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2} = mg \tan \theta.$$

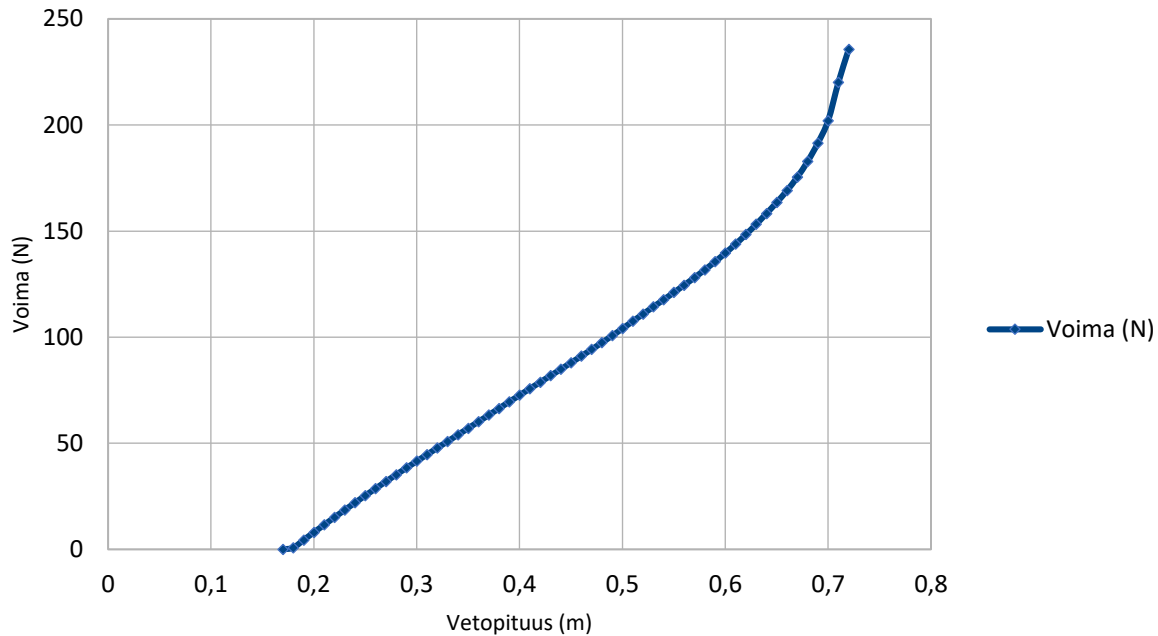
Tästä saadaan varaukseksi

$$q = 2d \sqrt{\pi\epsilon_0 mg \tan \theta} = 47 \text{ nC}.$$

(2 p.)

#### 4. Pitkäjousi (15 p.)

##### 4.1. (7 p.)



(4 p.)

Työ on (vetopituus, voima) - käyrän alle jäävä pinta-ala. Integroimalla pinta-ala vetopituuteen 0,70 m saakka saadaan työksi  $W = 46 \text{ J}$ .

(3 p.)

##### 4.2. (8 p.)

Nuolen lähtönopeus on mahdollisimman suuri silloin, kun vastusvoimien vaikutus on merkityksetön.

Silloin on voimassa mekaniikan työ-energiaperiaate:  $W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .

(4 p.)

Työ on määritetty osiossa 4.1., alkunopeus  $v_1 = 0 \text{ m/s}$  ja  $m = 490 \cdot 64,79891 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 31,8 \text{ g}$ , joten suurin mahdollinen lähtönopeus on

$$v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} = 54 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

(4 p.)



## 5. Heiluri (15 p.)

### 5.1. (6 p.)

Heilahtelun vaimenemista voidaan vähentää minimoimalla liikettä vastustavat voimat: nivelen kitka (esim. sopivalla, mahdollisimman hankauksettomalla ripustustavalla tai nivelen voitelulla) ja heilurin ilmanvastus (esim. virtaviivainen kappale, ohut lanka, heilurin laittaminen tyhjiökuppuun).

Lisäksi kannattaa valita raskas kappale ja pitkä lanka. Tällöin (pienilläkin heilahduskulmilla) heilurin mekaaninen energia on suuri ja liikettä vastustavien voimien aiheuttama heilurin energiahäviö on suhteellisesti pienempi kuin lyhyen ja kevyen heilurin tapauksessa.

(6 p.)

### 5.2. (9 p.)

Harmoniseksi värähtelyksi sanotaan harmonisen voiman ylläpitämää liikettä. Harmoninen voima suuntautuu tasapainoasemaa kohti ja on suoraan verrannollinen kappaleen etäisyyteen tasapainoasemasta.

(3 p.)

JOKO:

Harmonisen värähtelijän jaksonaika ei riipu värähtelyn amplitudista. Heilurin värähtelyn harmonisuutta voi tutkia mittaamalla heilurin heilahdusaika useilla eri poikkeutuskulman arvoilla. Kukin heilahdusaika määritetään mittaamalla useaan heilahdukseen (esimerkiksi kymmeneen) kulunut aika ja jakamalla se heilahdusten lukumäärällä. Ilmanvastuksen vaikutuksen vähentämiseksi koe suoritetaan tyhjiökuvussa. Jos heilahdusaika pysyy vakiona, heiluri on likimain harmoninen värähtelijä kokeessa käytetyillä poikkeutuskulmilla. Heilahdusajan muuttuminen poikkeutuskulmaa muutettaessa osoittaa, että heiluri ei ole harmoninen värähtelijä.

TAI:

Mitataan palauttavan voiman suuruutta eri poikkeutuskulmilla. Jos heilurin varsi on hyvin kevyt punnukseen verrattuna, mitataan palauttava voima  $F$  punnukseen kiinnitetyllä voimamittarilla (jousivaa'alla) punnuksen liikeradan tangentin suunnassa useilla eri poikkeutuskulmilla  $\varphi$ . Poikkeutuskulmaa vastaava matka tasapainoasemaan on kaarenpituus  $x=l\varphi$ , jossa  $l$  on punnuksen painopisteen etäisyys ripustuskohdasta. Tulokset sijoitetaan  $x,F$ -koordinaatistoon. Jos pisteisiin voidaan sovittaa suora, heiluri on likimain harmoninen värähtelijä kokeessa käytetyillä poikkeutuskulmilla. Jos pisteisiin ei voida sovittaa suoraa, heiluri ei ole harmoninen värähtelijä.

(4 p.)

Jos heilurin varsi on hyvin kevyt punnukseen verrattuna, heiluriin kohdistuva palauttava voima on punnuksen painon komponentti liikeradan tangentin suunnassa. Sen suuruus on  $F = mg\sin\varphi$ , jossa  $m$  on punnuksen massa,  $g$  putoamiskiiktyvyys ja  $\varphi$  heilahduskulma. Punnuksen matka tasapaino-  
asemaan on puolestaan kaarenpituus  $l\varphi$ , jossa  $l$  on punnuksen painopisteen etäisyys ripustusko-  
hdata. Palauttava voima ei siis ole suoraan verrannollinen etäisyyteen tasapainoasemasta, joten se  
ei ole harmoninen voima. Pienillä kulmilla palauttavan voiman suuruus on  $F \approx mg\varphi$ , joten voima  
on likimain suoraan verrannollinen etäisyyteen tasapainoasemasta eli radan kaarenpituuteen  $l\varphi$ .  
Pienillä kulmilla heiluri on siis likimain harmoninen värähtelijä.

(2 p.)

## 6. Nuppineulat (15 p.)

Nuppineulat saisi noukittua lattian raosta rakentamalla käytettävissä olevista esineistä sähkömagneetin. Rakentamiseen tarvitaan paristo, metallilankaa ja rautanaula (tai kynä).

Metallilangan päällysteen voi päistään kuoria saksilla. Metallilanka kieputetaan rautanaulan (tai kynän) ympärille (alkeellinen käämi) ja langan päät kierretään pariston napojen ympärille tai kiinnitetään niihin eristysnauhalla. (3 p.)

Kun metallilangan päät on kytketty pariston napoihin, on langassa sähkövirta. Tällöin langan ympärille syntyy magneettikenttä ja (alkeellinen) käämi toimii sähkömagneettina. Nuppineulat itsessään eivät ole magneetteja, mutta ne magnetoituvat hetkellisesti magneetin vaikutuksesta, ja siten ne tarttuvat sähkömagneettiin. Näin nuppineulat saadaan pois lattialautojen välistä. (5 p.)

Mitä useampi kierros johdinta on kierretty ja mitä lyhyemmälle matkalle, sitä voimakkaampi on magneettikenttä (pitkän käämin magneettikenttä  $B = N\mu_0 I/l$ ). Magneettikenttä vahvistuu, jos rautanaulan laittaa käämiin sydämeksi. Koska paristoja oli vain yksi, sähkövirran suuruutta sähkömagneetissa ei voida vaihdella. (4 p.)

Metallilanka johtaa hyvin sähköä, joten kytkentä vastaa lähes oikosulkukytkentää. Syntyvä sähkövirta on suuri, ja metallilanka kuumenee voimakkaasti. Nuppineulat kannattaa siis noukkia mahdollisimman nopeasti. Tarvittaessa sähkömagneettia voi siirrellä pyyhekumien avulla, koska pyyhekumit eivät johda lämpöä. (3 p.)

## 7. Radioaktiivinen hajoaminen (15 p.)

### 7.1. (5 p.)

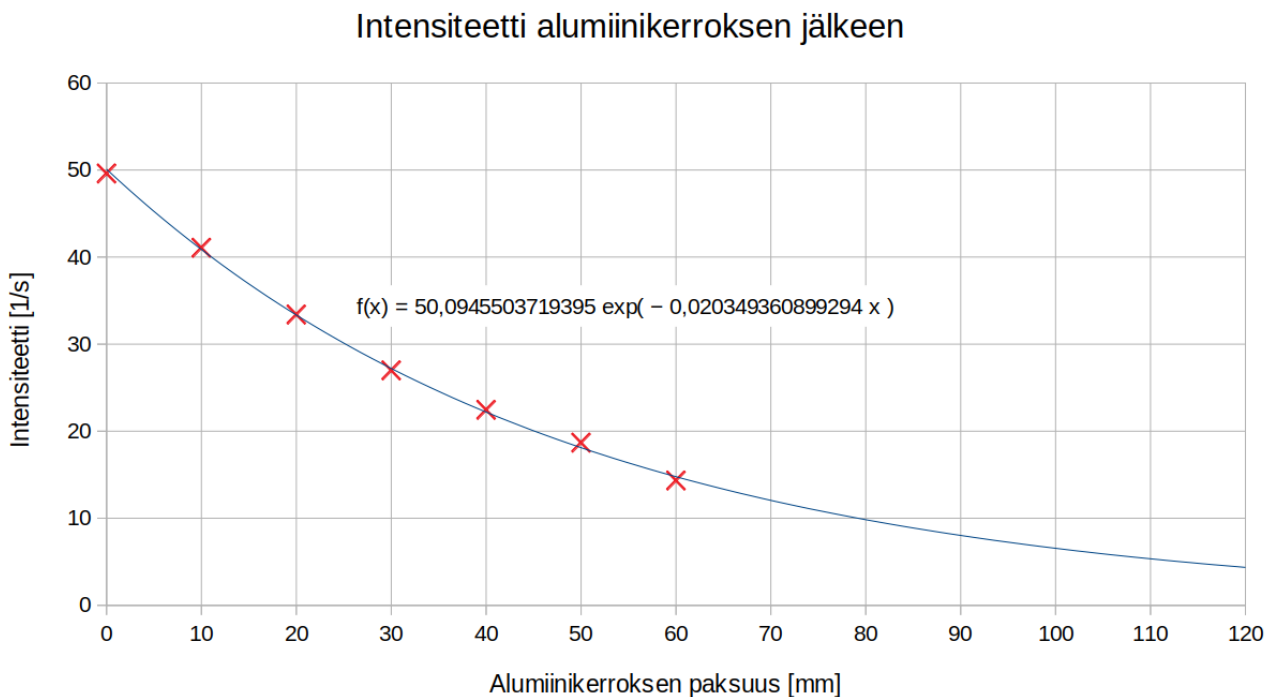
Taulukkokirjan mukaan cesiumin varausluku (järjestysluku) on 55 ja bariumin 56. Hajoamisissa a ja b ytimen varausluku kasvaa yhdellä, joten niissä on kyse  $\beta^-$ -hajoamisesta, jossa yksi ytimen neutroneista muuttuu protoniksi. Siirtymissä a ja b syntyy siis elektronisäteilyä eli  $\beta^-$ -säteilyä.

(3 p.)

Siirtymässä c varausluku ja massaluku pysyvät vakioina, joten siinä barium-137:n viritystilä purkautuu alemmalle energiatilalle ja ydin lähettää suurienergiaisen fotonin eli gammasäteilyä. (2 p.)

### 7.2. (5 p.)

Piirretään mittauspisteet laskentaohjelmalla ja sovitetaan siihen eksponenttikäyrä.



Eksponenttikäyrä näyttää kuvaavan havaintoja hyvin.

(5 p.)

### 7.3. (5 p.)

Gammasäteilyn vaimenemista väliaineessa kuvaa gammasäteilyn heikennyslaki  $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ , jossa  $\mu$  on heikennyskerroin. Kohdan 7.2. sovitus tehtiin eksponenttifunktiolla, ja sen lauseke on merkitty kuvaan. Sovitus antoi heikennyskerroimeksi  $\mu = 0,02035 \text{ mm}^{-1}$ . Ratkaistaan heikennyslain lausekkeesta paksuus  $x$ , jolla intensiteetti pienenee kymmenenteen osaan eli  $I(x)/I_0 = 0,1$ :

$$\frac{I(x)}{I_0} = e^{-\mu x},$$
$$\ln(0,10) = -\mu x.$$

Tarvittavan alumiinikerroksen paksuudeksi saadaan  $x = \frac{-\ln(0,10)}{\mu} = \frac{-\ln(0,10)}{0,02035 \text{ 1/mm}} = 113,15 \text{ mm} \approx 11 \text{ cm}$ .

Myös kohdassa 7.2. saadusta kuvaajasta luettu vastaus hyväksytään.

(5 p.)

## 8. Apollo 11 (15 p.)

### 8.1. (10 p.)

Newtonin II lain mukaan komento- ja huoltomoduulista koostuvalle yhdistelmälle on sen radan säteen suunnassa voimassa liikeyhtälö  $a = F/m$ , jossa  $a = v^2/r$  ja  $m$  ovat moduuliyhdistelmän normaalikiikkyvyys ja massa;  $v$  on moduuliyhdistelmän nopeus ja  $r$  radan säde.  $F$  on Kuun moduuliyhdistelmään kohdistama gravitaatiovoima,

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2}, \quad (3 \text{ p.})$$

jossa  $\gamma = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  on gravitaatiovakio ja  $M = 7,348 \cdot 10^{22} \text{ kg}$  Kuun massa. Kuun säde on 1738 km, joten  $r = (1738 + 110) \text{ km} = 1848 \text{ km}$ . Sijoitetaan normaalikiikkyvyyden ja gravitaatiovoiman lausekkeet liikeyhtälöön, jolloin saadaan yhtälö

$$\frac{v^2}{r} = \gamma \frac{M}{r^2}.$$

Siitä saadaan moduuliyhdistelmän nopeudeksi

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M}{r}} = 1629 \text{ m/s}. \quad (4 \text{ p.})$$

Yhteen kierrokseen Kuun ympäri kuluva aika on siten  $T = 2\pi r/v = 7,1279 \cdot 10^3 \text{ s}$ . Kierrosten lukumääräksi saadaan

$$N = \frac{\Delta t}{T} = \frac{128 \text{ h } 3 \text{ min} - 100 \text{ h } 12 \text{ min}}{7,1279 \cdot 10^3 \text{ s}} = \frac{4,6098 \cdot 10^5 \text{ s} - 3,6072 \cdot 10^5 \text{ s}}{7,1279 \cdot 10^3 \text{ s}} \approx 14,1. \quad (3 \text{ p.})$$

### 8.2. (5 p.)

Kuuta kiertäessään komento- ja huoltomoduulin yhdistelmä oli vapaassa putoamisliikkeessä gravitaatiokentässä, jossa sen kiihtyvyys oli gravitaation aiheuttama gravitaatiokiihtyvyys.

(2 p.)

Koska gravitaatiokiihtyvyys on kaikille kappaleille yhtä suuri, Collinsin kiihtyvyys oli yhtä suuri kuin moduuliyhdistelmän kiihtyvyys. Siksi moduuliyhdistelmä ei aiheuttanut Collinsiin tukivoimia ja Collins koki olevansa painottomassa tilassa.

(3 p.)

## Osa III

### 9. Pysäköintitutka (20 p.)

#### 9.1. (7 p.)

Ultraäänellä tehtävät etäisyysmittaukset perustuvat ultraäänipulssien heijastumiseen ja kulkuuikaan. Äänennopeus ilmassa on lyhyellä aika- ja matkavälillä vakio, ja ultraäänipulssin lähteestä mittaushohteeseen ja takaisin anturille kulkemiseen käyttämä aika on siksi suoraan verrannollinen hohteen etäisyyteen.

(3 p.)

Mittauksien minimietäisyys määräytyy yhden ultraäänipulssin kestosta. Jos mittaushohta on liian lähellä, esteestä heijastunut pulssin alkuosa ehtii palata ultraäänilaitteeseen ennen kuin pulssi on kokonaisuudessaan lähetetty. Kulkuuika mitataan silloin virheellisesti, koska laite ei pysty vastaanottamaan äänisignaalia samalla kun äänipulssin lähettäminen on vielä kesken.

(2 p.)

Mittauksien maksimietäisyys määräytyy ultraäänipulssien vaimenemisesta. Ultraääni vaimenee hyvin voimakkaasti ilmassa ja muissa kaasuissa. Jos etäisyys esteeseen on liian pitkä, pulssi vaimenee liikaa, eikä anturi pysty havaitsemaan takaisinheijastunutta signaalia.

(2 p.)

#### 9.2. (6 p.)

Äänen nopeus ilmassa (20 °C) on 343 m/s.

Minimietäisyys on  $x = 15$  cm.

Yhden pulssin kesto voidaan laskea käyttäen edestakaista matkaa ja äänen nopeutta:

$$t = \frac{2x}{v} = \frac{2 \cdot 0,15 \text{ m}}{343 \text{ m/s}} = 0,000874636 \text{ s} \approx 0,87 \text{ ms.}$$

(2 p.)

Jos yhdessä pulssissa on  $n = 90$  värähtelyjaksoa, niin ultraäänen aallonpituus pystytään vastavasti laskemaan:

$$\lambda = \frac{2x}{n} = \frac{2 \cdot 0,15 \text{ m}}{90} = 0,00333333 \text{ m} \approx 3,3 \text{ mm.}$$

(2 p.)

ja ultraäänen taajuus on

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{0,00333333 \text{ m}} = 102900 \text{ Hz} \approx 100 \text{ kHz.}$$

(2 p.)

### 9.3. (7 p.)

Minimietäisyys mittauksille on suoraan verrannollinen äänen nopeuteen, eli  $x \sim v$ . Jos  $v \sim \sqrt{T}$ , niin seuraa että  $x \sim \sqrt{T}$  eli minimietäisyyksien suhde on yhtä suuri kuin lämpötilojen neliöjuurien suhde:

$$\frac{x_{T_1}}{x_{T_2}} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}}.$$

$T$  on lämpötila kelvineissä.

Jos  $T_1 = 20 \text{ °C} = 293,15 \text{ K}$ ,  $T_2 = 45 \text{ °C} = 318,15 \text{ K}$  ja  $x_{T_1} = 15 \text{ cm}$ , niin minimietäisyyden muutos lämpötilan noustessa  $45 \text{ °C}$ :seen on:

$$\Delta x = x_{T_2} - x_{T_1} = x_{T_1} \left( \frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}} - 1 \right) = 15 \text{ cm} \cdot \left( \frac{\sqrt{318,15 \text{ K}}}{\sqrt{293,15 \text{ K}}} - 1 \right) = 0,626520 \text{ cm} \approx 0,62 \text{ cm.}$$

(3 p.)

Suhteellinen muutos aallonpituudessa on

$$\frac{\lambda_{T_2}}{\lambda_{T_1}} - 1 = \frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}} - 1 = \frac{\sqrt{318,15 \text{ K}}}{\sqrt{293,15 \text{ K}}} - 1 = 0,0417680 \approx 4,2 \text{ \%}.$$

(2 p.)

Äänipulssin kesto ei muutu. Se riippuu ainoastaan anturin lähetysajasta.

(2 p.)



## 10. Lentävä rengas (20 p.)

### 10.1. (6 p.)

Kun käämiin kytketään sähkövirta, se toimii sähkömagneettina rautatangon magnetoituessa äkillisesti. Alumiinirenkaan läpäisemä magneettivuo muuttuu, mikä indusoi renkaaseen jännitteen. (2 p.)

Indusoitunut jännite puolestaan aiheuttaa renkaaseen sähkövirran. Sähkövirta synnyttää magneettikentän, joka on Lenzin lain mukaan vastakkaisuuntainen rautasydämen magneettikentälle, minkä vuoksi rengas ja rautasydän hylkivät toisiaan ja rengas lennähtää pois. (4 p.)

### 10.2. (3 p.)

Kun koe toistetaan katkaistulla renkaalla, renkaaseen kyllä indusoituu jännite, mutta koska rengas on poikki, se ei muodosta virtasilmukkaa, jossa kulkisi sähkövirta. Rengas ei tällöin muodosta magneettikenttää, joka hylkisi rautasydämen magneettikenttää. (3 p.)

### 10.3. (3 p.)

Nestetytellä jäädytetyllä renkaalla on huomattavasti alhaisempi resistiivisyys kuin lämpimällä renkaalla. Tästä syystä induktiojännitteen aiheuttama sähkövirta on siinä huomattavasti suurempi kuin lämpimässä renkaassa. Silloin myös sähkövirran aiheuttama magneettikenttä, ja näin ollen myös toisiaan hylkivät voimat, ovat suurempia kuin lämpimän renkaan tapauksessa. (3 p.)

### 10.4. (4 p.)

Rautatanko on ferromagneettista ainetta, joka koostuu satunnaisesti järjestäytyneistä magneettisista alkeisalueista. Kunkin alkeisalueen sisällä atomien ja molekyylien muodostamat alkeismagneetit ovat likipitään samansuuntaisia. Ferromagneettisten rakeiden satunnaisuus on ominaista pehmytraudalle. Kun käämin johtimeen kytketään sähkövirta, sähkövirran aiheuttama magneettikenttä kääntää eri alkeisalueiden magneettikentät samansuuntaisiksi, jolloin käämin ja magnetoituneen rautasydämen kokonaiskenttä on huomattavasti voimakkaampi kuin pelkän käämiksi kierretyn virtajohtimen aikaansaama kenttä. (4 p.)

**10.5. (4 p.)**

Messinki ei ole ferromagneettinen aine. Messinkinen tanko ei siksi juurikaan magnetoidu ulkoisessa magneettikentässä. Kun käämiin kytketään sähkövirta, alumiinirengas kokee siis vain käämiksi kierretyn virtajohtimen aiheuttaman suhteellisen heikon magneettikentän vaikutuksen. Renkaaseen indusoituu näin ollen vain heikko jännite, ja toisiaan hylkivät magneettiset voimat jäävät silloin pieniksi. (4 p.)

**11. Galaksi (20 p.)****11.1. (6 p.)**

a. Maailmankaikkeuden ikä on alkuräjähdyksestä kulunut aika. Aineistossa todetaan, että galaksi GN-z11 nähdään sellaisena kuin se oli 13,4 miljardia vuotta sitten, jolloin alkuräjähdyksestä oli kulunut 400 miljoonaa vuotta. Maailmankaikkeuden ikä on siis 13,8 miljardia vuotta. (Myös ilman perustelua esitetty oikea vastaus hyväksytään.) (2 p.)

b. Kaukaiset galaksit loittonevat meistä, koska avaruus laajenee. Avaruuden laajenemisen takia galaksien lähettämän valon aallonpituudet kasvavat eli siirtyvät spektrin "punaisen pään" suuntaan, kun valo kulkee avaruudessa. Tätä kutsutaan kosmiseksi punasiirtymäksi. (2 p.)

c. Kaukana sijaitseva GN-z11 voidaan havaita sen kirkkauden ansiosta. Kirkkaus on aineiston mukaan selitettävissä sillä, että galaksissa syntyy runsaasti uusia tähtiä. Tämä on tyypillistä kasvuvaiheessa olevalle nuorelle galaksille. (2 p.)

**11.2. (6 p.)**

Mittausaineistosta voidaan arvioida, että suureen  $z$  arvo on  $z \approx 11,1$ . Yhtälöstä  $z = \frac{\lambda_h - \lambda}{\lambda}$  saadaan Lymanin  $\alpha$ -viivan havaituksi aallonpituudeksi

$$\lambda_h = (1 + z)\lambda \approx 1470 \text{ nm.}$$

(6 p.)

**11.3. (8 p.)**

Sähkömagneettisen säteilyn Dopplerin laista

$$\lambda_h = \lambda \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

saadaan galaksin nopeudeksi

$$v = c \cdot \frac{\lambda_h^2 - \lambda^2}{\lambda_h^2 + \lambda^2} = 0,986 \cdot c = 2,96 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

(4 p.)

Hubble'n laista  $v = H_0 d$  saadaan galaksin etäisyydeksi ( $H_0 = 22 \frac{\text{km/s}}{\text{Mly}}$ )

$$d = \frac{v}{H_0} \approx 13,4 \text{ Gly} = 1,27 \cdot 10^{23} \text{ km}.$$

(4 p.)