

Yo-kokeiden mallivastaukset, kevät 2023

Fysiikka

Mafy on opettamiseen, oppimiseen sekä opetusteknologiaan erikoistunut yritys. Kehitämme itsenäisen ja tehokkaan oppimisen ratkaisuja. Teemme oppimisesta mahdollista kaikille.

Tiesitkö tämän?



83 %

opiskelijoista kertoi Mafynetin edistymiskäyrän lisännen motivaatiota opiskeluun.



60 %

PK-seudun lukioista käyttää Mafynettiä.



72 %

lääkiksen pääsykoepaikoista meni Mafyn opiskelijoille vuonna 2022.

Mallivastauksien tekijät

Mallivastaukset laatii Mafyn oppimateriaalitiimi, joka kehittää lukioon tarkoitettuja Mafynetti-oppimateriaaleja.

Oppimateriaalitiimistä mukana olivat Linnea Tokola, Jaakko Alasuvanto, Timo Kalinainen ja Sakke Suomalainen. Lisäksi työn tukena olivat Matti Virolainen ja Jona Nsuku.

Palveluitamme ovat

- Mafynetti — sähköinen oppimateriaali
- lääketieteen valmennuskurssit
- kauppatieteiden valmennuskurssit
- DI-valmennuskurssit
- ylioppilaskirjoituksiin valmentavat kurssit.

Julkaisemme verkkosivuillamme kaiken palautteen, jonka asiakkaat antavat kurseistamme. Näin varmistamme, että palveluistamme kiinnostuneilla ihmisillä on mahdollisuus saada tarkka ja rehellinen kuva siitä, mitä meiltä voi odottaa.

Käyttöehdot

Tämä asiakirja on tarkoitettu yksityishenkilöille opiskelukäyttöön. Kopion tästä asiakirjasta voi ladata osoitteesta www.mafy.fi. Käyttö kaikissa kaupallisissa tarkoituksissa on kielletty. Lukion fysiikan opettajana voit käyttää tätä tehtäväpakettia oppimateriaalina lukionkurseillasi. Nämä mallivastaukset ovat Mafy Oy:n omaisuutta.

Yhteystiedot

<https://mafy.fi/yhteydenotto>

Koetehtävät

[Klikkaa tästä nähdäksesi kokeen esikatselutilassa.](#)

Linkit malliratkaisuihin

Ratkaisu tehtävään 1	2
Ratkaisu tehtävään 2	8
Ratkaisu tehtävään 3	12
Ratkaisu tehtävään 4	18
Ratkaisu tehtävään 5	21
Ratkaisu tehtävään 6	27
Ratkaisu tehtävään 7	33
Ratkaisu tehtävään 8	41
Ratkaisu tehtävään 9	43
Ratkaisu tehtävään 10	50
Ratkaisu tehtävään 11	58

Malliratkaisut päivitetty 28. maaliskuuta 2023 klo. 10:44.

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.)

Maa kohdistaa Kuuhun gravitaatiovoiman, joka on suuruudeltaan kuin voima, jonka Kuu kohdistaa Maahan.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "pienempi", "suurempi", "yhtä suuri".

1.2 Täydennä virke. (2 p.)

Kappale, johon kohdistuvien voimien summa on eri suuri kuin nolla, on .

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "tasaisessa liikkeessä", "kiihtyvässä liikkeessä", "paikallaan".

1.3 Täydennä virke. (2 p.)

Kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman impulssi on yhtä suuri kuin kappaleen muutos.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "kiihtyvyyden", "nopeuden", "voiman", "liike-energian", "liikemäärän".

1.4 Täydennä virke. (2 p.)

Energia on .

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "vektorisuure", "skalaarisuure", "energiälajista riippuen skalaari- tai vektorisuure".

1.5 Täydennä virke. (2 p.)

Jos lämpöeristettyyn ideaalikaasuun tehdään työ W , sen lämpötila .

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "pysyy vakiona", "laskee", "nousee".

1.6 Täydennä virke. (2 p.)

Jos kaksi sähköisesti varattua hiukkasta hylkii toisiaan, niillä on oltava varaukset.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "yhtä suuret", "erimerkkiset", "samanmerkkiset", "eri suuret".

1.7 Täydennä virke. (2 p.)

Ääniaalto etenee ilmassa aaltoliikkeenä.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "sähkömagneettisena", "poikittaisena", "seisovana", "pitkittäisenä".

1.8 Täydennä virke. (2 p.)

Kahdesta käämistä koostuvalla muuntajalla muutetaan .

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "tasajännitteen suuruutta", "vaihtojännitteen taajuutta", "vaihtojännitteen suuruutta".

1.9 Täydennä virke. (2 p.)

Ohutta metallikalvoa säteilytetään ionisoivan säteilyn eri lajeilla. Eniten ionisatiota aiheuttaa -säteily.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: " β^- ", " γ ", " β^+ ", " α ".

1.10 Täydennä virke. (2 p.)

Ilmaston lämpenemiseen vaikuttaa erityisesti se, että kasvihuonekaasut absorboivat tehokkaasti olevaa sähkömagneettista säteilyä.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "ultravioletialueella", "näkyvän valon alueella", "mikroaaltoalueella", "infrapuna-alueella".

Ratkaisu.

1.1 Täydennä virke. (2 p.)

Maa kohdistaa Kuuhun gravitaatiovoiman, joka on suuruudeltaan **yhtä suuri** 2 p. (yht. 2 p.) kuin voima, jonka Kuu kohdistaa Maahan.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "pienempi", "suurempi", "yhtä suuri".

Newtonin 3. lain (voiman ja vastavoiman lain) mukaan jos kappale A (tässä Maa) kohdistaa voiman kappaleeseen B (tässä Kuu), kohdistaa kappale B yhtäsuuren, samanlaisen (tässä gravitaatiovoima) ja vastakkaissuuntaisen voiman kappaleeseen A.

1.2 Täydennä virke. (2 p.)

Kappale, johon kohdistuvien voimien summa on eri suuri kuin nolla, on **kiihtyvässä liikkeessä** 2 p. (yht. 4 p.).

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "tasaisessa liikkeessä", "kiihtyvässä liikkeessä", "paikallaan".

Newtonin 2. lain mukaan kappaleeseen vaikuttavien voimien summa on yhtä suuri kuin kappaleen massa kertaa kappaleen kiihtyvyys, eli

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}.$$

Jos voimien summa on eri suuri kuin nolla, kiihtyvyyden a täytyy myös olla eri suuri kuin nolla, eli kappaleella on kiihtyvyys. Jos kappaleella on kiihtyvyys, se on kiihtyvässä liikkeessä.

1.3 Täydennä virke. (2 p.)

Kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman impulssi on yhtä suuri kuin kappaleen **liikemäärän** 2 p. (yht. 6 p.) muutos.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "kiihtyvyyden", "nopeuden", "voiman", "liike-energian", "liikemäärän".

Impulssiperiaatteen nojalla kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman impulssi on yhtä suuri kuin kappaleen liikemäärän muutos, eli

$$\vec{I} = \Delta\vec{p}$$

missä \bar{I} on impulssi, ja $\Delta\bar{p}$ liikemäärän muutos. Jos ei muistanut impulssiperiaatetta, vastaus oli mahdollista päätellä myös Newtonin 2. lain avulla seuraavasti.

$$\sum \bar{F} = m\bar{a}$$

Kiihtyvyys on nopeuden muutos jaettuna muutokseen kuluvalle ajalle.

$$\begin{aligned} \sum \bar{F} &= m \frac{\Delta\bar{v}}{\Delta t} \quad || \cdot \Delta t \\ \sum \bar{F} \cdot \Delta t &= m \cdot \Delta\bar{v} \end{aligned}$$

Impulssi on voima kertaa voiman vaikutusaika ja liikemäärä on massa kertaa nopeus, eli liikemäärän muutos on massa kertaa nopeuden muutos (massan pysyessä vakiona).

$$\bar{I} = \Delta\bar{p}$$

1.4 Täydennä virke. (2 p.)

Energia on **skalaarisuure** 2 p. (yht. 8 p.).

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "vektorisuure", "skalaarisuure", "energiälajista riippuen skalaari- tai vektorisuure".

Vektorisuureella on suunta ja suuruus. Skalaarisuureella on suuruus, mutta ei suuntaa. Nopeus ja voima ovat esimerkkejä vektorisuureista, ja massa, lämpötila ja energia ovat esimerkkejä skalaarisuureista.

Systeemin energia tarkoittavaa systeemin kykyä tehdä työtä tai luovuttaa lämpöä. Työllä ei ole suuntaa. Tämän voi ymmärtää esimerkiksi laajenevan ilmapallon avulla. Laajeneva ilmapallo tekee työtä ympäristöön, mutta pallo laajenee joka suuntaan, joten ei voida määrittää tiettyä vektorinuolen osoittamaa suuntaa, mihin pallon tekemä työ osoittaisi. Asia voidaan ymmärtää myös lämmön kautta. Jos kappale vastaanottaa lämpöä, kappaleen energia kasvaa. Lopputulos on identtinen riippumatta siitä, mistä suunnasta lämpö kappaleeseen virtasi, eikä kappaleen nopeus muutu lämmön vastaanottamisen seurauksena.

1.5 Täydennä virke. (2 p.)

Jos lämpöeristettyyn ideaalikaasuun tehdään työ W , sen lämpötila **nousee** 2 p. (yht. 10 p.).

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "pysyy vakiona", "laskee", "nousee".

Termodynamiikan 1. pääsäännön mukaan

$$\Delta U = Q + W,$$

missä U on systeemin sisäenergia, Q systeemiin siirtynyt lämpö ja W systeemiin tehty työ. Jos systeemi on lämpöeristetty, systeemiin tai systeemistä ei siirry lämpöä ($Q = 0$). Tällöin sisäenergian muutoksen suuruus vastaa systeemiin tehtyä työtä. Kun systeemiin tehdään työtä sen sisäenergia siis kasvaa. Ideaalikaasun sisäenergia on ilmenee ideaalikaasun hiukkasten lämpöliikkeeseen liittyvänä liike-energiana, joka on suoraan verrannollinen lämpötilaan, eli lämpötila kasvaa.

1.6 Täydennä virke. (2 p.)

Jos kaksi sähköisesti varattua hiukkasta hylkii toisiaan, niillä on oltava **samanmerkkiset** 2 p. (yht. 12 p.) varaukset.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "yhtä suuret", "erimerkkiset", "samanmerkkiset", "eri suuret".

Samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan ja erimerkkiset vetävät toisiaan puoleensa.

1.7 Täydennä virke. (2 p.)

Ääniaalto etenee ilmassa **pitkittäisenä** 2 p. (yht. 14 p.) aaltoliikkeenä.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "sähkömagneettisena", "poikittaisena", "seisovana", "pitkittäisenä".

Ääniaalto on mekaanista aaltoliikettä, ei siis sähkömagneettista. Mekaaniset aallot etenevät väliaineen rakenneosasten värähtelyliikkeen avulla. Nesteissä ja kaasuissa aineen rakenneosaset pääsevät liikkumaan varsin vapaasti toistensa ohi, joten poikittainen mekaaninen aaltoliike ei ole niissä mahdollista, lukuunottamatta nesteen ja kaasun rajapinnassa eteneviä pinta-aaltoja. Äänen eteneminen on siis pitkittäistä aaltoliikettä.

1.8 Täydennä virke. (2 p.)

Kahdesta käämistä koostuvalla muuntajalla muutetaan **vaihtojännitteen suuruutta** (2 p. (yht. 16 p.)).

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "tasajännitteen suuruutta", "vaihtojännitteen taajuutta", "vaihtojännitteen suuruutta".

Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, missä yhden käämin läpi kulkeva vaihtovirta aiheuttaa muuttuvan magneettikentän, joka puolestaan indusoi toiseen käämiin jännitteen. Indusoituneen jännitteen taajuus vastaa alkuperäisen vaihtojännitteen taajuutta, eikä induktiota tapahtuisi tasajännitteellä ollenkaan, koska käämit läpäisevä magneettivuo ei muuttuisi. Vaihtojännitteen suuruutta muutetaan muuntosuhteen

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

mukaan, missä U_1 ja U_2 ovat käämien vaihtojännitteiden suuruudet, ja N_1 ja N_2 käämien kierrosten lukumäärät.

1.9 Täydennä virke. (2 p.)

Ohutta metallikalvoa säteilytetään ionisoivan säteilyn eri lajeilla. Eniten ionisaa-
tiota aiheuttaa α -säteily (2 p. (yht. 18 p.)).

Vastauslaatikon vaihtoehdot: " β^- ", " γ ", " β^+ ", " α ".

Kaikki mainitut säteilylajit voivat olla ionisoivia, jos ne luovuttavat metallikalvolle riittävästi energiaa elektronin irrottamiseksi. Alfa-säteilyn energia vaimenee säteilylajeista voimakkaimmin väliaineeseen, eli sen energia absorboituu siihen tehokkaimmin.

1.10 Täydennä virke. (2 p.)

Ilmaston lämpenemiseen vaikuttaa erityisesti se, että kasvihuonekaasut absorboivat tehokkaasti **infrapuna-alueella** (2 p. (yht. 20 p.)) olevaa sähkömagneettista säteilyä.

Vastauslaatikon vaihtoehdot: "ultraviolettialueella", "näkyvän valon alueella", "mikroaaltoalueella", "infrapuna-alueella".

Infrapuna-alueessa oleva sähkömagneettinen säteily on lämpösäteilyä. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttaa juurikin se, että maan pinnasta säteilevä lämpösäteily ei pääse avaruuteen, vaan absorboituu ilmakehän kasvihuonekaasuihin.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

2. Ariane 5 -kantoraketti (15 p.)

Aineisto:

2. A [Mittausaineisto: Raketin vauhti radallaan ajan funktiona](#)

Ariane 5 on kantoraketti, jota käytetään satelliittien laukaisemiseen. Aineistossa [2.A](#) on raketin vauhti radallaan ajan funktiona eräessä laukaisussa.

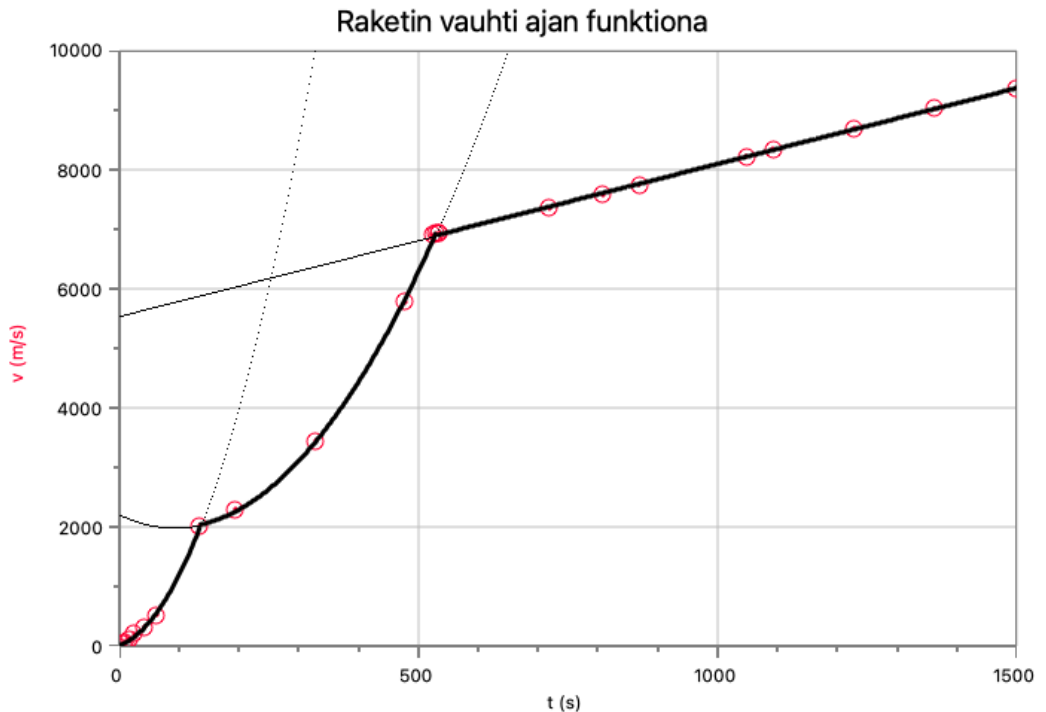
2.1 Laadi graafinen esitys raketin vauhdista ajan funktiona. Laadi esitys siten, että siinä näkyvät aineiston pisteet ja että siitä voi lukea raketin vauhdin millä tahansa ajanhetkellä aikavälillä 0 s–1 500 s. (5 p.)

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.)

Ratkaisu.

2.1 Piirretään mittauspisteet (t, v) -koordinaatistoon. Alkuosan mittauspisteet eivät asetu suoralle, mutta noin hetkestä $t = 500$ s eteenpäin pisteet asettuvat. Sovitetaan suora loppuosan mittauspisteisiin. Jaetaan alkuosa kahteen eri osaan ja tehdään kummallekin osalle oma sovite. Toisen asteen sovite näyttää sopivan mittauspisteisiin hyvin.



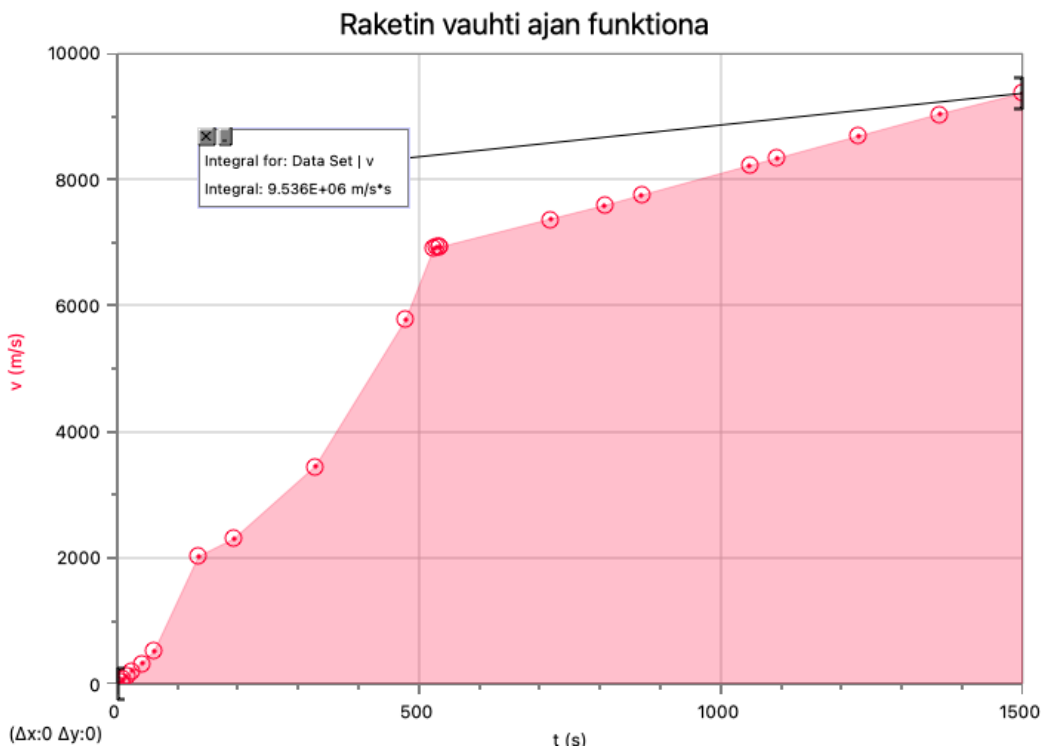
5 p. (yht. 5 p.)

YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 25.3.2023) oli piirretty kuvaaja käyttäen pisteitä yhdistävää spliniä (pyöristetty pisteiden läpi kulkeva viiva). Yo-kokeessa on tähän mennessä hyväksytty eri tavoin tehtyjä graafisia tasoituksia, kunhan ne ovat näyttäneet silmämääräisesti oikeanlaisilta kuvaajilta ja toteuttaneet tehtävänannon vaatimukset. Tämän tehtävän tapauksessa pisteiden yhdistäminen murtoviivalla (suorat viivat peräkkäisten pisteiden välillä) ei tuota riittävän hyvää lopputulosta, mutta esimerkiksi splini (pyöristetty viiva), kuvaajan piirtäminen piirto-ohjelmalla "käsini" tai useamman sopivan sovitefunktion käyttäminen ovat mahdollisia tapoja piirtää kuvaaja.

Pisteytyksestä:

- Suure tai yksikkö puuttuu akselilta kuvaajassa = -1 p / puute,
- Osa mittauspisteistä puuttuu näkyvistä = -1 p,
- Graafinen esitys ei kuvaa hyvin mittauspisteitä = -2 p,
- Tehty suoran sovitus kaikkiin pisteisiin (myös ensimmäiseen) = -0 p,
- Otsikko puuttuu kuvaajasta = -0 p.

2.2 Raketin kulkema matka saadaan (t, v) -kuvaajasta kuvaajan ja vaaka-akselin välisestä fysikaalisesta pinta-alasta 1 p. (yht. 6 p.) kaavan $s = v \Delta t$ mukaisesti.



3 p. (yht. 9 p.)

Tulokseksi saadaan $9,536 \cdot 10^6 \text{ m} \approx 9\,500 \text{ km}$.

Vastaus: Raketti kulki matkan 9 500 km aikavälillä 0 s – 1500 s. 1 p. (yht. 10 p.)

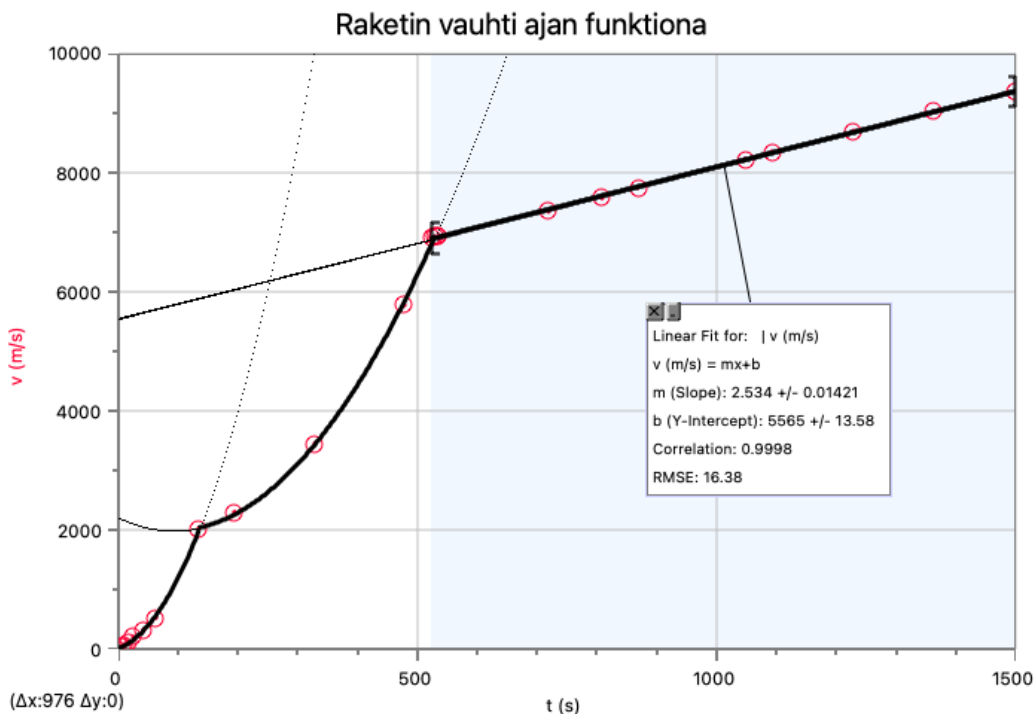
Pistetyksestä:

- Suure tai yksikkö puuttuu akselilta kuvaajassa = -1 p / puute,
- Osa mittauspisteistä puuttuu näkyvistä = -1 p,
- Otsikko puuttuu kuvaajasta = -0 p.

2.3 Kohdan 2.1 mukaisesti mittauspisteet osuvat melko tarkasti samalle suoralle aikavälillä $t = 700 \text{ s} - 1400 \text{ s}$. Kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin vastaa lauseketta

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a$$

eli fysikaalisesta kulmakertoimesta saadaan raketin kiihtyvyys 3 p. (yht. 13 p.), joka on siis annetulla välillä $t = 700 \text{ s} - 1400 \text{ s}$ vakio. Luetaan fysikaalinen kulmakerroin kuvaajasta.



Fysikaalinen kulmakerroin on noin $a = 2,536 \text{ m/s}^2 \approx 2,5 \text{ m/s}^2$.

Vastaus: Kiihtyvyys on $2,5 \text{ m/s}^2$ 2 p. (yht. 15 p.)

Vastauksessa hyväksytään luultavasti arvot väliltä $2,5 \text{ m/s}^2 - 2,6 \text{ m/s}^2$, sillä suoran sovittaminen saattaa hieman vaihdella ohjelmasta ja valituista mittauspisteistä riippuen.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

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 halua 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 kiertää lämpöä siirtävä aine.

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

- Aine on kylmempää kuin ulkoilma.
- Aine on kaasua ja lämpimämpää kuin ulkoilma.
- Aineen lämpötilalla ei ole väliä, koska aineen olomuoto muuttuu.
- En vastaa.

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

- Aine höyrystyy ja ottaa vastaan energiaa ympäristöstä.
- Aine höyrystyy ja luovuttaa energiaa ympäristöönsä.
- Aine höyrystyy, mutta energiaa ei siirry aineen ja ympäristön välillä.
- En vastaa.

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

- 30 W
- 300 W
- 3 000 W
- 30 000 W
- En vastaa.

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.)

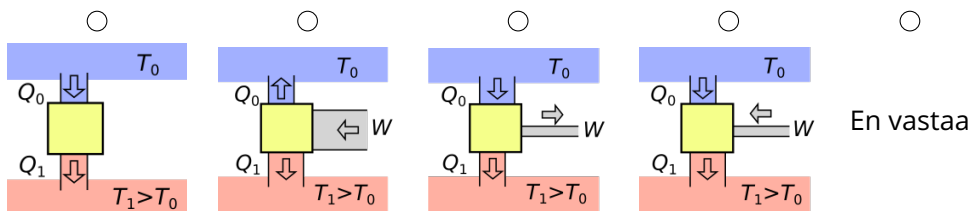
- Sähkönkulutus laskee.
- Sähkönkulutus nousee.
- Sähkönkulutus pysyy samana.
- En vastaa.

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

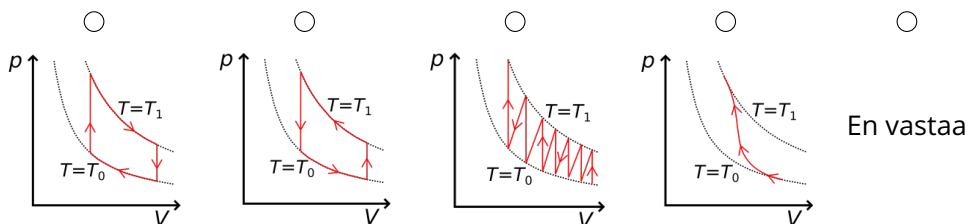
- Lämpötila pysyy samana.
- Lämpötila nousee.
- Lämpötila laskee.
- En vastaa.

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.)



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 pysyy samana ja tilavuus pienenee.
- Kaasun lämpötila pysyy samana ja tilavuus kasvaa.
- Kaasun lämpötila kasvaa ja tilavuus pienenee.
- Kaasun lämpötila kasvaa ja tilavuus kasvaa.
- En vastaa.

Ratkaisu.

3.1 Miksi energian siirtyminen kylmästä ulkoilmasta lämpöä siirtävään aineeseen on mahdollista ulkoyksikössä?

- Aine on kylmempää kuin ulkoilma. 1 p. (yht. 1 p.)
- Aine on kaasua ja lämpimämpää kuin ulkoilma.
- Aineen lämpötilalla ei ole väliä, koska aineen olomuoto muuttuu.
- En vastaa.

Lämpö voi siirtyä itsestään vain kuumemmasta kohti kylmempää. Aineen on siis oltava kylmempää kuin ulkoilma, jolloin ulkoilmasta siirtyy spontaanisti lämpöä aineeseen.

3.2 Mitä lämpöä siirtävälle aineelle tapahtuu, kun se on höyrystimessä?

- Aine höyrystyy ja ottaa vastaan energiaa ympäristöstä. 2 p. (yht. 3 p.)
- Aine höyrystyy ja luovuttaa energiaa ympäristöönsä.
- Aine höyrystyy, mutta energiaa ei siirry aineen ja ympäristön välillä.
- En vastaa.

Höyrystimessä aine höyrystyy. Höyrystyminen on endoterminen reaktio eli se sitoo energiaa.

3.3 Lämpöpumpun sähköteho on 1000 W. Oikea suuruusluokka lämpöpumpun lämmitysteholle on

- 30 W

- 300 W
- 3 000 W 2 p. (yht. 5 p.)
- 30 000 W
- En vastaa.

Kaikki lämpöpumpun käyttämä sähköenergia päättyy lämmitettävään rakennukseen, joten lämpöpumpun sähkötehoa pienemmät lämmitystehot eivät ole mielekkäitä. Lämpöpumpun tehokkuus on $\varepsilon = \frac{\text{lämmitysteho}}{\text{sähköteho}}$.

Jos lämmitysteho olisi 30 000 W, se tarkoittaisi, että lämpöpumpun suorituskyky olisi 30, joka vaikuttaa hyvin suurelta. Paras suuruusluokka on 3 000 W.

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

- Sähkönkulutus laskee.
- Sähkönkulutus nousee. 2 p. (yht. 7 p.)
- Sähkönkulutus pysyy samana.
- En vastaa.

Jääkaappi on lämmönsiirtokone, joka siirtää lämpöenergiaa kylmästä jääkaapin sisäilmasta lämpimään huoneilmaan. Jääkaappiin sen seinien läpi virtaava lämpömäärä on verrannollinen kaapin ja huoneilman väliseen lämpötilaeroon, joten mitä lämpimämpi huone, sitä enemmän kaappiin virtaa lämpöä eli sitä enemmän kaapin täytyy tehdä työtä ja kuluttaa sähköä.

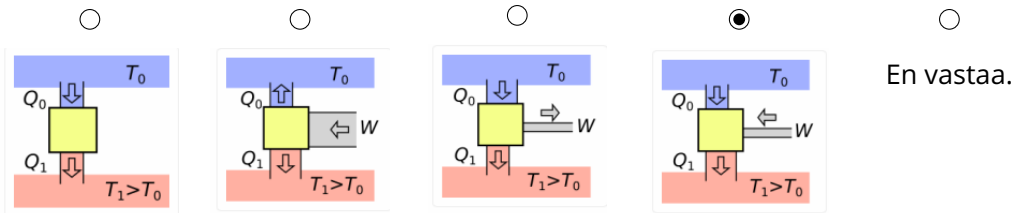
3.5 Käynnissä olevan jääkaapin ovi unohdetaan auki pitkäksi aikaa. Mitä huoneen lämpötilalle tapahtuu?

- Lämpötila pysyy samana.
- Lämpötila nousee. 2 p. (yht. 9 p.)
- Lämpötila laskee.
- En vastaa.

Kun jääkaapin ovi on auki, lämpöä siirtyy huoneesta jääkaappiin avoimen oven kautta. Samalla jääkaapin koneisto siirtää lämpöä jääkaapista takaisin huoneilmaan. Koko tämän ajan jääkaappi kuluttaa sähköenergiaa, joka muuttuu jääkaapin koneistossa lämmöksi ja siirtyy huoneilmaan eli huoneen lämpötila nousee.

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

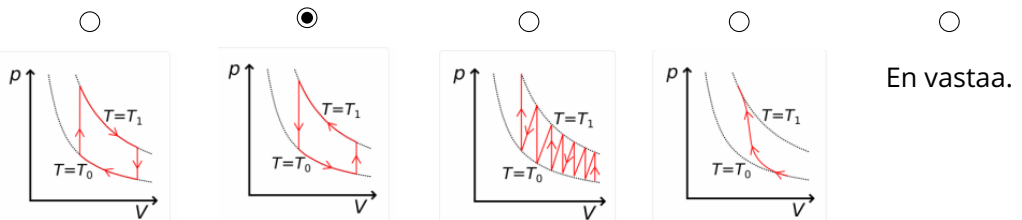
2 p. (yht. 11 p.)



Lämmönsiirtokone siirtää lämpöä kylmästä lämpösäiliöstä kuumaan lämpösäiliöön. Tämä on mahdollista vain, kun lämmönsiirtokoneeseen tehdään työtä. Työn W ja kylmästä lämpösäiliöstä tulevan lämpövirran Q_0 on siis osoitettava konetta kohti ja kuumaan lämpösäiliöön kulkevan lämpövirran Q_1 on osoitettava pois päin lämmönsiirtokoneesta.

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

2 p. (yht. 13 p.)



Lämmönsiirtokone on syklinen, eli sama lämmönsiirtoaine kiertää koneen sisällä uudestaan ja uudestaan. Ne käyrät, jotka eivät muodosta suljettua käyrää eivät siis voi esittää ideaalista lämmönsiirtokonetta, sillä niistä ei käy ilmi, miten laite pääsee takaisin lähtötilaansa.

Suljetuista käyristä oikea voidaan valita tarkastelemalla kaasun laajenemiseen liittyvää työtä $W = p\Delta V$ eli kuvaajan ja vaaka-akselin väliin jäävää pinta-alaa. Myötäpäivään kiertävässä käyrässä kaasu laajenee korkeassa paineessa (lämpötilassa) ja se puristetaan takaisin kasaan pienessä paineessa (lämpötilassa). Tämän kierron aikana kaasu siis tekee mekaanista työtä ulospäin enemmän kuin siihen tehdään mekaanista työtä. Tällainen käyrä kuvaa siis lämpövoimakonetta. Vastapäivään kiertävä käyrä kuvaa siis lämmönsiirtokonetta.

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?

- Kaasun lämpötila pysyy samana ja tilavuus pienenee.
- Kaasun lämpötila pysyy samana ja tilavuus kasvaa.
- Kaasun lämpötila kasvaa ja tilavuus pienenee. 2 p. (yht. 15 p.)
- Kaasun lämpötila kasvaa ja tilavuus kasvaa.
- En vastaa.

Kaasuun tehdään työtä joten sen tilavuus pienenee. Toisaalta se, että kaasuun tehdään työtä tarkoittaa sitä, että siihen tuodaan energiaa. Kaasun ja ympäristön välillä ei siirry lämpöä eikä lämpöenergiaa sitoudu olomuodon muutoksiin, joten kaasun lämpötila kasvaa. Tämän voi perustella myös lämpöopin ensimmäisellä pääsäännöllä:

$$\Delta U = \underbrace{Q}_0 + \underbrace{W}_{>0}$$

Koska kaasuun tehdään työtä, työ on positiivinen. Ympäristön ja kaasun välillä ei siirry lämpöä, joten Q on nolla. Siten ΔU on oltava positiivinen. Sisäenergia riippuu vain lämpötilasta, joten loppulämpötilan on oltava alkulämpötilaa suurempi.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

4. Kondensaattori (15 p.)

Aineisto:

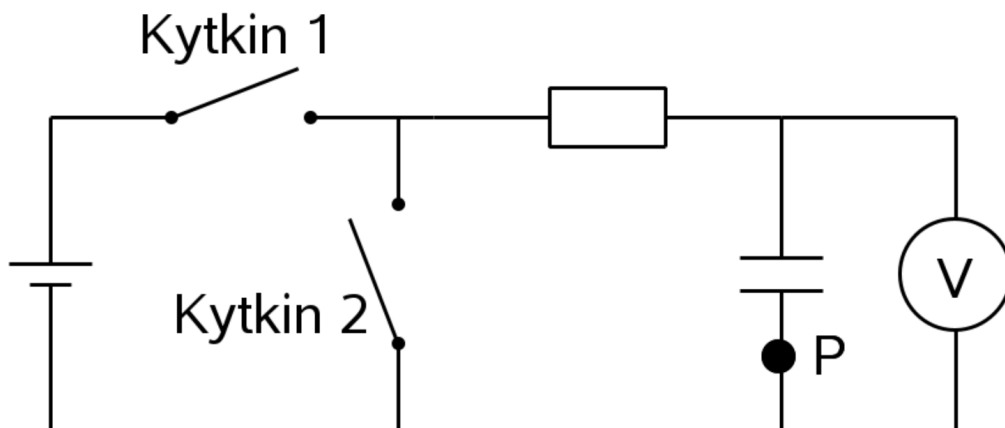
- 4. A [Kuva: Kondensaattorin varautumis- ja purkautumiskäyrä](#)
- 4. B [Kuva: Täydennettävä piiri](#)
- 4. C [Kuva: Kytkin](#)
- 4. D [Kuva: Vastus](#)
- 4. E [Kuva: Jännitemittari](#)

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.)
- 4.2 Onko virran suunta kuvan [4.B](#) pisteessä P ylös- vai alaspäin varautumiskäyrän ajanhetkillä t_1 ja t_2 ? (4 p.)
- 4.3 Miten muuttaisit piirin komponentteja, jos haluat hidastaa kondensaattorin varautumista ja purkautumista? (3 p.)

Ratkaisu.

4.1



4 p. (yht. 4 p.)

Pisteytyksestä:

- Komponentti puuttuu = -2 p / puute,
- Kytkin tai jännitemittari väärin = -2 p / virhe,
- Vastus väärässä paikassa = -1 p,
- Vähintään 0 p kuvasta.

Jännitemittari V mittaa kondensaattorin napojen välistä jännitettä. Alussa molemmat kytkimet ovat auki. Kun kytkin 1 suljetaan, piirissä alkaa kulkea virta ja kondensaattori alkaa varautua, jolloin kondensaattorin napojen välinen jännite alkaa kasvaa. (2 p. (yht. 6 p.)) Tämän jälkeen kytkin 1 avataan ja kytkin 2 suljetaan, jolloin jännitelähteen läpi ei kulje enää virtaa, ja kondensaattorin varaus purkautuu ja levyjen välinen jännite pienenee, kun virta pääsee kulkemaan kytkimen 2, vastuksen, ja kondensaattorin muodostamassa silmukassa. (2 p. (yht. 8 p.))

Aineiston kuvaajan perusteella kondensaattorin varautuminen ja purkautuminen tapahtuvat likimain samalla nopeudella, joten vastuksen täytyy olla piirissä sellaisessa kohdassa, että virta kulkee sen läpi sekä kondensaattoria varattaessa että kondensaattorin purkautuessa. Jos vastus olisi esimerkiksi kytkimen 2 kanssa sarjassa, virta kulkisi vastuksen läpi vain kondensaattorin purkautuessa, mutta ei kondensaattorin varautuessa.

Vastuksen paikka oli mahdollista päätellä kuvaajan avulla, mutta lisäksi vastuksen oikea paikka oli mahdollista arvata hyvällä varmuudella, jos tiesi, että yleisesti halutaan välttää suuria virtapiikkejä ja äkillisiä muutoksia. Tämän takia vastus halutaan kytkeä siten, että se rajoittaa virran suuruutta sekä kondensaattoria varatessa että purkaessa.

4.2 Varautumiskäyrän hetkellä t_1 kytkin 1 on kiinni ja kytkin 2 on auki, ja kondensaattorin varaus kasvaa. Jännitelähteen positiivinen napa on kuvassa ylempi napa, joten virta kulkee piirissä myötäpäivään. Näin ollen pisteen P kohdalla virta kulkee hetkellä t_1 kuvassa alaspäin. (2 p. (yht. 10 p.))

Varautumisen aikana virta kulkee piirissä myötäpäivään, mikä tarkoittaa sitä, että kuvassa kondensaattorin ylempi levy varautuu positiivisesti ja alempi levy varautuu negatiivisesti. Kondensaattorin ylempi levy on siis varautumisen jälkeen korkeammassa potentiaalissa kuin alempi levy. Varautumiskäyrän hetkellä t_2 kytkin 2 on kiinni ja kytkin 1 on auki, ja kondensaattorin varaus purkautuu. Koska

kondensaattorin ylempi levy on varautunut positiivisesti, virta kulkee silmukassa vastapäivään. Näin ollen hetkellä t_2 virta kulkee pisteen P kohdalla kuvassa ylöspäin. (2 p. (yht. 12 p.))

Pisteytyksestä: YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 25.3.2023) todettiin vain virran suunnat, kun kondensaattori varautuu ja purkautuu, mutta ei perusteltu suuntia mitenkään. Luultavasti siis ilman perustelujakin saa täydet pisteet kohdasta 2, jos virran suunnat on sanottu oikein.

- 4.3 Kondensaattorin varautuminen ja purkautuminen on sitä nopeampaa, mitä suurempi sähkövirta piirissä kulkee. Sähkövirran suuruutta voi pienentää vaihtamalla piirin vastuksen tilalle toisen vastuksen, jolla on suurempi resistanssi. (2 p. (yht. 14 p.))

Kondensaattorin jännite on $U = \frac{Q}{C}$, missä Q on kondensaattorin varaus ja C on kondensaattorin kapasitanssi. Valitsemalla kondensaattorin tilalle toisen kondensaattorin, jolla on suurempi kapasitanssi, mittauksessa kondensaattorin jännite kasvaa siis hitaammin, vaikka varaus kasvaa yhtä nopeasti. (1 p. (yht. 15 p.))

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

5. Kynttilä (15 p.)

Aineisto:

- 5. A [Mittausaineisto: Kynttilän pituus ajan funktiona](#)
- 5. B [Kuva: Valokuva maljakossa kelluvasta kynttilästä](#)
- 5. C [Kuva: Kynttilän voimakuvio](#)

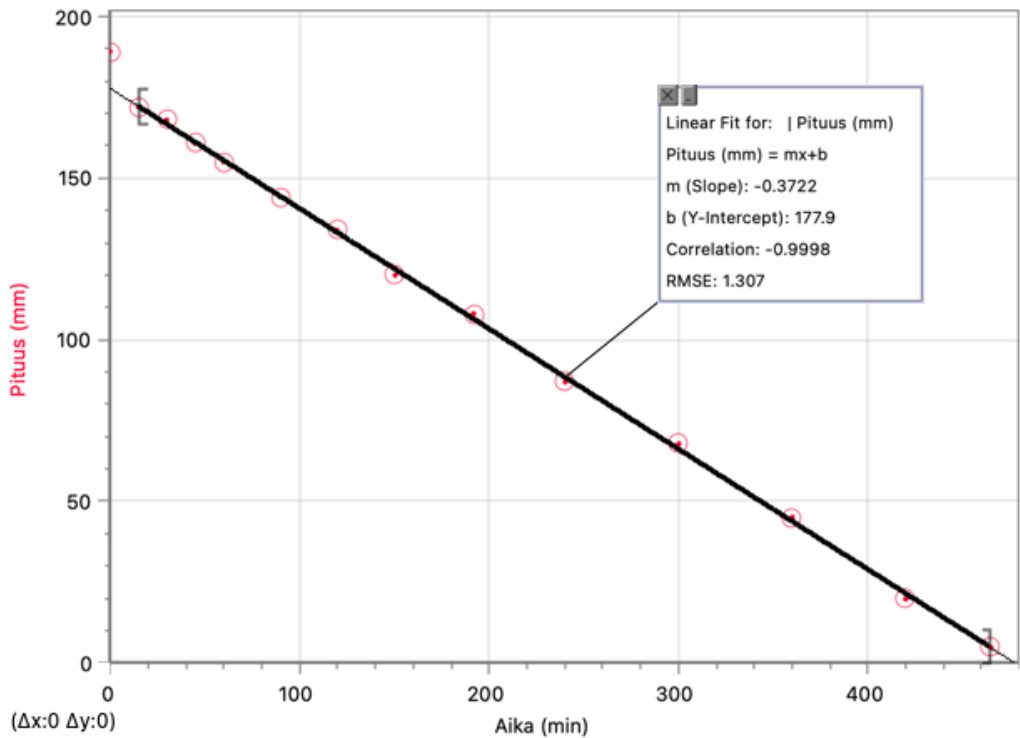
Kynttilää poltetaan ja sen pituus mitataan palamisajan funktiona. Mittausten tulos on esitetty aineistossa [5.A](#). Kynttilän pituus alussa on 189 mm, halkaisija on 21 mm ja keskimääräinen tiheys on 862 kg/m^3 .

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

Ratkaisu.

- 5.1 Muodostetaan graafinen esitys. Pisteet näyttävät asettuvan ensimmäistä pistettä lukuunottamatta hyvin suoralle, joten sovitetaan muihin mittauspisteisiin lineaarinen sovite. **Aineiston kuvasta nähdään, että kynttilän kärki on terävä eli sen halkaisija on muuta kynttilää pienempi, joten ensimmäinen mittauspiste ei asetu yhtä tarkasti suoralle muiden mittauspisteiden kanssa.**

Kynttilän pituus ajan funktiona



4 p. (yht. 4 p.)

Suoran yhtälö on $\ell(t) = -0,372 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot t + 178 \text{ mm}$. 1 p. (yht. 5 p.)

Pisteytyksestä:

- Suure tai yksikkö puuttuu akselilta kuvaajassa = -1 p / puute,
- Osa mittauspisteistä puuttuu näkyvistä = -1 p,
- Graafinen esitys ei kuvaa hyvin mittauspisteitä = -2 p,
- Tehty suoran sovitus kaikkiin pisteisiin (myös ensimmäiseen) = -0 p,
- Otsikko puuttuu kuvaajasta = -0 p.

5.2 Merkitään kynttilän massaa m_k :lla ja

$$m_m = 3,5 \text{ g} = 0,0035 \text{ kg}$$

$$\rho_k = 862 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 21 \text{ mm} = 0,021 \text{ m}$$

$$\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\ell = \text{kynttilän pituus tietyllä ajan hetkellä}$$

Newtonin 2. lain mukaan kynttilä pysyy paikallaan, kun siihen kohdistuvien voimien summa on nolla. Tutkitaan aineistossa annettua voimakuviota.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{N} + \vec{G}_k + \vec{G}_m = \vec{0}$$

$$N - G_k - G_m = 0 \quad \text{1 p. (yht. 6 p.)}$$

$$\rho_v V_{\text{syryj.}} g = m_k g + m_m g \quad || : g$$

$$\rho_v V_{\text{syryj.}} = m_k + m_m \quad \text{1 p. (yht. 7 p.)} \quad (1)$$

missä $V_{\text{syryj.}}$ on kynttilän syrjäyttämän vesimäärän (kynttilän veden alla oleva tilavuus) tilavuus. Kynttilä on suoran ympyrälieriön muotoinen, joten sen tilavuus on

$$V_k = Ah$$

missä

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

on kynttilän poikkileikkauksen pinta-ala ja h on kynttilän korkeus. Tilavuus on siis

$$V_k = Ah = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell \quad \text{1 p. (yht. 8 p.)} \quad (2)$$

Ratkaistaan kynttilän massa tiheyden kaavasta.

$$\rho_k = \frac{m_k}{V_k}$$

$$m_k = \rho_k \cdot V_k \quad \text{|| Sijoitetaan (2)}$$

$$m_k = \rho_k \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell \quad \text{1 p. (yht. 9 p.)}$$

Sijoitetaan kynttilän massan lauseke yhtälöön (1).

$$\rho_v V_{\text{syryj.}} = \rho_k \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell + m_m \quad \text{1 p. (yht. 10 p.)}$$

Kynttilä sammuu, kun se joutuu koko pituudeltaan veden alle. Tällöin kynttilän vettä syrjäyttävä tilavuus on yhtä suuri kuin kynttilän koko tilavuus, eli $V_{\text{syryj.}} = V_k$.

$$\rho_v V_k = \rho_k \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell + m_m \quad \text{1 p. (yht. 11 p.)}$$

Sijoitetaan (2) V_k :n paikalle.

$$\rho_v \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell = \rho_k \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell + m_m \quad \text{1 p. (yht. 12 p.)}$$

$$\rho_v \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell - \rho_k \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \ell = m_m$$

$$\ell \left(\pi \frac{d^2}{4} (\rho_v - \rho_k) \right) = m_m \quad \text{||} \cdot 4, : \pi d^2 (\rho_v - \rho_k)$$

$$\ell = \frac{4m}{\pi d^2 (\rho_v - \rho_k)} \quad \text{1 p. (yht. 13 p.)}$$

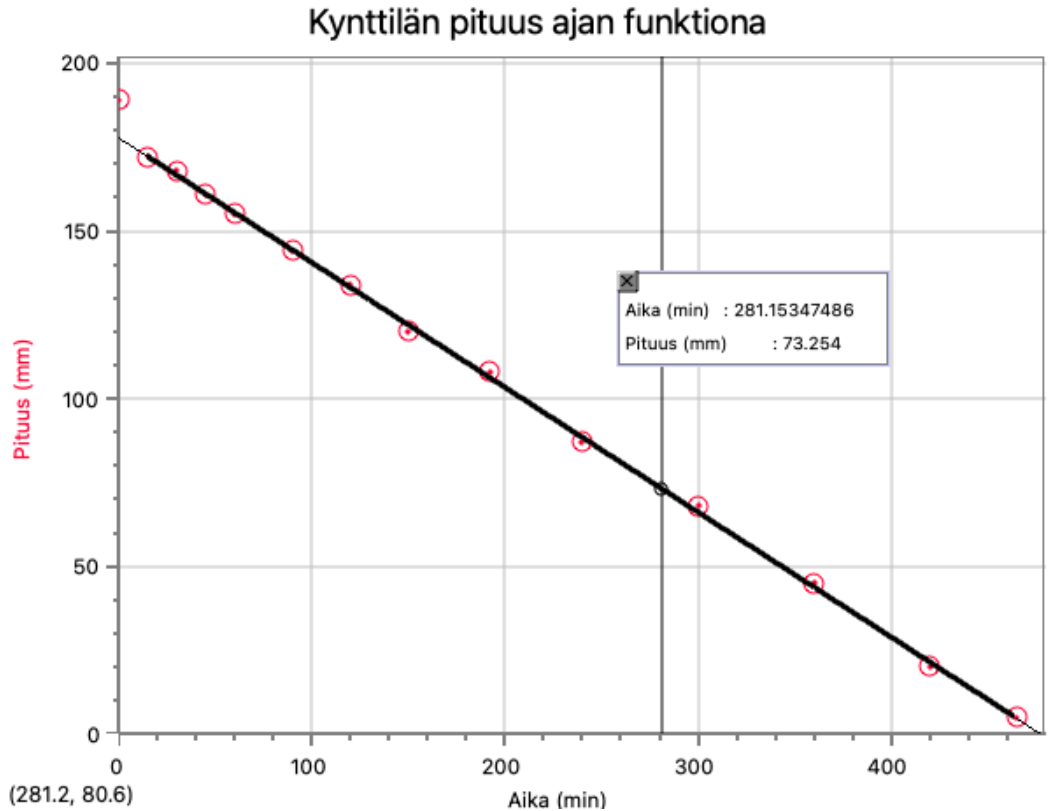
$$\ell = \frac{4 \cdot 0,0035 \text{ kg}}{\pi \cdot (0,021 \text{ m})^2 \cdot (1000 \text{ kg/m}^3 - 862 \text{ kg/m}^3)}$$

$$\ell = 0,0732 \dots \text{ m}$$

$$= 73,22 \dots \text{ mm} \quad \text{1 p. (yht. 14 p.)}$$

Vaihtoehtoinen tapa 1 selvittää ajanhetki

Kohdan 5.1 kuvaajasta interpoloimalla saadaan, että ajanhetki, jolla kynttilä on 73,22... mm, on $t = 281,61... \text{ min} \approx 280 \text{ min}$.



Vastaus: Kynttilä palaa maljakossa 280 min. 1 p. (yht. 15 p.)

Vaihtoehtoinen tapa 2 selvittää ajanhetki

Kohdassa 5.1 muodostetun mallin perusteella

$$\ell(t) = -0,372 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot t + 178 \text{ mm}$$

$$t = \frac{\ell(t) - 178 \text{ mm}}{-0,372 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$t = \frac{73,22 \text{ mm} - 178 \text{ mm}}{-0,372 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}$$

$$t = 281,66 \dots \text{ min}$$

$$\approx 280 \text{ min}$$

Vastaus: Kynttilä palaa maljakossa 280 min. 1 p. (yht. 15 p.)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

6. Sipsipussin rapistelu (15 p.)

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



Lähde: *PepsiCo, Inc. Green Chemicals -blogi*. Julkaistu: 1.3.2017. Viitattu: 4.2.2022.

- 6.1 Mikä on intensiteettitaso, kun viisi ihmistä rapistelee kukin omaa sipsipussiaan samanaikaisesti 1,0 metrin etäisyydellä mittarista? (4 p.)
- 6.2 Tuotekehityksellä rapisteluäänen intensiteettitaso saatiin laskettua 75 desibeliin. Kuinka monta prosenttia äänen intensiteetti oli tällöin alkuperäisestä intensiteetistä? (3 p.)
- 6.3 Arvioi, millä etäisyydellä alkuperäisen sipsipussin intensiteettitaso (95 dB) vastaa tuulen huminaa, jonka intensiteettitaso on 30 dB. (5 p.)
- 6.4 Miksi osatehtävässä 6.3 laskettu etäisyyden arvio ei ole realistinen käytännön tilanteessa? (3 p.)

Ratkaisu.

6.1

Ratkaisuvaihtoehto 1

$$L_1 = 95 \text{ dB}$$

Yhden sipsipussin rapinan intensiteetti saadaan intensiteettitason kaavasta.

$$L_1 = 10 \lg\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$I_1 = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0 \quad \text{1 p. (yht. 1 p.)}$$

Intensiteetit voidaan laskea yhteen. Yhden pussin rapinan intensiteetti on I_1 , joten viiden pussin rapinan intensiteetti samalla etäisyydellä on $5I_1$. Viiden pussin aiheuttama intensiteettitaso on siis

$$L_5 = 10 \lg\left(\frac{5I_1}{I_0}\right) \text{ dB.} \quad (2)$$

Sijoitetaan yhtälö (1) yhtälöön (2).

$$L_5 = 10 \lg\left(\frac{5 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$L_5 = 10 \lg\left(5 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}\right) \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 2 p.)}$$

$$L_5 = 10 \lg\left(5 \cdot 10^{\frac{95 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}}\right) \text{ dB}$$

$$L_5 = 101,989 \dots \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 3 p.)}$$

$$L_5 \approx 100 \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 4 p.)}$$

Vastaus: Viiden sipsipussin rapistelun intensiteettitaso on 100 dB.

Ratkaisuvaihtoehto 2

$$L_1 = 95 \text{ dB}$$

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Yhden sipsipussin rapinan intensiteetti saadaan intensiteettitaso kaavasta.

$$L_1 = 10 \lg\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$I_1 = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0 \quad \text{1 p. (yht. 1 p.)}$$

$$I_1 = 10^{\frac{95 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_1 = 3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Intensiteetit voidaan laskea yhteen. Yhden pussin rapinan intensiteetti on I_1 , joten viiden pussin rapinan intensiteetti samalla etäisyydellä on

$$I_5 = 5I_1 = 5 \cdot 3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1,5811 \dots \cdot 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Viiden pussin aiheuttama intensiteettitaso on siis

$$L_5 = 10 \lg\left(\frac{I_5}{I_0}\right) \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 2 p.)}$$

$$L_5 = 10 \lg\left(\frac{1,5811 \dots \cdot 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}\right) \text{ dB}$$

$$L_5 = 101,989 \dots \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 3 p.)}$$

$$L_5 \approx 100 \text{ dB} \quad \text{1 p. (yht. 4 p.)}$$

Vastaus: Viiden sipsipussin rapistelun intensiteettitaso on 100 dB.

6.2

Ratkaisuvaihtoehto 1

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$L_1 = 95 \text{ dB}$$

$$L_u = 75 \text{ dB}$$

Alkuperäinen intensiteetti 1 m:n etäisyydellä on kohdan 1 nojalla

$$I_1 = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0$$

$$I_1 = 10^{\frac{95 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_1 = 3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Huomaa! Jos laskit I_1 :n arvon jo kohdassa 1, sitä ei tarvitse laskea tässä enää uudelleen.

Ratkaistaan intensiteettitasoa L_u vastaava intensiteetti.

$$L_u = 10 \lg\left(\frac{I_u}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$I_u = 10^{\frac{L_u}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0$$

$$I_u = 10^{\frac{75 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_u = 3,1622 \dots \cdot 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \text{1 p. (yht. 5 p.)}$$

Pisteytyksestä: Yllä mainitun pisteen saa myös, jos sijoittaa I_u :n lausekkeen alla olevaan prosenttiosuuden kaavaan oikein.

Lasketaan, kuinka monta prosenttia uusi intensiteetti on alkuperäisestä intensiteetistä.

$$\frac{I_u}{I_1} \cdot 100\% \quad \text{1 p. (yht. 6 p.)} = \frac{3,1622 \dots \cdot 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \cdot 100\% = 1,0\%$$

Vastaus: Sipsipussin uusi intensiteetti on 1,0% alkuperäisestä intensiteetistä.

1 p. (yht. 7 p.)

Ratkaisuvaihtoehto 2

Intensiteettitason lausekkeesta nähdään, että kun intensiteetti kasvaa kymmenkertaiseksi, intensiteettitaso kasvaa 10 dB. 1 p. (yht. 5 p.)

Tämän voi päätellä seuraavasti logaritmikaavan $\lg(xy) = \lg(x) + \lg(y)$ avulla:

$$L = 10 \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$L_{10} = 10 \lg\left(\frac{10I}{I_0}\right) \text{ dB}$$

$$L_{10} = 10 \left(\lg(10) + \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \right) \text{ dB}$$

$$L_{10} = 10 \lg(10) \text{ dB} + \underbrace{10 \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ dB}}_L$$

$$L_{10} = 10 \text{ dB} + L$$

Alkuperäisen intensiteettitason $L_1 = 95 \text{ dB}$ ja uuden intensiteettitason $L_u = 75 \text{ dB}$ ero on

$$L_1 - L_u = 95 \text{ dB} - 75 \text{ dB} = 20 \text{ dB},$$

joten uutta intensiteettitasoa vastaavan intensiteetin tulisi kasvaa kymmenkertaiseksi, ja vielä uudelleen kymmenkertaiseksi, eli yhteensä satakertaiseksi, jotta se vastaisi alkuperäistä intensiteettitasoa. 1 p. (yht. 6 p.) Uusi intensiteetti on siis yksi sadasosa, eli yksi prosentti alkuperäisestä. 1 p. (yht. 7 p.)

Vastaus: Uusi intensiteetti on 1% alkuperäisestä.

6.3

$$L_t = 30 \text{ dB}$$

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_1 = 3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$r_1 = 1,0 \text{ m}$$

Lasketaan tuulen äänen intensiteetti.

$$L_t = 10 \lg \left(\frac{I_t}{I_0} \right) \text{ dB}$$

$$I_t = 10^{\frac{L_t}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0$$

$$I_t = 10^{\frac{30 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_t = 1,0 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (1 \text{ p. (yht. 8 p.)})$$

Intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

$$\frac{I_1}{I_t} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (1 \text{ p. (yht. 9 p.)})$$

$$r_2 = (\pm) \sqrt{\frac{I_1 r_1^2}{I_t}} \quad (1 \text{ p. (yht. 10 p.)})$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{3,1622 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot (1,0 \text{ m})^2}{1,0 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2}}$$

$$r_2 = 1778,257 \dots \text{ m} \quad (1 \text{ p. (yht. 11 p.)})$$

$$r_2 \approx 1800 \text{ m} \quad (1 \text{ p. (yht. 12 p.)})$$

Vastaus: Sipsipussin intensiteetti on pienentynyt tuulen huminan tasolle etäisyydellä 1800 m.

Myös 1,8 km kelpaa vastaukseksi.

- 6.4 Äänen kuljettamaa energiaa absorboituu väliaineeseen ja vastaantuleviin esteisiin. (2 p. (yht. 14 p.)) Etäisyys, jolla intensiteettitaso on vaimentunut 30 dB:iin, on todellisuudessa pienempi kuin laskennallisessa tilanteessa 6.3. (1 p. (yht. 15 p.))

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

7. Käsikäyttöinen generaattori (15 p.)

Aineisto:

7. A [Kuva: Käsikäyttöinen generaattori](#)

7. B [Tiedosto: Simulaatio generaattorin tuottamasta jännitteestä](#)

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.)

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 ω käämin kulmanopeus. (4 p.)

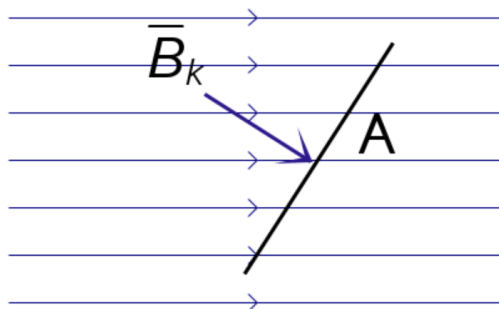
7.3 Simulaatio generaattorin tuottamasta jännitteestä on aineistossa [7.B](#). Voit säätää simulaatiossa pyörimisnopeutta, jolla isoa vetopyörää pyöritetään, ja lukea arvoja Ut -kuvaajasta, jossa U on käämin jännite. Neliön muotoisessa käämissä on 150 kierrosta ja käämin sivun pituus on 6 cm. Määritä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

Ratkaisu.

7.1 YTL:n hyvän vastauksen piirteiden (luettu 25.3.2023) mukaan riitti selittää, miten käämin päiden välille indusoituu jännite, mutta ei tarvinnut selittää, miksi magneettivuo muuttuu tai miksi jännite on jaksollisesti vaihteleva.

Kestomagneetin napojen välissä on magneettikenttä. Kun käämi on kestopagneetin napojen välissä, käämin läpäisevä magneettivuo on käämin poikkipinta-ala A ja magneettikentän magneettivuon tiheyden käämin poikkipinta-ala vastaan kohtisuoran komponentin B_k tulo.

$$\Phi = AB_k$$



Kuva ei ole välttämätön ratkaisussa, jos sanallinen selitys on selkeä.

Kun käämi kääntyy magneettikentässä, magneettivuon tiheyden kohtisuoran komponentin suuruus muuttuu, ja siten myös käämin läpäisevä magneettivuo muuttuu. 2 p. (yht. 2 p.) Kohtisuora komponentti on suurimmillaan, kun käämin poikkipinta-ala on kohtisuorassa magneettikentän kanssa, ja pienenee nollaan käämin kääntäessä magneettikentän suuntaiseksi. Kun käämi pyörii magneettikentässä, käämin läpäisevä magneettivuo siis vuoroin pienenee nollaan ja vuoroin kasvaa suurimpaan arvoonsa.

Induktiolain nojalla käämin päiden välille indusoituva jännite on

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

missä N on käämin kierrosluku ja $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ on käämin läpäisevän magneettivuon muutosnopeus. Aiemmin todettiin, että magneettivuo muuttuu käämin kääntäessä, joten induktiolain nojalla käämin päiden välille indusoituu jännite. 2 p. (yht. 4 p.)

Magneettivuo vuoroin kasvaa ja vuoroin pienenee. Näin ollen sen muutosnopeus on vuoroin positiivinen ja vuoroin negatiivinen, eli käämin päiden välille indusoituvan jännitteen merkki on vuoroin negatiivinen ja vuoroin positiivinen.

7.2

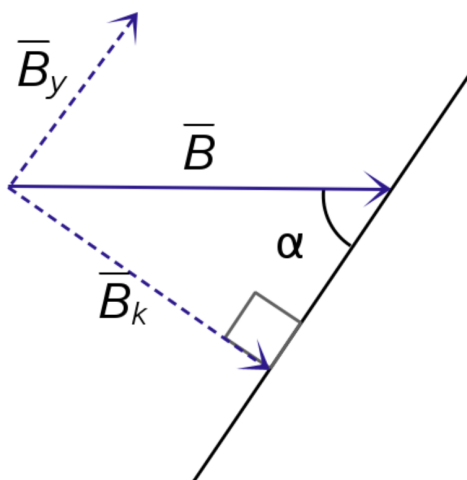
Ratkaisuvaihtoehto 1

Käämin poikkipinta-ala A on vakio, joten induktiolain nojalla käämin päiden välille indusoituvan jännitteen suuruus on

$$|e| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N \frac{\Delta(AB_k)}{\Delta t} = NA \frac{\Delta B_k}{\Delta t},$$

missä N on käämin kierrosluku ja B_k on magneettivuon tiheyden komponentti, joka on käämin poikkipinta-alaa vastaan kohtisuorassa. 1 p. (yht. 5 p.)

Merkitään käämin poikkipinta-alan ja magneettivuon tiheyden välistä kulmaa tunnuksella α .



Ratkaistaan magneettivuon tiheyden käämin poikkipinta-alaa vastaan kohtisuoran komponentin suuruus kuvan geometriasta.

$$\sin(\alpha) = \frac{B_k}{B}$$

$$B_k = B \sin(\alpha).$$

Käämin päiden välille indusoituu huippujännite hetkellä, jolloin komponentin B_k muutosnopeus on suurimmillaan. Sinifunktion kuvaajasta $y = \sin(x)$ tiedetään, että sen kuvaaja on jyrkimmillään kohdissa, joissa se leikkaa x -akselin. Toisin sanoen näissä kohdissa sinifunktion muutosnopeus on (itseisarvoltaan) suurin. Huippujännite indusoituu siis mm. tilanteessa, jossa kulma α on nolla. Tarkastellaan tilannetta, kun α on lähellä nollaa.

Kun $\alpha \approx 0$, voidaan käyttää approksimaatiota $\sin(\alpha) \approx \alpha$ (kulma radiaaneina). Tässä tilanteessa saadaan siis komponentin B_k lausekkeeksi

$$B_k = B \sin(\alpha) \approx B\alpha.$$

Indusoituneen jännitteen hetkellinen suuruus on tässä tilanteessa siis

$$|e| = NA \frac{\Delta B_k}{\Delta t} = NA \frac{\Delta(B\alpha)}{\Delta t} = NAB \frac{\Delta\alpha}{\Delta t},$$

missä $\frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$ on siis kulman α muutosnopeus. 1 p. (yht. 6 p.) Käämi pyörii magneettikentässä tasaisella kulmanopeudella, joten kulman α muutosnopeus on kulmanopeus ω . 1 p. (yht. 7 p.) Näin ollen huippujännitteen kaavaksi saadaan

$$|e|_{\max} = NAB\omega. \quad \text{1 p. (yht. 8 p.)}$$

Ratkaisuvaihtoehto 2

Käämin poikkipinta-ala A on vakio, joten induktiolain nojalla käämin päiden välille indusoituvan jännitteen suuruus on

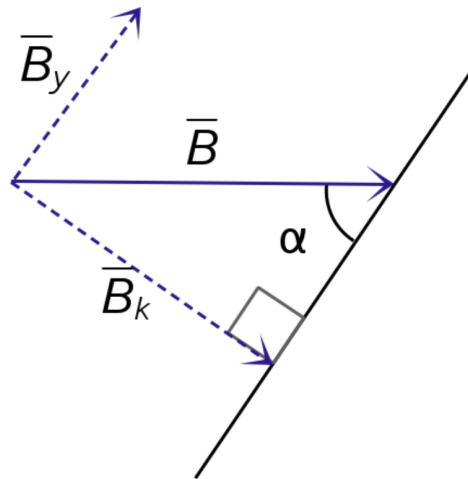
$$|e| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N \frac{\Delta(AB_k)}{\Delta t} = NA \frac{\Delta B_k}{\Delta t},$$

missä N on käämin kierrosluku ja B_k on magneettivuon tiheyden komponentti, joka on käämin poikkipinta-alaa vastaan kohtisuorassa. 1 p. (yht. 5 p.)

Hetkellisen jännitteen tapauksessa muutosnopeus on sama kuin derivaatta ajan t suhteen, eli

$$|e(t)| = NAB'_k(t). \quad (1)$$

Merkitään käämin poikkipinta-alan ja magneettivuon tiheyden välistä kulmaa tunnuksella α .



Ratkaistaan magneettivuon tiheyden käämin poikkipinta-alaa vastaan kohtisuora komponentti kuvan geometriasta.

$$\sin(\alpha) = \frac{B_k}{B}$$

$$B_k = B \sin(\alpha).$$

Käämi pyörii tasaisella kulmanopeudella ω , joten kulma α voidaan kirjoittaa muodossa

$$\alpha = \alpha_0 + \omega t,$$

missä α_0 on kulman arvo hetkellä $t = 0$. Komponentille B_k saadaan siis lauseke

$$B_k(t) = B \sin(\alpha_0 + \omega t).$$

Derivoidaan $B_k(t)$.

$$B'_k(t) = B \cos(\alpha_0 + \omega t) \cdot \omega.$$

Sijoitetaan derivaatan lauseke aiemmin johdettuun indusoituvan jännitteen suuruuden kaavaan (1).

$$\begin{aligned} |e(t)| &= NAB'_k(t) = NA \cdot B \cos(\alpha_0 + \omega t) \cdot \omega \\ &= NBA\omega \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t). \end{aligned}$$

1 p. (yht. 6 p.)

Kosinin arvot vaihtelevat välillä $[-1, 1]$, 1 p. (yht. 7 p.) joten jännitteen huippuarvo on

$$|e|_{\max} = NBA\omega \cdot 1 = NBA\omega. \quad \text{1 p. (yht. 8 p.)}$$

7.3 Huomaa! Tehtävänannossa puhuttiin Ut -kuvaajasta, mutta yleensä ensin sanotaan vaak akselin suure ja sitten pysty akselin suure (vrt. xy -koordinaatisto), eli yleensä simulaation kuvaajaa kutsuttaisiin tU -kuvaajaksi.

Ratkaistaan magneettivuon tiheys kohdassa 2 johdetusta kaavasta.

$$|e|_{\max} = NBA\omega$$

$$B = \frac{|e|_{\max}}{NA\omega} \quad \text{1 p. (yht. 9 p.)}$$

Käämin kierrosluku on

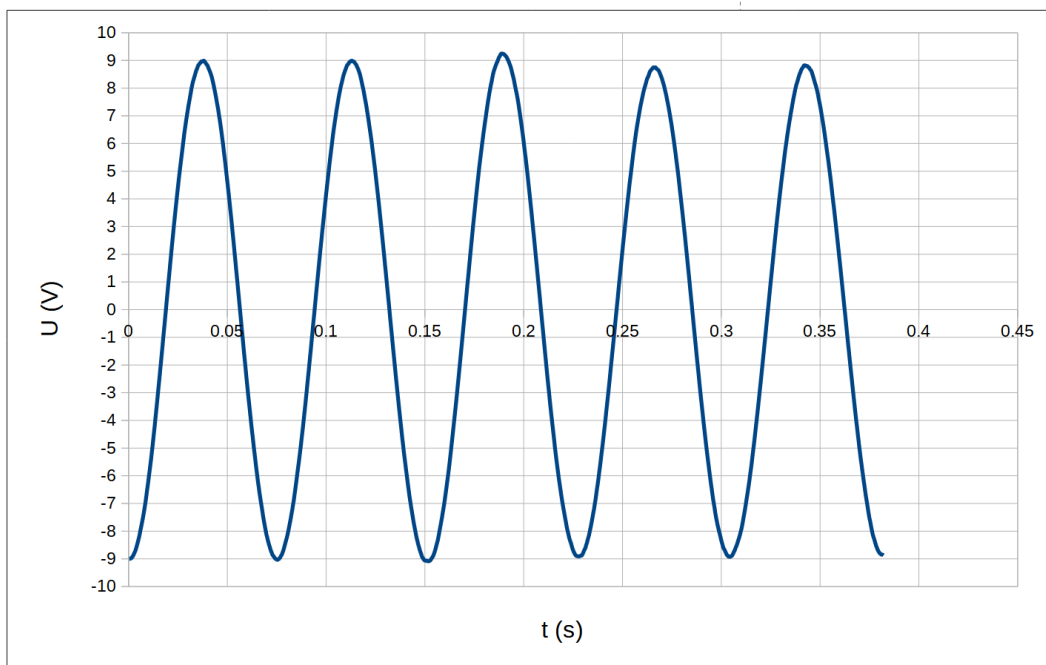
$$N = 150.$$

Tehtävänannon mukaan käämi on neliön muotoinen ja sen sivun pituus on $d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$. Käämin poikkipinta-ala on siis

$$A = d^2 = (0,06 \text{ m})^2 = 0,0036 \text{ m}^2.$$

Pyöritysnopeudella $2,46 \frac{1}{s}$ saadaan huippujännitteeksi hyvällä tarkkuudella $|e|_{\max} = 9,0 \text{ V}$. 1 p. (yht. 10 p.) Huomaa! Arvo $2,46 \frac{1}{s}$ ei ole käämin pyörimisnopeus, vaan vetopyörän pyörimisnopeus. Tehtävässä todennäköinen virhe oli sekoittaa nämä keskenään.

Vetopyörän pyöritysnopeus **2.46** kierrosta sekunnissa



Huomaa! Simulaatio antoi hieman vaihtelevia kuvaajia samalla pyöritysnopeudenkin arvolla, kun saman arvon syötti simulaatioon toistamiseen. Jos siis itse kokeilet arvoa 2,46, et välttämättä saa täsmälleen samanlaista kuvaajaa kuin tässä malliratkaisussa.

Tässä hyväksytään mikä vain riittävän tarkasti luettu huippujännite. YTL:n hyvän vastauksen piirteiden (luettu 25.3.2023) mukaan valitun pyöritysnopeuden tulee olla välillä $0,5 \frac{1}{s} \dots 2,5 \frac{1}{s}$.

Kulmanopeus kertoo, kuinka monta radiaania käämi pyörii sekunnissa. Yhdessä kierroksessa on 2π radiaania, joten kulmanopeus on

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

missä T on käämin kierrosaika. 1 p. (yht. 11 p.) Jännitteen kuvaajassa yksi kierros vastaa kahden vierekkäisen huipun välistä aikaa. Kuvaajassa ensimmäinen negatiivinen huippu on hetkellä $t = 0$ s ja viimeinen negatiivinen huippu on hetkellä $t = 0,38$ s. Näiden huippujen välillä on yhteensä 5 kierrosta, joten kierrosaika

on siis

$$T = \frac{0,38 \text{ s} - 0 \text{ s}}{5} = 0,076 \text{ s.} \quad \text{1 p. (yht. 12 p.)}$$

Magneettivuon tiheys on siis

$$\begin{aligned} B &= \frac{|e|_{\max}}{NA\omega} \\ &= \frac{|e|_{\max}}{NA \frac{2\pi}{T}} \quad \text{1 p. (yht. 13 p.)} \\ &= 0,20159 \dots \text{ T} \quad \text{1 p. (yht. 14 p.)} \\ &\approx 0,2 \text{ T} \quad \text{1 p. (yht. 15 p.)} \end{aligned}$$

Vastaus: Magneettivuon tiheys käämin kohdalla on 0,2 T.

Mitä suuremman pyöritysnopeuden valitsi simulaatiossa, sitä suurempi oli huippujännite, mutta toisaalta sitä pienempi oli viiteen pyörähdykseen kuluva aika. Koska lukematarkkuus on sama riippumatta arvojen suuruudesta, suhteellinen virhe on pienin, kun arvo on suurin. Tehtävässä ei siis saanut yksinkertaisesti minimoitua suhteellista virhettä. Jännitteen keskiarvo vaikutti simulaation perusteella olevan varsin tarkasti nolla, joten oli kohtuullista olettaa, että jännitteen arvossa ei ole systemaattista virhettä. Tämän takia ei ollut tarpeen lukea useita arvoja, piirtää niitä koordinaatistoon ja käyttää suoran sovitus, vaan riitti lukea yksi jännite ja sitä vastaava jaksonaika.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

8. Pieni Curie (15 p.)

Aineisto:

- 8. A [Artikkeli: "Marie Curie laboratoriossa ja rintamalla"](#)
- 8. B [Kuva: Valokuva fluoroskopiakuvantamisesta ensimmäisen maailmansodan ajalta](#)
- 8. C [Kuva: Röntgenkuva influenssapotilaan keuhkoista vuodelta 1918](#)

- 8.1 Artikkelin [8.A](#) kuvaa ensimmäisessä maailmansodassa käytettyjä siirrettäviä röntgenkuvauslaitteita. Miksi röntgenlaitteita ei tuolloin voitu useinkaan kytkeä suoraan sähköverkkoon? (2 p.)
- 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](#) esitettyllä tavalla. Ensimmäisen maailmansodan aikana molempien menetelmien käyttö oli perusteltua. Kumpaa tapaa käyttäisit itse nykypäivänä ja miksi? (5 p.)
- 8.3 Miksi aineistoissa [8.A](#) kuvattuja vammoja tai keuhkosairauksia voidaan havaita röntgenkuvantamisella? Aineistossa [8.C](#) on esimerkki influenssapotilaan röntgenkuvasta vuodelta 1918. (8 p.)

Ratkaisu.

- 8.1 Röntgenlaitteita ei aineiston tekstin mukaan voitu useinkaan kytkeä suoraan sähköverkkoon, koska tuohon aikaan Ranskassa oli käytössä sekä tasavirtaa että vaihtovirtaa, ja jännitteet vaihtelivat 1 p. (yht. 1 p.) 100 V:n ja 200 V:n välillä. Liian pieni jännite voi estää röntgenlaitetta toimimasta tai voi johtaa siihen, että laitteen tuottaman säteilyn energia on liian pieni. Liian suuri jännite puolestaan voi vahingoittaa laitetta. Lisäksi kenttäsaaraloiksi valituista rakennuksista puuttui usein sähköt kokonaan. 1 p. (yht. 2 p.)
- 8.2 Tehtävänannon muotoilu "Kumpaa tapaa käyttäisit itse" oli hieman hämäävä, mutta sen piti tulkita tarkoittavan "Kumpi olisi nykypäivänä parempi tapa". Nykypäivänä kuvalevy olisi parempi tapa. 1 p. (yht. 3 p.) Kuvalevyn heikkoutena on se, että kuva täytyy kehittää pimiössä, mikä vie aikaa. 1 p. (yht. 4 p.) Kuvalevyä käytettäessä tutkimusta suorittaviin henkilöihin kohdistuva säteilyannos on pienempi. 2 p. (yht. 6 p.) Lisäksi kuva jää talteen, minkä ansiosta sitä voidaan tutkia myöhemmin uudelleen ja esimerkiksi näyttää muille. 1 p. (yht. 7 p.) Jos vammaa haluttaisiin tutkia uudelleen fluoroskoopilla, tutkimus pitäisi toistaa.

8.3 Erilaiset kudokset absorboivat röntgensäteilyä eri tavalla. 1 p. (yht. 8 p.) Esimerkiksi luu absorboi röntgensäteilyä enemmän kuin pehmytkudos, minkä takia luun kohdalta raajan läpäisee pienempi määrä röntgensäteilyä kuin pehmytkudoksen kohdalta. 1 p. (yht. 9 p.) Tämän ansiosta röntgenkuvauksessa havaitaan, missä kohtaa on luuta ja missä kohtaa ei ole luuta, minkä avulla kuvassa nähdään mm. onko luu katki tai murtunut. 2 p. (yht. 11 p.) Myös metalli absorboi röntgensäteilyä enemmän kuin pehmytkudokset, joten röntgenkuvassa voidaan samalla tavalla havaitaan metallisirpaleet. 1 p. (yht. 12 p.)

Vastaavasti neste absorboi röntgensäteilyä enemmän kuin ilma, 1 p. (yht. 13 p.) minkä ansiosta röntgenkuvassa voidaan havaita, onko keuhkoihin kertynyt nestettä tai limaa, joka on merkki keuhkosairaudesta. 2 p. (yht. 15 p.)

YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 25.3.2023) oli puhuttu siitä, että pehmytkudoksissa on enemmän matalan järjestysluvun alkuaineita, joilla on vähemmän elektroneja, minkä takia niihin absorboituu vähemmän röntgensäteilyä kuin korkeamman järjestysluvun alkuaineita sisältävään luuhun tai metalliesineisiin. Mielestämme täydet pisteet pitäisi saada ilman näin tarkkaa selitystäkin, kunhan on selittänyt, miten erot absorptiossa mahdollistavat kuvan muodostamisen aineistossa mainittujen vammojen tapauksessa.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

9. Gammasäteilyn ja aineen välinen vuorovaikutus (20 p.)

Aineisto:

9. A [Kuva: Todennäköisin fotonin vuorovaikutustapa eri energioilla ja alkuaineen järjestyslukuilla](#)
 9. B [Kuva: Kahden eri ilmaisimen tuottamat energiaspektrit 662 keV:n gammalähteelle](#)

Gammafotoni eli korkeaenerginen fotoni vuorovaikuttaa aineen kanssa kolmella eri tavalla. Kuvassa [9.A](#) on esitetty todennäköisin fotonin vuorovaikutustapa eri energioilla ja alkuaineen järjestyslukuilla.

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

- 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.)

Ratkaisu.

9.1 Valosähköilmiössä foton absorboituu aineen elektroniin ja lakkaa olemasta.

1 p. (yht. 1 p.)

Fotonin energia siirtyy elektronille. Osa energiasta tarvitaan elektronin irrottamiseen aineesta 1 p. (yht. 2 p.) (irrotustyö) ja loput energiasta jää irronneen elektronin liike-energiaksi. 1 p. (yht. 3 p.)

Vapaan elektronin potentiaalienergia on suurempi kuin aineeseen sidotun elektronin. Tilannetta voi verrata siihen, että kuopassa olevaa palloa potkaistaan niin, että se nousee kuopasta maanpinnan tasolle ja jatkaa sen jälkeen vierimistä. Osa potkun pallolle antamasta energiasta menee pallon nostamiseen kuopasta maanpinnan tasolle eli sen potentiaalienergian kasvattamiseen. Tämä vastaa elektronin irrottamiseen tarvittavaa työtä. Loput potkun pallolle antamasta energiasta jää pallon liike-energiaksi. Tämä vastaa elektronille jäävää liike-energiaa irtoamisen jälkeen.

Parinmuodostuksessa foton vuorovaikuttaa raskaan atomiytimen kanssa siten, että foton katoaa ja muodostuu hiukkas-antihukkaspari. 1 p. (yht. 4 p.) Osa fotonin energiasta muuttuu hiukkas-antihukkasparin (tyypillisesti elektronin ja positronin) massaksi 1 p. (yht. 5 p.) ja jäljelle jäävä energia muuttuu syntyvien hiukkasten liike-energiaksi. 1 p. (yht. 6 p.) Raskas atomiydin saa myös osan fotonin liikemäärästä ja siten myös osan fotonin energiasta.

Parinmuodostus on mahdollista vain atomiytimen läheisyydessä. Tyhjässä avaruudessa foton ei voi muuttua hiukkas-antihukkaspariksi siten, että sekä energia että liikemäärä säilyisi. Vastaavasta syystä annihilaatiossa syntyy aina kaksi tai useampia gamma-fotoneja, sillä annihilaatiossakaan ei ole mahdollista, että annihiloituvan hiukkas-antihukkasparin energia ja liikemäärä siirtyisivät vain yhdelle fotonille. Kun foton kokee parinmuodostuksen ja häviää, osa sen liikemäärästä siirtyy läheiselle atomiytimelle. Foton vuorovaikuttaa atomiytimen sähkökentän kanssa, tästä syystä parinmuodostus on sitä todennäköisempää, mitä suurempi on ytimen järjestysluku (sähkövaraus).

YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 25.3.2023) oli mainittu parinmuodostuksen yhteydessä, että elektroni-positroniparin massaksi muuttuu 1022 keV fotonin energiasta. Tämä perustuu siihen, että sekä elektronin että positronin massaa vastaava energia on 511 keV, jonka voi laskea kaavalla $E = mc^2$. Emme kuitenkaan usko, että tämän mainitsemista vaaditaan täysien pisteiden saamiseen.

9.2

Ratkaisuvaihtoehto 1

$$E = 662 \text{ keV}$$

$$m_e = 5,485\,7991 \cdot 10^{-4} \text{ u}$$

$$= 5,485\,7991 \cdot 10^{-4} \cdot 931,494102 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

$$= 0,510998 \dots \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

$$= 510,998 \dots \frac{\text{keV}}{c^2}$$

Comptonin sironnassa energia säilyy. Siroavan fotonin menettämä energia muuttuu elektronin liike-energiaksi. Elektronin liike-energia on suurimmillaan, kun sironneen fotonin energia on pienimmillään. 1 p. (yht. 7 p.) Sironneen fotonin energia on

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos(\theta))},$$

missä E on alkuperäisen fotonin energia, m_e on elektronin massa ja θ on fotonin siroamiskulma.

Sironneen fotonin energia on pienimmillään, kun lausekkeen nimittäjä on suurimmillaan. Suurin arvo saadaan, kun kosinin arvo on pienin mahdollinen eli -1 . 1 p. (yht. 8 p.) Tällöin siroamiskulma $\theta = 180^\circ$ eli fotoni siroaa tulosuuntaansa. Lauseke sievenee tällöin muotoon

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos(\theta))} \quad \parallel \text{ sij. } \cos(\theta) = -1$$

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - (-1))}$$

$$E^* = \frac{E}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \quad \text{1 p. (yht. 9 p.)}$$

Elektronin saama liike-energia on tällöin

$$E_{\text{kin}} = E - E^*$$

$$E_{\text{kin}} = E - \frac{E}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \quad \text{1 p. (yht. 10 p.)}$$

$$= 662 \text{ keV} - \frac{662 \text{ keV}}{1 + \frac{2 \cdot 662 \text{ keV}}{510,998 \dots \frac{\text{keV}}{\cancel{\text{keV}}} \cdot \cancel{\text{keV}}}}$$

$$= 477,650 \dots \text{ keV} \quad \text{1 p. (yht. 11 p.)}$$

$$\approx 478 \text{ keV} \quad \text{1 p. (yht. 12 p.)}$$

Vastaus: Suurin mahdollinen energia, jonka elektroni voi saada fotonilta on 478 keV.

Ratkaisuvaihtoehto 2

$$E = 662 \text{ keV} = 662 \cdot 10^3 \cdot 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,0606 \dots \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$m_e = 9,1093837 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Comptonin sironnassa energia säilyy. Siroavan fotonin menettämä energia muuttuu elektronin liike-energiaksi. Elektronin liike-energia on suurimmillaan, kun sironneen fotonin energia on pienimmillään. 1 p. (yht. 7 p.) Sironneen fotonin energia on

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos(\theta))},$$

missä E on alkuperäisen fotonin energia, m_e on elektronin massa ja θ on fotonin siroamiskulma.

Sironneen fotonin energia on pienimmillään, kun lausekkeen nimittäjä on suurimmillaan. Suurin arvo saadaan, kun kosinin arvo on pienin mahdollinen eli -1 . 1 p. (yht. 8 p.) Tällöin siroamiskulma $\theta = 180^\circ$ eli fotoni siroaa tulosuuntaansa. Lauseke sievenee tällöin muotoon

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos(\theta))} \quad \parallel \text{ sij. } \cos(\theta) = -1$$

$$E^* = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - (-1))}$$

$$E^* = \frac{E}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \quad \text{1 p. (yht. 9 p.)}$$

Elektronin saama liike-energia on tällöin

$$E_{\text{kin}} = E - E^*$$

$$E_{\text{kin}} = E - \frac{E}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \quad \text{1 p. (yht. 10 p.)}$$

$$= 1,0606 \dots \cdot 10^{-13} \text{ J} - \frac{1,0606 \dots \cdot 10^{-13} \text{ J}}{1 + \frac{2 \cdot 1,0606 \dots \cdot 10^{-13} \text{ J}}{9,1093837 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}}$$

$$= 7,652 \dots \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad \text{1 p. (yht. 11 p.)}$$

$$\approx 7,65 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad \text{1 p. (yht. 12 p.)}$$

Vastaus: Suurin mahdollinen energia, jonka elektroni voi saada fotonilta on $7,65 \cdot 10^{-14} \text{ J}$.

9.3 Aineiston kuvan 9.A perusteella parinmuodostusta tapahtuu vasta useamman megaelektronivoltin energioilla. Tehtävän tilanteessa fotonin energia on 662 keV, eli 0,662 MeV, joten ilmaisimissa ei tapahdu parinmuodostusta. 2 p. (yht. 14 p.)

Kohdan 9.2. perusteella Comptonin sironnassa 662 keV:n fotoni luovuttaa elektronille korkeintaan 478 keV energiaa. Jos gammafotoni vuorovaikuttaa ilmaisimissa vain kerran ja nimenomaan Comptonin sironnalla, ilmaisimissa havaitsee vain tapahtumia, joiden energia on korkeintaan 478 keV. Ilmaisimissa on siis todennäköisimmin tapahtunut Comptonin sirontaa, kun spektreihin on ilmaantunut tapahtumia alle 400 keV alueelle. 2 p. (yht. 16 p.) Tämä on vain elektronin suurin mahdollinen energia, jos fotoni ei siroakaan elektronista suoraan taaksepäin

vain pienemmässä kulmassa, elektroni saa vähemmän energiaa. Tällöin ilmaisimien havaitsee tapahtuman, jolle se mittaa pienemmän energian.

Ilmaisimen A mittaamassa spektrissä on piikki, jonka huippu on noin 662 keV:n kohdalla. Tämä piikki aiheutuu tilanteista, joissa gammafotoni aiheuttaa ilmaisimessa A valosähköilmiön. Tyypilliset irrotustyöt ovat muutamien elektronivolttien suuruusluokkaa, joten valosähköilmiössä 662 keV:n fotonin energia siirtyy lähes kokonaan irronneen elektronin liike-energiaksi. Tällöin ilmaisimien havaitsee tapahtuman, jonka energiaksi se mittaa noin 662 keV. 2 p. (yht. 18 p.)

Kuvassa 9.B annetussa spektrissä oleva 662 keV:n piikki on huomattavan leveä ja ilmaisimien havaitsee lukuisia tapahtumia, joiden energia on tätä yhden gammafotonin energiaa suurempi. Gammafotonin ja ilmaisimien materiaalin vuorovaikutuksen tilastollisesta vaihtelusta seuraa, että havaitun piikin muoto on lähellä normaalijakaumaa. Normaalijakauman leveys riippuu mm. ilmaisimien laadusta, jäähdytyksestä ja siitä, miten elektroniikka käsittelee ilmaisimien signaaleja.

Selitysvaihtoehto 1

Kuvasta 9.B nähdään, että 662 keV:n fotonille Comptonin sironta on tärkein vuorovaikutustapa, kun väliaineen atomien järjestysluku on noin 85 tai tätä pienempi. Muovista koostuvassa ilmaisimessa on pääasiassa vetyä ja hiiltä, joten tämän ilmaisimien materiaalin atomien järjestysluvut ovat pieniä. Tällaisessa ilmaisimessa 662 keV:n fotoni vuorovaikuttaa pääasiassa Comptonin sironnalla. Tästä voidaan päätellä, että spektri B on muovista valmistetun ilmaisimien mittaama spektri. 2 p. (yht. 20 p.)

Selitysvaihtoehto 2

Kuvan 9.B perusteella valosähköilmiö on hallitseva tehtävän fotonille, kun väliaineen atomien järjestysluku on noin 85 tai enemmän. Vismutin (Bi) järjestysluku on 83, joten vismutissa kyseisellä fotonin energialla tapahtuu valosähköilmiötä huomattava määrä. **Vismutissa tapahtuu myös Comptonin sirontaa ja kuvan 9.B perusteella Comptonin sironta on hallitseva, mutta ei ainoa vuorovaikutusmuoto.** Valosähköilmiön aiheuttama, noin 662 keV:n kohdalla oleva piikki esiintyy siis vismuttia sisältävän ilmaisimien mittaamassa spektrissä. Eli spektri A on vismuttia, germaniumia ja happea sisältävän ilmaisimien mittaama, jolloin spektri B on muovista valmistetun ilmaisimien mittaama spektri. 2 p. (yht. 20 p.)

Selityksessä ei tarvitse käsitellä kumpaakin ilmaisinta, riittää että tunnistaa toisen ilmaisimen mittaaman spektrin ja sanoo selvästi, että spektri B on muovista valmistetun ilmaisimen mittaama spektri.

Pisteytyksestä: YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 25.3.2023) perusteltiin parinmuodostuksen vaatimaan energiaan 1022 keV vedoten, että fotonin energia ei riitä parinmuodostuksen aiheuttamiseen. Mielestämme perusteluksi riittää fotonin energiaan 662 keV ja aineiston kuvaajaan vetoaminen.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

10. Parafiinin sulamislämpö (20 p.)

Aineisto:

10. A [Kuva: Piirros pohja](#)

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 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Yksinkertaiseen koejärjestelyyn sinulla on käytettävissä seuraavat tarvikkeet:

- solupolystyreeniastia (eli styrox-astia)
- vettä vesihanasta ja vedenkeitin, jonka tehoa ei tunneta
- kiinteätä parafiinia huoneenlämpötilassa $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 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](#) piirros pohjaa.

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

(14 p.)

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

Ratkaisu.

10.1

Ratkaisuvaihtoehto 1

Punnitaan vaa'alla tunnettu määrä vettä, esimerkiksi 500 g. Odotetaan hetki, jotta vedenkeitin ja vesi ovat samassa lämpötilassa ja mitataan tämä alkulämpötila. Lämmitetään vesi kiehuvaan vedenkeitinillä ja mitataan tähän kuluva aika sekuntikellolla. Vedenkeitin luovuttama lämpömäärä on yhtä suuri kuin veden vastaanottama lämpömäärä.

$$Q_{\text{luovutettu}} = Q_{\text{vastaanotettu}}$$

$$Pt = c_v m_{\Delta} T_v \quad (1)$$

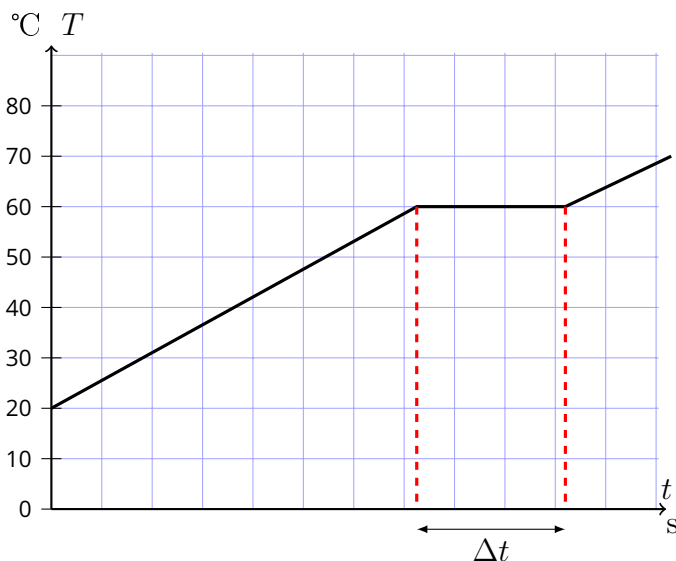
Yhtälöstä (1) voidaan määrittää vedenkeitin teho. 2 p. (yht. 2 p.)

Mitataan sitten tunnettu määrä parafiinia ja tunnettu määrä vettä ja annetaan lämpötilaerojen tasottua. Laitetaan parafiini muovipussissa veteen ja vedenkeitin sisään. **Jotta lämpöhäviöt olisivat mahdollisimman pienet, laitetaan keitin styrox-astian sisään ja kairataan saksilla astian kylkeen virtajohdon mentävä aukko.** Laitetaan vedenkeitin sisään vielä lämpömittari. 2 p. (yht. 4 p.)

Laitetaan vedenkeitin päälle, käynnistetään sekuntikello ja mitataan lämpötilat sopivin väliajoin. 2 p. (yht. 6 p.)

Energian säilymisen perusteella vedenkeitin tuottama lämpömäärä menee nyt sekä veden että kiinteän parafiinin lämmittämiseen, parafiinin sulattamiseen ja tämän jälkeen veden ja nestemäisen parafiinin lämmittämiseen. 2 p. (yht. 8 p.)

Kun mittaustulokset piirretään (t, T) -koordinaatistoon, parafiinin sulaminen näkyy kuvaajalla vaakasuorana kohtana, sillä olomuodon muutoksen aikana aineen lämpötila ei muutu, **vaan kaikki vedenkeitimestä tuleva lämpömäärä kuluu parafiinin sulattamiseen.**



Luetaan kuvaajalta kuvaajan vaakasuoraan kohtaan kulunut aika. Nyt parafiinin ominaisulamislämpö voidaan laskea yhtälöstä

$$P\Delta t = s_p m_p$$

$$s_p = \frac{P\Delta t}{m_p} \quad \text{3 p. (yht. 11 p.)}$$

Tehtävänannon numeroidusta listasta tarvitaan

1. kello 1 p. (yht. 12 p.)
3. lämpömittari 1 p. (yht. 13 p.)
5. vaaka. 1 p. (yht. 14 p.)

Pisteytyksestä: Pisteitä yhteensä:

- Vedenkeittimen tehon määrittämisestä 2 p.
- Mittausjärjestelyiden kuvaamisesta 4 p.
- Vakiona pysyvän lämpötilan aikavälin käyttämisestä parafiinin ominaisulamislämmön määrittämiseksi 5 p.
- Käytettyjen välineiden listaamisesta 3 p.

Ratkaisuvaihtoehto 2

Mitataan vaa'alla tunnettu määrä (esim. 500 g) vettä. Lämmitetään vedenkeittimellä vesi kiehuvaaksi. Kiehuva vesi kaadetaan styrox-astiaan ja laitetaan astiaan lämpömittari. 2 p. (yht. 2 p.)

Punnitaan parafiinia tunnettu massa, (esim. 200 g) ja laitetaan se alumiiniastias-
sa tai muovipussissa styrox-astiassa olevaan veteen. 2 p. (yht. 4 p.)

Pidetään parafiinia silmällä. Kun se alkaa sulaa, merkitään muistiin veden lämpötila ja kun parafiini on täysin nestemäistä, merkitään jälleen veden lämpötila ylös. 2 p. (yht. 6 p.)

Energian säilymisen perusteella tiedetään, että kuuma vesi on luovuttanut energiaa parafiinille. 2 p. (yht. 8 p.)

$$Q_{\text{luovutettu}} = Q_{\text{vastaanotettu}}$$

$$c_v m_v \Delta T_v = s_p m_p$$

$$s_p = \frac{c_v m_v \Delta T_v}{m_p} \quad \text{2 p. (yht. 10 p.)} \quad (2)$$

missä s_p on parafiinin ominaissulamislämpö, m_p parafiinin massa, c_v veden ominaislämpökapasiteetti, m_v veden massa ja ΔT_v veden lämpötilan muutos. Yhtälön (2) perusteella voidaan laskea parafiinin ominaissulamislämpö.

Tehtävänannon numeroidusta listasta tarvitaan

3. lämpömittari 2 p. (yht. 12 p.)

5. vaaka 2 p. (yht. 14 p.)

8. (ohutseinäinen alumiiniastia).

Pisteytyksestä: Pisteitä yhteensä:

- Mittausjärjestelyiden kuvaamisesta 6 p.
- Parafiinin ominaissulamislämmön määrittäminen veden luovuttamasta energiasta 4 p.
- Käytettyjen välineiden listaamisesta 4 p.

Mittaus voidaan tehdä myös niin, että parafiini ensin sulatetaan ja laitetaan sulamislämpötilassaan viileään veteen. Veden lämpötilan noususta lasketaan parafiinin jähmettyessä veteen siirtyneen lämpöenergian määrä ja siitä parafiinin ominaislämpökapasiteetti kuten edellä.

Ratkaisuvaihtoehto 3

Mitataan kaksi samanmassaista parafiinikappaletta. Mitataan vaa'alla tunnettu määrä (esim. 300 g) vettä ja lämmitetään vesi kiehuvaan vedenkeittimellä.

2 p. (yht. 2 p.)

Lämmitetään parafiini sulamispisteeseen erillisessä vesihautteessa. Laitetaan tämän jälkeen sekä parafiini että kiehuva vesi styrox-astiaan. Odotetaan kunnes parafiini on täysin sulanut. Mitataan loppulämpötila.

2 p. (yht. 4 p.)

Toistetaan mittaus muuten samalla tavalla, mutta käytetään erisuuruista vesimäärää, esim. 500 g.

2 p. (yht. 6 p.)

Energian säilymisen perusteella tiedetään, että veden luovuttama lämpömäärä siirtyy sekä parafiinin sulattamiseen että nestemäisen parafiinin lämmittämiseen. Saadaan yhtälöpari, josta voidaan ratkaista parafiinin ominaislämpökapasiteetti ja ominaissulamislämpö.

2 p. (yht. 8 p.)

2 p. (yht. 10 p.)

$$Q_{\text{luovutettu}} = Q_{\text{vastaanotettu}}$$

$$c_v m_{v1} \Delta T_{v1} = s_p m_p + c_p m_p \Delta T_{p1}$$

$$c_v m_{v2} \Delta T_{v2} = s_p m_p + c_p m_p \Delta T_{p2}$$

missä m_{v1} ja ΔT_{v1} on veden massa ja lämpötilan muutos ensimmäisessä mittauksessa ja m_{v2} ja ΔT_{v2} veden massa ja lämpötilan muutos toisessa mittauksessa. Vastaavasti ΔT_{p1} ja ΔT_{p2} ovat parafiinin lämpötilan muutokset ensimmäisessä ja toisessa mittauksessa.

Tehtävänannon numeroidusta listasta tarvitaan

3. lämpömittari 2 p. (yht. 12 p.)

5. vaaka. 2 p. (yht. 14 p.)

Pisteytyksestä: Pisteitä yhteensä:

- Mittausjärjestelyiden kuvaamisesta 6 p.
- Parafiinin ominaissulamislämmön määrittäminen yhtälöparista 4 p.
- Käytettyjen välineiden listaamisesta 4 p.

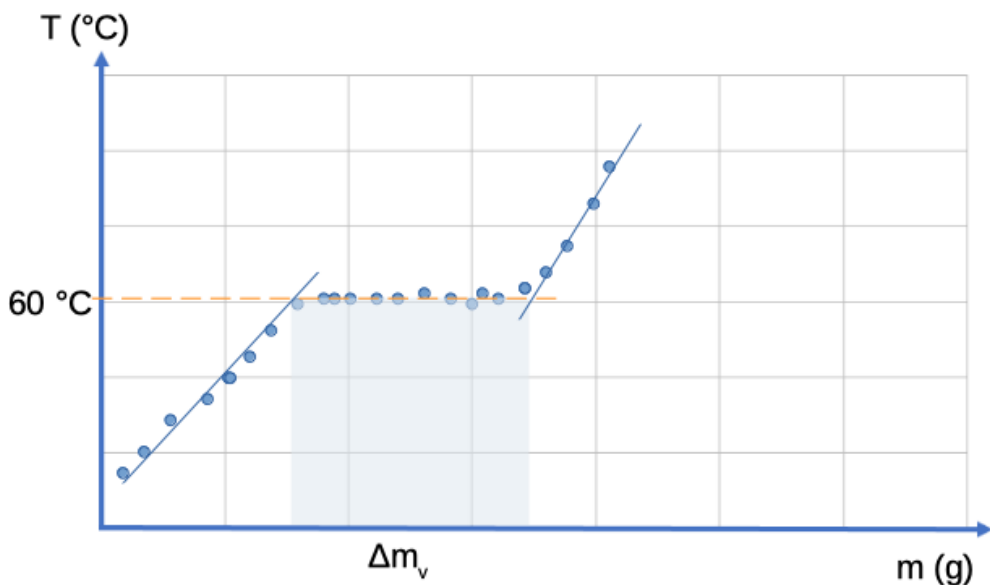
Ratkaisuvaihtoehto 4

Punnitaan tunnettu massa parafiinia sekä tyhjä styrox-astia. Kuumennetaan tämän jälkeen vettä kiehumispisteeseen vedenkeittimellä. 1 p. (yht. 1 p.)

Asetetaan parafiini vaa'an päällä olevaan styrox-astiaan ja kaadetaan sen päälle kiehuvaa vettä vähän kerrallaan. **Vesi pidetään kiehuvana vedenkeittimen avulla.** Kirjataan muistiin lisätyn veden määrä vaa'an lukeman perusteella. Lämpötilan tasaantumisen jälkeen mitataan lämpötila. 1 p. (yht. 2 p.)

Toistetaan veden lisääminen ja samat mittaukset. Styrox-astiassa lämpötila nousee, kunnes saavutetaan parafiinin sulamispiste $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jatketaan tämän jälkeenkin veden lisäämistä vaiheittain, kunnes lämpötila alkaa jälleen kasvaa. 2 p. (yht. 4 p.)
Tällöin tiedetään, että kaikki parafiini on sulanut.

Piirretään mittaustulokset (m, T) -koordinaatistoon. Kuvaajalta voidaan lukea lisätyn veden massa, kun parafiini on alkanut sulaa ja lisätyn veden massa, kun parafiini on kokonaan sulanut. 2 p. (yht. 6 p.) **Parafiinin sulamisen alku- ja loppupisteet nähdään lämmittämistä kuvaavien sovitesuorien ja $60\text{ }^{\circ}\text{C}$:n leikkauskohdista.**



Massojen erotusta Δm_v vastaava vesimäärä on jäätyessään luovuttanut lämpöenergiaa sulavalle parafiinille.

$$Q = c_v \Delta m_v \Delta T_v, \quad \text{2 p. (yht. 8 p.)}$$

missä ΔT_v on veden alkulämpötilan (100°C) ja parafiinin sulamispisteen (60°C) erotus.

Parafiinin ominaissulamislämpö voidaan määrittää yhtälöstä

$$c_v \Delta m_v \Delta T_v = s_p m_p$$

$$s_p = \frac{c_v \Delta m_v \Delta T_v}{m_p} \quad \text{2 p. (yht. 10 p.)}$$

Tehtävänannon numeroidusta listasta tarvitaan

3. lämpömittari 2 p. (yht. 12 p.)

5. vaaka. 2 p. (yht. 14 p.)

Pisteytyksestä: Pisteitä yhteensä:

- Mittausjärjestelyiden kuvaamisesta 4 p.
- Sulamisen aikana lisätyn veden määrän ja sen luovuttaman lämpöenergian määrittämisestä 4 p.
- Parafiinin ominaissulamislämmön määrittäminen veden luovuttamasta energiasta 2 p.
- Käytettyjen välineiden listaamisesta 4 p.

10.2 Kolmen syyn mainitseminen riittää. Mahdollisia syitä sille, että tulos poikkeaa kirjallisuusarvosta:

- Massojen mittaukseen sisältyy mittausvirhe.
- Sulamisen ja jäähmettymisen alkamisen ja loppumisen ajoittaminen on epä tarkkaa.
- Lämpötila vedessä ja parafiinissa ei ole vakio kaikkialla aineessa, mutta mitaus suoritetaan vain yhdestä kohdasta. **Esimerkiksi vettä kuumennettaessa vedenkeitin lämpövastuksia lähimpänä oleva vesi on lämpimämpää kuin keittimen reunoilla.**

- Styrox-astiassa, vedenkeittimessä ja esimerkiksi veden kaatamisessa tapahtuu lämpöhäviöitä.

6 p. (yht. 20 p.)

Pisteytyksestä: Kustakin pätevästä syystä kaksi pistettä.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

11. James Webb -avaruusteleskooppi (20 p.)

Aineisto:

- 11. A [Kuva: James Webb -avaruusteleskooppi](#)
- 11. B [Kuva: Aurinko-Maa-järjestelmän Lagrangen piste L2](#)

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 maailmankaikkeuden 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.)
- 11.2 Miksi kuvassa [11.A](#) näkyvä teleskoopin lämpösuoja ei ole yhtenäinen kerros, vaan koostuu viidestä erillään olevasta kerroksesta? (4 p.)
- 11.3 Piirrä teleskoopin voimakuvio ja nimeä voimat. (4 p.)
- 11.4 Teleskoopin etäisyys Maasta on 1,5 miljoonaa kilometriä. Perustele tämä osoittamalla, että Newtonin II laki toteutuu kyseisellä etäisyyden arvolla. (9 p.)

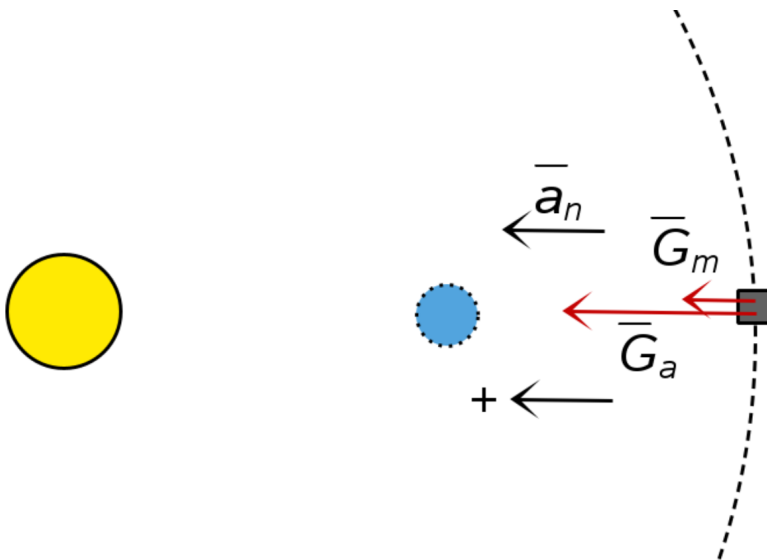
Ratkaisu.

- 11.1 Mitä korkeampi aineen lämpötila on, sitä enemmän se lähettää sen rakenneosasten lämpöliikkeestä aiheutuvaa lämpösäteilyä. 1 p. (yht. 1 p.) **Tavanomaisissa lämpötiloissa suurin osa lämpösäteilystä on infrapuna-alueella.** Avaruusteleskoopin alhainen lämpötila on olennainen tekijä infrapunasäteilyn havainnoinnissa siksi, että teleskoopin itsensä lähettämä infrapunasäteily ei häiritse mittausta. 2 p. (yht. 3 p.)
- 11.2 Kun suoja koostuu useista erillisistä kerroksista, lämpö ei pääse siirtymään suojan läpi johtumalla, 2 p. (yht. 5 p.) vaan siirtyy kerrosten välillä säteilemällä. Tällöin osa kunkin kerroksen säteilemästä lämmöstä karkaa ympäristöön. 1 p. (yht. 6 p.)

Tämän vaikutuksesta kukin kerros on aina ylempää kerrosta viileämpi, ja siksi useampi kerros suojaa paremmin lämpenemiseltä kuin yksi yhtenäinen kerros.

1 p. (yht. 7 p.)

- 11.3 Merkitään Maan satelliittiin kohdistamaa gravitaatiovoimaa \vec{G}_m :llä ja Auringon satelliittiin kohdistamaa gravitaatiovoimaa \vec{G}_a :lla. Kiihtyvyyttä voi merkitä voimakuviossa \vec{a} :lla tai \vec{a}_n :llä. Molemmat ovat hyväksyttäviä.



4 p. (yht. 11 p.)

Pisteytyksestä:

- Puuttuu voiman nimeäminen = -1 p / puute,
- Auringon gravitaatiovoima ei ole suurempi kuin Maan gravitaatiovoima = -1 p,
- Kuvasta puuttuu voima tai kiihtyvyys = -1 p / puute,
- Voima tai kiihtyvyys osoittaa selkeästi väärään suuntaan = -1 p / virhe,
- Kuvasta puuttuu nopeus = -0 p,
- Kuvasta puuttuu positiivinen suunta = -0 p, mutta kohdassa 4 liikeyhtälöä muodostaessa tarvitaan positiivinen suunta.

Huomaal! Voimakuvio kannatti piirtää loppuun vasta kohdan 4 lähtöarvojen selvittämisen jälkeen, jotta pystyi arvioida, kumpi gravitaatiovoima on suurempi. Arvion voi tehdä esimerkiksi laskemalla voimien suhteen (lukuarvot kohdassa 4).

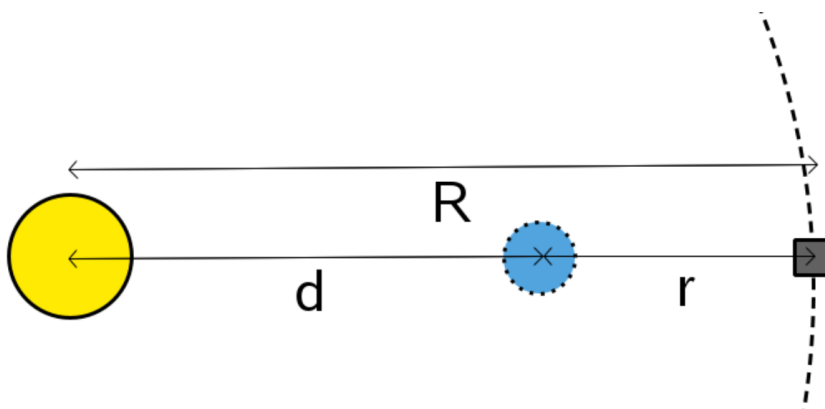
$$\frac{G_m}{G_a} = \frac{\gamma \frac{m m_m}{r^2}}{\gamma \frac{m m_a}{R^2}} = \frac{m_m}{r^2} = \frac{m_a}{R^2} = 0,0304 \dots$$

Auringon aiheuttama gravitaatiovoima on siis merkittävästi suurempi kuin Maan aiheuttama gravitaatiovoima.

11.4

$$\gamma = 6,67430 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

Merkitään Maan ja Auringon välistä etäisyyttä d :llä, Maan ja satelliitin välistä etäisyyttä r :llä ja Auringon ja satelliitin välistä etäisyyttä R :llä.



$$d = 149,60 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$r = 1,5 \cdot 10^6 \text{ km} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$R = d + r = 151,1 \cdot 10^9 \text{ m} \quad \text{1 p. (yht. 12 p.)}$$

Merkitään Auringon massaa m_a :lla, Maan massaa m_m :llä ja satelliitin massaa m :llä.

$$m_a = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_m = 5,9723 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Satelliitti kiertää Aurinkoa siten, että Maa pysyy satelliitin ja Auringon välissä. Näin ollen satelliitin kiertoaika T on sama kuin Maan kiertoaika Auringon ympäri.

$$T = 365,2564 \text{ d} = 365,2564 \cdot 24 \cdot 60^2 \text{ s} = 3,1558 \dots \cdot 10^7 \text{ s}$$

Tehtävänannon mukaan satelliitin etäisyys Maasta pysyy samana ja Maa pysyy satelliitin ja Auringon välissä. Satelliitin rata Auringon ympäri ei ole siis täydellinen ympyrä, koska Maan ja Auringon välinen etäisyys vaihtelee hieman, mutta se on riittävän lähellä ympyrää, että se voidaan olettaa tässä tehtävässä ympyräksi. Satelliitti on Aurinkoa kiertävällä radalla, joten sen kiertoradan säde on R . Yhden kierroksen aikana satelliitin kulkema matka on siis

$$s = 2\pi R. \quad \text{1 p. (yht. 13 p.)}$$

Satelliitin ratanopeus on siis

$$v = \frac{s}{T} = \frac{2\pi R}{T} = 3,00838 \dots \cdot 10^4 \text{ m/s}. \quad \text{1 p. (yht. 14 p.)}$$

Pisteytyksestä: Tämän pisteen voi saada joko laskemalla ratanopeuden arvon tai sijoittamalla ratanopeuden lausekkeen oikein liikeytälöön.

Huomaa! Satelliitin ratanopeuden voi laskea myös verrannon

$$\frac{R}{d} = \frac{v}{v_m}$$

avulla, missä v_m on Maan ratanopeus Aurinkoa kiertävällä radalla.

Satelliittiin vaikuttava kokonaisvoima on Maan ja Auringon aiheuttamien gravitaatiovoimien summa. Satelliitin kiihtyvyys on keskeiskiihtyvyyttä. Newtonin 2.

lain nojalla satelliitille tulisi siis päteä yhtälö

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{G}_m + \vec{G}_a = m\vec{a}_n$$

$$G_m + G_a = ma_n \quad (1 \text{ p. (yht. 15 p.)})$$

$$\gamma \frac{m_m}{r^2} + \gamma \frac{m_a}{R^2} = \frac{v^2}{R} \quad (1 \text{ p. (yht. 16 p.)})$$

$$\gamma \frac{m_m}{r^2} + \gamma \frac{m_a}{R^2} = \frac{v^2}{R} \quad (1 \text{ p. (yht. 17 p.)})$$

Lasketaan yhtälön vasemman puolen arvo.

$$\gamma \frac{m_m}{r^2} + \gamma \frac{m_a}{R^2} = 5,99164 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{kg}} \quad (1 \text{ p. (yht. 18 p.)})$$

Lasketaan yhtälön oikean puolen arvo.

$$\frac{v^2}{R} = 5,98964 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{kg}} \quad (1 \text{ p. (yht. 19 p.)})$$

Arvot ovat hyvällä tarkkuudella samat, joten Newtonin 2. laki toteutuu annetulla etäisyyden arvolla. 1 p. (yht. 20 p.)

Lisäselitys: Lasketaan, kuinka monta prosenttia suurempi ensimmäinen arvo on kuin toinen.

$$\frac{5,99164 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{kg}} - 5,98964 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{5,98964 \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,000334 \dots \approx 0,033\%$$

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!