



## FYSIIKKA 29.9.2020

Lopulliset hyvän vastauksen piirteet 12.11.2020

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 arvostelumerkinnot katsotaan muistiinpanoluonteisiksi, eivätkä ne tai niiden puuttuminen näin ollen suoraan kerro arvosteluperusteiden soveltamisesta koesuoritukseen.

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 ja lopputuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen ratkaistu suureyhtälö. Laskimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edellyttämällä 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

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

ja lämpimän veden tapauksessa lämpömäärän

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

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.

#### **Pisteitys:**

Veden lämmittäminen, 2 p.

Veden höyrystyminen, 2 p.

Oikea lopputulos yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkuudella, 3 p.

Tyypillinen virhe: Höyrystyminen jätetään huomioimatta.

## 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).

### Pisteitys:

Käy ilmi, että kivien luovuttama lämpö on yhtä suuri kuin veden vastaanottama lämpö, 2 p.

Oikea lopputulos 1-2 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2 p.

Jos höyrystyminen puuttuu osiossa 2.1, osiosta 2.2 voi saada korkeintaan 2 pistettä.

## 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 ilmassan virtauksia. Virtauksien ansiosta ihon pinnan lähellä oleva, ihon jäädyttämä höyry korvautuu kuumemmalla höyryllä. Tällöin saunailman lämpö siirtyy tehokkaammin iholle kuin ennen löylynheittoa (vrt. saunassa iholle puhaltaminen).

### Pisteitys:

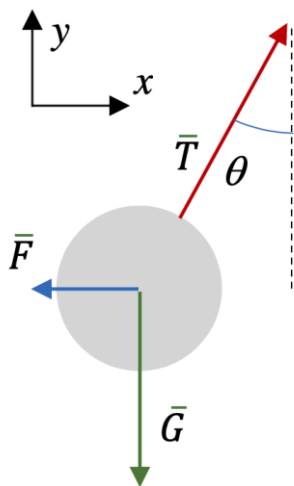
Vesihöyryn tiivistyminen iholle ja siihen liittyvä energian vapautuminen, 4 p.

Muut selitykset, yhteensä enintään 1 p.

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

#### 3.1. (5 p.)

Piirretään voimakuvio:



Palloon vaikuttavat voimat ovat pallon paino  $\vec{G}$ , langan tukivoima  $\vec{T}$  ja varauksien vuorovaikutuksesta syntyvä sähköinen voima  $\vec{F}$ .

#### Pisteitys:

Voimakuvio, 3 p.

Voimien nimeäminen, 2 p.

Tyypillisiä virheitä, jotka aiheuttavat pisteiden vähentämistä:

- Jos voimakuviossa on ylimääräinen, puuttuva tai väärään suuntaan oleva voima, voimakuviosta saa 0 p.
- Jokin voiman vaikutuspiste on väärin, -1p.
- Voimavektoreiden pituudet eivät vastaa tasapainotilannetta, -1p.
- Liian pienellä olevat merkinnät tulkitaan puuttuviksi merkinnöiksi ja luetaan virheiksi.
- Jos voimien nimistä on vain kaksi oikein, saa nimistä 1 p, jos kaksi on väärin, saa nimistä 0 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.

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  $\theta$ :

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

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

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

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

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

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

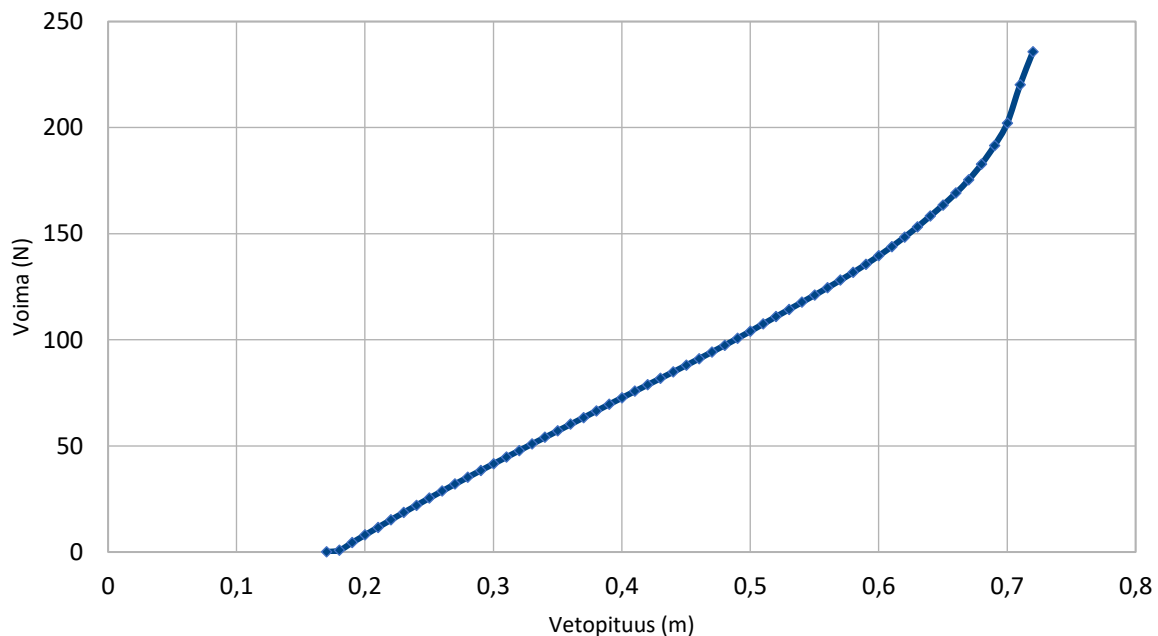
**Pisteitys:**

Varausten samanmerkkisyys ja yhtäsuuruus, 2+2 p.

Tasapainotilanteen toteaminen ja vastaavat suureyhtälöt, 3 p.

Oikea sähköisen voiman lausekkeen käyttö, 1 p.

Kysytyn varauksen suhteen ratkaistu suureyhtälö ja oikea lopputulos 2-3 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2 p.

**4. Pitkäjousi (15 p.)****4.1. (7 p.)**

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

**Pisteitys:**

Kuva, 4 p.

Seuraavista virheistä aiheutuu kustakin yhden pisteen vähennys:

- Väärin päin olevat akselit
- Suureen tunnus (nimi) puuttuu toiselta tai molemmilta akseleilta
- Suureen yksikkö puuttuu toiselta tai molemmilta akseleilta.



Fysikaalisen pinta-alan määrittäminen käy ilmi, 2 p.

Oikea vastaus kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, 1 p.

Tyypillinen virhe: Työ lasketaan käyttäen voiman suurinta arvoa.

#### 4.2. (8 p.)

Nuolen lähtönopeus on mahdollisimman suuri silloin, kun vastusvoimien vaikutus on merkitykseltön. Silloin on voimassa mekaniikan työ-energiaperiaate:  $W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .

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

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

#### Pisteitys:

Perustellaan sanallisesti jousen potentiaalienergian muuttuminen nuolen liike-energiaksi ja kirjoitetaan sitä vastaava suureyhtälö liike-energian muutokselle, 2+2 p.

Nopeuden suureyhtälö ja lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, 2+2 p

Jos osiossa 4.1. on määritetty työ väärin, osiosta 4.2. voi saada enintään 6 pistettä.

Tyypillinen virhe: Nuolen liike-energian ja jouseen tehdyn työn yhteyttä ei ole selitetty oikein.

## 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.

#### **Pisteitys:**

Kaksi parasta vaimenemisen vähentämisen kuvausta, 1-2 p. kummastakin.

Vastusvoimien suhteellisen suuruuden minimointi, 1-2 p.

### 5.2. (9 p.)

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

#### **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  $\varphi$ . Poikkeu-

tuskulmaa 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.

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,  $g$  putoamiskiihtyvyyys ja  $\varphi$  heilahduskulma. Punnuksen matka tasapainoasemaan on puolestaan kaarenpituus  $l\varphi$ , jossa  $l$  on punnuksen painopisteen etäisyys ripustuskohdasta. 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.

#### **Pisteitys:**

Harmonisesta värähtelystä mainitaan, että palauttava voima

- suuntautuu tasapainoasemaa kohti, 1 p.
- on suoraan verrannollinen etäisyyteen tasapainoasemasta, 2 p.

Oikea tutkittava asia (amplitudin variointi tai palauttavan voiman mittaaminen), 2p.

Mittauksen kuvaus, 2 p.

Mainitaan odotettu tulos, 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.

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.

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.

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.

### **Pisteitys:**

Sähkömagneetin käyttö menetelmänä ja sähkömagneetin järkevä toteutus, 2+2 p.

Todetaan, että sähkövirta synnyttää magneettikentän, 3 p.

Nuppineulan magnetoituminen, 3 p.

Tehokkuuden säätely, 3 p.

Oikosulun aiheuttaman kuumenemisen huomiointi vaaratekijänä, 2 p.

Vastaukset, joissa on käytetty muuta menetelmää kuin sähkömagnetismia, on pisteytetty menetelmän perustellun toimivuuden ja toteutuskelpoisuuden perusteella.

## 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.

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

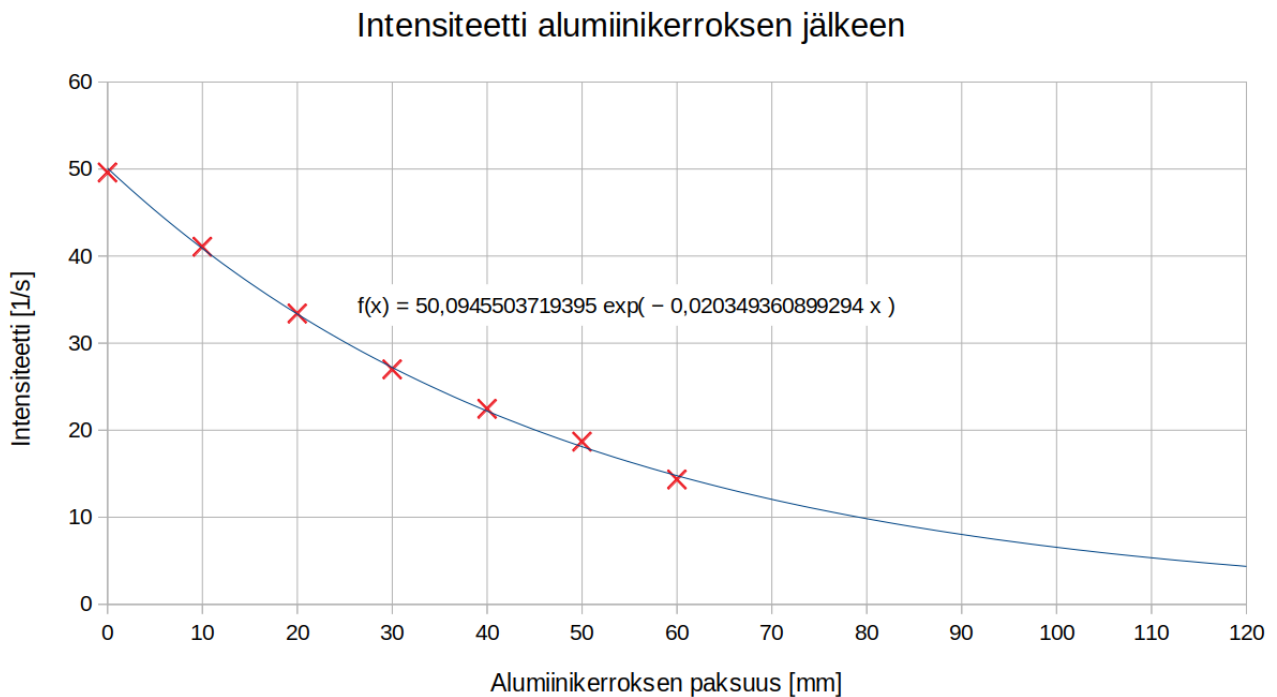
#### Pisteitys:

Nimetään säteilyn laji siirtymissä a ja b ja esitetään perustelu, 3 p.

Nimetään säteilyn laji siirtymässä c ja esitetään perustelu, 2 p.

### 7.2. (5 p.)

Piirretään mittauspisteet laskentaohjelmalla ja sovitetaan siihen eksponenttikäyrä.



Eksponenttikäyrä näyttää kuvaavan havaintoja hyvin.

**Pisteitys:**

Kuva, 5 p.

Seuraavista virheistä aiheutuu kustakin kahden pisteen vähennys:

- Asteikko puuttuu akseleilta
- Yksi tai useampia datapisteitä puuttuu
- Sovitteen ei ilmaista (kaavalla tai sanallisesti) olevan eksponentti/potenssifunktio.

Seuraavista virheistä aiheutuu kustakin yhden pisteen vähennys:

- Akselit väärin päin
- Suureen tunnus (nimi) puuttuu
- Suureen yksikkö puuttuu.

**7.3. (5 p.)**

Gammasäteilyn vaimenemista väliaineessa kuvaa gammasäteilyn heikennyslaki  $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ , jossa  $\mu$  on heikennyskerroin. Kohdan 7.2. sovitusta 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 extrapoloimalla saatu vastaus hyväksytään.

**Pisteitys:**

Puoliintumispaksuus saadaan eksponenttifunktion sovituksesta tai näytetään lukeminen kuvasta, kun sovite on eksponenttifunktio, 3 p.

Oikea tulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, 2 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,

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2},$$

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

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M}{r}} = 1629 \text{ m/s}.$$

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

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

### Pisteitys:

Newtonin II lailla perusteltu gravitaatiovoiman ja normaalikiikkyvyyden yhdistävä liikeyhtälö, 3 p.

Käytetään oikeaa kiertoajan sädettä, 2 p.

Nopeuden ja kiertoajan yhdistävä suuryhtälö, 2 p.

Symbolinen suuryhtälö kierrosten lukumäärälle, 1 p.

Kierrosten lukumäärä pyöristettynä oikeasta lukuarvosta kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuuteen, 2 p.

Tyypillinen virhe: Käytetään liikeyhtälössä vetovoimakiikkyvyyttä Kuun pinnalla.

## 8.2. (5 p.)

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

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.

### **Pisteitys:**

Ilmaistaan ajatus, että sekä Collins että moduuli ovat vapaassa putoamisliikkeessä, 3 p.

Tukivoiman puuttuminen, 2 p.



## Osa III

### 9. Pysäköintitutka (20 p.)

#### 9.1. (7 p.)

Ultraäänellä tehtävät etäisyysmittaukset perustuvat ultraäänipulssien heijastumiseen ja kulku- aikaan. Äänennopeus ilmassa on lyhyellä aika- ja matkavälillä vakio, ja ultraäänipulssin lähteestä mittaushetkeen ja takaisin anturille kulkemiseen käyttämä aika on siksi suoraan verrannollinen kohteen etäisyyteen.

**Pisteitys:**

Esitetään looginen ajatusketju, josta käy ilmi, että pulssi heijastuu ja havaitaan, aika mitataan ja mainitaan ajan ja matkan yhteys, 3 p.

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

**Pisteitys:**

Ajatus, että lähettäminen ja vastaanottaminen eivät saa mennä päällekkäin, 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.

**Pisteitys:**

Aallon heikkeneminen, 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:

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

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

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

ja ultraäänen taajuus on

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

#### Pisteitys:

Lopputulokset 2-3 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2+2+2 p.

Jos vastaukset ovat tekijällä 2 väärin, osiosta saa enintään 4 p.

Tyypillinen virhe: Aallon kulkemana matkana käytetään esteen etäisyyttä.

### 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  $x_{T_1} = 15$  cm, niin minimietäisyyden muutos lämpötilan noustessa 45 °C:seen on:

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

Suhteellinen muutos aallonpituudessa on

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

Äänipulssin kesto ei muutu. Se riippuu ainoastaan anturin lähetysajasta.

**Pisteitys:**

Matkan tai nopeuden lämpötilariippuvuus, 1 p.

Kumpikin lopputulos oikein 2-3 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2+2 p.

Mainitaan, että pulssin kesto ei muutu, 2p.

## 10. Lentävä rengas (20 p.)

### 10.1. (6 p.)

Kun käämiin kytketään sähkövirta, se toimii sähkömagneettina rautatangon magnetoituessa äkillisesti. Alumiinirengaan läpäisemä magneettivuo muuttuu, mikä indusoi renkaaseen jännitteen.

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.

#### Pisteitys:

Mainitaan muuttuva magneettivuo (magneettikenttä ei kelpaa) alumiinirengaan läpi, 2 p.

Alumiinirengkaaseen syntyy induktiovirta, 2 p.

Sähkövirran suunta perustellaan vastakkaisilla magneettikentän suunnilla tai magneettivuon muutoksilla, 2 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.

#### Pisteitys:

Renkaassa ei ole sähkövirtaa, 2 p.

Alumiinirengaan aiheuttama magneettikenttä tai syntyvä magneettinen voima on pienempi kuin ehjän renkaan tapauksessa, 1 p.

Mikäli väitetään, että katkaistuun renkaaseen ei synny jännitettä, osiosta saa 0 p.

### 10.3. (3 p.)

Nestetyellä 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.

#### Pisteitys:

Todetaan parempi johtavuus tai alhaisempi resistiivisyys, 2 p.

Sähkövirran aiheuttama kenttä tai magneettinen voima on suurempi kuin lämpimän renkaan tapauksessa, 1 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.

#### **Pisteitys:**

Raudan ferromagneettisuus, 1 p.

Magneettisten alkeisalueiden järjestäytyminen, 2 p.

Rautatangon magnetoituminen, 1 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.

#### **Pisteitys:**

Raudan ja messingin magneettisuuksien vertailu, 2 p.

Todetaan, että alumiinirenkaaseen indusoitunut sähkövirta tai alumiinirenkaan magneettikenttä on pienempi kuin rautasydämen tapauksessa, 1 p.

Todetaan, että alumiinirengas ei lennä, 1 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.)

#### Pisteitys:

Oikea vastaus, 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.

#### Pisteitys:

Mainitaan avaruuden laajeneminen, 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.

#### Pisteitys:

Vastuksessa todetaan johdonmukaisesti galaksin kirkkaus ja sen johtuminen runsaasta tähtien syntystä sekä galaksin nuoruuden tunnistaminen runsaan tähtien syntymisen perusteella, 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

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

#### Pisteitys:

Tn-jakautumasta luetaan  $z$ :n arvo 3-5 numeron tarkkuudella, 2 p.

Suureyhtälö havaitulle aallonpituudelle, 2 p.

Oikeaa suuruusluokkaa oleva lopputulos käytetyn  $z$ :n tarkkuuden mukaisesti, 2 p.

(Tulos liian suurella tai liian pienellä tarkkuudella, -1p.)

### 11.3. (8 p.)

Sähkömagneettisen säteilyn Dopplerin laista

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

saadaan galaksin nopeudeksi

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

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

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

#### Pisteitys:

Nopeuden suureyhtälö, 2 p.

Oikea nopeus 3-5 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2 p.

(1-2 merkitsevää numeroa, 0 p., yli viisi merkitsevää numeroa, 1 p.)

$d$ :n suhteen ratkaistu suureyhtälö edellä saatu nopeus siihen sijoitettuna, 2 p.

Etäisyys 2-3 merkitsevän numeron tarkkuudella, 2 p.

(Väärä tarkkuus, -1 p.)

Tyypillinen virhe: Suureyhtälöt ovat jääneet esittämättä.