

# Hyvän vastauksen piirteet: FI – Fysiikka

24.3.2023

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 24.3.2023

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.

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 käsitteitä 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 graafisia 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.

## Sisällys

### Osa 1: 20 pisteen tehtävä

1. Täydennystehtäviä fysiikan eri osa-alueilta 20 p.

### Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. Ariane 5 -kantoraketti 15 p.
3. Lämmönsiirtokoneet 15 p.
4. Kondensaattori 15 p.
5. Kynttilä 15 p.
6. Sipsipussin rapistelu 15 p.
7. Käsikäyttöinen generaattori 15 p.
8. Pieni Curie 15 p.

### Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Gammasäteilyn ja aineen välinen vuorovaikutus	20 p.
10. Parafiinin sulamislämpö	20 p.
11. James Webb -avaruusteleskooppi	20 p.
<b>Koe yhteensä</b>	<b>120 p.</b>

## Osa 1: 20 pisteen tehtävä

### 1. Täydennystehtäviä fysiikan eri osa-alueilta 20 p.

Alla on 10 täydennystehtävää (1.1–1.10). Valitse kussakin kohdassa pudotusvalikosta tilanteeseen parhaiten soveltuva vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Täydennä virke. 2 p.

- yhtä suuri (2 p.)

1.2 Täydennä virke. 2 p.

- kiihtyvässä liikkeessä (2 p.)

1.3 Täydennä virke. 2 p.

- liikemäärän (2 p.)

1.4 Täydennä virke. 2 p.

- skalaarisuure (2 p.)

1.5 Täydennä virke. 2 p.

- nousee (2 p.)

1.6 Täydennä virke. 2 p.

- samanmerkkiset (2 p.)

1.7 Täydennä virke. 2 p.

- pitkittäisenä (2 p.)

1.8 Täydennä virke. 2 p.

- vaihtojännitteen suuruutta (2 p.)

1.9 Täydennä virke. 2 p.

- $\alpha$  (2 p.)

1.10 Täydennä virke. 2 p.

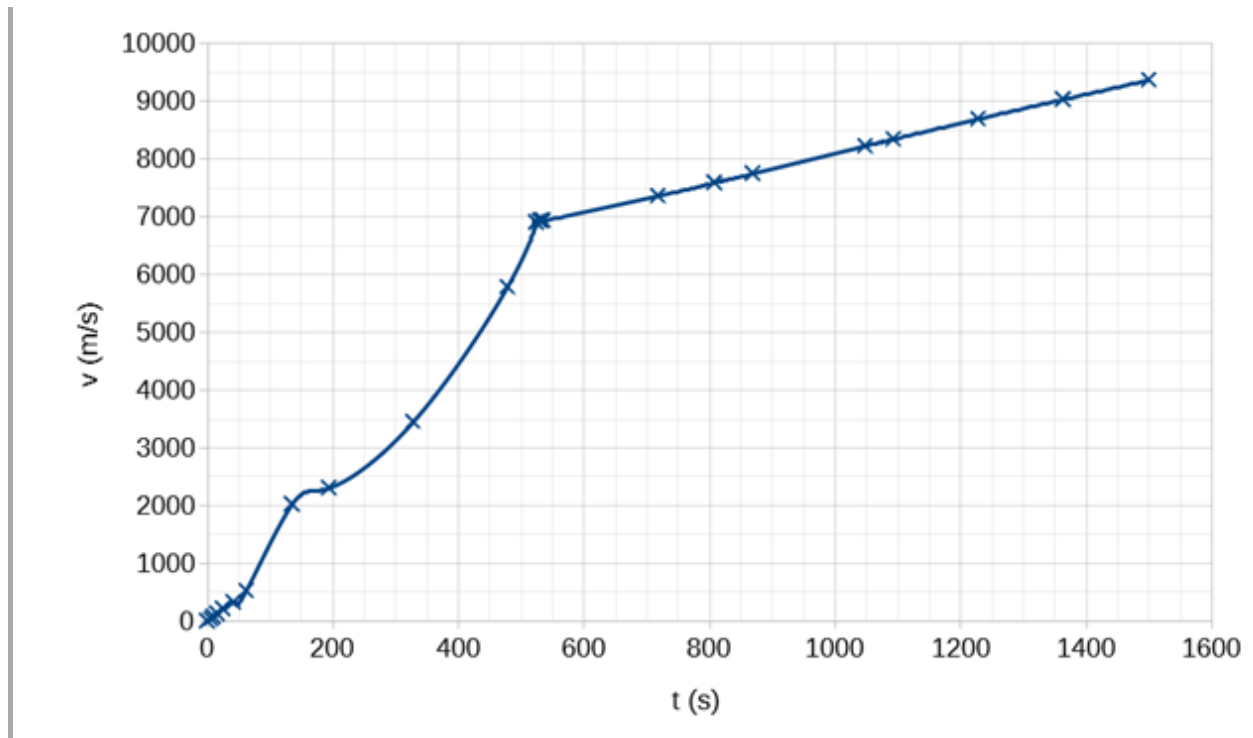
- infrapuna-alueella (2 p.)

## Osa 2: 15 pisteen tehtävät

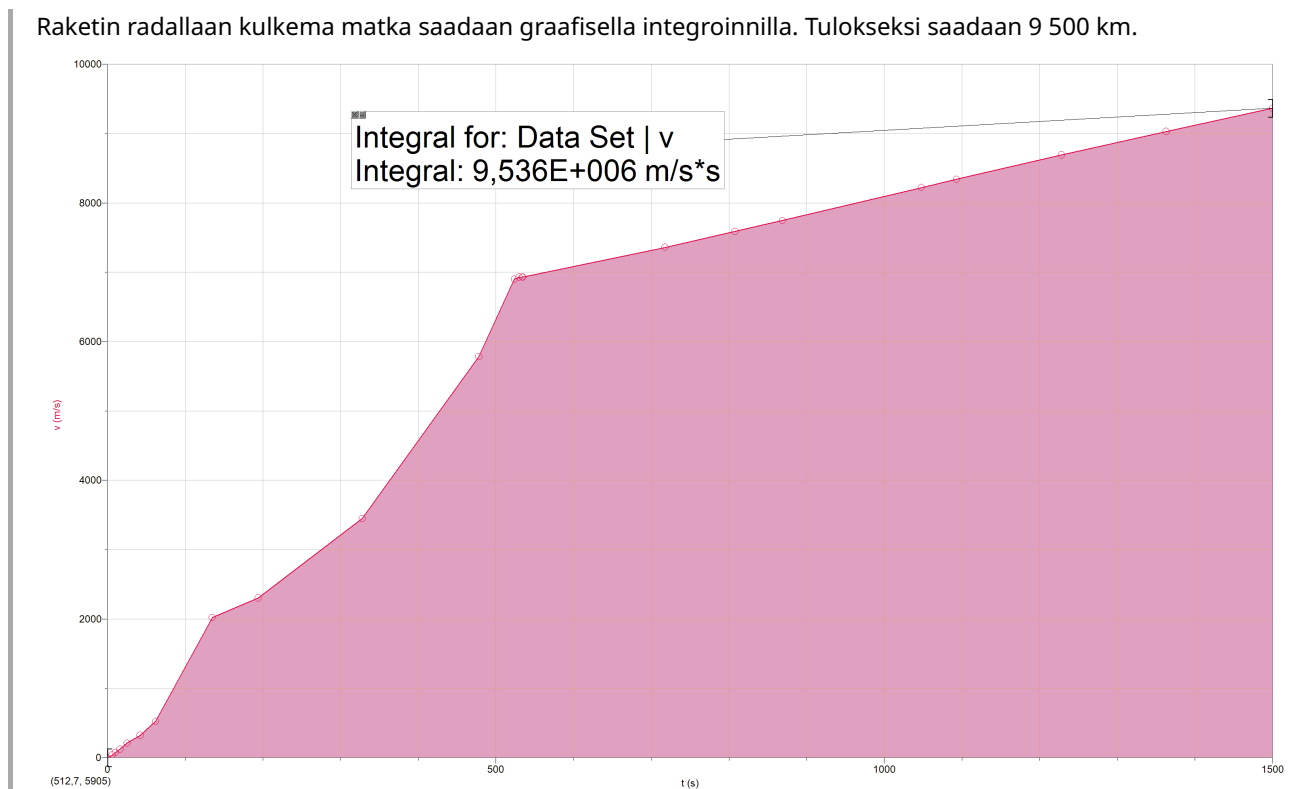
## 2. Ariane 5 -kantoraketti 15 p.

Ariane 5 on kantoraketti, jota käytetään satelliittien laukaisemiseen. Aineistossa 2.A on raketin vauhti radallaan ajan funktiona eräässä laukaisussa.

2.1 Laadi graafinen esitys raketin vauhdista ajan funktiona. Laadi esitys siten, että siinä näkyvät aineiston pisteet ja että siitä voi lukea raketin vauhdin millä tahansa ajanhetkellä aikavälillä 0 s – 1 500 s. 5 p.

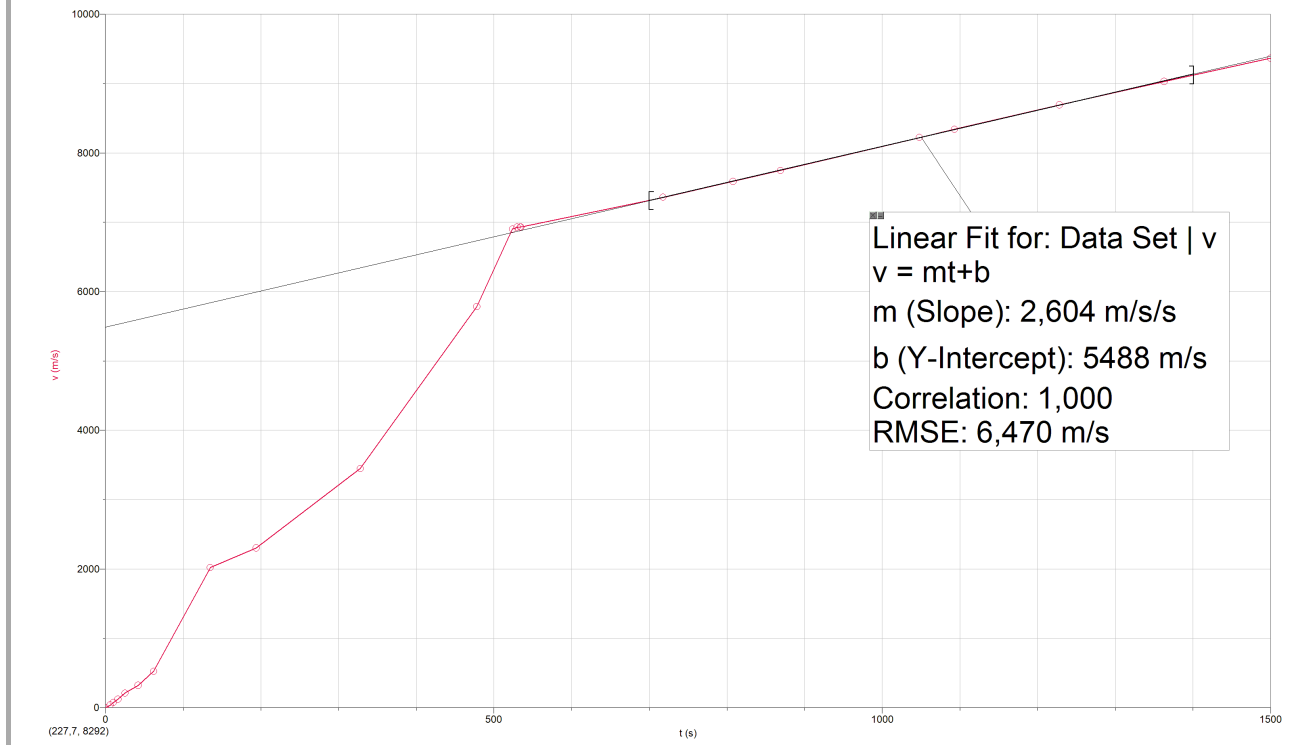


2.2 Kuinka pitkän matkan raketti kulki radallaan aikavälillä 0 s – 1 500 s? 5 p.



2.3 Kuinka suuri oli raketin kiihtyvyys radallaan aikavälillä 700 s – 1 400 s? 5 p.

Aikavälillä 700 s – 1400 s ratanopeuden kuvaaja on suora. Kiihtyvyys on siis vakio, ja se saadaan sovittesuoran kulmakertoimesta kyseisellä aikavälillä. Tulokseksi saadaan  $2,6 \text{ m/s}^2$ .



### 3. Lämmönsiirtokoneet 15 p.

Valitse lämmönsiirtokoneisiin liittyvissä osatehtävissä 3.1–3.8 vastaus, joka kuvaa tilannetta parhaiten fysikaalisesti.

Monivalintatehtävä ei ole pakollinen, ja siihen voi jättää vastaamatta. Vastattuasi osatehtävään voit vaihtaa vastausvaihtoehtoa, mutta et voi jättää osatehtävää enää kokonaan ilman vastausta. Jos olet aloittanut tehtävään vastaamisen, mutta et haluakaan jättää sitä arvosteltavaksi, valitse jokaisessa osatehtävässä vaihtoehto "En vastaa".

Osatehtävissä 3.1–3.3 tarkastellaan ilmalämpöpumppua, jolla siirretään energiaa kylmemmästä ulkoilmasta rakennuksen sisälle lämpimämpään ilmaan. Laitteessa on sisäyksikkö ja ulkoyksikkö, joiden välillä kiertoa lämpöä siirtävä aine.

**3.1** Miksi energian siirtyminen kylmästä ulkoilmasta lämpöä siirtävään aineeseen on mahdollista ulkoyksikössä? **1 p.**

- Aine on kylmempää kuin ulkoilma. (1 p.)

Energian siirtyminen lämpönä ilman ulkoista työtä on mahdollista vain kuumasta kylmään.

**3.2** Mitä lämpöä siirtävälle aineelle tapahtuu, kun se on höyrystimessä? **2 p.**

- Aine höyrystyy ja ottaa vastaan energiaa ympäristöstä. (2 p.)

Höyrystyminen sitoo energiaa.

**3.3** Lämpöpumpun sähköteho on 1 000 W. Oikea suuruusluokka lämpöpumpun lämmitysteholle on **2 p.**

- 3 000 W (2 p.)

Koneen käyttämä sähköteho 1 000 W muuttuu myös lämmöksi, joten alle 1 000 W:n vaihtoehdot eivät ole järkeviä. 30 000 W on epärealistisen suuri lämmitysteho.

Osatehtävissä 3.4–3.5 tarkastellaan toista tuttua lämmönsiirtokonetta eli jääkaappia.

3.4 Jääkaappi tarvitsee toimiakseen sähköenergiaa. Mitä tapahtuu jääkaapin sähkönkulutukselle, jos huoneen lämpötila pysyvästi nousee? 2 p.

- Sähkönkulutus nousee. (2 p.)

Sähkönkulutus nousee, koska lämpöä on siirrettävä suuremman lämpötilaeron yli. Tämä vaatii enemmän mekaanista työtä.

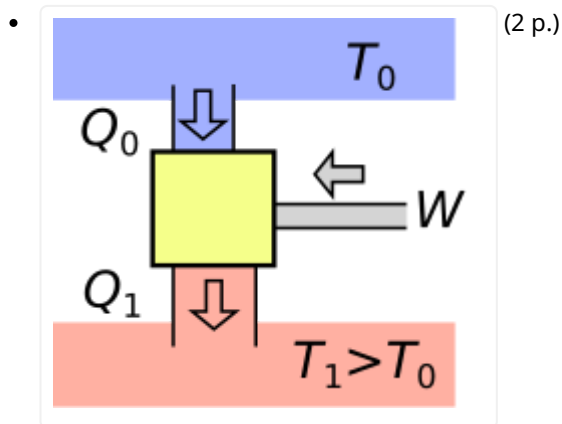
3.5 Käynnissä olevan jääkaapin ovi unohdetaan auki pitkäksi aikaa. Mitä huoneen lämpötilalle tapahtuu? 2 p.

- Lämpötila nousee. (2 p.)

Jääkaapin käyttämä sähköinen energia nostaa huoneen lämpötilaa.

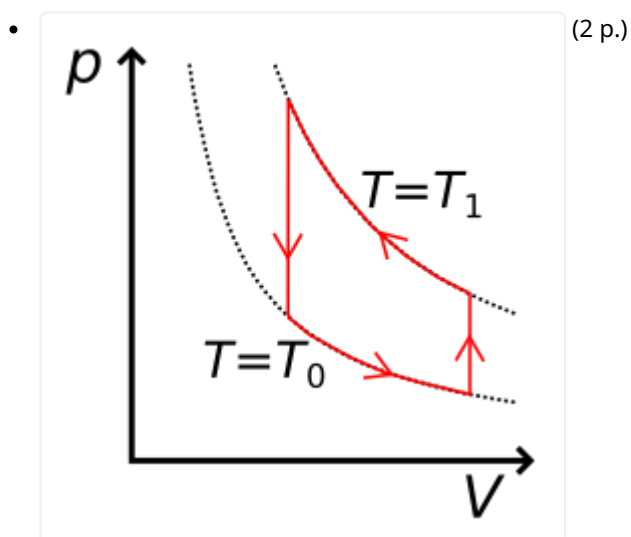
Osatehtävissä 3.6–3.8 tarkastellaan lämmönsiirtokoneita yleisellä tasolla.

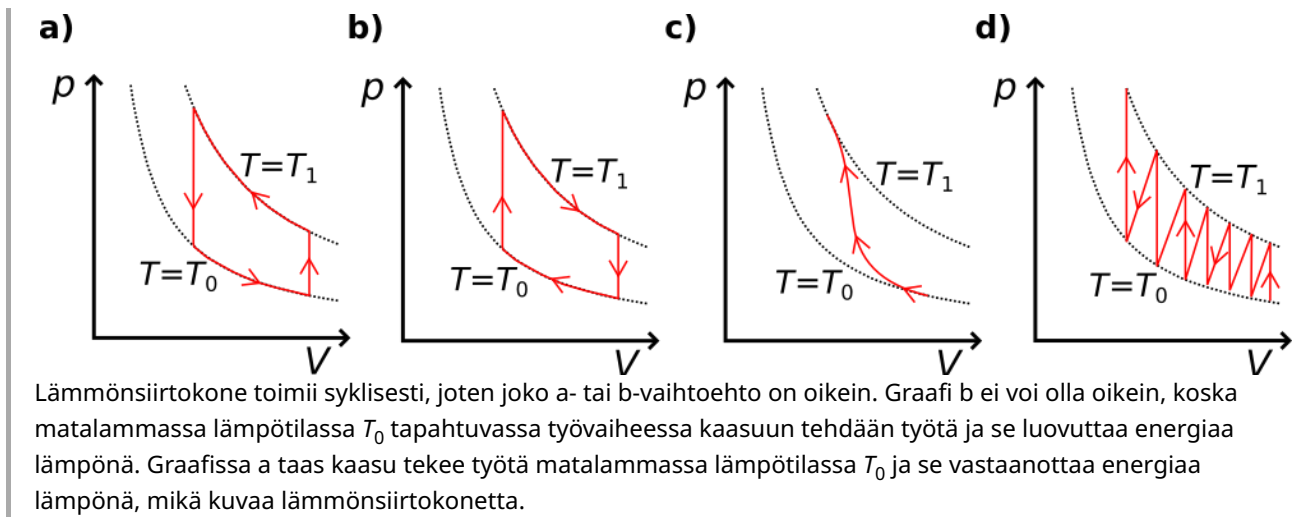
3.6 Mikä seuraavista kaavioista esittää lämmönsiirtokoneen toimintaperiaatetta? Kaavion nuolet esittävät suuntaa, johon energia siirtyy, ja keltainen laatikko esittää itse konetta. 2 p.



Koneeseen tehdään työtä, jonka avulla lämpöä siirretään kylmästä kuumaan.

3.7 Mikä seuraavista graafeista esittää ideaalisen lämmönsiirtokoneen toimintaa? Aine on tässä tilanteessa koko ajan kaasua. 2 p.





3.8 Eräessä ideaalisen lämmönsiirtokoneen työvaiheessa aineeseen tehdään työtä, mutta sen ja ympäristön välillä ei siirry lämpöä. Aine pysyy kaasuna koko tämän työvaiheen ajan. Mitä kaasun lämpötilalle ja tilavuudelle tapahtuu? 2 p.

- Kaasun lämpötila kasvaa ja tilavuus pienenee. (2 p.)

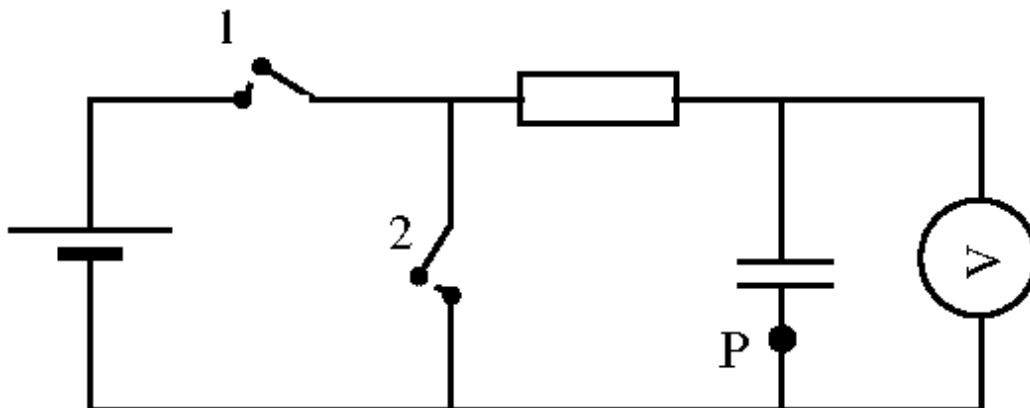
Koska kaasuun tehdään työtä, sen tilavuus pienenee. Kaasua puristettaessa sen lämpötila myös kasvaa.

#### 4. Kondensaattori 15 p.

Kondensaattoria ensin varataan ja sen jälkeen kondensaattorin varausta puretaan.

4.1 Kuvassa 4.A on esitetty kondensaattorilevyjen välinen jännite ajan funktiona. Täydennä kuvan 4.B keskeneräinen kytkentäkaavio siten, että piirillä voisi tuottaa kuvan 4.A mukaisen kuvaajan. Käytä kahta kytkintä, johtimia, vastusta sekä jännitemittaria. Voit hyödyntää komponenttien kuvia 4.C, 4.D ja 4.E. Selitä, miten mittaus toteutetaan täydentämälläsi piirikaaviolla ja missä järjestyksessä kytkimiä suljetaan tai avataan. 8 p.

Vastuksen ja kytkimien sekä jännitemittarin paikat ilmenevät kuvasta. (4 p.)



Kondensaattorin varaamiseksi suljetaan kytkin 1. Tämän jälkeen avataan kytkin 1 ja suljetaan kytkin 2, jolloin kondensaattori purkautuu. Jännitemittarilla voidaan havaita potentiaaliero kondensaattorin yli. (Selitys 4 p.)

4.2 Onko virran suunta kuvan 4.B pisteessä P ylös- vai alaspäin varautumiskäyrän ajanhetkillä  $t_1$  ja  $t_2$ ? 4 p.

Hetkellä  $t_1$  kondensaattori varautuu ja virran suunta on kuvassa alaspäin. Hetkellä  $t_2$  kondensaattori purkautuu ja virran suunta on ylöspäin.

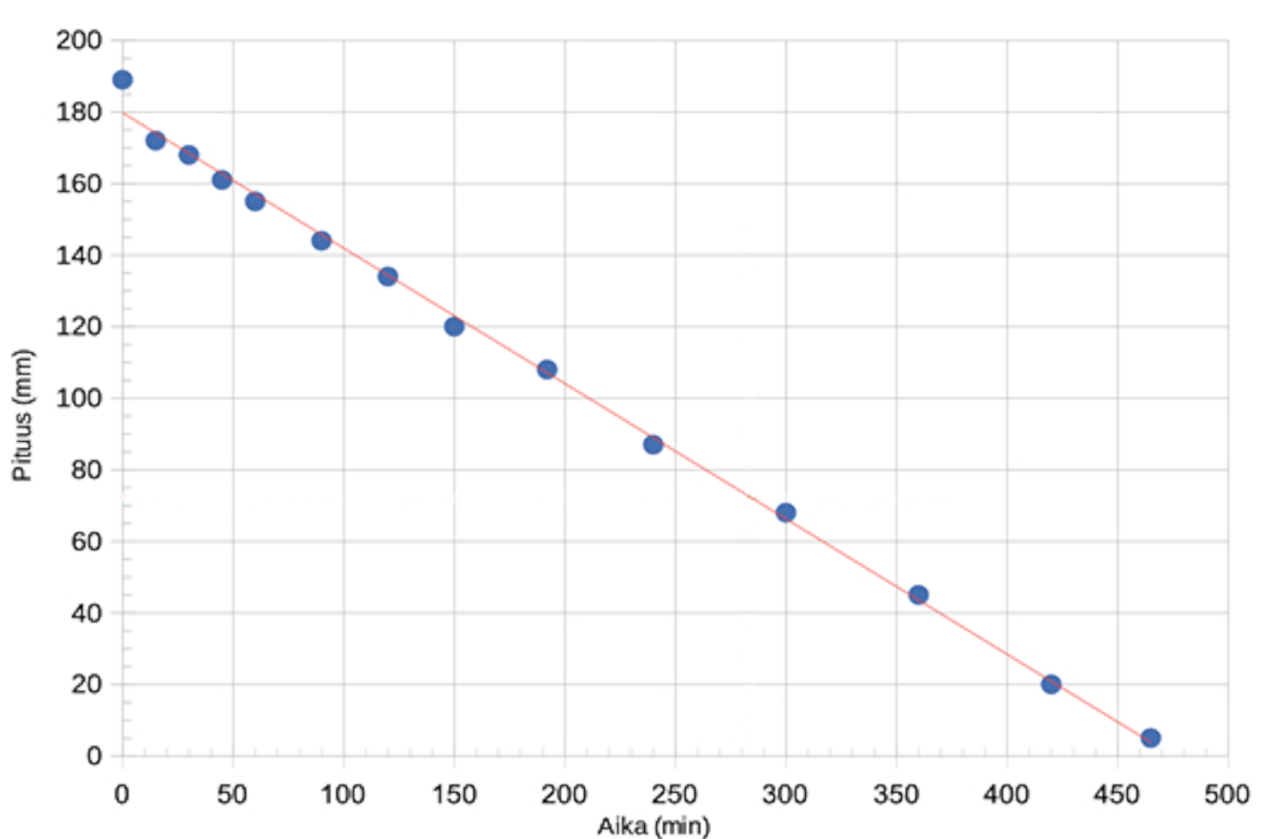
4.3 Miten muuttaisit piirin komponentteja, jos haluat hidastaa kondensaattorin varautumista ja purkautumista? 3 p.

Varautumis- ja purkautumisnopeutta voidaan hidastaa käyttäen vastusta, jolla on suurempi resistanssi, tai kondensaattoria, jolla on suurempi kapasitanssi. Huippujännite määräytyy edelleen jännitelähteen avoimen piirin napajännitteestä.

## 5. Kynttilä 15 p.

Kynttilää poltetaan ja sen pituus mitataan palamisajan funktiona. Mittausten tulos on esitetty aineistossa 5.A. Kynttilän pituus alussa on 189 mm, halkaisija on 21 mm ja keskimääräinen tiheys on  $862 \text{ kg/m}^3$ .

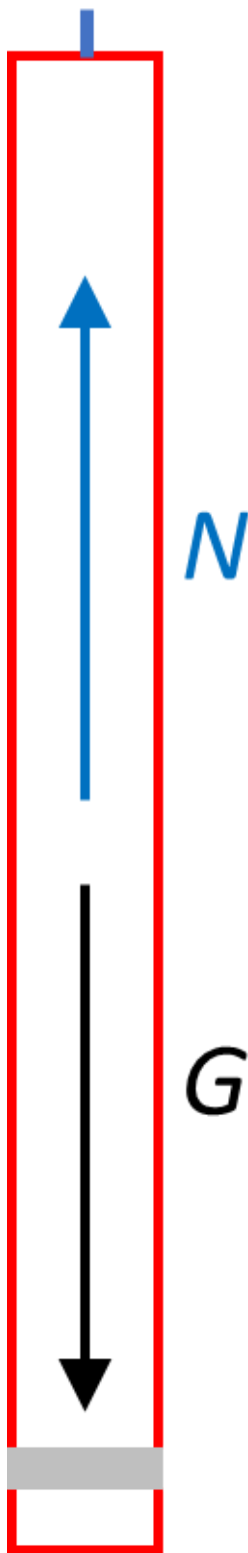
5.1 Laadi graafinen esitys kynttilän pituudesta ajan funktiona. Esitä graafissa aineiston pisteet ja mittausaineistoon sopiva malli. 5 p.



Malliksi saadaan suora, jonka yhtälö on  $L(t) = 178\text{mm} - 0,37 t \text{ mm/min}$ .

Malli sopii mittausaineistoon hyvin, paitsi aivan alussa, jossa kynttilän halkaisija ei ole vakio.

5.2 Toinen samanlainen kynttilä poltetaan täynnä vettä olevassa maljakossa, jossa kynttilä kelluu, kuten aineistossa 5.B näkyy. Jotta kynttilä pysyisi pystyssä, sen tyveen kiinnitetään painoksi metallirengas, jonka massa on 3,5 g. Voit olettaa renkaan tilavuuden pieneksi. Kuinka kauan kynttilä palaa maljakossa? Voit hyödyntää aineiston 5.C voimakuviota ja osatehtävässä 5.1 tekemääsi graafista esitystä. 10 p.



Kynttilään vaikuttavat voimat ovat kynttilän ja metallirenkaan yhteenlaskettu paino  $G$  ja noste  $N$ . Koska kynttilä kelluu, voimat ovat tasapainossa,  $G - N = 0$ .

Kynttilän massa saadaan sen pituuden  $L$ , halkaisijan  $D$  ja tiheyden  $\rho_k$  avulla. Kun renkaan massa on  $m$ , kynttilän ja renkaan yhteenlasketuksi massaksi saadaan

$$M = \rho_k \frac{\pi D^2}{4} L + m.$$

Kynttilän pituudesta  $L$  veden pinnan alla on pituus  $h$ . Nosteen suuruus on kynttilän syrjäyttämän veden painon suuruisen. Kynttilän syrjäyttämän vesimäärän tilavuus on  $V_v = h \frac{\pi D^2}{4}$ , joten nosteen suuruus on  $\rho_v \frac{\pi D^2}{4} hg$ , jossa  $\rho_v$  on veden tiheys.



Yhdistämällä nämä voimatasapainon kanssa saadaan

$$\left(\rho_k \frac{\pi D^2}{4} L + m\right) g = \rho_v \frac{\pi D^2}{4} h g.$$

(6 p.)

Kynttilän palaessa sen pituus pienenee. Kynttilä jää kokonaan pinnan alle, kun noste on yhtä suuri kuin kynttilän ja renkaan yhteenlaskettu paino. Tällöin  $L = h$  ja tasapainoyhtälöstä saadaan  $\left(\rho_k \frac{\pi D^2}{4} L + m\right) g = \rho_v \frac{\pi D^2}{4} L g$  ja edelleen  $L = \frac{4m}{\pi D^2 (\rho_v - \rho_k)} \approx 73,2 \text{ mm}$ .

Graafisesta esityksestä lukemalla tämä tapahtuu 280 minuutin kohdalla.

(4 p.)

## 6. Sipsipussin rapistelu 15 p.

Yhdysvaltalainen yritys toi vuonna 2010 markkinoille biohajoavan Sun Chips -perunalastupussin. Pussin ongelmana oli voimakas rapisteluääni, jonka intensiteettitaso ylsi peräti 95 desibeliin. Oletetaan, että intensiteettitaso mitattiin 1,0 metrin etäisyydeltä.

6.1 Mikä on intensiteettitaso, kun viisi ihmistä rapistelee kukin omaa sipsipussiaan samanaikaisesti 1,0 metrin etäisyydellä mittarista? 4 p.

Äänen havaittua voimakkuutta kuvaa intensiteettitaso  $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0}$ , jossa  $I$  on havaittu intensiteetti ja  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  ihmisen kuulokynnystä vastaava intensiteetin vertailutaso.

Yhden pussin rapistelun intensiteettitaso metrin etäisyydellä on  $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_p}{I_0} = 95 \text{ dB}$ , jossa  $I_p$  on rapistelun intensiteetti.

Tästä saadaan rapistelun intensiteetiksi  $I_p = 10^{9,5} I_0 = 10^{-2,5} \text{ W/m}^2$ .

Jos rapistelijoina on viisi, intensiteetti on viisinkertainen eli  $5I_p = 5 \cdot 10^{-2,5} \text{ W/m}^2$ .

Tällöin intensiteettitaso on  $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{5 \cdot 10^{-2,5} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 102 \text{ dB} \approx 100 \text{ dB}$ .

6.2 Tuotekehityksellä rapisteluäänen intensiteettitaso saatiin laskettua 75 desibeliin. Kuinka monta prosenttia äänen intensiteetti oli tällöin alkuperäisestä intensiteetistä? 3 p.

Intensiteettitason suureyhtälöstä nähdään, että intensiteetin kymmenkertaistuessa intensiteettitaso kasvaa 10 dB:llä ja intensiteetin satakertaistuessa intensiteettitaso kasvaa 20 dB:llä. Vastaavasti on niin, että jos intensiteettitaso pienenee 20 dB, intensiteetti pienenee sadasosaan. Tuotekehityksen jälkeen rapisteluäänen intensiteetti on siis 1,0 % alkuperäisestä intensiteetistä.

6.3 Arvioi, millä etäisyydellä alkuperäisen sipsipussin intensiteettitaso (95 dB) vastaa tuulen huminaa, jonka intensiteettitaso on 30 dB. 5 p.

Tuulen huminan intensiteettitaso voidaan kirjoittaa muodossa  $L_t = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_t}{I_0} = 30 \text{ dB}$ .

Tästä saadaan huminan intensiteetiksi  $I_t = 10^3 I_0 = 10^{-9} \text{ W/m}^2$ .

Intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön. Tällöin  $\frac{I_p}{I_t} = \frac{r_t^2}{r_p^2}$ , josta voidaan ratkaista

etäisyydeksi  $r_t = r_p \sqrt{\frac{I_p}{I_t}} = 1,0 \text{ m} \sqrt{\frac{10^{-2,5} \text{ W/m}^2}{10^{-9} \text{ W/m}^2}} = 1778,3 \text{ m} \approx 1,8 \text{ km}$ .

6.4 Miksi osatehtävässä 6.3 laskettu etäisyyden arvio ei ole realistinen käytännön tilanteessa? 3 p.

Ääniaaltojen energiaa absorboituu ilmaan ja tiellä oleviin esteisiin. Näin ollen ääni vaimenee tehokkaammin kuin edellä kuvatussa ideaalitulanteessa. Etäisyys, jossa intensiteettitaso on vaimentunut 30 desibeliin, on siis käytännössä huomattavasti pienempi kuin kohdassa 6.3 lasketussa ideaalitulanteessa.

## 7. Käsikäyttöinen generaattori 15 p.

Aineiston 7.A kuvassa on esitetty käsikäyttöinen generaattori. Kun kestopagneetin sisällä oleva käämi pyörii tasaisella kulmanopeudella, syntyy kuvassa näkyvien mustan ja punaisen johtimen välille jaksollisesti vaihteleva jännite.

### 7.1 Selitä, miten jännite syntyy. 4 p.

Käämin pyöriessä sen läpäisevä magneettivuon muuttuu.

(2 p.)

Käämiin syntyy induktiolain  $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$  mukainen vaihtojännite.

(2 p.)

### 7.2 Johda induktiolaista lähtien lauseke $|e| = NBA\omega$ käämiin indusoituvan jännitteen huippuarvolle. Lausekkeessa $N$ on käämin kierroslukumäärä, $B$ kestopagneetin magneettivuon tiheys, $A$ käämin pinta-ala ja $\omega$ käämin kulmanopeus. 4 p.

Käämin läpäisevä magneettivuon  $\Phi = BA \cos \varphi = BA \cos(\omega t)$ , jossa  $\varphi$  on magneettikentän ja käämin välinen kulma ja  $\omega$  on käämin pyörimisen kulmanopeus.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NAB\omega \sin(\omega t) = -NAB\omega(\sin \varphi)$$

(2 p.)

$\sin \varphi$  saa arvoja väliltä  $-1 \dots +1$ , joten jännitteen maksimiarvoa vastaavassa tapauksessa  $|e| = NAB\omega$ .

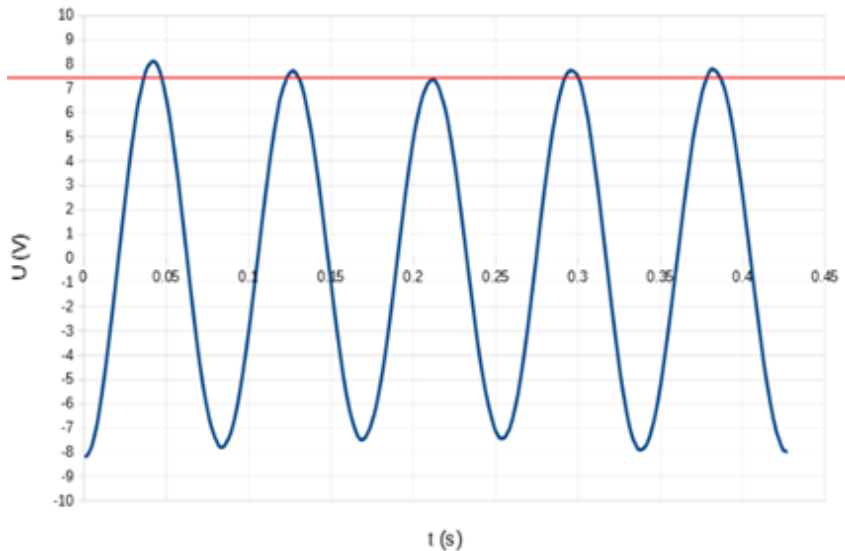
(2 p.)

### 7.3 Simulaatio generaattorin tuottamasta jännitteestä on aineistossa 7.B. Voit säätää simulaatiossa pyörimisnopeutta, jolla isoa vetopyörää pyöritetään, ja lukea arvoja $Ut$ -kuvaajasta, jossa $U$ on käämin jännite. Neliön muotoisessa käämissä on 150 kierrosta ja käämin sivun pituus on 6 cm. Määritä simulaation avulla magneettivuon tiheys käämin kohdalla. 7 p.

Kohdan 7.2. yhtälöstä voidaan ratkaista lauseke magneettivuon tiheydelle:  $B = \frac{|e|}{NA\omega} = \frac{|e|}{Nr^2 \frac{2\pi}{T}}$ , jossa  $T$  on vaihtojännitteen jaksonaika ja  $r$  käämin sivun pituus.

Esimerkkikuvassa maksimijännite on noin 7,5 V ja jaksonaika  $0,42 \text{ s} / 5 = 0,084 \text{ s}$ . Sijoittamalla kuvaajasta luetut ja tehtävässä annetut arvot yhtälöön, saadaan magneettivuon tiheydeksi

$$B = \frac{7,5\text{V}}{150 \cdot (0,06\text{m})^2 \frac{2\pi}{0,084\text{s}}} = 0,1857\text{T} \approx 0,2\text{T}.$$



Pöyrimisnopeus tulee säätää siten, että kuvaajasta on mahdollista lukea jännitteen ja jaksonajan arvot riittävällä tarkkuudella (n. 0,5...2,5 kierrosta sekunnissa).

## 8. Pieni Curie 15 p.

**8.1** Artikkelellä 8.A kuvaa ensimmäisessä maailmansodassa käytettyjä siirrettäviä röntgenkuvauslaitteita. Miksi röntgenlaitteita ei tuolloin voitu useinkaan kytkeä suoraan sähköverkkoon? **2 p.**

Kaikissa kenttäasirraaloissa ei ollut sähköä. Lisäksi Ranskan sähköverkon jännite vaihteli ja se oli paikoin tasa- ja paikoin vaihtojännitettä.

**8.2** Säteily voitiin havaita kuvalevyllä tai fluoroskoopilla. Fluoroskoopissa oli lasilevy, joka oli päällystetty fluoresoivalla aineella, ja sen läpi voitiin katsoa potilaan röntgenkuvaa esimerkiksi kuvassa 8.B esitetyllä tavalla. Ensimmäisen maailmansodan aikana molempien menetelmien käyttö oli perusteltua. Kumpaa tapaa käyttäisit itse nykypäivänä ja miksi? **5 p.**

Fluoroskoopilla lääkäri katsoi vammoja fluoresoivalta levyllä kuvauksen aikana. Se oli nopeampaa, ja siksi sitä suositettiin ensimmäisen maailmansodan aikana, mutta se aiheutti suuremman säteilyannoksen hoitohenkilökunnalle. Erityisen suurelle säteilyannokselle altistui, jos leikkasi potilasta röntgenkuvauksen aikana, kuten valokuvassa 8.B tapahtuu. Valokuvalevyllä kuvaaminen vaati pimiötä kuvan kehittämiseksi. Diagnostiikka oli siis hitaampaa. Etuna oli kuitenkin, että röntgenkuvasta jäi tallenne, johon voitiin palata myöhemmin.

Nykyään ionisoivan säteilyn haitat tunnetaan paremmin. Hoitohenkilökunnan ja potilaiden suojelemista säteilyltä painotettaisiin enemmän, ja siksi kuvalevyt olisivat näistä kahdesta vaihtoehdosta nykytiedon valossa parempi valinta.

**8.3** Miksi aineistoissa 8.A kuvattuja vammoja tai keuhkosairauksia voidaan havaita röntgenkuvantamisella? Aineistossa 8.C on esimerkki influenssapotilaan röntgenkuvasta vuodelta 1918. **8 p.**

Röntgenkuvan kontrasti syntyy eroista absorptiossa. Röntgensäteily on suhteellisen suurienergistä sähkömagneettista säteilyä. Röntgensäteily absorboituu aineeseen pääsääntöisesti irrottamalla elektronin atomista. Eri alkuaineilla on eri verran elektroneja. Siksi pehmytkudokset, jotka koostuvat pääosin pienen järjestysluvun alkuaineiden, kuten vedyn, hiilen ja hapen, muodostamista yhdisteistä, absorboivat vähemmän röntgensäteilyä kuin paljon kalsiumia sisältävä luukudos tai metalliset vierasesineet. Röntgenkuvantamisella voi siis havaita parhaiten luunmurtumia tai esimerkiksi sirpaleita. Pehmytkudosten vammoja sillä on vaikeampi nähdä. Toisaalta röntgensäteilyä absorboituu hyvin vähän kaasuun, koska kaasun tiheys on pienempi kuin pehmytkudosten. Röntgenkuvauksella voi siis myös nähdä, jos keuhkoihin on kertynyt kaasun tilalle nestettä.

## Osa 3: 20 pisteen tehtävät

### 9. Gammasäteilyn ja aineen välinen vuorovaikutus 20 p.

Gammafotoni eli korkeaenergiainen fotoni vuorovaikuttaa aineen kanssa kolmella eri tavalla. Kuvassa 9.A on esitetty todennäköisin fotonin vuorovaikutustapa eri energioilla ja alkuaineen järjestysluvuilla.

9.1 Mitä fotonille tapahtuu, ja mihin sen energia siirtyy valosähköilmiössä ja parinmuodostuksessa? 6 p.

Valosähköilmiössä fotoni katoaa ja lähes koko sen energia siirtyy väliaineen elektronille.

Parinmuodostuksessa fotoni katoaa synnyttäen (tavallisimmin) elektronin ja positronin, jotka saavat fotonin energian massana ja kineettisenä energiana. Osa fotonin energiasta (1 022 keV) muuttuu elektronin ja positronin massaksi.

9.2 Comptonin ilmiössä fotoni siroaa elektronista. Sironneen fotonin energia on  $E^* = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$  jossa  $E$  on

alkuperäisen fotonin energia,  $\theta$  on siroamiskulma ja  $m_e$  on elektronin massa. Mikä on suurin liike-energia, jonka elektroni voi saada fotonilta, kun 662 keV:n fotoni siroaa siitä? 6 p.

Kokonaisenergian säilymisen perusteella elektronin saama kineettinen energia on yhtä suuri kuin fotonin energian muutos, eli  $E_e = E - E^*$ .

Fotonin energianmuutos on suurin, kun  $\theta$  on  $180^\circ$ , koska tällöin  $E^*$  saa pienimmän arvonsa. Saadaan

$$E_e = E - E^* = E - \frac{E}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} = E \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \right) = 662 \text{ keV} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 662 \text{ keV}}{511 \text{ keV}}} \right) = 477,65 \text{ keV} \approx 478 \text{ keV}.$$

9.3 Kahdella erilaisella tilavuudeltaan pienellä ilmaisimella havaittiin Cs-137-säteilylähteen tuottamaa 662 keV:n gammasäteilyä. Toinen ilmaisimista on tehty muovista, ja toinen taas sisältää vismuttia, germaniumia ja happea. Ilmaisimilla saadut energiaspektrit on esitetty kuvassa 9.B, jossa  $N$  on havaittujen tapahtumien lukumäärä eri energioilla.

Molemmat ilmaisimet ovat niin sanottuja tuikeilmaisimia, joissa nopeasti liikkuvan varatun hiukkasen aiheuttama ionisaatio synnyttää näkyvää valoa. Syntyneen valon määrä on verrannollinen ionisoivan hiukkasen liike-energiaan. Ilmaisimet eivät siis suoraan havaitse gammasäteilyä vaan säteilyn välillisesti aiheuttaman ionisaation.

Selitä, mitä on todennäköisimmin tapahtunut ilmaisimissa, kun spektreihin on ilmaantunut tapahtumia alle 400 keV:n alueelle. Mitä on todennäköisimmin tapahtunut kuvan 9.B spektrin A ilmaisimessa, kun spektriin on ilmaantunut tapahtuma noin kohtaan 660 keV? Kumpi kuvan 9.B spektreistä (A/B) on muovista valmistetun ilmaisimen spektri? Voit olettaa, että gammafotoni vuorovaikuttaa ilmaisimessa vain kerran.

8 p.

Koska gammafotonien energia on alle 1 022 keV, parinmuodostusta ei voi tapahtua. Kaikissa tapauksissa osa fotonin energiasta tai kaikki sen energia siirtyy elektronille. Elektroni ionisoi ilmaisimien ainetta, mistä syntyy havaittava valo.

Mikäli gammafotoni Compton-siroaa ilmaisimesta, elektronille jää edellisen tehtävän perusteella alle 500 keV energiaa (elektroni absorboituu ilmaisimeen). Mikäli sironnakulma on pienempi, elektronille jää vielä vähemmän energiaa. Tapahtumat alle 400 keV syntyvät, kun fotoni kokee Comptonin sironnan ilmaisimen kanssa.

Jos fotoni kokee valosähköilmiön, sen koko energia saadaan havaittua elektronin absorboituessa ilmaisimeen. Tämä vastaa spektrin piikkiä, jonka energia on yhtä suuri kuin fotonin energia.

Spektri B on muovisen ilmaisimen tuottama. Muovi koostuu lähinnä hiilestä ja vedystä, joiden järjestysluku on pieni. Kuvan 9.A perusteella 662 keV:n gammafotoni vuorovaikuttaa lähinnä Comptonin sironnalla ilmaisimessa, jolloin havaitaan tapahtumia vain alle 500 keV:n energioilla. Vismutti-germanium-happi-ilmaisimen

keskimääräinen järjestysluku on suurempi, joten sillä on nähtävissä myös valosähköisen ilmiön aiheuttama kokonaisabsorptio 660 keV:n kohdalla.

## 10. Parafiinin sulamislämpö 20 p.

Haluat kokeellisesti määrittää materiaalin ominaissulamislämmön fysiikan oppitunnilla. Tehtävänä on suunnitella mahdollisimman yksinkertainen mittausjärjestely sekä siihen liittyvä tulosten käsittely.

Olet valinnut materiaaliksi parafiinin, jonka sulamispiste on 60 °C. Yksinkertaiseen koejärjestelyyn sinulla on käytettävissä seuraavat tarvikkeet:

- solupolystyreeniastia (eli styrox-astia)
- vettä vesihanasta ja vedenkeitin, jonka tehoa ei tunneta
- kiinteätä parafiinia huoneenlämpötilassa 20 °C
- sakset, pinsetti, teippiä, muovipusseja, alumiinifoliota
- suppea taulukkokirja, josta saat veden ominaisuudet riittävällä tarkkuudella mutta et saa parafiinin tietoja.

Yllä mainittujen tarvikkeiden lisäksi fysiikan luokassa on saatavilla vain seuraavat välineet:

1. kello
2. työntömitta
3. lämpömittari
4. mittalasi
5. vaaka
6. ominaispainomittari
7. kosteusmittari
8. ohutseinäinen alumiiniastia.

### 10.1 Mitkä ovat työn päävaiheet ja niissä tehtävät mittaukset? Miten määrität mitaustuloksista parafiinin ominaissulamislämmön?

Esitä tarvittavat suureyhtälöt. Jos tarvitset graafista esitystä tuloksen määrittämiseen, hahmottele sellainen olettamistasi mitaustuloksista. Halutessasi voit käyttää apuna aineiston 10.A piirrospohjaa.

Mitkä numeroidun listan välineistä tarvitset tässä työssä? Anna niistä luettelo.

#### 14 p.

Oleellista on mitata kuumen veden parafiinille antama lämpömäärä sulamisen aikana. Parafiini täytyy ensin lämmittää huoneenlämpötilasta sulamispisteeseen, mutta tämän ensimmäisen prosessivaiheen mittausdatalla ei ole oikeastaan merkitystä lopputuloksen kannalta.

Kuumennetaan vedenkeittimellä vettä kiehumispisteeseen.

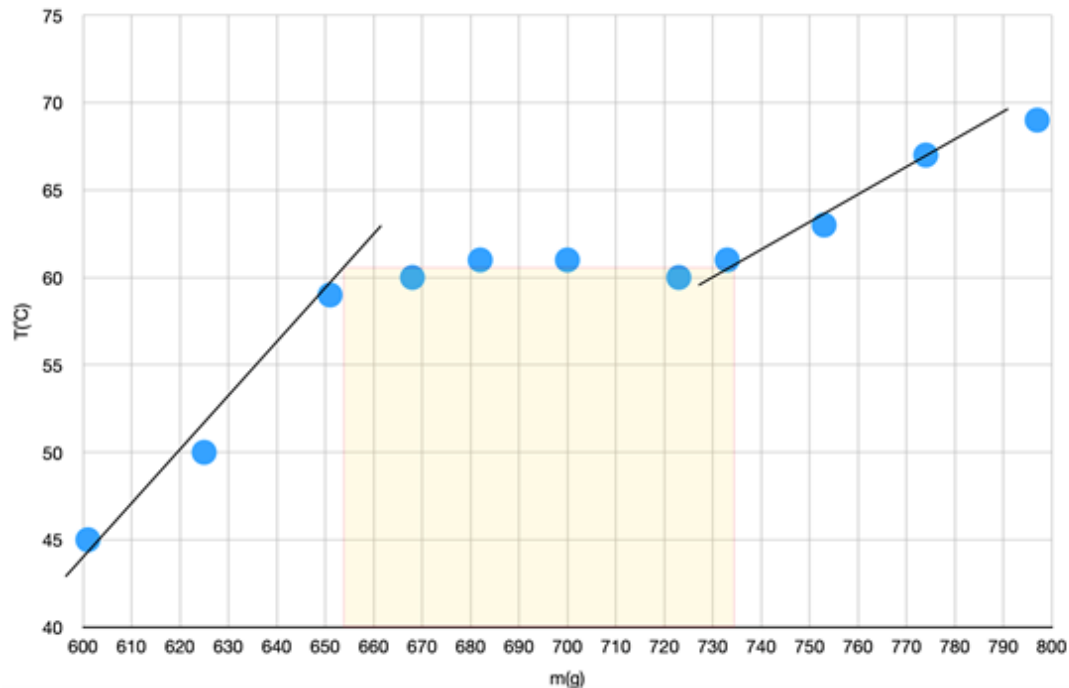
Punnitaan parafiinipala, viedään se styrox-astiaan ja kaadetaan keittimestä (mahdollisesti mittalasilalla) päälle pieni määrä kuumaa vettä. Mitataan veden massa ja alkulämpötila  $T_0$ . Odotetaan hetki, että lämpötila tasaantuu, ja mitataan se.

- Parafiinipala voi olla ohutseinäisessä alumiiniastiassa tai alumiinifoliossa, joka asetetaan styrox-astiaan, ja kuuma vesi voidaan kaataa sen viereen. Koska parafiini ei missään vaiheessa sekoitu veteen, tämä ei ole välttämätöntä, mutta vähentää sotkua.

Toistetaan veden lisääminen ja mitataan samat suureet. Styrox-astiassa olevan veden lämpötila nousee joka kerralla, mikä vastaa parafiinipalan lämpenemistä. Jossain vaiheessa saavutetaan sulamispiste 60 °C. Tästä alkaa varsinainen mittaus.

Jatketaan kuumen veden lisäämistä vaiheittain, kunnes havaitaan loppulämpötilan jälleen alkavan kasvaa. Tässä vaiheessa kaikki parafiini on sulanut ja varsinainen mittaus loppuu.

(4 p.)



Mittaustuloksina saadaan loppulämpötila veden massan funktiona. Piirretään  $(m, T)$ -käyrä, josta tulee oheisen kuvan kaltainen. Graafisen esityksen perusteella saadaan selville, mistä veden massasta alkaen lämpötila pysyy vakiona ja mistä määrästä alkaen sen lämpötila alkaa jälleen nousta. Näiden massojen erotuksen  $\Delta M$  avulla saadaan selville vedestä parafiiniin siirtyvä lämpömäärä  $Q = c\Delta M\Delta T$ . Lämpötilaero  $\Delta T = T_0 - 60^\circ\text{C}$ .

(4 p.)

Tämä lämpö käytetään parafiinin sulattamiseen, eli  $Q = sm_p$ .

Tästä saadaan parafiinin sulamislämpö  $s = c\Delta M\Delta T/m_p$ .

(2 p.)

Numeroiduista välineistä mittauksessa tarvitaan (4 p.)

- vaakaa veden massan ja parafiinin massan mittaamiseen
- lämpömittaria veden lämpötilan mittaamiseen.

Mittauksessa voidaan käyttää (0 p.)

- kelloa
- mittalasia
- ohutseinäistä alumiiniastiaa.

Mittauksessa ei tarvita

- työntömittaa (-1 p.)
- ominaispainomittaria (-1 p.)
- kosteusmittaria. (-1 p.)

Vaihtoehtoinen ratkaisutapa:

Määritetään ensin vedenkeittimen teho  $P$  seuraavasti. Punnitaan sopiva vesimäärä vedenkeittimeen. Odotetaan, että vesi ja keitin ovat samassa lämpötilassa. Mitataan veden lähtölämpötila. Kytetään vedenkeitin päälle ja mitataan aika, jonka vesi tarvitsee kiehumisen alkamiseen. Vedenkeittimen veteen luovuttama lämpö

käytetään veden lämpötilan nostamiseen. Kun tunnetaan prosessiin käytetty aika, voidaan vedenkeittimen teho saada selville.

Jäähdytetään vedenkeitin. Punnitaan parafiinipala ja asetetaan se vedenkeittimeen mielellään alumiiniastiassa tai alumiinifolioon käärittynä. Lisätään sopiva ja mitattu määrä vettä, jotta lämpö johtuu vedenkeittimen pohjasta. Kytetään vedenkeitin päälle ja mitataan parafiinin tai veden lämpötilaa tasaisin väliajoin ja kirjataan ylös aika ja lämpötila. Parafiinin sulaessa veden lämpötilan odotetaan pysyvän vakiona. Lopetetaan mittaus, kun lämpötila on alkanut uudelleen nousta. (4 p.)

Tämän jälkeen piirretään lämpötila ajan funktiona ja käytetään vakiona pysyvää lämpötilaa sulamiseen kuluneen ajan  $\Delta t$  määrittämiseen. Tästä saadaan sulamiseen tarvittu lämpömäärä  $Q = P\Delta t$ . Toisaalta  $Q = sm_p$ , jossa  $m_p$  on parafiinin massa, joten parafiinin sulamislämpö on  $s = P\Delta t/m_p$ . (6 p.)

Pisteet laitteista kuten edellä. (4 p.)

**10.2** Vertaat lopuksi mittauksista saamaasi sulamislämmön arvoa kirjallisuusarvoon. Luettele kolme tärkeätä tekijää, jotka aiheuttavat mittaamaasi arvoon poikkeaman kirjallisuusarvosta. **6 p.**

Esimerkkejä oikeista poikkeamista (max 6 p.):

- virhe tai epätarkkuus massan punnituksissa (2 p.)
- kuumen veden lämpötilan vaihtelu (2 p.)
- lämpöhäviöt sulatusprosessin aikana (2 p.)
- epämääräisyys sulamisen alkamisessa ja loppumisessa (veden lisääminen portaittain) (2 p.)

Näistä ei pisteitä:

- alumiinin lämpökapasiteetti (jos käytetty astiaa tai foliota) — sulaminen tapahtuu vakio­lämpötilassa

## 11. James Webb -avaruusteleskooppi 20 p.

Joulupäivänä 2021 Ranskan Guayanasta laukaistiin Ariane 5 -kantoraketti, joka lähetti James Webb -avaruusteleskoopin (kuva 11.A) Aurinko-maa-järjestelmän Lagrangen pisteeseen L2. Tähän pisteeseen sijoitettu teleskooppi kiertää Aurinkoa pysyen likimain Auringon ja Maan kautta kulkevalla suoralla (kuva 11.B). Teleskooppi liikkuu vakioetäisyydellä Maasta siten, että Aurinko ja Maa ovat siitä katsoen koko ajan samalla puolella. James Webb -avaruusteleskooppi toimii lähinnä infrapuna-alueella. Sen avulla tutkitaan muun muassa maailmankaikeuden kaukaisimpia kohteita ja toisten aurinkokuntien planeettoja.

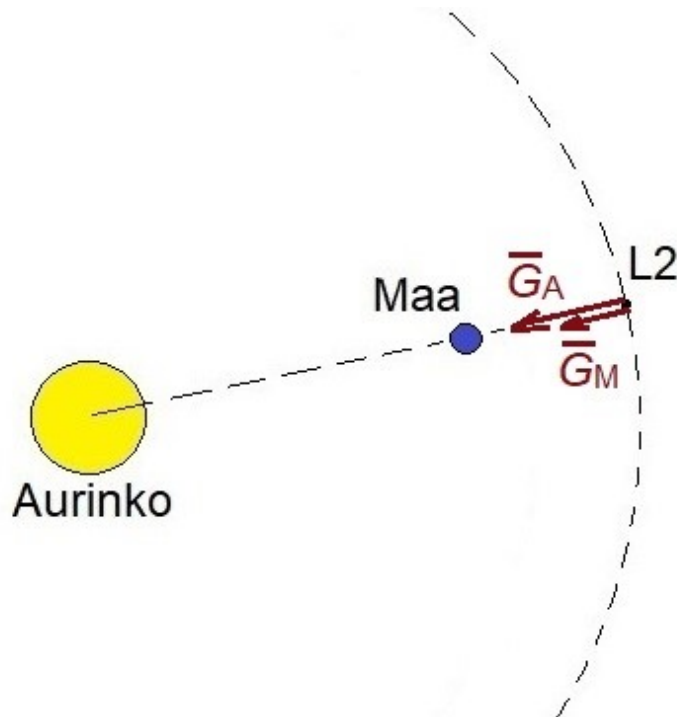
**11.1** James Webb -teleskooppi sijoitettiin avaruuteen, jossa sen lämpötila saatiin alhaiseksi. Miksi alhainen lämpötila on olennainen tekijä infrapunasäteilyn havainnoinnissa? **3 p.**

Infrapunasäteilyä havainnoitaessa teleskoopin itsensä tuottama infrapunasäteily saattaisi häiritä mittauksia ja on siksi eliminoitava niin perusteellisesti kuin mahdollista. Tämä toteutetaan pitämällä havaintolaitteet erittäin alhaisessa lämpötilassa.

**11.2** Miksi kuvassa 11.A näkyvä teleskoopin lämpösuoja ei ole yhtenäinen kerros, vaan koostuu viidestä erillään olevasta kerroksesta? **4 p.**

Jos lämpösuoja olisi yhtenäinen kerros, lämpö pääsisi siirtymään johtumalla sen läpi. Lämpösuojan kerrosten väleissä olevassa tyhjiössä lämmön johtuminen ei ole mahdollista.

**11.3** Piirrä teleskoopin voimakuvio ja nimeä voimat. **4 p.**



Voimakuviossa  $\vec{G}_A$  ja  $\vec{G}_M$  ovat Auringon ja Maan avaruusteleskooppiin kohdistamat gravitaatiovoimat. Molemmat suuntautuvat kohti rataympyrän keskipistettä.

Kuvattu ympyrärata on epästabiili, joten käytännössä teleskooppi liikkuu L2:n ympäristössä ja ratakorjaukset ovat välttämättömiä. Tätä ei ratkaisussa oteta huomioon.

**11.4** Teleskoopin etäisyys Maasta on 1,5 miljoonaa kilometriä. Perustele tämä osoittamalla, että Newtonin II laki toteutuu kyseisellä etäisyyden arvolla. **9 p.**

Gravitaatiovakio, Auringon massa, Maan massa, Auringon ja Maan välinen etäisyys sekä Maan ja avaruusteleskoopin kiertoaika Auringon ympäri ovat

$$\gamma = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

$$m_A = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}, m_M = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$r = 1,4960 \cdot 10^8 \text{ km}, T = 365,2 \text{ d}$$

Newtonin II laki Lagrangen pisteeseen L2 sijoitetulle avaruusteleskoopille on  $ma = G_A + G_M$ , jossa  $m$  on teleskoopin massa,  $a$  teleskoopin normaalikiikkyvyys ja  $G_A$  ja  $G_M$  Auringon ja Maan teleskooppiin kohdistamat gravitaatiovoimat. Sijoitetaan tähän  $a = \frac{v^2}{r+d} = \frac{[2\pi(r+d)/T]^2}{r+d} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (r+d)$  jossa  $v$  on teleskoopin nopeus ja  $d$  L2:n etäisyys Maasta, ja  $G_A = \gamma \frac{m_A m}{(r+d)^2}$ ,  $G_M = \gamma \frac{m_M m}{d^2}$ , ja supistetaan pois teleskoopin massa. Näin saadaan  $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (r+d) = \gamma \left(\frac{m_A}{(r+d)^2} + \frac{m_M}{d^2}\right)$

Osoitetaan, että tämä toteutuu kun  $d = 1,5 \cdot 10^6 \text{ km}$ . Sijoittamalla suureiden arvot saadaan yhtälön vasemman puolen arvoksi  $5,9915 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$  ja oikean puolen arvoksi  $5,9914 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ . Nämä ovat riittävän tarkasti yhtä suuret, joten annettu  $d$ :n arvo toteuttaa Newtonin II lain.

(NII yhtälönä, kiihtyvyys ja gravitaatiovoimat 6 p.)

(Laskut ja toteamus 3 p.)