

Yo-mallivastaukset



Kevät 2022
Fysiikka

Tiesitkö tämän?

Mafylaiset veivät
vuoden 2021
haussa

75%

kaikista lääkiksen
pääsykoekiintiön paikoista.

60%

Pk-seudun lukioista
käyttää **Mafynettiä**.

Mafynetti

Mallivastausten tekijät:

Malliratkaisujen laatimisesta ovat vastanneet MAFY:n toinen perustaja Antti Suominen sekä MAFY:n oppimateriaalitiimi, jonka päätehtävä on laatia ja kehittää MAFY:n lukioon tarkoitettuja oppimateriaaleja.

Oppimateriaalitiimistä mukana olivat Antti Suomisen lisäksi Sakke Suomalainen, Linnea Tokola ja Timo Kalinainen. Lisäksi työn tukena olivat Tuomas Hauvala ja Matti Virolainen.

Mafy oppimateriaalit

Olemme Helsingissä, Tampereella, Turussa ja Jyväskylässä toimiva, matematiikan ja luonnontieteiden opetukseen ja oppimateriaaleihin erikoistunut yritys.

Palveluitamme ovat:

- Mafynetti – sähköinen oppimateriaali
- Lääketieteellisen valmennuskurssit
- Kauppatieteellisen valmennusmateriaalit
- DI-valmennuskurssit
- Yo-kokeisiin valmentavat kurssit

Julkaisemme internet-sivuillamme 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 lukiokursseillasi. Nämä mallivastaukset ovat MAFY Oy:n omaisuutta.

MAFY Oy:n yhteystiedot:

<https://mafy.fi/yhteydenotto>

Koetehtävät

[Klikkaa tästä nähdäksesi kokeen esikatselutilassa.](#)

Linkit malliratkaisuihin

Ratkaisu tehtävään 1	2
Ratkaisu tehtävään 2	12
Ratkaisu tehtävään 3	17
Ratkaisu tehtävään 4	21
Ratkaisu tehtävään 5	25
Ratkaisu tehtävään 6	33
Ratkaisu tehtävään 7	38
Ratkaisu tehtävään 8	41
Ratkaisu tehtävään 9	43
Ratkaisu tehtävään 10	50
Ratkaisu tehtävään 11	55

Malliratkaisut päivitetty 31. maaliskuuta 2022 klo. 06:14.

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

Valitse jokaisessa kohdassa 1.1–1.10 oikea vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Vauhdittomassa pituushypyssä ponnistetaan mahdollisimman pitkälle ilman alkuvauhtia. Mitä voit sanoa hyppääjään kohdistuvasta kokonaisvoimasta ponnistushetkellä? (2 p.)

- Kokonaisvoima on nolla.
- Kokonaisvoima suuntautuu vinosti eteen- ja ylöspäin.
- Kokonaisvoima suuntautuu suoraan ylöspäin.
- Kokonaisvoima suuntautuu suoraan eteenpäin.

1.2 Autot A ja B etenevät liikenneympyrässä samaa ympyrärataa pitkin. Auton A nopeus on 20 km/h, ja auton B nopeus on 40 km/h. Mikä seuraavista väittämistä on tosi? (2 p.)

- Autolla B on nelinkertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autolla B on noin 1,4-kertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autolla B on kaksinkertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autoilla on yhtä suuri kiihtyvyys.

1.3 Mitä tapahtuu ilmapallon sisällä olevalle ilmalle, kun ilmapallo puhkeaa äkillisesti? (2 p.)

- Sen tilavuus ja lämpötila kasvavat.
- Sen tilavuus kasvaa ja lämpötila laskee.
- Sen tilavuus kasvaa ja lämpötila pysyy vakiona.
- Sen tilavuus pysyy vakiona ja lämpötila kasvaa.

1.4 Tarkastellaan kahta suljettua virtapiiriä, joissa on samanlainen akku teholähteenä. Virtapiiriin 1 on kytketty yksi hehkulamppu, ja virtapiiriin 2 on kytketty kaksi hehkulamppua rinnan. Kaikki lamput ovat samanlaisia. Mikä seuraavista väitteistä on tosi? (2 p.)

- Kaikki kolme lamppua ovat yhtä kirkkaita.
- Virtapiiriin 2 lampuilla on eri kirkkaudet.
- Virtapiiriin 1 lamppu on kirkkain, ja virtapiiriin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita.
- Virtapiiriin 1 lamppu on himmein, ja virtapiiriin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita.

1.5 Elektroni saapuu homogeeniseen sähkökenttään kohtisuorasti kenttäviivoja vastaan. Miten elektroni käyttäytyy tultuaan sähkökenttään? (2 p.)

- Elektroni alkaa liikkua pitkin ympyrärataa.
- Elektroni jatkaa liikettään suoraviivaisesti.
- Elektronin rata kaareutuu, kunnes sen liike on likimain kenttäviivojen suuntaista.
- Elektroni pysähtyy.

1.6 Biljardipallo A törmää paikoillaan olevaan samanlaiseen palloon B. Pallo A jää törmäyksen jälkeen paikoilleen, kun taas pallo B alkaa liikkua eteenpäin. Oletetaan, että törmäys on kimmoinen. Mikä seuraavista kokonaisliikemäärää ja pallojen yhteenlaskettua liike-energiaa koskevista väittämistä on tosi? (2 p.)

- Liikemäärä ja liike-energia eivät kumpikaan säily.
- Liikemäärä säilyy, mutta liike-energia ei säily.
- Liikemäärä ja liike-energia säilyvät.
- Liikemäärä ei säily, ja liike-energia säilyy.

1.7 Pilvenpiirtäjän korkeus on 400 m, ja kovassa tuulessa sen huippu heilahtelee jaksollisesti ääriasennosta toiseen. Mikä on pilvenpiirtäjässä etenevän, perusvärähtelyä vastaavan aallon aallonpituus? (2 p.)

- 1 600 m
- 400 m
- 800 m
- 200 m

- 1.8 Katuporan äänen intensiteettitaso 10 metrin etäisyydellä porasta on 100 dB. Kuinka suuri on kahden katuporan yhdessä tuottaman äänen intensiteettitaso samalla etäisyydellä? (2 p.)
- 110 dB
 - 103 dB
 - 200 dB
 - 141 dB
- 1.9 Kun johdinsilmukkaa pyöritetään magneettikentässä, siihen indusoituu lähdejännite. Mikä seuraavista muutoksista kasvattaa eniten johtimeen indusoituvan lähdejännitteen huippuarvoa? (2 p.)
- Johdinsilmukan pinta-alan kolminkertaistaminen.
 - Pyöritysajan viisinkertaistaminen.
 - Pyöritysnopeuden nelinkertaistaminen.
 - Magneettivuon tiheyden kaksinkertaistaminen.
- 1.10 Laserpulssilla irrotetaan metallikappaleesta elektroneja. Miten voidaan kasvattaa irtoavien elektronien liike-energiaa? (2 p.)
- Kasvattamalla laserpulssin valon aallonpituutta.
 - Kasvattamalla laserpulssin valon taajuutta.
 - Kasvattamalla laserpulssin kesto.
 - Kasvattamalla laserpulssin valon intensiteettiä.

Ratkaisu.

- 1.1 Vauhdittomassa pituushypyssä ponnistetaan mahdollisimman pitkälle ilman alkuvauhtia. Mitä voit sanoa hyppääjään kohdistuvasta kokonaisvoimasta ponnistushetkellä? (2 p.)
- Kokonaisvoima on nolla.
 - Kokonaisvoima suuntautuu vinosti eteen- ja ylöspäin.
 - Kokonaisvoima suuntautuu suoraan ylöspäin.
 - Kokonaisvoima suuntautuu suoraan eteenpäin.

2p (yht. 2p)

Pituushyppääjä hyppää eteen- ja ylöspäin. Ennen ponnistusta hyppääjä oli paikoillaan, juuri ponnistuksen jälkeen hyppääjällä on lentonopeutta eteen- ja ylöspäin. Hyppääjällä on siis ponnistuksen aikana kiihtyvyyttä eteen- ja ylöspäin ja Newtonin toisen lain $\vec{F}_{\text{kok}} = m\vec{a}$ mukaan kokonaisvoima osoittaa samaan suuntaan kuin kiihtyvyys.

1.2 Autot A ja B etenevät liikenneympyrässä samaa ympyrärataa pitkin. Auton A nopeus on 20 km/h, ja auton B nopeus on 40 km/h. Mikä seuraavista väittämistä on tosi? (2 p.)

- Autolla B on nelinkertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autolla B on noin 1,4-kertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autolla B on kaksinkertainen kiihtyvyys autoon A verrattuna.
- Autoilla on yhtä suuri kiihtyvyys.

2p (yht. 4p)

Autot ajavat ympyrärataa, joten niillä on oltava keskeiskiihtyvyys. Keskeiskiihtyvyyden suunta osoittaa radan keskipistettä kohti ja sen suuruus on $a_n = \frac{v^2}{r}$, missä v on auton ratanopeus ja r on etäisyys radan keskipisteestä. Koska auton B nopeus on kaksinkertainen autoon A nähden ja radan säde on molemmille sama, auton B keskeiskiihtyvyys on nelinkertainen autoon A nähden.

Autoilla voisi olla tehtävänannon perusteella myös ratanopeutta muuttavaa tangenttikiihtyvyyttä, sillä ei sanottu, että autojen vauhdit ovat vakiot. Tällaisessa tilanteessa ei tehtävään olisi selkeää vastausta.

1.3 Mitä tapahtuu ilmapallon sisällä olevalle ilmalle, kun ilmapallo puhkeaa äkillisesti? (2 p.)

- Sen tilavuus ja lämpötila kasvavat.
- Sen tilavuus kasvaa ja lämpötila laskee.
- Sen tilavuus kasvaa ja lämpötila pysyy vakiona.
- Sen tilavuus pysyy vakiona ja lämpötila kasvaa.

2p (yht. 6p)

Ilmapallon kuori on joustavaa kumia. Kuoren elastisuuden takia ilmapallon sisällä on suurempi paine kuin ilmapallon ulkopuolella. Kun pallo puhkeaa, sen sisällä oleva ilma laajenee. Laajetessaan ilma tekee työtä ympäröivää painetta vastaan. Ilman sisäenergian muutos saadaan termodynamiikan ensimmäisestä pääsäännöstä

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

missä Q on pallossa olleen ilman ja ympäristön välillä siirtyvä lämpö ja W on ilman ulkopuolelta tehtävä mekaaninen työ. Ilma on alussa samassa lämpötilassa ympäristönsä kanssa, joten $Q = 0$. Koska ilma laajenee, se tekee työtä joten W on negatiivinen. Näin ollen pallon sisällä olevan ilman sisäenergian muutos ΔU on myös negatiivinen. Ilman sisäenergia siis pienenee. Sisäenergia riippuu ilman lämpötilasta, eli ilma jäähtyy.

1.4 Tarkastellaan kahta suljettua virtapiiriä, joissa on samanlainen akku teholähteenä. Virtapiiriin 1 on kytketty yksi hehkulamppu, ja virtapiiriin 2 on kytketty kaksi hehkulamppua rinnan. Kaikki lamput ovat samanlaisia. Mikä seuraavista väitteistä on tosi? (2 p.)

- Kaikki kolme lamppua ovat yhtä kirkkaita.
- Virtapiiriin 2 lampuilla on eri kirkkaudet.
- Virtapiiriin 1 lamppu on kirkkain, ja virtapiiriin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita.
- Virtapiiriin 1 lamppu on himmein, ja virtapiiriin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita.

2p (yht. 8p)

Pisteytyksestä: YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 31.3.2022) oikeaksi vastaukseksi oli merkitty vain "Kaikki kolme lamppua ovat yhtä kirkkaita. Mielestämme myös vastaus "Virtapiiriin 1 lamppu on kirkkain, ja virtapiiriin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita" pitäisi hyväksyä.

Jos akun sisäinen resistanssi oletetaan merkityksettömäksi, oikea vastaus on, että kaikki kolme lamppua ovat yhtä kirkkaita. Selitys: Virtapiiriin 2 lamput ovat rinnankytketyt akun kanssa, joten niiden kummankin jännite on sama kuin akun jännite, ja vastaavasti virtapiirissä 1 lamppu on kytketty akun napoihin, joten sen jännite on sama kuin akun jännite. Koska lamput ovat keskenään samanlaiset,

niiden resistanssit ovat yhtä suuret. Jokaisen kolmen lampun yli on siis kytketty sama jännite ja lamppujen resistanssit ovat yhtä suuret, joten lamppujen läpi kulkee yhtä suuri virta. Lamput siis palavat yhtä kirkkaasti.

Jos akun sisäinen resistanssi oletetaan merkityksellisen suureksi, oikea vastaus on, että virtapiirin 1 lamppu on kirkkain, ja virtapiirin 2 lamput ovat keskenään yhtä kirkkaita. Selitys: Virtapiirin 2 lamput ovat rinnankytketyt, joten niiden muodostaman kytkennän resistanssi on pienempi kuin yhden lampun resistanssi. Näin ollen virtapiirissä 2 akun läpi kulkee merkittävästi suurempi virta kuin virtapiirissä 1. Akun napajännite on akun lähdejännitteen ja akun sisäisen resistanssin vuoksi tapahtuvan jännitehäviön erotus, joten virtapiirissä 2 akun napajännite on pienempi kuin virtapiirissä 1. Kummassakin virtapiirissä kunkin lampun napajännite on akun napajännitteen suuruinen, joten virtapiirissä 2 lamppujen napajännitteet ovat pienemmät kuin virtapiirissä 1. Lamppujen resistanssit ovat keskenään yhtä suuret, joten virtapiirissä 2 lamppujen läpi kulkee pienempi virta kuin virtapiirissä 1. Näin ollen virtapiirin 1 lamppu palaa kirkkaammin kuin virtapiirin 2 lamput, jotka palavat keskenään yhtä kirkkaasti.

1.5 Elektroni saapuu homogeeniseen sähkökenttään kohtisuorasti kenttäviivoja vastaan. Miten elektroni käyttäytyy tultuaan sähkökenttään? (2 p.)

- Elektroni alkaa liikkua pitkin ympyrärataa.
- Elektroni jatkaa liikettään suoraviivaisesti.
- Elektronin rata kaareutuu, kunnes sen liike on likimain kenttäviivojen suuntaista.
- Elektroni pysähtyy.

2p (yht. 10p)

Elektroni on negatiivisesti varautunut, joten sähkökenttä aiheuttaa elektroniin voiman, joka on joka hetki vastakkaisuuntainen sähkökentän kanssa. Voiman suunta pysyy koko ajan vakiona, joten voiman suuntainen nopeuden komponentti kasvaa koko ajan. Alkuperäisen nopeuden suuntaista voimaa ei ole, joten alkuperäinen nopeuden komponentti pysyy vakiona. Mikään ei siis pysäytä elektronia eikä sen nopeus säily alkuperäisen suuntaisena. Jotta elektroni olisi ympyräradalla, sillä pitäisi olla keskeiskiivyyttä. Tämä puolestaan vaatisi voiman, jonka suunta osoittaisi koko ajan ympyräliikkeen keskipistettä kohti. Voiman suunnan pitäisi siis muuttua elektronin kääntyessä.

Elektronin rata kaareutuu sähköisen voiman takia. Elektronin alkuperäisestä nopeudesta, homogeenisen sähkökentän voimakkuudesta ja kentän mitoista riippuu, kuinka paljon rata ehtii kaareutua. Jos elektronin rata kaareutuu tarpeeksi, sen liikkeestä tulee likimain kenttäviivojen suuntaista.

1.6 Biljardipallo A törmää paikoillaan olevaan samanlaiseen palloon B. Pallo A jää törmäyksen jälkeen paikoilleen, kun taas pallo B alkaa liikkua eteenpäin. Oletetaan, että törmäys on kimmoinen. Mikä seuraavista kokonaisliikemäärää ja pallojen yhteenlaskettua liike-energiaa koskevista väittämistä on tosi? (2 p.)

- Liikemäärä ja liike-energia eivät kumpikaan säily.
- Liikemäärä säilyy, mutta liike-energia ei säily.
- Liikemäärä ja liike-energia säilyvät.
- Liikemäärä ei säily, ja liike-energia säilyy.

2p (yht. 12p)

Liikemäärä säilyy hyvällä tarkkuudella silloin, kun ulkoisten voimien aiheuttamat impulssit ovat merkityksettömän pienet törmäysvoimiin verrattuna. Biljardipalloihin vaikuttaa törmäysvoiman lisäksi pystysuunnassa biljardipöydän tukivoima ja maan painovoima. Pystysuuntaiset voimat ovat yhtä suuret ja vastakkaisuuntaiset, joten niiden impulssit kumoavat toisensa. Vaakasunnassa palloihin vaikuttaa törmäysvoiman lisäksi ilmanvastus ja vierimisvastus. Biljardipallot ovat kovia ja kokoonsa nähden painavia. Tästä syystä ulkoiset vaakasuuntaiset voimat ovat pieniä törmäysvoimiin verrattuna.

Liike-energia säilyy (hyvällä tarkkuudella) kimmoisissa törmäyksissä.

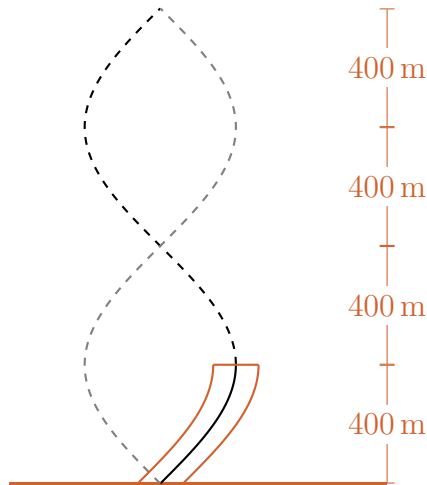
1.7 Pilvenpiirtäjän korkeus on 400 m, ja kovassa tuulessa sen huippu heilahtelee jaksollisesti ääriasennosta toiseen. Mikä on pilvenpiirtäjässä etenevän, perusvärähtelyä vastaavan aallon aallonpituus? (2 p.)

- 1 600 m
- 400 m
- 800 m
- 200 m

2p (yht. 14p)

Pilvenpiirtäjän alaosa pysyy paikoillaan. Sen yläpää heiluu ääriasennosta toiseen siten, että pilvenpiirtäjä muodostaa perusvärähtelyn sinimuotoisesta aallosta yhden neljäsosan. Aallonpituus on siis neljä kertaa pilvenpiirtäjän pituus.

Mallikuva tilanteesta:



1.8 Katuporan äänen intensiteettitaso 10 metrin etäisyydellä porasta on 100 dB. Kuinka suuri on kahden katuporan yhdessä tuottaman äänen intensiteettitaso samalla etäisyydellä? (2 p.)

- 110 dB
- 103 dB
- 200 dB
- 141 dB

2p (yht. 16p)

Lasketaan äänen intensiteetti I , kun intensiteettitaso on $L = 100$ dB ja kuulokynnys on $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$:

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

$$I = 0,01 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Kahden katuporan tilanteessa intensiteetti on $2I$ eli $0,02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Lasketaan intensiteettitaso siinä tilanteessa:

$$\begin{aligned}L_2 &= 10 \lg \left(\frac{2I}{I_0} \right) \\ &= 103,01029 \dots \text{ dB} \\ &\approx 103 \text{ dB}\end{aligned}$$

1.9 Kun johdinsilmukkaa pyöritetään magneettikentässä, siihen indusoituu lähdejännite. Mikä seuraavista muutoksista kasvattaa eniten johtimeen indusoituvan lähdejännitteen huippuarvoa? (2 p.)

- Johdinsilmukan pinta-alan kolminkertaistaminen.
- Pyöritysajan viisinkertaistaminen.
- Pyöritysnopeuden nelinkertaistaminen.
- Magneettivuon tiheyden kaksinkertaistaminen.

2p (yht. 18p)

Johtimeen indusoituvan jännitteen huippuarvo $u_0 = NAB 2\pi f$. Pinta-alan A kolminkertaistaminen siis kolminkertaistasi jännitteen huippuarvon ja magneettivuon tiheyden B kaksinkertaistaminen kaksinkertaistasi jännitteen. Pyöritysnopeuden nelinkertaistaminen on sama kuin pyöritystaajuuden nelinkertaistaminen, mikä nelinkertaistaa jännitteen huippuarvon. Pyöritysajan voi tulkita kahdella tavalla: i) Se aika, kuinka kauan koetta jatketaan, jolloin pyöritysajan muutoksella ei ole mitään vaikutusta tai ii) yhteen kierrokseen kuluva aikana. Jos yhteen kierrokseen kuluva aika viisinkertaistuu, pyörimisnopeus pienenee yhteen viidesosaan joten myös huippujännite pienenee yhteen viidesosaan.

1.10 Laserpulssilla irrotetaan metallikappaleesta elektroneja. Miten voidaan kasvattaa irtoavien elektronien liike-energiaa? (2 p.)

- Kasvattamalla laserpulssin valon aallonpituutta.
- Kasvattamalla laserpulssin valon taajuutta.
- Kasvattamalla laserpulssin kestoaa.
- Kasvattamalla laserpulssin valon intensiteettiä.

2p (yht. 20p)

Irtoavan elektronin liike-energia on $E_k = E_f - W_0 = hf - W_0$, missä $E_f = hf$ on metallikappaleeseen osuvan fotonin energia ja W_0 on elektronin irrotustyö kyseisestä metallista. Valon taajuuden f kasvattaminen kasvattaa elektronien liike-energiaa. Laserin aallonpituuden kasvattaminen pienentää elektronien saamaa liike-energiaa, sillä aaltoliikkeen perusyhtälön mukaan $c = f\lambda$, joten $E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$.

Laserpulssin intensiteetin tai keston kasvattaminen kasvattaa irronneiden elektronien lukumäärää, mutta ei vaikuta niiden liike-energiaan. Jokainen laserpulssin fotoni voi irrottaa elektronin metallista. Kun pulssin intensiteettiä kasvatetaan, samassa ajassa metalliin osuu enemmän fotoneita, joten myös elektroneja irtoaa enemmän. Jos pulssin kesto kasvatetaan, elektroneita irtoaa pidemmän aikavälin aikana. Kummassakin tapauksessa elektronien määrä kasvaa, mutta liike-energia ei.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

2. Tuulivoimala (15 p.)

Aineisto:

- 2.A [Kuva: Tuulivoimalan roottorin kaaviokuva](#)
- 2.B [Taulukko: Tuulivoimaloiden ominaisuuksia](#)

2.1 Roottorin koolla on merkittävä vaikutus tuulivoimalan tuottamaan sähkötehoon. Roottorin kokoa kuvaa pyyhkäisyypinta-ala, joka tarkoittaa roottorin lapojen kärkien piirtämän ympyrän pinta-alaa (kuva [2.A](#)).

Taulukossa [2.B](#) on annettu valmistajien tuulivoimaloille ilmoittamat tehot. Määritä taulukon tietojen perusteella, kuinka paljon tuulivoimalan teho tyypillisesti kasvaa, jos roottorin pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m^2 . Käytä graafista esitystä. (12 p.)

2.2 Nimeä kolme fysikaalisten tieteiden osa-alueita, joiden asiantuntemusta tarvitaan tuulivoimalan suunnittelussa tai rakentamisessa. (3 p.)

Ratkaisu.

2.1 Tehtävän voi ratkaista usealla eri Abitin ohjelmalla. Teimme esimerkkiratkaisut Logger Pro:lla (ratkaisuvaihtoehto 1) ja LibreOffice Calcilla (ratkaisuvaihtoehto 2).

Ratkaisuvaihtoehto 1: Logger Pro

Lasketaan aineiston tuulivoimaloille niiden roottorien pyyhkäisyypinta-alat. Pinta-ala on ympyrä, joten sen pinta-ala on

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

missä r on roottorin säden ja d on roottorin halkasija.

Lasketaan aineistoon uusi sarake, mihin lasketaan voimaloiden pyyhkäisyypinta-alat.

Lisäselitys: LoggerPro-ohjelmalla uuden lasketun sarakkeen saat tehtyä valitsemalla Data -> Uusi laskettu sarake. Alla olevassa lisäselityskuvassa on näytetty, miten sarake on laskettu. Tätä kuvaa ei vaadita ratkaisussa.

Uusi laskettu sarake

Sarakkeen määrittely Asetukset

Qtsikot ja yksiköt:

Nimi: Roottorin pinta-ala (m²)

Lyhenne: A Yksikkö: m²

Kohde:

Datasarja: Lisää samanlaisiin datasarjoihin

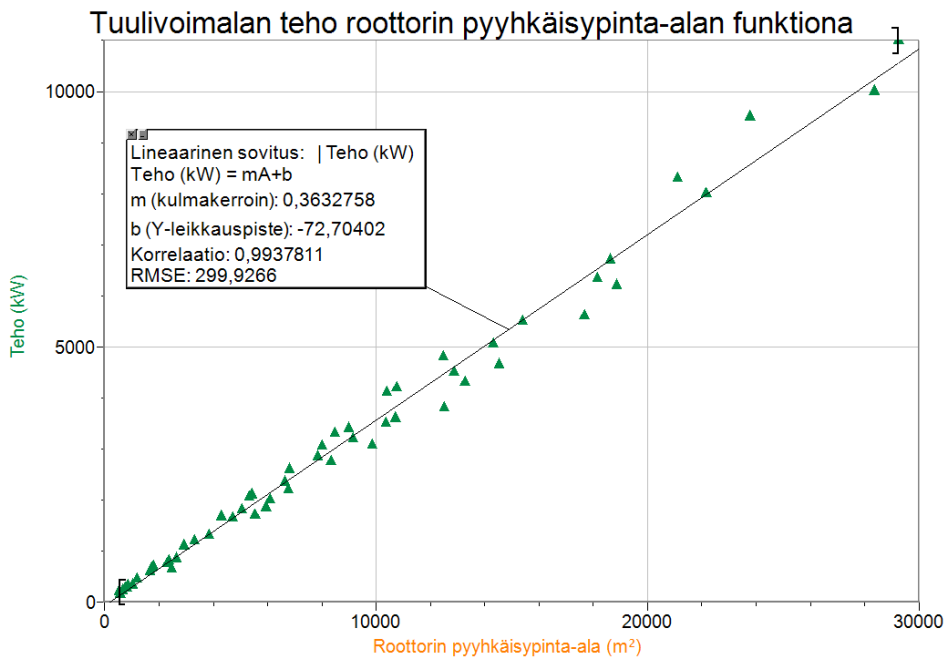
Lauseke:

(Roottorin h alkaisija (m) ²/2)^2*pii

Funktiot > Muuttujat (Sarakkeet) > Parametrit >

Ohje Valmis Peruuta

Piirretään kuvaaja, jossa vaaka-akselilla on voimaloiden pyyhkäisy-pinta-ala ja pystyakselilla niiden tehot. Sovitetaan aineistoon suora.



5p (yht. 6p)

Kuvaajan pisteityksestä:

- Oikein piirretty kuvaaja ja sovitettu suora = 5 p,

- Puuttuu suure tai yksikkö akselilta = -1 p / puute,
- Data esitetty pisteiden välisin viivoin = -2 p,
- Puuttuu sovitesuora = -2 p,
- Muu pieni virhe tai puute = -1 p,
- Puuttuu otsikko = -0 p,
- Kuvaajasta vähintään 0 p.

Sovitetun suoran fysikaalinen kulmakerroin on $k = 0,363275 \dots \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. 2p (yht. 8p)

Kulmakertoimen avulla voidaan laskea kuinka paljon tuulivoimalan teho tyypillisesti kasvaa, kun roottorin pyyhkäisyypinta-alan kasvu on $\Delta A = 25 \text{ m}^2$:

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \text{1p (yht. 9p)}$$

$$\Delta P = k \cdot \Delta A \quad \text{1p (yht. 10p)}$$

$$= 0,363275 \dots \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 25 \text{ m}^2$$

$$= 9,08189 \dots \text{ kW}$$

$$\approx 9,1 \text{ kW} \quad \text{2p (yht. 12p)}$$

Vastaus: Tuulivoimalan teho kasvaa tyypillisesti 9,1 kW kun sen roottorin pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m^2 .

Ratkaisuvaihtoehto 2: LibreOffice Calc

Lasketaan aineiston tuulivoimaloille niiden roottorien pyyhkäisyypinta-alat. Pinta-ala on ympyrä, joten sen pinta-ala on

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

missä r on roottorin säden ja d on roottorin halkasija.

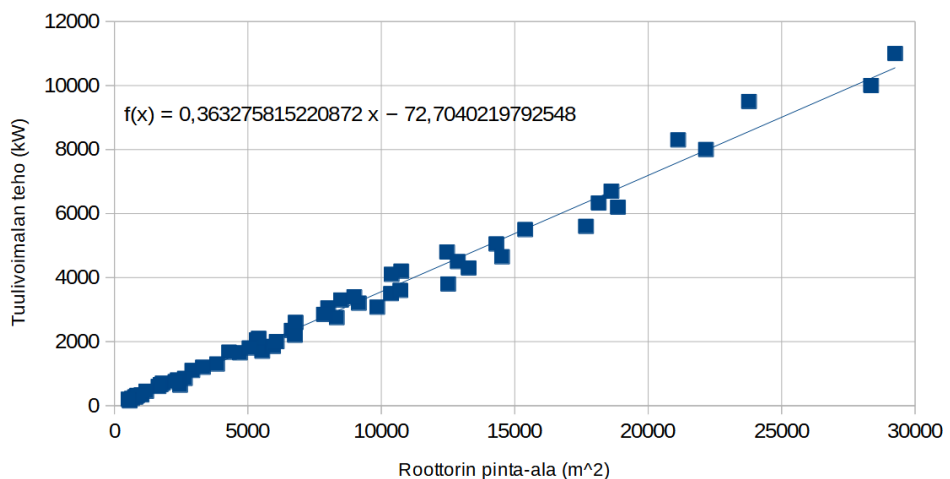
Lasketaan ainestoon uusi sarake, mihin lasketaan voimaloiden pyyhkäisyypinta-alat.

Lisäselitys: Alla olevassa lisäselityskuvassa on näytetty, miten sarake on laskettu LibreOffice Calc -ohjelmalla. Tätä kuvaa ei vaadita ratkaisussa.

	C	D	E	F
1	Roottorin halkaisija (m)	Valmistajan ilmoittama teho (kW)	Roottorin pinta-ala (m ²)	
2	36	335	$=(C2/2)^2*PI()$	
3	135	5050		
4	168	8000		
5	190	10000		
6	77,4	1650		
7	27	150		
8	48	700		

Piirretään kuvaaja, jossa vaaka-akselilla on voimaloiden pyyhkäisyypinta-alat ja pystyakselilla niiden tehot. Sovitetaan aineistoon suora.

Tuulivoimalan teho roottorin pyyhkäisyypinta-alan funktiona



5p (yht. 6p)

Kuvaajan pisteityksestä:

- Oikein piirretty kuvaaja ja sovitettu suora = 5 p,
- Puuttuu suure tai yksikkö akselilta = -1 p / puute,
- Data esitetty pisteiden välisin viivoin = -2 p,
- Puuttuu sovitesuora = -2 p,
- Muu pieni virhe tai puute = -1 p,
- Puuttuu otsikko = -0 p,
- Kuvaajasta vähintään 0 p.

Sovitetun suoran fysikaalinen kulmakerroin on $k = 0,363275 \dots \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. 2p (yht. 8p)

Kulmakertoimen avulla voidaan laskea kuinka paljon tuulivoimalan teho tyypillisesti kasvaa, kun roottorin pyyhkäisyypinta-alan kasvu on $\Delta A = 25 \text{ m}^2$:

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \text{1p (yht. 9p)}$$

$$\Delta P = k \cdot \Delta A \quad \text{1p (yht. 10p)}$$

$$= 0,363275 \dots \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 25 \text{ m}^2$$

$$= 9,08189 \dots \text{ kW}$$

$$\approx 9,1 \text{ kW} \quad \text{2p (yht. 12p)}$$

Vastaus: Tuulivoimalan teho kasvaa tyypillisesti 9,1 kW kun sen roottorin pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m^2 .

2.2 Tuulivoimalan suunnittelussa tai rakentamisessa tarvitaan esimerkiksi

- sähkötekniikan,
- materiaalitekniikan,
- virtausmekaniikan (tai aerodynamiikan),
- akustiikan,
- geofysiikan,
- lujuusopin,
- mekaniikan,
- meteorologian ja
- termofysiikan osaamista.

3p (yht. 3p)

Pisteytyksestä kohdassa 2.2:

- 1 p / soveltuva fysikaalinen tiede,
- Yhteensä korkeintaan 3 p.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

3. Kaasun puristus (15 p.)

Sylinteri, jonka sisällä on herkästi liikkuva mäntä, täytetään 1,1 litralla ulkoilmaa. Ulkona vallitsee 5,0 °C:n lämpötila ja ilmanpaine on 101 kPa. Mäntä painetaan nopeasti sylinterin sisään, jolloin sylinterissä olevan kaasun tilavuus pienenee 0,38 litraan ja paine kasvaa 447 kPa:iin. Mäntä lukitaan paikoilleen ja sylinteri tuodaan välittömästi laboratorioon. Sen jälkeen odotetaan, että kaasun lämpötila saavuttaa laboratorion lämpötilan 24 °C.

3.1 Määritä kaasun paine, kun kaasun lämpötila on saavuttanut loppulämpötilan 24 °C. (8 p.)

3.2 Selitä käsitteitä lämpö ja työ käyttäen, mitä muutoksia kaasun sisäenergiassa tapahtuu

- kaasun puristuksen aikana
- kaasun lämpötilan muuttuessa kohti laboratorion lämpötilaa.

(7 p.)

Ratkaisu.

Ratkaisuvaihtoehto 1

3.1 **Alaindeksi 1** viittaa tehtävän alkutilanteeseen, **alaindeksi 2** tilanteeseen välittömästi kaasun puristamisen jälkeen ja **alaindeksi 3** lopputilanteeseen, jossa lämpötilaero on tasoittunut.

$$V_1 = 1,1 \ell = 0,0011 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 5,0 \text{ °C} = (273,15 + 5,0) \text{ K} = 278,15 \text{ K} \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

$$p_1 = 101 \text{ kPa} = 101\,000 \text{ Pa}$$

$$V_2 = V_3 = 0,38 \ell = 0,00038 \text{ m}^3$$

$$p_2 = 447 \text{ kPa} = 447\,000 \text{ Pa}$$

$$T_3 = 24 \text{ °C} = (273,15 + 24,0) \text{ K} = 297,15 \text{ K}$$

Pisteytyksestä: Muunnettu yksi lämpötila oikein kelvineiksi = 1p.

Oletetaan ruiskussa olevan ilman käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin. Ilman aine-
määrä ei muutu puristuksessa, joten sovelletaan kaasujen yleistä tilanyhtälöä.

1p (yht. 2p)

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3} \quad 2\text{p (yht. 4p)}$$

$$p_3 = \frac{p_1 V_1 T_3}{T_1 V_3} \quad 2\text{p (yht. 6p)}$$

$$p_3 = \frac{101\,000 \text{ Pa} \cdot 0,0011 \text{ m}^3 \cdot 297,15 \text{ K}}{278,15 \text{ K} \cdot 0,00038 \text{ m}^3}$$

$$p_3 = 312\,339,655 \dots \text{ Pa} \approx 310 \text{ kPa} \quad 2\text{p (yht. 8p)}$$

Vastaus: Paine on lämpötilaeron tasoituttua 310 kPa.

3.2 Lämpöopin ensimmäisen pääsännön mukaan kaasun sisäenergian muutos riippuu siirtävästä lämpömäärästä Q sekä tehdystä työstä W .

$$\Delta U = Q + W. \quad 1\text{p (yht. 1p)}$$

Koska puristus tapahtuu hyvin nopeasti, puristuksen aikana lämpöä ei ehdi juurikaan siirtyä sylinteristä ympäristöön, joten $Q = 0 \text{ J}$. 1p (yht. 2p) Puristuksen aikana kaasuun tehdään puristustyö W , 1p (yht. 3p) joka siis kasvattaa kaasun sisäenergiaa. 1p (yht. 4p)

Tilanmuutos vaiheiden 2 ja 3 välillä on isokoorinen, joten $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$. Siten $T_3 < T_2$, koska $p_3 < p_2$. 1p (yht. 5p) Lämpötila siis laskee, joten puristuksen jälkeen kaasu luovuttaa lämpöä ympäristöön. 1p (yht. 6p) Lämpöopin ensimmäisen pääsännön perusteella siis kaasun sisäenergia pienenee. 1p (yht. 7p)

Ratkaisuvaihtoehto 2

3.1 **Alaindeksi 1** viittaa tehtävän alkutilanteeseen, **alaindeksi 2** tilanteeseen välittömästi kaasun puristamisen jälkeen ja **alaindeksi 3** lopputilanteeseen, jossa lämpötilaero on tasoittunut.

$$V_1 = 1,1 \ell = 0,0011 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 5,0 \text{ }^\circ\text{C} = (273,15 + 5,0) \text{ K} = 278,15 \text{ K} \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

$$p_1 = 101 \text{ kPa} = 101\,000 \text{ Pa}$$

$$V_2 = V_3 = 0,38 \ell = 0,00038 \text{ m}^3$$

$$p_2 = 447 \text{ kPa} = 447\,000 \text{ Pa}$$

$$T_3 = 24 \text{ }^\circ\text{C} = (273,15 + 24,0) \text{ K} = 297,15 \text{ K}$$

Pistetyksestä: Muunnettu yksi lämpötila oikein kelvineiksi = 1p.

Oletetaan ruiskussa olevan ilman käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin. Ilman ainemäärä ei muutu puristuksessa, joten sovelletaan kaasujen yleistä tilanyhtälöä

1p (yht. 2p) ja ratkaistaan ilman lämpötila välittömästi puristamisen jälkeen:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{1p (yht. 3p)}$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1} \quad \text{1p (yht. 4p)}$$

$$T_2 = \frac{447\,000 \text{ Pa} \cdot 0,00038 \text{ m}^3 \cdot 278,15 \text{ K}}{101\,000 \text{ Pa} \cdot 0,0011 \text{ m}^3}$$

$$T_2 = 425,261 \dots \text{ K}$$

Isokoorisessa tilanmuutoksessa ideaalikaasulle pätee

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \quad \text{1p (yht. 5p)}$$

$$p_3 = \frac{p_2 T_3}{T_2} \quad \text{1p (yht. 6p)}$$

$$p_3 = \frac{447\,000 \text{ Pa} \cdot 297,15 \text{ K}}{425,261 \dots \text{ K}}$$

$$p_3 = 312\,339,655 \dots \text{ Pa} \approx 310 \text{ kPa} \quad \text{2p (yht. 8p)}$$

Vastaus: Paine on lämpötilaeron tasoituttua 310 kPa.

3.2 Lämpöopin ensimmäisen pääsäännön mukaan kaasun sisäenergian muutos riippuu siirtyvästä lämpömäärästä Q sekä tehdystä työstä W :

$$\Delta U = Q + W. \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

Koska puristus tapahtuu hyvin nopeasti, puristuksen aikana lämpöä ei juurikaan ehdi siirtyä sylinteristä ympäristöön, joten $Q = 0 \text{ J}$. 1p (yht. 2p) Puristuksen aikana kaasuun tehdään puristustyö W , 1p (yht. 3p) joka siis kasvattaa kaasun sisäenergiaa. 1p (yht. 4p)

Kohdan 3.1 laskun nojalla lämpötila on juuri puristamisen jälkeen suurempi kuin lämpötilaerojen tasoittuttua. Kun lämpötilaerojen annetaan tasoittua, kaasun lämpötila siis laskee, 1p (yht. 5p) joten kaasu luovuttaa lämpöä ympäristöön. 1p (yht. 6p) Lämpöopin ensimmäisen pääsäännön perusteella kaasun sisäenergia siis pienenee. 1p (yht. 7p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

4. Valovastus (15 p.)

Aineisto:

4.A [Simulaatio: Valovastuskytkentä](#)

Valovastus on komponentti, jonka resistanssi riippuu siihen kohdistuvan valon voimakkuudesta. Valovastuksella voi siis muuttaa esimerkiksi piirin sähkövirtaa muuttamalla vastukseen osuvan valon määrää. Aineistossa [4.A](#) on esitetty kytkentäkaavio ja simulaatio piiristä, jossa on jännitelähde, tavallinen vastus, valovastus ja ledi. Havaitaan, että piiriin kytketty ledi syttyy, kun valaistus vähenee. Vastaa simulaation avulla seuraaviin kysymyksiin.

- 4.1 Mikä on suurin valaistusvoimakkuuden arvo, jolla ledi vielä palaa? (3 p.)
- 4.2 Mikä on ledin kynnysjännitteen arvo? (3 p.)
- 4.3 Mitkä ovat vastusten R_1 ja R_{LDR} resistanssien arvot, kun valaistusvoimakkuus on 540 lx? (4 p.)
- 4.4 Tarkastellaan niitä valaistusvoimakkuuden arvoja, joilla ledi ei pala. Kasvaako vai pieneneekö piirin valovastuksen resistanssi valovoimakkuuden kasvaessa tällä alueella? (5 p.)

Ratkaisu.

- 4.1 Simulaation perusteella ledi palaa, kun valaistusvoimakkuus on 24,3 lx ja ei pala, kun se on 24,4 lx. Kahden merkitsevän numeron tarkkuudella kysytty arvo on siis 24 lx. 3p (yht. 3p)

Lisäselitys: Voitaisiin etsiä vielä tarkempaa arvoa väliltä 24,3 lx . . . 24,4 lx, mutta se ei ole tarpeen, koska tulos pyöristyy joka tapauksessa arvoon 24 lx.

Lisäselitys pyöristystarkkuudesta: Ledin tila (palaa/ei pala) voidaan määrittää, kun tunnetaan lähdejännite, vastuksen R_1 jännite ja ledin kynnysjännite. Lähdejännite on annettu simulaattorin tiedoissa vain yhden merkitsevän numeron tarkkuudella, joten vastaus, eli valaistusvoimakkuus tulee pyöristää yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkuuteen.

Muita mahdollisesti hyväksyttäviä vastauksia: Luultavasti hyväksytään myös pyöristys kolmen merkitsevän numeron tarkkuuteen, koska YTL:n hyvän vastauksen

piirteissä (luettu 30.3.2022) vastaus oli annettu sillä tarkkuudella. Tulos oli kuitenkin pyöristetty väärin, koska simulaattorilla voidaan todeta, että ledi syttyy jossakin 24,37 lx . . . 24,38 lx välillä, joten oikein pyöristetty arvo on 24,4 lx.

4.2

$$E = 5 \text{ V}$$

$$U_1 = 2,900 \text{ V}$$

Kynnysjännite on jännite, joka päästösuuntaan kytketyn ledin yli tulee vähintään olla, jotta sen läpi voi kulkea virta. Muodostetaan Kirchhoffin 2. laki silmukkaan, jonka muodostavat vastus R_1 , virtamittari, ledi ja jännitelähde E . Merkitään ledin jännitettä U_L . Simulaation perusteella havaitaan, että kun ledi palaa, etuvastuksen R_1 jännite on 2,900 V.

Saadaan

$$E - U_1 - U_L = 0 \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

$$U_L = E - U_1 \quad \text{1p (yht. 2p)}$$

$$= 5 \text{ V} - 2,900 \text{ V}$$

$$U_L = 2,1 \text{ V} \quad \text{1p (yht. 3p)}$$

Vastaus: Ledin kynnysjännite on 2,1 V.

4.3 Katsotaan simulaatiosta vastuksen R_1 jännitehäviö ja sen läpi kulkeva virta, kun valaistusvoimakkuus on 540 lx.

$$U_1 = 4,591 \text{ V}$$

$$I = 0,675 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$E = 5 \text{ V}$$

Ohmin lain nojalla

$$\begin{aligned}
 U_1 &= R_1 I \\
 R_1 &= \frac{U_1}{I} \quad (1\text{p (yht. 1p)}) \\
 &= \frac{4,591\text{ V}}{0,675 \cdot 10^{-3}\text{ A}} \\
 &= 6801,4 \dots \Omega \\
 &\approx 6,8\text{ k}\Omega \quad (1\text{p (yht. 2p)})
 \end{aligned}$$

Koska ledi ei pala, kaikki virta kulkee valovastuksen läpi. Kirchhoffin 2. lain nojalla saadaan

$$\begin{aligned}
 E - U_1 - R_{LDR}I &= 0 \\
 R_{LDR} &= \frac{E - U_1}{I} \quad (1\text{p (yht. 3p)}) \\
 &= \frac{5\text{ V} - 4,591\text{ V}}{0,675 \cdot 10^{-3}\text{ A}} \\
 &= 605,92 \dots \Omega \\
 &\approx 610\Omega \quad (1\text{p (yht. 4p)})
 \end{aligned}$$

Vastaus: Vastuksen R_1 resistanssi on $6,8\text{ k}\Omega$ ja valovastuksen R_{LDR} resistanssi on 610Ω .

- 4.4 Kun tarkastellaan vain tilanteita, joissa ledi ei pala, kaikki piirissä kulkeva virta kulkee siis vain vastusten läpi. (1p (yht. 1p)) Muodostetaan vasemman puoleisesta silmukasta Kirchhoffin 2. lain mukainen yhtälö ja ratkaistaan lauseke valovastuksen kautta kulkevalle virralle.

$$\begin{aligned}
 E - R_1 I - R_{LDR} I &= 0 \\
 R_{LDR} &= \frac{E}{I} - R_1 \quad (1\text{p (yht. 2p)})
 \end{aligned}$$

Simulaatiota kokeilemalla huomataan, että kun valaistusvoimakkuus kasvaa, virta kasvaa. (1p (yht. 3p)) Koska resistanssin R_{LDR} lausekkeessa lähdejännite E ja resistanssi R_1 ovat vakioita, voidaan päätellä, että tällöin resistanssin tulee pienentyä. (2p (yht. 5p))

Vastaus: Valovastuksen resistanssi pienenee.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

5. Hissi (15 p.)

Opiskelija tutkii hississä jousivaa'an avulla kiihtyvyyden ja voiman riippuvuutta toisistaan.

- 5.1 Hissin ollessa paikallaan opiskelija kiinnittää kännykkänsä riippumaan jousivaa'an koukkuun. Vaaka näyttää arvoa 1,93 N. Hissin lähdettyä liikkeelle vaa'an lukema on 2,23 N. Kumpaan suuntaan ja kuinka suurella kiihtyvyydellä hissi liikkuu? (8 p.)
- 5.2 Hissin lähtiessä liikkeelle opiskelija havaitsee jousivaa'an jousen venyvän 4,5 cm lisää. Kuinka suuri on jousivaa'an jousen jousivakio? (7 p.)

Ratkaisu.

- 5.1 **Huomaa!** Tehtävänanto oli epätasällinen, sillä kysymys "kuinka suurella kiihtyvyydellä hissi liikkuu" ei tarkoita mitään fysikaalisesti järkevää. Hissin kiihtyvyydellä on kyllä suuruus ja suunta, mutta hissi voi liikkua kiihtyvyydelle vastakkaiseenkin suuntaan. Tehtävässä tuli kuitenkin olettaa, että kysymyksellä luultavasti tarkoitettiin "mikä on kiihtyvyyden suuruus ja suunta".

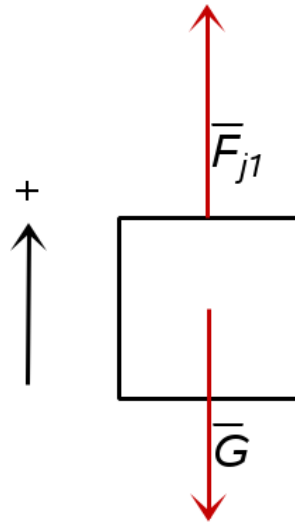
Ratkaisuvaihtoehto 1

$$F_{j1} = 1,93 \text{ N}$$

$$F_{j2} = 2,23 \text{ N}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Piirretään kännykän voimakuvio, kun hissi on vielä paikallaan.



1p (yht. 1p)

Muodostetaan Newtonin 2. lain mukainen liikeyhtälö.

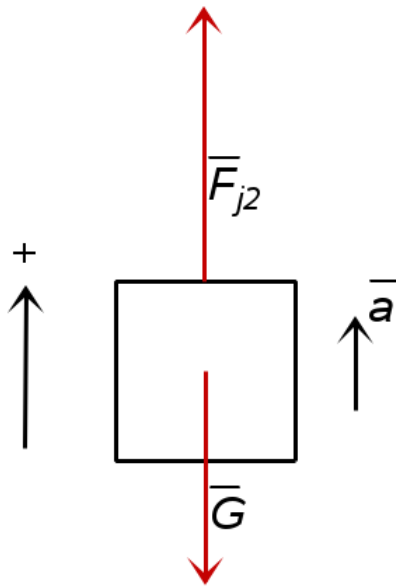
$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{F}_{j1} + \vec{G} = 0$$

$$F_{j1} - G = 0$$

$$F_{j1} - mg = 0 \quad \text{1p (yht. 2p)} \quad (1)$$

Kun hissi lähtee liikkeelle, jousivoima kasvaa. Piirretään uusi voimakuvio.



1p (yht. 3p)

Huomataan, että koska jousivoima on suurempi kuin painovoima, kännykkään kohdistuu kokonaisvoima ylöspäin. Tämä kokonaisvoima antaa kännykälle kiihtyvyyden ylöspäin.

Muodostetaan Newtonin 2. lain mukainen liikeyhtälö.

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

$$\bar{F}_{j2} + \bar{G} = m\bar{a}$$

$$F_{j2} - G = ma$$

$$F_{j2} - mg = ma \quad \text{1p (yht. 4p)} \quad (2)$$

Ratkaistaan kiihtyvyys yhtälöistä (1) ja (2).

$$a = \frac{g(F_{j2} - F_{j1})}{F_{j1}} \quad \text{3p (yht. 7p)}$$

$$a = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2,23 \text{ N} - 1,93 \text{ N})}{1,93 \text{ N}}$$

$$= 1,5248 \dots \text{ m/s}^2$$

$$\approx 1,52 \text{ m/s}^2 \quad \text{1p (yht. 8p)}$$

Vastaus: Hissin kiihtyvyys on $1,52 \text{ m/s}^2$ ylöspäin.

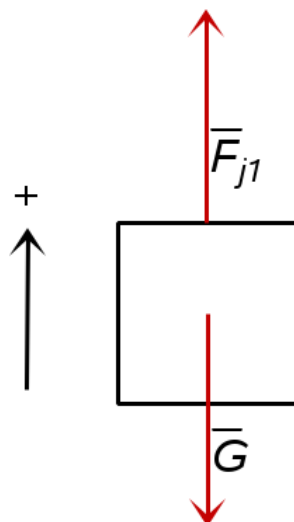
Ratkaisuvaihtoehto 2

$$F_{j1} = 1,93 \text{ N}$$

$$F_{j2} = 2,23 \text{ N}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Piirretään kännykän voimakuvio, kun hissi on vielä paikallaan.



1p (yht. 1p)

Ratkaistaan kännykän massa. Newtonin 2. lain mukaan

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

$$\vec{F}_{j1} + \vec{G} = 0$$

$$F_{j1} - G = 0$$

$$F_{j1} - mg = 0 \quad \text{1p (yht. 2p)}$$

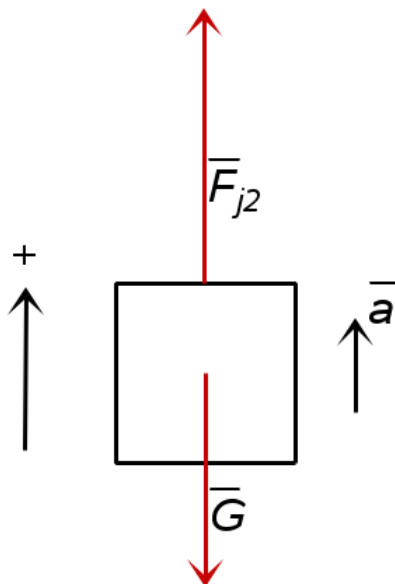
$$F_{j1} = mg$$

$$m = \frac{F_{j1}}{g} \quad \text{1p (yht. 3p)}$$

$$= \frac{1,93 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,19673 \dots \text{ kg} \quad \text{1p (yht. 4p)}$$

Kun hissi lähtee liikkeelle, jousivoima kasvaa. Piirretään uusi voimakuvio.



1p (yht. 5p)

Huomataan, että koska jousivoima on suurempi kuin painovoima, kännykkään kohdistuu kokonaisvoima ylöspäin. Tämä kokonaisvoima antaa kännykälle kiihtyvyyden ylöspäin.

Muodostetaan Newtonin 2. lain mukainen liikeyhtälö ja ratkaistaan kiihtyvyys.

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

$$\vec{F}_{j2} + \vec{G} = m\vec{a}$$

$$F_{j2} - G = ma$$

$$F_{j2} - mg = ma \quad \text{1p (yht. 6p)}$$

$$a = \frac{F_{j2} - mg}{m} \quad \text{1p (yht. 7p)}$$

$$= \frac{2,23 \text{ N} - 0,19673 \dots \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,19673 \dots \text{ kg}}$$

$$= 1,5248 \dots \text{ m/s}^2$$

$$\approx 1,52 \text{ m/s}^2 \quad \text{1p (yht. 8p)}$$

Vastaus: Hissin kiihtyvyys on $1,52 \text{ m/s}^2$ ylöspäin.

5.2

Ratkaisuvaihtoehto 1

$$\Delta x = 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$$

Lasketaan Hookeen laista, paljonko jousi venyy, kun kännykkä ripustetaan jouseen hissien ollessa levossa.

$$F_{j1} = kx_1 \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

$$x_1 = \frac{F_{j1}}{k}$$

Kun hissi lähtee liikkeelle, jousi venyy $\Delta x = 4,5 \text{ cm}$ lisää. Sovelletaan Hooken lakia ja ratkaistaan jousivakio

$$F_{j2} = k(x_1 + \Delta x) \quad (2\text{p (yht. 3p)})$$

$$F_{j2} = k\left(\frac{F_{j1}}{k} + \Delta x\right)$$

$$k = \frac{F_{j2} - F_{j1}}{\Delta x} \quad (2\text{p (yht. 5p)})$$

$$= \frac{2,23 \text{ N} - 1,93 \text{ N}}{0,045 \text{ m}}$$

$$= 6,666 \dots \text{ N/m}$$

$$\approx 6,7 \text{ N/m} \quad (2\text{p (yht. 7p)})$$

Vastaus: Jousen jousivakio on $6,7 \text{ N/m}$

Ratkaisuvaihtoehto 2

$$\Delta x = 4,5 \text{ cm} = 0,045 \text{ m}$$

Hooken lain mukaan $F = -kx$. 1p (yht. 1p) Siten

$$F_{j2} - F_{j1} = kx_2 - kx_1 \quad (2\text{p (yht. 3p)})$$

$$F_{j2} - F_{j1} = k(x_2 - x_1)$$

$$F_{j2} - F_{j1} = k\Delta x$$

$$k = \frac{F_{j2} - F_{j1}}{\Delta x} \quad (2\text{p (yht. 5p)})$$

$$= \frac{2,23 \text{ N} - 1,93 \text{ N}}{0,045 \text{ m}}$$

$$k = 6,666 \dots \text{ N/m}$$

$$\approx 6,7 \text{ N/m} \quad (2\text{p (yht. 7p)})$$

Vastaus: Jousen jousivakio on $6,7 \text{ N/m}$

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

6. Itämeren aallot (15 p.)

Aineisto:

6.A [Teksti: Aallokko Itämerellä](#)

Aineistossa [6.A](#) on tietoja Itämeren aallokon synnystä ja ominaisuuksista. Vastaa aineiston ja tietämyksesi perusteella kysymyksiin 6.1–6.7.

Kysymyksissä 6.1–6.3 kirjoita vastauskenttiin pelkästään lopputuloksen lukuarvo ilman yksikköä yhden merkitsevän numeron tarkkuudella. Yksikkö on valmiiksi annettuna vastauskentän perässä. Kysymyksissä 6.4–6.7 vastaa valitsemalla oikea vaihtoehto. Jos olet aloittanut tehtävään vastaamisen, mutta et haluakaan jättää tehtävää arvosteltavaksi, kysymyksissä 6.1–6.3 tyhjennä vastaukset ja kysymyksissä 6.4–6.7 merkitse jokaiseen kysymykseen vaihtoehto "en vastaa".

6.1 Kuinka suuri on ollut Itämeren korkeimpien yksittäisten aaltojen amplitudi? (2 p.)

Vastaus: m

6.2 Kuinka suuri on Itämeren tyypillisessä aallokossa korkeimpien aaltojen taajuus? (2 p.)

Vastaus: Hz

6.3 Kuinka suurella nopeudella Itämeren tyypillisen aallokon korkeimmat aallot etenevät syvässä vedessä? (2 p.)

Vastaus: m/s

6.4 Aalloista annettujen tietojen perusteella voidaan päätellä Itämeren syvyyden olevan tyypillisesti **alle** (2 p.)

- 10 m
- 20 m
- 40 m
- 80 m
- 130 m
- 260 m
- 520 m
- En vastaa

6.5 Aalloista annettujen tietojen perusteella voidaan päätellä Itämeren syvyyden olevan tyypillisesti **yli** (2 p.)

- 10 m
- 20 m
- 40 m
- 80 m
- 130 m
- 260 m
- 520 m
- En vastaa

6.6 Mitä tarkoittaa aineistossa käytetty termi pyyhkäisymatka? (2 p.)

- Merialueen leveys havaintopaikan kohdalla
- Matka, jolla tuuli on voinut vapaasti kasvattaa aallokkoa havaintopaikalle asti
- Matka, jonka aallot voivat vapaasti edetä havaintopaikalta rantaan asti
- Havaintopaikan tuulen nopeuden ja kestoajan tulo
- En vastaa

6.7 Tarkastellaan yleisesti tilannetta, jossa veden aallot lähestyvät rantaa vinosti. Ranta on loivasti madaltuva. Mikä seuraavista aaltoliikkeen ominaisuuksista ei tällöin muutu? (3 p.)

- Aallonpituus
- Amplitudi
- Etenemisnopeus
- Etenemissuunta
- Taajuus
- En vastaa

Ratkaisu.

6.1 Kuinka suuri on ollut Itämeren korkeimpien yksittäisten aaltojen amplitudi? (2 p.)

Vastaus: m 2p (yht. 2p)

Amplitudi on värähtelyn suurin poikkeama tasapainoasemasta, joka on aallon huipun ja pohjan puolivälissä. Aineistossa kerrottiin, että korkeimpien yksittäisten aaltojen huipun ja pohjan välinen ero on 14 m, joten amplitudi on puolet siitä.

6.2 Kuinka suuri on Itämeren tyypillisessä aallokossa korkeimpien aaltojen taajuus? (2 p.)

Vastaus: Hz 2p (yht. 4p)

Taajuus voidaan laskea jaksonajan avulla $f = \frac{1}{T}$. Aineiston perusteella tyypillisessä aallokossa korkeimpien aaltojen jaksonaika on noin 5 s, joten taajuudeksi saadaan $f = \frac{1}{5 \text{ s}} = 0,2 \text{ Hz}$.

6.3 Kuinka suurella nopeudella Itämeren tyypillisen aallokon korkeimmat aallot etenevät syvässä vedessä? (2 p.)

Vastaus: m/s 2p (yht. 6p)

Aallon nopeus saadaan aaltoliikkeen perusyhtälöstä $v = \lambda f$. Aineiston mukaan tyypillisen aallokon korkeimpien aaltojen aallonpituus on noin 40 m. Tätä aallonpituutta vastaava taajuus laskettiin kohdassa 6.2. Nopeudeksi tulee siis $v = 40 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ Hz} = 8 \text{ m/s}$.

6.4 Aalloista annettujen tietojen perusteella voidaan päätellä Itämeren syvyyden olevan tyypillisesti alle (2 p.)

- 10 m
- 20 m
- 40 m
- 80 m
- 130 m
- 260 m
- 520 m
- En vastaa

2p (yht. 8p)

Aineistossa sanottiin, että Itämeren pisimmät aallot ovat 260 m pitkiä. Lisäksi tiedettiin, että pisimmät aallot tuntevat pohjan vaikutuksen ja että tällöin veden syvyys on alle puolet aallonpituudesta. Siten vesi on korkeintaan $260 \text{ m}/2 = 130 \text{ m}$ syvää.

6.5 Aalloista annettujen tietojen perusteella voidaan päätellä Itämeren syvyyden olevan tyypillisesti yli (2 p.)

- 10 m
- 20 m
- 40 m
- 80 m
- 130 m
- 260 m
- 520 m
- En vastaa

2p (yht. 10p)

Aineiston perusteella tuli olettaa, että yleensä tyypilliset aallot eivät ota pohjaan. Tämän saattoi päätellä, koska tyypilliset aallot ovat pienempiä kuin suurimmat aallot ja aineistossa sanottiin, että "pisimmät aallot tuntevat pohjan vaikutuksen", mikä voisi viitata siihen, että pohjan tuntemisen raja on lähellä pitkien aaltojen aallonpituuden puolikasta. Aineiston mukaan tyypillisten aaltojen aallonpituus on 40 m, joten veden syvyys on tämän perusteella suurempi kuin $40 \text{ m}/2 = 20 \text{ m}$.

6.6 Mitä tarkoittaa aineistossa käytetty termi pyyhkäisy matka? (2 p.)

- Merialueen leveys havaintopaikan kohdalla
- Matka, jolla tuuli on voinut vapaasti kasvattaa aallokkoa havaintopaikalle asti
- Matka, jonka aallot voivat vapaasti edetä havaintopaikalta rantaan asti
- Havaintopaikan tuulen nopeuden ja kestoajan tulo
- En vastaa

2p (yht. 12p)

Aineistossa sanottiin mm. "aallokkoa usein rajoittaa niin sanottu pyyhkäisymatka" ja "Selkämeren etelä- ja pohjoisosissa esiintyy korkeata aallokkoa pidempien pyyhkäisymatkojen takia". Tästä oli mahdollista päätellä, että korkeimmat aallot havaitaan, kun pyyhkäisymatka on pisimmillään. Lisäksi aineistossa mainittiin, että valtamerillä tuulen ominaisuudet yksin vaikuttavat aaltojen kokoon, mutta Itämerellä rannat rajoittavat aallokon kasvua eli tuuli ei pääse kasvattamaan aaltoja esteettä.

6.7 Tarkastellaan yleisesti tilannetta, jossa veden aallot lähestyvät rantaa vinosti. Ranta on loivasti madaltuva. Mikä seuraavista aaltoliikkeen ominaisuuksista ei tällöin muutu? (3 p.)

- Aallonpituus
- Amplitudi
- Etenemisnopeus
- Etenemissuunta
- Taajuus
- En vastaa

3p (yht. 15p)

Aallon taajuus riippuu vain värähtelijästä eli veden aaltojen tapauksessa mm. tuulen nopeudesta ja kestosta. Ainoastaan siis taajuus pysyy vakiona, sillä aallot ovat saman värähtelijän aiheuttamia. Etenemisnopeus ja amplitudi riippuvat veden aaltojen tapauksessa mm. veden syvyydestä. Aallon etenemissuunta taas riippuu taittumislain mukaisesti aallon nopeudesta, joten jos aallon nopeus muuttuu, etenemissuuntakin muuttuu.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

7. Sumukammio (15 p.)

Aineisto:

7.A [Kuva: Sumukammio](#)

Sumukammiossa tehdystä kokeesta piirrettiin aineiston [7.A](#) mukainen kuva. Kuvassa näkyy katkoviivalla merkittynä varatun hiukkasen rata kammiossa. Hiukkasen kulkusuunta on merkitty pienellä sinisellä nuolella. Kammion alueella on homogeeninen magneettikenttä, jonka magneettivuon tiheyden suuruus on $B = 3,8 \text{ mT}$. Magneettikentän suunta on kohtisuorasti kuvan tason sisään. Hiukkasen energia sen tullessa sumukammioon on $2,5 \text{ keV}$, ja sen radan säde $r = 45 \text{ mm}$. Kammion halkaisee kuvassa näkyvä ohut muovikalvo, josta hiukkanen pääsee läpi. Hiukkasen varaus on itseisarvoltaan alkeisvarauksen suuruinen.

7.1 Määritä hiukkasen varauksen etumerkki ja hiukkasen massa. (11 p.)

7.2 Selitä, miksi hiukkasen on täytynyt kulkea kuvassa nuolella merkittyyn suuntaan eikä päinvastaiseen suuntaan. (4 p.)

Ratkaisu.

7.1 Oikean käden säännön nojalla aineiston kuvan tilanteessa positiivisesti varattuun hiukkaseen vaikuttaisi voima liikesuuntaan katsottuna vasemmalle ja negatiivisesti varattuun hiukkaseen oikealle. Kuvan perusteella hiukkasen liikerata kaartaa vasemmalle, joten hiukkaseen kohdistuva voima osoittaa vasemmalle, ja näin ollen hiukkasen varaus on positiivinen. 4p (yht. 4p) **Lisäselitys: osoitetaan oikean käden etusormi hiukkasen nopeuden suuntaan ja keskisormi magneettivuon tiheyden suuntaan. Jos hiukkasen varaus on positiivinen, siihen kohdistuva magneettinen voima osoittaa peukalon suuntaan ja jos hiukkasen varaus on negatiivinen, siihen kohdistuva magneettinen voima osoittaa peukalon kanssa vastakkaiseen suuntaan.**

$$B = 3,8 \text{ mT} = 0,0038 \text{ T}$$

$$\begin{aligned} E_k &= 2,5 \text{ keV} = 2\,500 \cdot 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ &= 4,0054 \dots 10^{-16} \text{ J} \end{aligned}$$

$$r = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$$

Varauksen suuruus

$$Q = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Hiukkanen on magneettikentässä ympyräliikkeessä. Muodostetaan Newtonin 2. lain mukainen liikeyhtälö hiukkaselle.

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

$$\vec{F}_B = m\vec{a}_n$$

$$F_B = ma_n \quad \text{1p (yht. 5p)}$$

$$QvB = m \frac{v^2}{r} \quad \text{1p (yht. 6p)} \quad (1)$$

Hiukkasen liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{1p (yht. 7p)} \quad (2)$$

Ratkaistaan massan lauseke yhtälöiden (1) ja (2) muodostamasta yhtälöparista.

$$m = \frac{Q^2 B^2 r^2}{2E_k} \quad \text{2p (yht. 9p)}$$

$$m = 9,36984 \dots \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\approx 9,4 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad \text{2p (yht. 11p)}$$

Vastaus: Hiukkanen on positiivisesti varattu ja sen massa on $9,4 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

YTL:n hyvän vastauksen piirteissä (luettu 30.3.2022) todettiin, että hiukkanen on positroni. Tehtävänannossa tätä ei kuitenkaan pyydetty, joten massan laskeminen ja varauksen etumerkin päättelyminen pitäisi riittää täysiin pisteisiin.

7.2 Ratkaistaan, miten radan säde riippuu hiukkasen nopeudesta. Yhtälöstä (1) saadaan

$$r = \frac{mv}{QB},$$

missä hiukkasen varaus Q , massa m ja magneettivuon tiheys B eivät muutu.

1p (yht. 1p)

Muovikalvon läpäisyssä hiukkanen vuorovaikuttaa muovikalvon rakenneosaten kanssa, jolloin se luovuttaa energiaa ja vauhti pienenee.

1p (yht. 2p)

Aineiston kuvasta nähdään, että muovikalvon yläpuolella hiukkasen radan säde on pienentynyt, joten hiukkasen nopeuskin on muovikalvon yläpuolella pienempi.

Näin ollen hiukkasen on täytynyt kulkea sinisen nuolen suuntaan.

2p (yht. 4p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

8. Boori-neutronikaappaushoito (15 p.)

Aineisto:

8.A [Teksti: Uudenlaista sädehoitoa Meilahdessa](#)

Lue boori-neutronikaappaushoidosta kertova teksti [8.A](#), ja vastaa artikkelin ja tietämyksesi perusteella tehtäviin 8.1–8.3.

8.1 Kirjoita reaktioyhtälö välivaiheineen neutronikaappauksesta lopputuotteisiin. (5 p.)

8.2 Reaktiossa vapautuu lopulta alfahiukkanen, tytärydin ja gammahiukkanen. Vertaile näiden hiukkasten merkitystä syöpäsolujen paikallisessa tuhoamisessa. (6 p.)

8.3 Tekstissä [8.A](#) kerrotaan, että aiemmin boori-neutronikaappaushoidossa tarvittut neutronit saatiin ydinreaktorista. Kerro, kuinka neutroneita tuotetaan ydinreaktorissa. Miten uusi tekniikka eroaa tästä? (4 p.)

Ratkaisu.

8.1



5p (yht. 5p)

Pisteytyksestä:

- Reaktioyhtälön ensimmäinen reaktio = 2p,
- Reaktioyhtälön toinen reaktio = 3p,
- Välitilan viritystilaa ei ole välttämätöntä merkitä yläkulman *:llä
- Alfahiukkasen merkinnäksi hyväksytään todennäköisesti myös α
- Järjestyslukuja ei ole välttämätöntä merkitä

8.2 Boori-neutronikaappaushoidon teho perustuu siihen, että syöpäkudosta tuhoava hiukkassäteily syntyy kudoksen sisällä. Booripitoinen kantaja-aine kerääntyy syöpäkudokseen ja neutronin osuessa booriyttimeen tapahtuu hajoamisreaktio, jonka lopputuotteena muodostuu litiumydin, alfahiukkanen ja gammakvantti.

Litiumydin ja alfahiukkanen ovat verrattain raskaita hiukkasia ja niillä on sähkövaraus, joten ne pysähtyvät kudoksessa lyhyellä matkalla. 2p (yht. 2p) Pääsääntöisesti nämä hiukkaset pysähtyvät saman solun sisällä, missä ne syntyivätkin,

jolloin niiden liike-energia jää syöpäkasvaimeen. 1p (yht. 3p) Hiukkaset hidastuvat törmäyksissä, jotka vaurioittavat syöpäsolua niin, että se lopulta kuolee. 1p (yht. 4p) Gammasäteily läpäisee kudosta hyvin 1p (yht. 5p), joten sen sisältämästä energiasta vain osa absorboituu syöpäkudokseen ja osa absorboituu terveeseen kudokseen aiheuttaen siellä soluvaurioita. 1p (yht. 6p)

- 8.3 Ydinreaktorissa neutroneita tuotetaan raskaiden ytimien, tyypillisesti uraani-235:n tai esim. plutonium-239:n, fissiolla. Fissioreaktiossa raskaaseen ytimeen osuu neutroni, minkä seurauksena ydin halkeaa tytärytimiksi. Tällöin vapautuu myös neutroneita, jotka ylläpitävät ketjureaktiota ydinreaktorissa. Koska fissioreaktioon tarvitaan vain yksi neutroni ja siinä syntyy useita, ylimääräisiä neutroneita voidaan käyttää esim. boori-neutronikaappaushoidossa. Fissioreaktiossa vapautuu energiaa ja ketjureaktio voi jatkua periaatteessa niin kauan, kuin reaktorissa riittää polttoainetta. 2p (yht. 2p)

Uudessa tekniikassa hiukkaskiihdyttimellä kiihdytetään protoneita ja annetaan niiden osua litiumkohtioon. Protonin osuttua litiumytimeen tapahtuu reaktio, missä ydin emittoi vapaan neutronin. Näitä neutroneita käytetään boori-neutronikaappaushoitoon uudessa laitteessa. Litiumin ja protonin välisessä reaktiossa sitoutuu energiaa, joten protoni täytyy kiihdyttää riittävään nopeuteen, jotta reaktio voi tapahtua. Reaktio ja neutronien tuottaminen loppuu heti, kun kiihdytin sammutetaan. 2p (yht. 4p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

9. Maissipellon energiatuotanto (20 p.)

Aineisto:

9.A [Taulukko: Maissinviljelyn ja bioetanolituotannon tärkeimmät tunnusluvut](#)

Bioetanolin on ylioimaisesti käytetyin biopolttoaine maailmassa. Yli puolet bioetanolin runsaan sadan miljardin litran kokonaismäärästä valmistetaan viljellystä maissista Yhdysvalloissa. Etanolin valmistukseen käytetään maissin siemenet, ja muu osa maissista voidaan hyödyntää biojätteenä esimerkiksi lämmöntuotannossa. Taulukossa 9.A on tietoa maissinviljelyn ja maissiin pohjautuvan bioetanolituotannon tärkeimmistä tunnusluvuista.

9.1 Maissipellolle Auringosta tuleva vuosittainen energia pinta-alaa kohden on keskimäärin $1,46 \text{ MWh/m}^2$.

Laske bioetanolin pohjautuvan energiantuotannon maksimaalinen hyötysuhde (eli hyödynnettävän energian ja Auringosta tulleen energian suhde), jos korkeintaan 44 % etanolin vapautuvasta energiasta saadaan hyötykäyttöön. (6 p.)

9.2 Sekä maissin viljely että varsinainen etanolituotanto vaativat Auringosta tulevan energian lisäksi myös pienen määrän muuta ulkoista energiaa, niin sanottua prosessienergiaa. Prosessin tuotolla tarkoitetaan prosessista saatavan nettoenergian määrän eli tuotetun energian ja prosessienergian erotuksen suhdetta prosessienergiaan.

Laske bioetanolin pohjautuvan energian tuotto prosentteina, jos viljelyyn ja etanolivalmistukseen kulunut prosessienergia on $7\,460 \text{ kJ}$ jokaista etanolilitraa kohden. (5 p.)

9.3 Bioetanolista saatavan energiantuotannon lisäksi maissia voi hyödyntää myös polttamalla maissinviljelystä syntyvän biojätteen kaukolämpövoimalassa, jossa 85 % biojätteiden sisältämästä energiasta saadaan hyötykäyttöön. Maissipelloille voitaisiin vaihtoehtoisesti asentaa aurinkokennoja viljelyn sijaan. Aurinkokennojen avulla on mahdollista hyödyntää 18 % Auringon säteilevästä energiasta.

Kuinka moninkertainen olisi samalta pelloilta kennoilla kerätty aurinkoenergia verrattuna maissinviljelystä saatuun bioenergiaan? (4 p.)

9.4 Etanoliauton polttomoottorilla saadaan etanolin energiasta hyötykäyttöön ainoastaan 44 %. Etanolin käyttävässä autossa 65 litran polttoainetankki takaa kuitenkin riittävän toimintasäteen. Sähköauton sähkömoottori hyödyntää sen sijaan jopa 89 % akun varastoituneesta energiasta, mutta tavallisen sähköauton akun energiatiheys on vain noin 150 Wh/kg .

Kuinka suuri pitää sähköauton akun massan olla, jotta täyteen ladatun sähköauton ja täyteen tankatun etanoliauton hyödynnettävien energioiden määrät olisivat yhtä suuret? (5 p.)

Ratkaisu.

9.1

$$s_m = 7\,980 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 7\,980 \frac{\text{kg}}{10\,000 \text{ m}^2} = 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \text{maissin keskisato vuodessa}$$

$$\varepsilon_e = 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \quad \text{maissista saatava etanolimäärä}$$

$$\rho_e = 790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \quad \text{etanolin tiheys}$$

$$H_e = 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \quad \text{etanolin lämpöarvo}$$

$$E_A = 1,46 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^2} \quad \text{vuosittainen auringosta maissipellolle tuleva energia}$$

Maissin vuotuinen sato peltoneliometriä kohti on keskimäärin $s_m = 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$. Jokaisesta maissikilosta saadaan $\varepsilon_e = 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}}$:n verran etanolia, jonka tiheys on $\rho_e = 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell}$. Yhteensä vuodessa saadaan siis jokaista peltoneliometriä kohti

$$\begin{aligned} m_e &= s_m \varepsilon_e \rho_e \quad \text{1p (yht. 1p)} \\ &= 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \cdot 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \\ &= 0,26288514 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

kiloa bioetanolia.

Yhdestä bioetanolikilosta saatavan energian määrä on $H_e = 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$. Tästä energiasta hyötykäyttöön saatava osuus on $\eta_e = 0,44$. Yhtä peltoneliometriä

kohti saadaan siis vuodessa

$$E_v = \eta_e m_e H_e$$

$$E_v = \eta_e s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \quad \text{1p (yht. 2p)}$$

$$\begin{aligned} &= 0,44 \cdot 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \cdot 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \\ &= 3,111508 \dots \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Peltoneliömetrille osuvan vuosittaisen aurinkoenergian määrä on

$$E_A = 1,46 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^2} \quad \|\text{sij. h} = 60 \cdot 60 \text{ s}$$

$$1,46 \frac{\text{MW} \cdot 3\,600 \text{ s}}{\text{m}^2}$$

$$5\,256 \frac{\text{MWs}}{\text{m}^2} \quad \|\text{1 Ws} = 1 \text{ J}$$

$$= 5\,256 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Bioetanoliin pohjautuvan energiantuotannon maksimaalinen hyötysuhde saadaan vertaamalla tätä energiamäärää peltoneliömetrille vuoden aikana osuvaan aurinkoenergian määrään, eli

$$\eta = \frac{E_v}{E_A} \quad \text{1p (yht. 3p)}$$

$$= \frac{\eta_e s_m \varepsilon_e \rho_e H_e}{E_A} \quad \text{1p (yht. 4p)}$$

$$= \frac{3,111508 \dots \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}}{5\,256 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}}$$

$$= 0,00059199 \dots$$

$$\approx 5,9 \cdot 10^{-4} \quad \text{2p (yht. 6p)}$$

Vastaus: Bioetanoliin pohjautuvan energiantuotannon maksimaalinen hyötysuhde on $5,9 \cdot 10^{-4}$.

Pisteytyksestä: Myös vastaus 0,059 % hyväksytään.

9.2

Ratkaisuvaihtoehto 1

Merkitään prosessienergiaa E_p :llä. Tällöin prosessin tuotto eli tuotetun energian ja prosessienergian erotuksen suhde prosessieneriaan on

$$t = \frac{E_e - E_p}{E_p}, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

missä E_e on yhdestä etanolilitrasta saatavan energian määrä $E_e = \rho_e H_e \eta_e$.
 Prosessin tuotto on siis

$$\begin{aligned} t &= \frac{E_e - E_p}{E_p} \\ &= \frac{\rho_e H_e \eta_e - E_p}{E_p} \quad \text{2p (yht. 3p)} \\ &= \frac{0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,44 - 7,460 \frac{\text{MJ}}{\ell}}{7,460 \frac{\text{MJ}}{\ell}} \\ &= 0,253410 \dots \\ &\approx 25 \% \quad \text{2p (yht. 5p)} \end{aligned}$$

Vastaus: Bioetanoliin pohjautuvan energian tuotto on 25 %.

Ratkaisuvaihtoehto 2

Merkitään prosessienergiaa $E_p = 7,460 \frac{\text{MJ}}{\ell}$:llä. Prosessienergia peltoneliömetriä kohti E_y on silloin

$$\begin{aligned} E_y &= s_m \varepsilon_e E_p \\ &= 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \cdot 7,460 \frac{\text{MJ}}{\ell} \\ &= 2,48243 \dots \frac{\text{MJ}}{\ell} \end{aligned}$$

Tällöin prosessin tuotto eli peltoneliöllä tuotetun energian ja peltoneliötä kohti kuluvan prosessienergian erotuksen suhde peltoneliötä kohti kuluvaan prosessienergiaan on

$$t = \frac{E_v - E_y}{E_y}, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

missä E_v on kohdassa 9.1 laskettu yhdestä peltoneliömetriltä saatavan bioetanolin energian määrä $E_v = \eta_e s_m \varepsilon_e \rho_e H_e$. Prosessin tuotto on siis

$$\begin{aligned} t &= \frac{E_v - E_y}{E_y} \\ &= \frac{\eta_e s_m \varepsilon_e \rho_e H_e - s_m \varepsilon_e E_p}{s_m \varepsilon_e E_p} \quad \text{2p (yht. 3p)} \\ &= \frac{0,44 \cdot 0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \cdot 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} - 2,48243 \dots \frac{\text{MJ}}{\ell}}{2,48243 \dots \frac{\text{MJ}}{\ell}} \\ &= 0,253410 \dots \\ &\approx 25 \% \quad \text{2p (yht. 5p)} \end{aligned}$$

Vastaus: Bioetanolin pohjautuvan energian tuotto on 25 %.

9.3 Maissinviljelystä saadaan etanolin lisäksi biojätettä, joka voidaan polttaa lämpövoimalassa. Etanolista saatava energia peltoneliometriä kohti laskettiin kohdassa 9.1. Lasketaan seuraavaksi biojätteestä saatavan lämpöenergian määrä peltoneliötä kohti.

Biojätteen määrä peltoneliötä kohti vuodessa on $s_j = 0,7500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$. Biojätteen lämpöarvo on $H_j = 19,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ ja polttoprosessin hyötysuhde on $\eta_j = 0,85$. Biojätteestä saadaan siis vuodessa peltoneliötä kohden energiaa

$$\begin{aligned} E_j &= s_j H_j \eta_j \quad \text{1p (yht. 1p)} \\ &= 0,7500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 19,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,85 \\ &= 12,1125 \dots \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Aurinkokennojen avulla on mahdollista hyödyntää 18 % Auringon säteilevästä energiasta, eli pelloilta voitaisiin kerätä $0,18 \cdot E_A$ verran energiaa vuodessa. Vertaataan tätä energiaa etanolista ja jätteestä saatavaan energian määrään:

$$\begin{aligned} & \frac{0,18 \cdot E_A}{E_v + E_j} \\ &= \frac{0,18 \cdot E_A}{s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e + s_j H_j \eta_j} \quad \text{1p (yht. 2p)} \\ &= \frac{0,18 \cdot 5\,256 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}}{0,7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,417 \frac{\ell}{\text{kg}} \cdot 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,44 + 0,7500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 19,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,85} \\ &= 62,1439 \dots \\ &\approx 62 \end{aligned}$$

Vastaus: Kennoilla kerätty aurinkoenergia olisi 62-kertainen maissinviljelystä saatavaan bioenergiaan nähden. 2p (yht. 4p)

9.4 Polttomoottoriauton hyödynnettävän energian määrä E_{pm} on tankin tilavuuden $V_t = 65 \ell$ ja auton hyötysuhteen $\eta_{pm} = 0,44$ avulla ilmaistuna

$$E_{pm} = \eta_{pm} V_t \rho_e H_e \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

Sähköauton hyödynnettävän energian määrä E_{sa} voidaan ilmoittaa akun massan m_a , sähköauton hyötysuhteen $\eta_{sa} = 0,85$ ja akun energiatiheuden avulla $E_{sa} = \eta_{sa} \rho_a m_a$. 1p (yht. 2p) Akun energiatiheys on

$$\begin{aligned} \rho_a &= 150 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \\ &= 150 \frac{\text{W} \cdot 3\,600\text{s}}{\text{kg}} \\ &= 0,540 \frac{\text{MWs}}{\text{kg}} \quad \text{\| 1 Ws = 1 J} \\ &= 0,540 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Molemmissa autoissa hyötykäyttöön saatavan energia on oltava yhtä suuri. Tästä saadaan yhtälö akun massalle

$$\begin{aligned}E_{sa} &= E_{pm} \\ \eta_{sa}\rho_a m_a &= \eta_{pm} V_t \rho_e H_e \\ m_a &= \frac{\eta_{pm} V_t \rho_e H_e}{\eta_{sa} \rho_a} \quad \text{1p (yht. 3p)} \\ &= \frac{0,44 \cdot 65 \ell \cdot 0,790 \frac{\text{kg}}{\ell} \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}{0,89 \cdot 0,540 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \\ &= 1\,264,624 \dots \text{ kg} \\ &\approx 1\,300 \text{ kg} \quad \text{2p (yht. 5p)}\end{aligned}$$

Vastaus: Sähköauton akun massan on oltava 1 300 kg.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

10. Vierivä lieriö (20 p.)

Aineisto:

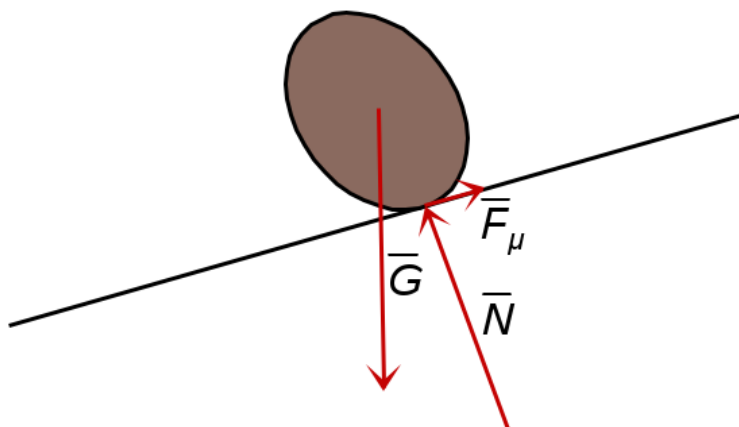
- 10.A [Video: Vierivän lieriön liike hidastettuna](#)
- 10.B [Kuva: Lieriö](#)
- 10.C [Kuva: Lieriöön kohdistuva tukivoima](#)
- 10.D [Taulukko: Lieriön massakeskipisteen tason suuntainen nopeus](#)

Umpinainen, muovista valmistettu lieriö, jonka pohja on ellipsin muotoinen, vierii liukumatta pitkin kaltevaa tasoa. Videossa [10.A](#) on esitetty lieriön liike hidastettuna. Lieriön ja tason välillä vaikuttaa kitka, mutta lieriöön ei vaikuta muita liikevastusvoimia. Kuvassa [10.B](#) lieriö on juuri päästetty vierimään, jolloin sen nopeus on vielä hyvin pieni.

- 10.1 Piirrä kuva lieriöön vaikuttavista voimista kuvan [10.B](#) mukaisessa tilanteessa. (4 p.)
- 10.2 Onko lieriöön vaikuttava kitka liuku- vai lepokitkaa? (2 p.)
- 10.3 Aineistossa [10.C](#) on esitetty simuloimalla määritetty lieriöön kohdistuva tukivoima. Miksi tukivoimalla on paikallisia maksimi- ja minimiarvoja? (5 p.)
- 10.4 Videossa [10.A](#) havaitaan, että lieriö irtoaa jossain vaiheessa alustasta. Vastaa aineiston [10.C](#) perusteella, millä ajanhetkellä tämä tapahtuu. (4 p.)
- 10.5 Taulukossa [10.D](#) on esitetty massakeskipisteen tason suuntainen nopeus ajan funktiona. Määritä sopivaa graafista esitystä käyttäen arvo, jota lieriön massakeskipisteen tason suuntainen kiihtyvyyden lähestyy liikkeen edetessä. (5 p.)

Ratkaisu.

10.1



3p (yht. 3p)

Voimakuvion pisteytyksestä:

- Oikein piirretty voimakuvio = 3p,
- Puuttuu voimavektori = -1 p / puute,
- Puuttuu voiman tunnus = -1 p / puute,
- Voimavektorin suunta selkeästi väärä = -1 p / virhe,
- Voimavektorin vaikutuspiste selkeästi väärä = -1 p / virhe,
- Voimakuviosta vähintään 0 p.

\overline{G} on lieriön painovoima,

\overline{N} on pinnan lieriöön kohdistama tukivoima ja

\overline{F}_μ on pinnan lieriöön kohdistama kitkavoima. 1p (yht. 4p)

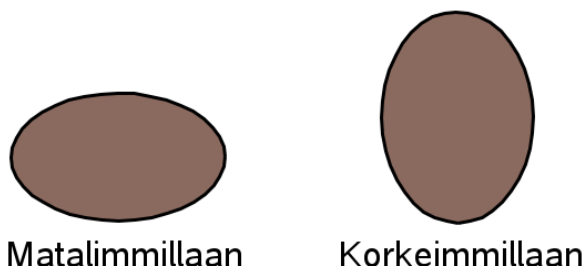
Pisteytyksestä: Nimetty kaikki kolme voimaa = 1p. Muuten = 0p.

10.2 Tehtävänannon mukaan lieriö vierii liukumatta, 1p (yht. 1p) joten pinnan ja lieriön välinen kitka on lepokitkaa. 1p (yht. 2p)

10.3 Pohditaan ensin tilannetta, jossa lieriö vierii vaakasuoraa pintaa pitkin. Jos lieriö on paikallaan, siihen vaikuttava pinnan tukivoima on Newtonin 2. lain nojalla yhtä suuri kuin lieriön painovoima. 1p (yht. 1p) Lieriön poikkileikkaus on soikio,

joten lieriö on tietyssä asennossa korkeimmillaan ja tietyssä asennossa matalimmillaan.

Lisäselityskuva:



Kun lieriö vierähtää korkeimmasta asennosta matalimpaan asentoon, sen massakeskipiste siirtyy alaspäin. Vastaavasti kun lieriö vierähtää matalimmasta asennosta korkeimpaan asentoon, sen massakeskipiste siirtyy ylöspäin. 1p (yht. 2p)

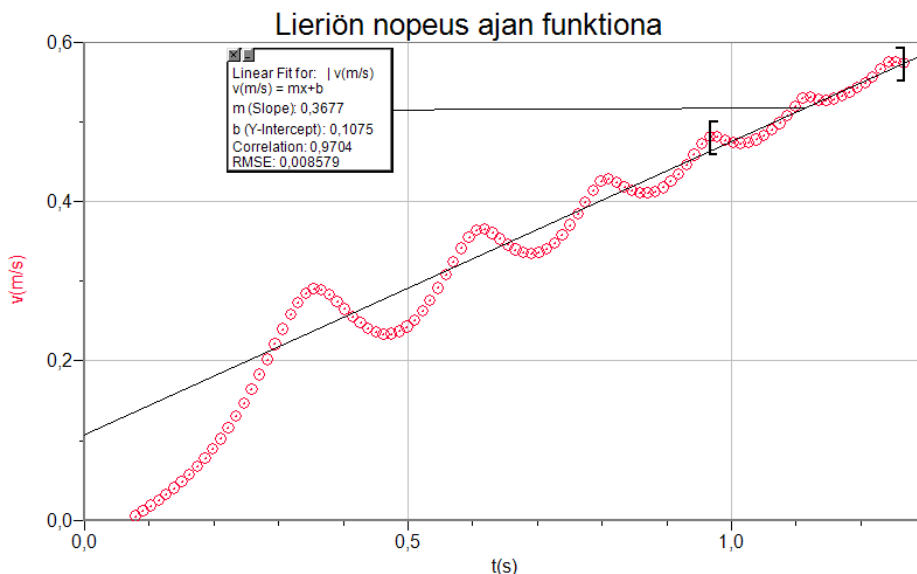
Kun massakeskipisteen pystysuuntainen nopeus on ensin alaspäin ja sitten ylöspäin, massakeskipisteellä täytyy olla kiihtyvyyttä ylöspäin. Vastaavasti kun massakeskipisteen nopeus on ensin ylöspäin ja sitten alaspäin, massakeskipisteellä täytyy olla kiihtyvyyttä alaspäin. 1p (yht. 3p) Newtonin 2. lain nojalla pinnan tukivoima on suurempi kuin lieriön painovoima, kun kiihtyvyyttä on ylöspäin, ja pinnan tukivoima on pienempi kuin painovoima, kun kiihtyvyyttä on alaspäin.

1p (yht. 4p)

Vastaava ilmiö tapahtuu, kun lieriö vierii pitkin kaltevaa tasoa. Tämän takia tukivoimalla on paikallisia maksimi- ja minimiarvoja. 1p (yht. 5p)

- 10.4 Lieriö koskettaa alustaa niin kauan kun tukivoima on olemassa. 1p (yht. 1p) Kun lieriö irtoaa alustasta, tukivoiman suuruus on nolla. 1p (yht. 2p) Aineiston kuvaajan perusteella tukivoiman minimi käy nollassa hetkellä $t = 1,9$ s, joten lieriö irtoaa alustasta hetkellä $t = 1,9$ s. 2p (yht. 4p) Lukematarkkuuden vuoksi myös vastaus $t = 2,0$ s hyväksytään.

- 10.5 Piirretään lieriön nopeus ajan funktiona ja sovitetaan suora kuvaajan loppuosaan, jolloin suoran fysikaalinen kulmakerroin vastaa kiihtyvyyttä, jota lieriön massakeskipisteen tason suuntainen kiihtyvyyttä lähestyy.



3p (yht. 3p)

Kysytyksi kiihtyvyydeksi saadaan

$$a = 0,3677 \dots \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,37 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad \text{2p (yht. 5p)}$$

Vastaus: Lieriön massakeskipisteen tason suuntainen kiihtyvyys lähestyy arvoa $0,37 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Pisteyksestä kohdassa 10.5:

- Oikein piirretty kuvaaja ja järkevästi sovitettu suora = 3p,
- Puuttuu suure tai yksikkö kuvaajan akseliilta = -1p / puute,
- Suora sovitettu selkeästi virheellisesti tai suora puuttuu = -1p,
- Suoran sovitus hyväksytään, jos sovitettu suoraa kulkee hyvin datan loppupään minimien ja maksimien välissä siten, että se vastaa silmämääräisesti suoraa, jota data näyttää lähestyvän. Jos tämä toteutuu, hyväksyttävä fyysikaalinen kulmakerroin voi olla välillä $0,36 \text{ m/s}^2 \dots 0,41 \text{ m/s}^2$.
- Muu pieni virhe tai puute kuvaajassa = -1p / puute,
- Otsikko puuttuu kuvaajasta = -0p,
- Oikea vastaus = 2p,

- Oikea vastaus, muttei pyöristetty järkevälle vastaukselle = -1p.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!

11. Maapallon pinnan lämpösäteily (20 p.)

Aineisto:

11.A [Kuva: Maanpinnan lämpösäteilyn spektri yläilmakehästä mitattuna](#)

11.B [Kuva: Maanpinnan lämpösäteilyn alueellinen jakauma yläilmakehästä mitattuna](#)

Kuva [11.A](#) esittää maapallon pinnan lähettämän lämpösäteilyn intensiteettijakaumaa eli spektriä, joka on mitattu ilmakehän yläosasta. Spektri on esitetty aaltoluvun eli aallonpituuden käänteisluvun funktiona.

- 11.1 Intensiteettijakauman muodossa erottuu selkeitä kuoppia kohdissa A ja B. Mikä on kohdan A kuoppaa vastaava aallonpituusväli? Mistä nämä kuopat intensiteettijakaumassa johtuvat? (6 p.)
- 11.2 Mitattuun dataan on sovitettu mustan kappaleen säteily Spektri. Kuinka suuri on sovitteen perusteella maapallon pintalämpötila? Hyödynnä tässä Wienin siirtymälakia taajuuden suhteen esitettyinä:

$$f_{\max} = \frac{\alpha}{h} k T,$$

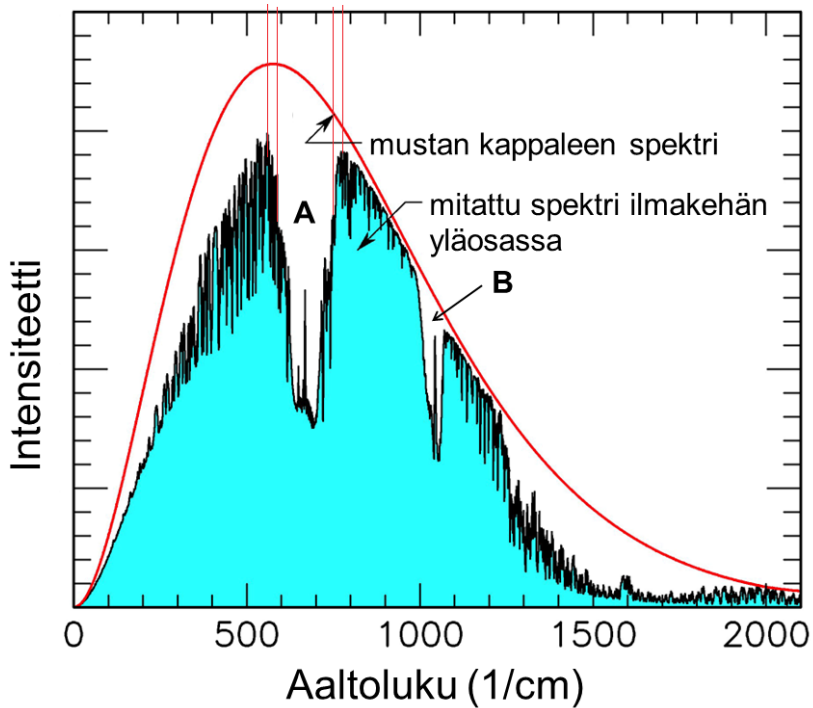
jossa h on Planckin vakio, k on Boltzmannin vakio ja $\alpha \approx 2,8214$. (8 p.)

- 11.3 Kuva [11.B](#) esittää yläilmakehästä mitattua lämpösäteilyn intensiteetin alueellista jakaumaa maapallolla. Jakauma on keskiarvoistettu vuosilta 2003–2011. Selitä lyhyesti, mitkä tekijät vaikuttavat säteilyn alueellisiin vaihteluihin. (6 p.)

Ratkaisu.

- 11.1 Kuvaajasta nähdään, että kohdan A kuoppaa vastaava aaltolukuväli on noin $570 \frac{1}{\text{cm}}$ ja $770 \frac{1}{\text{cm}}$ välissä. 1p (yht. 1p)

Lisäselitys: Luultavasti alarajaksi hyväksytään arvot väliltä $560 \frac{1}{\text{cm}} \dots 590 \frac{1}{\text{cm}}$ ja ylärajaksi väliltä $750 \frac{1}{\text{cm}} \dots 780 \frac{1}{\text{cm}}$. Alla olevasta kuvasta näkee, miten nämä rajat on arvioitu.



Lasketaan näitä rajoja vastaavat aallonpituudet.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{A1} &= \frac{1}{770 \frac{1}{\text{cm}}} \\
 &= \frac{1}{770} \text{ cm} \\
 &= \frac{1}{770} \cdot 10^{-2} \text{ m} \\
 &= 1,2987 \dots \cdot 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 12,987 \dots \cdot 10^{-6} \text{ m} \\
 &= 12,987 \dots \mu\text{m} \\
 &\approx 13 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{A2} &= \frac{1}{570 \frac{1}{\text{cm}}} \\
 &= \frac{1}{570} \text{ cm} \\
 &= \frac{1}{570} \cdot 10^{-2} \text{ m} \\
 &= 1,7543 \dots \cdot 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 17,543 \dots \cdot 10^{-6} \text{ m} \\
 &= 17,543 \dots \text{ } \mu\text{m} \\
 &\approx 18 \text{ } \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Kuoppaa A vastaava aallonpituusväli on siis $13 \text{ } \mu\text{m} \dots 18 \text{ } \mu\text{m}$. 2p (yht. 3p)

Kuopat spektrissä johtuvat siitä, että mittaus suoritetaan yläilmakehässä, mikä seurauksena osa maanpinnan lähettämästä säteilystä absorboituu ilmakehän molekyyleihin ennen kuin säteily saapuu mittauslaitteistoon. Absorboituminen tapahtuu tietyillä, kyseisille molekyyleille ominaisilla aallonpituusalueilla, mikä seurauksena mittauslaitteisiin päätyy vähemmän näitä aallonpituuksia ja spektrissä havaitaan näillä aallonpituusalueilla kuopat. 3p (yht. 6p) **Lisätieto:** Erityisesti kolmiatomiset molekyylit, kuten vesimolekyylit, hiilidioksidimolekyylit ja otsonimolekyylit absorboivat runsaasti infrapunasäteilyä.

Vastaus: Kuoppaa A vastaava aallonpituusväli on $13 \text{ } \mu\text{m} \dots 18 \text{ } \mu\text{m}$.

Pisteytyksestä:

- Oikein laskettu alaraja = 1p,
- Oikein laskettu yläraja = 1p,
- Laskettu ala- ja yläraja oikein, mutta ei annettu vastauksena aallonpituusväliä = -1p.

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

$$\alpha = 2,8214$$

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Kuvaajan perusteella sovitteen huippukohta on aaltoluvun 580 1/cm kohdalla.

1p (yht. 1p)

Tämä vastaa aallonpituutta

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} &= \frac{1}{580 \frac{1}{\text{cm}}} && \text{1p (yht. 2p)} \\ &= \frac{1}{580} \text{ cm} \\ &= \frac{1}{580} \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ &= 1,7241 \dots \cdot 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$

Aaltoliikkeen perusyhtälön nojalla

$$c = f_{\max} \cdot \lambda_{\max} \quad \text{1p (yht. 3p)} \quad (1)$$

Wienin siirtymälain nojalla

$$f_{\max} = \frac{\alpha}{h} kT \quad \text{1p (yht. 4p)} \quad (2)$$

Ratkaistaan CAS-ohjelman avulla maapallon pintalämpötila T yhtälöistä (1) ja (2).

$$\begin{aligned} T &= \frac{ch}{\alpha k \lambda_{\max}} && \text{2p (yht. 6p)} \\ &= \frac{2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{2,8214 \cdot 1,380649 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 1,7241 \dots \cdot 10^{-5} \text{ m}} \\ &= 295,771 \dots \text{ K} \\ &\approx 300 \text{ K} && \text{2p (yht. 8p)} \end{aligned}$$

Vastaus: Maapallon pintalämpötila on 300 K.

Huomaa! Vastaukseksi käy myös $22,621 \dots \text{ }^\circ\text{C} \approx 23 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 11.3 Aineiston kuvasta nähdään, että maanpinnan lähettämän lämpösäteilyn intensiteetti on keskimäärin sitä pienempi, mitä lähempänä napa-alueita ollaan. Vastaavasti se on keskimäärin sitä suurempi, mitä lähempänä päiväntasaajaa ollaan. 1p (yht. 1p) Se on kuitenkin pienempi aivan päiväntasaajan kohdalla kuin hieman päiväntasaajasta pohjoiseen tai etelään. Nämä erot johtuvat Auringosta saapuvan säteilyn intensiteetistä eri leveysasteilla, mikä puolestaan riippuu siitä, kuinka suuressa kulmassa Auringon säteily kohdistuu maanpintaan. 2p (yht. 3p) Maapallon pyörimisakseli on hieman kallellaan maapallon kiertorataan nähden, mistä johtuen Auringosta saapuva säteily osuu kohtisuoraan alueille, jotka ovat hieman päiväntasaajasta pohjoiseen ja etelään. Tämän seurauksena intensiteetti on suurimmillaan näillä alueilla.

Lisäksi kuvasta nähdään, että maanpinnan lähettämän lämpösäteilyn intensiteetissä on vaihtelua myös samalla leveysasteella. 1p (yht. 4p) Merkittävin tähän vaikuttava tekijä on alueelliset erot pilvipeitteen määrässä. 1p (yht. 5p) Kun pilviä on vähemmän, Auringon säteilyä pääsee absorboitumaan enemmän maanpintaan, minkä seurauksena maanpinnasta emittoituu myös enemmän lämpösäteilyä. Jos pilviä on enemmän, osa Auringosta saapuvasta säteilystä heijastuu pilvistä ennen maanpinnalle pääsyä, minkä seurauksena maanpinta emittoi vähemmän lämpösäteilyä. Pilvistä heijastuneessa Auringon säteilyssä on pienempi osuus lämpösäteilyä kuin maanpinnan emittoimassa säteilyssä, ja tämän takia pilvisillä alueilla yläilmakehään maanpinnasta päin saapuvassa säteilyssä on keskimäärin vähemmän lämpösäteilyä kuin pilvettömimmillä alueilla. 1p (yht. 6p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa!