

Hyvän vastauksen piirteet: FI – Fysiikka

30.3.2022

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 30.3.2022

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

Fysiikan ylioppilaskokeessa arvioinnin kohteita ovat lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisen fysiikan tiedon osaaminen ja soveltamisen taito. Kokeessa arvioidaan myös kokelaan kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitoja. Näitä ovat muun muassa kokeensuunnittelu, yleisimpien mittavälineiden käytön hallinta, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen. Kokeessa arvioidaan niin ikään kokelaan kykyä ymmärtää ja eritellä fysiikan luonteen mukaisia aineistoja. Arvioinnissa kiinnitetään huomiota siihen, että vastauksissa on käytetty fysiikan käsitteitä ja käsitteitä asianmukaisesti ja että vastaukset on esitetty selkeästi ja asiasisällön puolesta johdonmukaisesti ja hyvin jäsennellysti.

Hyvä vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Siitä käy ilmi, että kokelas on tunnistanut oikein fysikaalisen ilmiön ja tarkastelee tilannetta fysikaalisesti mielekkäällä tavalla. Kokelas osaa kuvata sovellettavan fysikaalisen mallin ja perustella, miksi mallia voidaan käyttää kyseisessä tilanteessa. Kun vastaukseen liittyy tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafisia esityksiä, nämä on tehty selkeästi ja fysiikassa noudatettujen yleisten periaatteiden mukaisesti. Esimerkiksi voimakuviossa voimavektorit on erotettu vektorien komponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä vaativan tehtävän hyvässä vastauksessa on suurehtälöt ja kaavat perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen fysiikan kannalta oikein. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut ja muut riittävät perustelut sekä lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei tarvitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä symbolia, lukuarvoa ja yksikköä kullekin suurelle käytetään. Symbolisten laskentaohjelmistojen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu ja lopputuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen suhteen ratkaistu suurehtälö.

Sisällys

Osa 1: 20 pisteen tehtävä

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

Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. [Tuulivoimala](#) 15 p.
3. [Kaasun puristus](#) 15 p.
4. [Valovastus](#) 15 p.
5. [Hissi](#) 15 p.
6. [Itämeren aallot](#) 15 p.
7. [Sumukammio](#) 15 p.
8. [Boori-neutronikaappaushoito](#) 15 p.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Maissipellon energiatuotanto	20 p.
10. Vierivä lieriö	20 p.
11. Maapallon pinnan lämpösäteily	20 p.
Koe yhteensä	120 p.

Osa 1: 20 pisteen tehtävä

1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta 20 p.

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

- Kokonaisvoima suuntautuu vinosti eteen- ja ylöspäin. (2 p.)

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. (2 p.)

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

- Sen tilavuus kasvaa ja lämpötila laskee. (2 p.)

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. (2 p.)

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

- Elektronin rata kaareutuu, kunnes sen liike on likimain kenttäviivojen suuntaista. (2 p.)

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 kokonaisliikemääriä ja pallojen yhteenlaskettua liike-energiaa koskevista väittämistä on tosi? **2 p.**

- Liikemäärä ja liike-energia säilyvät. (2 p.)

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 (2 p.)

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.**

- 103 dB (2 p.)

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

- Pyörittänopeuden nelinkertaistaminen. (2 p.)

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

- Kasvattamalla laserpulsin valon taajuutta. (2 p.)

Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. Tuulivoimala 15 p.

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).

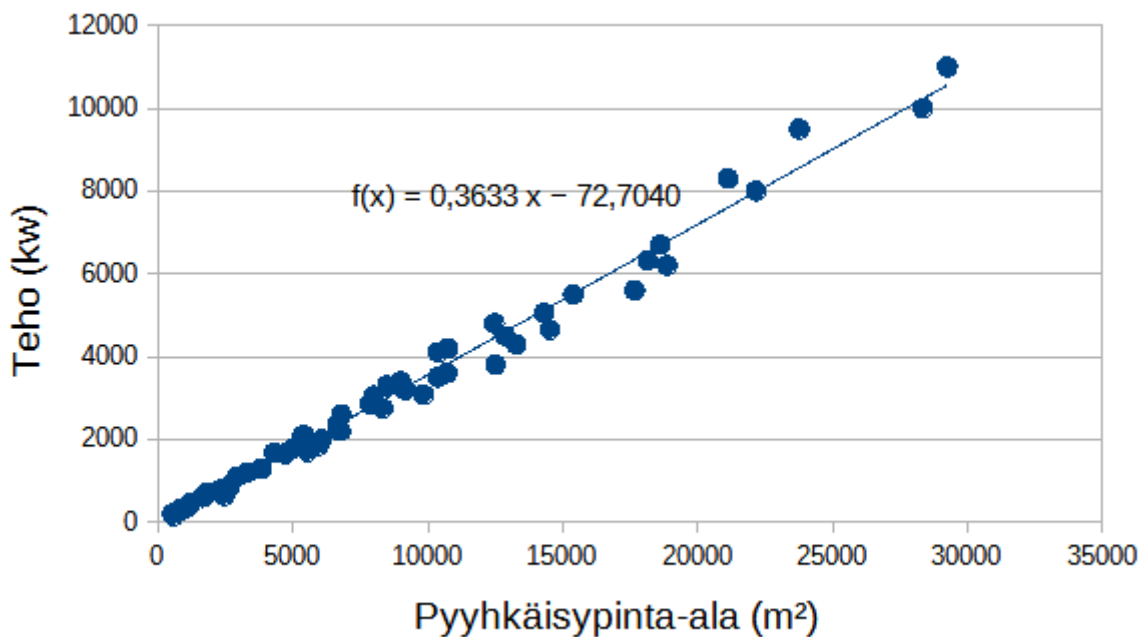
Taulukossa 2.B on annettu valmistajien tuulivoimaloille ilmoittamat tehot. Määritä taulukon tietojen perusteella, kuinka paljon tuulivoimalan teho tyypillisesti kasvaa, jos roottorin pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m^2 . Käytä graafista esitystä.

12 p.

Roottorin pyyhkäisyypinta-ala kullekin taulukon tuulivoimalalle voidaan laskea roottorin halkaisijan d avulla:

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

Voimaloiden tehon riippuvuus pyyhkäisyypinta-alasta nähdään sijoittamalla datapisteet A, P -koordinaatistoon.



Pistejoukkoon sovitetun suoran kulmakerroin kertoo tehon muutoksen pyyhkäisyypinta-alan kasvaessa:

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta A} = 0,3633 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}.$$

Tästä saadaan tehon kasvuksi

$$\Delta P = k \cdot \Delta A = 0,3633 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 25 \text{ m}^2 = 9,083 \text{ kW} \approx 9,1 \text{ kW}.$$

Tyypillisen tuulivoimalan teho kasvaa noin 9,1 kW, kun pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m^2 .

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

Tuulivoimalan suunnittelussa tai rakentamisessa tarvittavia fysikaalisten tieteiden osa-alueita ovat esimerkiksi

- akustiikka
- geofysiikka
- lujuusoppi
- materiaalitiede/-tekniikka
- mekaniikka
- meteorologia
- sähkötekniikka
- termofysiikka
- virtausmekaniikka.

3. Kaasun puristus 15 p.

3.1 Määritä kaasun paine, kun kaasun lämpötila on saavuttanut loppulämpötilan $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. 8 p.

Käytetään ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$, jossa R on kaasuvakio ja n kaasun ainemäärä. Riittää tarkastella alkutilannetta ja lopputilannetta. Kaasun (ilman) alkulämpötila on $T_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 276,15\text{ K}$ ja loppulämpötila $T_2 = 24\text{ }^{\circ}\text{C} = 297,15\text{ K}$, ja tilavuus alussa on $V_1 = 1,1 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ ja tilavuus lopussa $V_2 = 0,38 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$. Kaasun paine alussa on $p_1 = 101\text{ kPa}$. Merkitään painetta lopussa p_2 :lla.

Koska kaasun ainemäärä ei muutu, voidaan ideaalikaasun tilanyhtälön perusteella kirjoittaa

$$p_1 \frac{V_1}{T_1} = p_2 \frac{V_2}{T_2}.$$

Kaasun paine lopussa on

$$p_2 = p_1 \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} \approx 310\text{ kPa}.$$

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

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

7 p.

Kun mäntää työnnetään sisään, voima tekee työtä, jolloin kaasun sisäenergia kasvaa ja kaasun lämpötila nousee. Ideaalikaasun tilanyhtälön avulla saadaan kaasun lämpötilaksi $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilan tasoittuminen $24\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen tarkoittaa lämpötilan laskua. Tällöin kaasusta siirtyy energiaa lämpönä ympäristöön ja kaasun sisäenergia pienenee. Kaasun sisäenergia lopussa on hiukan suurempi kuin alussa.

4. Valovastus 15 p.

4.1 Mikä on suurin valaistusvoimakkuuden arvo, jolla ledi vielä palaa? 3 p.

Simulaation perusteella ledi syttyy, kun valaistusvoimakkuus on $24,3\text{ lx}$ tai vähemmän.

4.2 Mikä on ledin kynnysjännitteen arvo? 3 p.

Ledin jännite etuvastuksen yli on $U_1 = 2,9\text{ V}$. Koska pariston lähdejännite on $E = 5,0\text{ V}$, ledin kynnysjännite on $U_2 = E - U_1 = 2,1\text{ V}$.

4.3 Mitkä ovat vastusten R_1 ja R_{LDR} resistanssien arvot, kun valaistusvoimakkuus on 540 lx? 4 p.

Vastuksen R_1 resistanssi on $R_1 = U_1/I_1$, jossa U_1 ja I_1 ovat mitatut jännite ja sähkövirta. Kun valaistusvoimakkuus on 540 lx, vastuksen R_1 resistanssi on

$$R_1 = \frac{4,591 \text{ V}}{0,675 \text{ mA}} = 6,8 \text{ k}\Omega.$$

Tällöin kynnysjännite on $U_2 = E - U_1 = 0,409 \text{ V}$. Vastuksissa on sama sähkövirta, joten valovastuksen resistanssi on

$$R_{LDR} = \frac{0,409 \text{ V}}{0,675 \text{ mA}} = 610 \Omega.$$

4.4 Tarkastellaan niitä valaistusvoimakkuuden arvoja, joilla ledi ei pala. Kasvaako vai pieneneekö piirin valovastuksen resistanssi valovoimakkuuden kasvaessa tällä alueella? 5 p.

Edellä laskettiin, että valaistusvoimakkuuden ollessa 540 lx, on $R_{LDR} = 610 \Omega$. Tarkastellaan tilannetta valovoimakkuuden ollessa 900 lx. Tällöin on

$$R_{LDR}(900 \text{ lx}) = \frac{(5,0 - 4,703) \text{ V}}{0,692 \text{ mA}} = 430 \Omega,$$

eli resistanssi pienenee valaistusvoimakkuuden kasvaessa. Simulaatiota kokeilemalla havaitaan, että kun ledi ei pala, suurempi valovoimakkuus johtaa aina suurempaan mitattuun jännitteeseen. Täten valovastuksen resistanssin on pienennettävä valovoimakkuuden lisääntyessä.

Vaihtoehtoinen tapa:

Kirchhoffin II lain mukaan jännitehäviöt piirissä ovat piirin lähdejännitteen suuruiset. Tarkastellaan tilannetta ennen kuin ledi syttyy. Virtaa ei kulje ledin kautta, ja ensimmäisen vastuksen jännitehäviö saadaan jännitteenjaolla

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_{LDR}}.$$

Toisen vastuksen jännitehäviö on siis

$$U_2 = E \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_{LDR}}\right),$$

ja se kasvaa, kun termi $(R_1 + R_{LDR})$ kasvaa. Koska R_1 on vakio, vastuksen jännitehäviö kasvaa, kun R_{LDR} kasvaa. Koska ledi syttyy, kun valaistus vähenee, valovastuksen resistanssi kasvaa valaistuksen vähetessä.

5. Hissi 15 p.

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.

Hissin ollessa paikallaan sen ja kännykän kiihtyvyys on nolla, joten dynamiikan peruslaista $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ seuraa skalaariyhtälö (valitaan suunta ylöspäin positiiviseksi suunnaksi)

$$T_1 - mg = 0,$$

jossa T_1 on jousivaa'an kännykkään kohdistama voima ja m kännykän massa. Tästä saadaan kännykän massaksi

$$m = \frac{T_1}{g} = \frac{1,93 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 0,196738 \text{ kg}.$$

(4 p.)

Kun hissi on lähtenyt liikkeelle, sillä ja kännykällä on kiihtyvyys \vec{a} . Dynamiikan peruslaki on skalaarimuodossa

$$T_2 - mg = T_2 - T_1 = ma,$$

jossa T_2 on jousivaa'an kännykkään kiihtyvän liikkeen aikana kohdistama jousivoima. Kiihtyvyydeksi saadaan

$$a = \frac{T_2 - T_1}{m} = \frac{2,23 \text{ N} - 1,93 \text{ N}}{0,196738 \text{ kg}} \approx 1,52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Koska a on positiivinen, suuntautuu hissin kiihtyvyys ylöspäin.

(4 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.**

Kännykän kiihtyvyyden aiheuttaa jousivaa'an lisääntynyt jousivoima. Sen suuruus on $F = kx$, jossa x on se lisävenymä, jonka jousi saa hissin lähdettyä liikkeelle, ja k on jousivakio. Kännykkä saa saman kiihtyvyyden kuin hissi, joten kohdan 3.1. perusteella

$$F = T_2 - T_1.$$

Lisävenymä on $x = 4,5 \text{ cm}$, joten jousivakioksi saadaan

$$k = \frac{F}{x} = \frac{T_2 - T_1}{x} = \frac{2,23 \text{ N} - 1,93 \text{ N}}{0,045 \text{ m}} \approx 6,7 \frac{\text{N}}{\text{m}}.$$

6. Itämeren aallot 15 p.

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

- 7 (2 p.)

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

- 0,2 (2 p.)

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

- 8 (2 p.)

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

- 130 m (2 p.)

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

- 20 m (2 p.)

6.6 Mitä tarkoittaa aineistossa käytetty termi pyyhkäisymatka? **2 p.**

- Matka, jolla tuuli on voinut vapaasti kasvattaa aallokkoa havaintopaikalle asti (2 p.)

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

- Taajuus (3 p.)

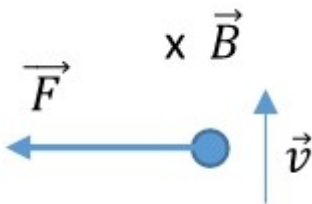
Osatehtävät 6.1–6.3 arvostellaan lautakunnassa keskitetysti, joten opettaja ei tee alustavaa arvostelua. Keskitetysti arvosteltavan vastauksen pisteet päivittyvät arvostelupalveluun lopullisen arvostelun edetessä. Vastauksen kohdalla näkyvä arvostelupalvelussa viiva (-), kunnes kyseinen vastaus on arvosteltu.

7. Sumukammio 15 p.

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

Hiukkaseen kohdistuva voima \vec{F} on kohtisuorassa sekä hiukkasen nopeutta \vec{v} että magneettikenttää \vec{B} vastaan. Positiivisesti varattuun hiukkaseen kohdistuu magneettisen voiman suuntasäännön perusteella voima vasemmalle ja negatiivisesti varattuun oikealle. Jotta hiukkanen kulkisi ympyränkaarta pitkin, siihen kohdistuvan voiman suunnan tulee olla kaarevuuskeskipistettä kohti eli vasemmalle. Hiukkasen varaus on siis positiivinen. Oheisesta voimakuviosta ilmenee positiivisesti varattuun hiukkaseen kohdistuvan voiman suunta.

(4 p.)



Voiman \vec{F} suuruus on $F = qvB$, koska hiukkasen nopeus on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Newtonin II lain perusteella voidaan kirjoittaa $qvB = ma$. Kiihtyvyys tasaisessa ympyräliikkeessä on $a = v^2/r$. Saadaan yhtälö $qvB = mv^2/r$ ja edelleen $qBr = mv$.

Liike-energian lausekkeesta $E = 1/2mv^2$ saadaan nopeudelle lauseke $v = \sqrt{2E/m}$, joten $qBr = m\sqrt{2E/m}$ eli $q^2 B^2 r^2 = 2mE$. Hiukkasen massaksi saadaan

$$m = \frac{q^2 B^2 r^2}{2E} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2 (0,0038 \text{ T})^2 (0,045 \text{ m})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2500 \text{ J}} = 9,4 \cdot 10^{-31} \text{ kg}.$$

Tämä on yhtä suuri kuin elektronin massa, joten hiukkanen on positroni.

(7 p.)

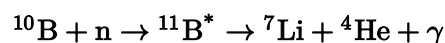
7.2 Selitä, miksi hiukkasen on täytyntä kulkea kuvassa nuolella merkittyyn suuntaan eikä päinvastaiseen suuntaan. 4 p.

Hiukkasen radan kaarevuussäde on pienempi kuvan yläosassa kuin kuvan alaosassa. Pienempi kaarevuussäde vastaa pienempää nopeutta. Kulkeminen muovikalvon läpi ei voi kasvattaa hiukkasen liike-energiaa eikä nopeutta, mutta se voi pienentää niitä. Näin kulkusuunnan pitää olla kuvassa esitetyn mukainen.

8. Boori-neutronikaappaushoito 15 p.

8.1 Kirjoita reaktioyhtälö välivaiheineen neutronikaappauksesta lopputuotteisiin. 5 p.

Reaktioyhtälö:



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

Alfahiukkanen saa suurimman osan vapautuvasta kineettisestä energiasta (2,31 MeV), mutta myös ${}^7\text{Li}$ -ydin saa kineettistä energiaa. Molempien kantama on hyvin lyhyt, ja niiden energia absorboituu syöpäsolukkaan. Vapautuvat gammahiukkaset vuorovaikuttavat heikommin kudoksen kanssa, joten niitä pääsee etenemään myös syöpäkasvainta ympäröivään terveeseen solukkaan sitä vaurioittaen.

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.**

Ydinreaktorissa neutroneiden tuotto perustuu siihen, että ydinpolttoaineessa on raskaita, helposti fissioituvia isotooppeja, kuten ${}^{235}\text{U}$ tai ${}^{239}\text{Pu}$. Absorboidessaan neutronin ne halkeavat kahdeksi tai useammaksi tytärytimeksi. Samalla vapautuu lisää neutroneita, jotka voivat ylläpitää ketjureaktiota. Boori-neutronikaappaushoidossa käytetään näitä fissiossa vapautuneita neutroneita. Reaktioiden määrää voidaan säädellä moderaattorilla, kuten vedellä, joka hidastaa neutroneita, sekä säätösauvoilla, jotka voivat absorboida niitä.

Uudessa tekniikassa käytetään hiukkaskiihdytintä ja litiumista eli kevyestä alkuaineesta tehtyä kohtiota. Hiukkaskiihdytin kiihdyttää protoneja kohtioon. Näin syntyneet isotoopit tuottavat hajotessaan vapaita neutroneita. Reaktioiden tapahtumiseen vaaditaan energiaa, joka tulee hiukkaskiihdyttimestä. Reaktiot loppuvat, kun hiukkassuihku pysäytetään.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Maissipellon energiatuotanto 20 p.

9.1 Maissipellolle Auringosta tuleva vuosittainen energia pinta-alaa kohden on keskimäärin 1,46 MWh/m².

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

6 p.

Maissinviljelyn keskisato on $s_m = 7\,980 \text{ kg/ha} = 0,7980 \text{ kg/m}^2$, ja etanolin tiheys on $\rho_e = 790 \text{ kg/m}^3 = 0,790 \text{ kg/l}$. Pellosta tuotetun etanolin massa pinta-alaa kohden on

$$m_e = s_m \varepsilon_e \rho_e = 0,262885 \text{ kg/m}^2,$$

jossa $\varepsilon_e = 0,417 \text{ l/kg}$ on etanolituotanto yhtä kilogrammaa maissia kohden. Tuotetun etanolin hyödynnettävä energia pinta-alaa kohden on

$$E_e = m_e H_e \eta_e = s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e = 3\,111,51 \text{ kJ/m}^2,$$

jossa $H_e = 26,9 \text{ MJ/kg}$ on etanolin lämpöarvo ja $\eta_e = 0,44$ on etanolilla toimivan polttomoottorin hyötysuhde. Auringon säteilyn vuosittainen kokonaisenergia pinta-alaa kohden on

$$E_a = 1,46 \text{ MWh/m}^2 \cdot 3\,600 \text{ s/h} = 5\,256\,000 \text{ kJ/m}^2.$$

Energiantuotannon maksimaalinen hyötysuhde on

$$\eta = \frac{E_e}{E_a} = \frac{s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e}{E_a} = 0,000591992 \approx 5,9 \cdot 10^{-4}.$$

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 bioetanoliin pohjautuvan energian tuotto prosentteina, jos viljelyyn ja etanolivalmistukseen kulunut prosessienergia on 7 460 kJ jokaista etanolilitraa kohden.

5 p.

Tuotto kuvaa, kuinka moninkertaisesti prosessista saadaan energiaa verrattuna tarvittavaan prosessienergiiaan, eli tuotto on

$$y = \frac{E_e - E_p}{E_p},$$

jossa E_e on etanolista saatava energia pinta-alaa kohti ja E_p on prosessienergia pinta-alaa kohti.

Etanolista saatava energia on sama kuin kohdassa 9.1 eli $E_e = s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e = 3\,111,51 \text{ kJ/m}^2$. Etanolivalmistukseen kulunut prosessienergia yhtä litraa kohti on $E_l = 7\,460 \text{ kJ/l}$.

Prosessienergia pinta-alaa kohden saadaan seuraavasti:

$$E_p = E_l s_m \varepsilon_e = 2\,482,43 \text{ kJ/m}^2,$$

jossa s_m on maissin vuosittainen keskisato pinta-alaa kohden ja ε_e on etanolituotanto maissista.

Tästä seuraa, että tuotto on

$$y = \frac{E_e - E_p}{E_p} = \frac{s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e}{E_l s_m \varepsilon_e} - 1 = \frac{\rho_e H_e \eta_e}{E_l} - 1 = 0,253410 \approx 25 \%$$

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 pellolta kennoilla kerätty aurinkoenergia verrattuna maissinviljelystä saatun bioenergiaan?

4 p.

Kun biojätteistä saatu kaukolämpö lasketaan mukaan, saadaan vuosittain tuotetuksi bioenergian kokonaismääräksi pinta-alaa kohden

$$E_b = E_e + E_j = s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e + s_j H_j \eta_j,$$

jossa $s_j = 7\,500 \text{ kg/ha} = 0,7500 \text{ kg/m}^2$ on biojätteiden keskimääräinen massa pinta-alaa kohden, $H_j = 19,0 \text{ MJ/kg}$ on jätteiden lämpöarvo ja $\eta_j = 0,85$ on kaukolämpötuotannon hyötysuhde.

Etanolin hyödynnettävä energia on sama kuin kohdassa 9.1 eli $E_e = s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e = 3\,111,51 \text{ kJ/m}^2$, ja biojätteistä saatu energia on $E_j = s_j H_j \eta_j = 12\,112,5 \text{ kJ/m}^2$.

Kokonaisbioenergiaa voidaan verrata aurinkoenergiaan, joka on 18 % auringonsäteilyn kokonaisenergiasta ($E_a = 5\,256\,000 \text{ kJ/m}^2$, kohdasta 9.1). Aurinkoenergian määrä suhteessa kokonaisbioenergiaan on

$$n = \frac{0,18 \cdot E_a}{E_e + E_j} = \frac{0,18 \cdot E_a}{s_m \varepsilon_e \rho_e H_e \eta_e + s_j H_j \eta_j} = 62,1439 \approx 62.$$

Aurinkoenergian määrä on siis 62-kertainen kokonaisbioenergian määrään verrattuna.

9.4 Etanoliauton polttomoottorilla saadaan etanolin energiasta hyötykäyttöön ainoastaan 44 %. Etanolia 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.

Etanoliauton tankissa olevasta etanolista saadaan energiaa

$$E_{ea} = m_e H_e \eta_e = V \rho_e H_e \eta_e,$$

jossa $V = 65 \text{ l}$ on etanolin tilavuus, ρ_e on etanolin tiheys, H_e on etanolin lämpöarvo ja η_e on etanolilla toimivan polttomoottorin hyötysuhde.

Sähköautossa hyödynnettävä energia on

$$E_{sa} = m_a \omega_a \eta_s,$$

jossa m_a on sähköauton akun massa, ω_a on akun energiatiheys ja η_s on sähkömoottorin hyötysuhde.

Akun energiatiheys on $\omega_a = 150 \text{ Wh/kg} = 540 \text{ kJ/kg}$.

Jos etanoli- ja sähköautojen hyödynnettävät energiat ovat yhtä suuret, eli $E_{ea} = E_{sa}$, niin saadaan yhtälö

$$V \rho_e H_e \eta_e = m_a \omega_a \eta_s.$$

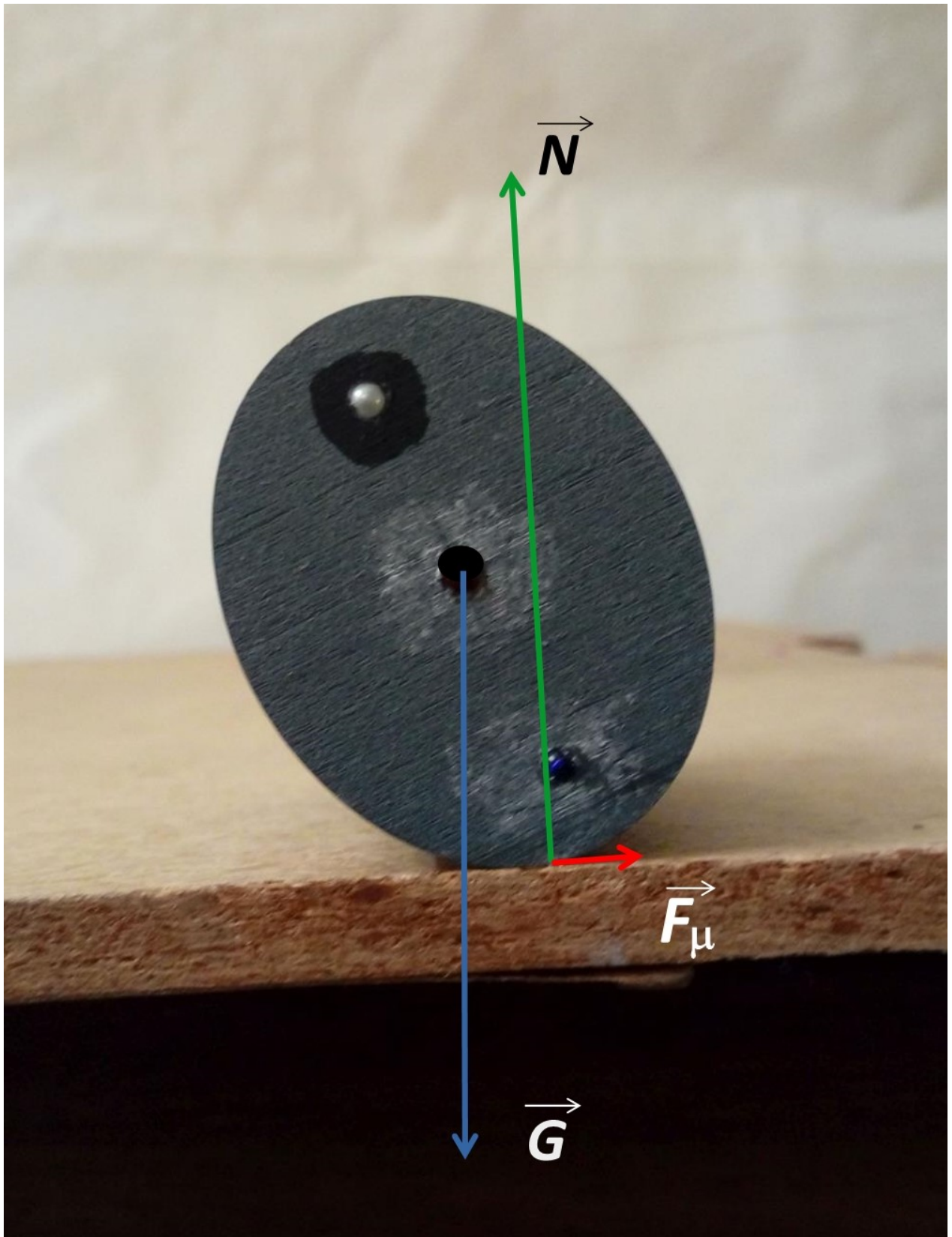
Sähköauton akun massaksi saadaan

$$m_a = \frac{V \rho_e H_e \eta_e}{\omega_a \eta_s} = \frac{65 \text{ l} \cdot 0,790 \text{ kg/l} \cdot 26 \text{ 900 kJ/kg} \cdot 0,44}{540 \text{ kJ/kg} \cdot 0,89} = 1 \text{ 264,62 kg} \approx 1 \text{ 300 kg}.$$

10. Vierivä lieriö 20 p.

10.1 Piirrä kuva lieriöön vaikuttavista voimista kuvan 10.B mukaisessa tilanteessa. 4 p.

Lieriöön vaikuttaa kolme voimaa: paino \vec{G} , alustan tukivoima \vec{N} ja kitka \vec{F}_μ .



10.2 Onko lieriöön vaikuttava kitka liuku- vai lepokitkaa? **2 p.**

Lieriö vierii liukumatta, eli lieriön tasoa koskettava piste (oikeastaan jana) ei liu'u tason suhteen, joten kyseessä on lepokitka.

10.3 Aineistossa 10.C on esitetty simuloimalla määritetty lieriöön kohdistuva tukivoima. Miksi tukivoimalla on paikallisia maksimi- ja minimiarvoja? **5 p.**

Tarkastellaan lieriön massakeskipisteen liikettä tason normaalin suunnassa. Massakeskipisteen etäisyys tasosta vaihtelee jaksollisesti, joten massakeskipiste on tason normaalin suunnassa kiihtyvässä liikkeessä ja Newtonin toisen lain mukaan siihen vaikuttaa nolasta poikkeava kokonaisvoima tason normaalin suunnassa. Lieriöön

kohdistuva paino on vakio, joten tukivoiman on muututtava jaksollisesti, jotta lieriön kiihtyvyys muuttuisi jaksollisesti. Tukivoimalla on jokaisella kierroksella paikallinen maksimi silloin, kun lieriön massakeskipisteen kiihtyvyys saavuttaa maksimiarvon, eli massakeskipisteen nopeus tasosta poispäin kasvaa voimakkaimmin. Paikallinen minimiarvo sillä on silloin, kun kiihtyvyys saavuttaa minimiarvon, eli kun massakeskipisteen nopeus tasoa kohti kasvaa voimakkaimmin.

10.4 Videossa 10.A havaitaan, että lieriö irtoaa jossain vaiheessa alustasta. Vastaa aineiston 10.C perusteella, millä ajanhetkellä tämä tapahtuu. **4 p.**

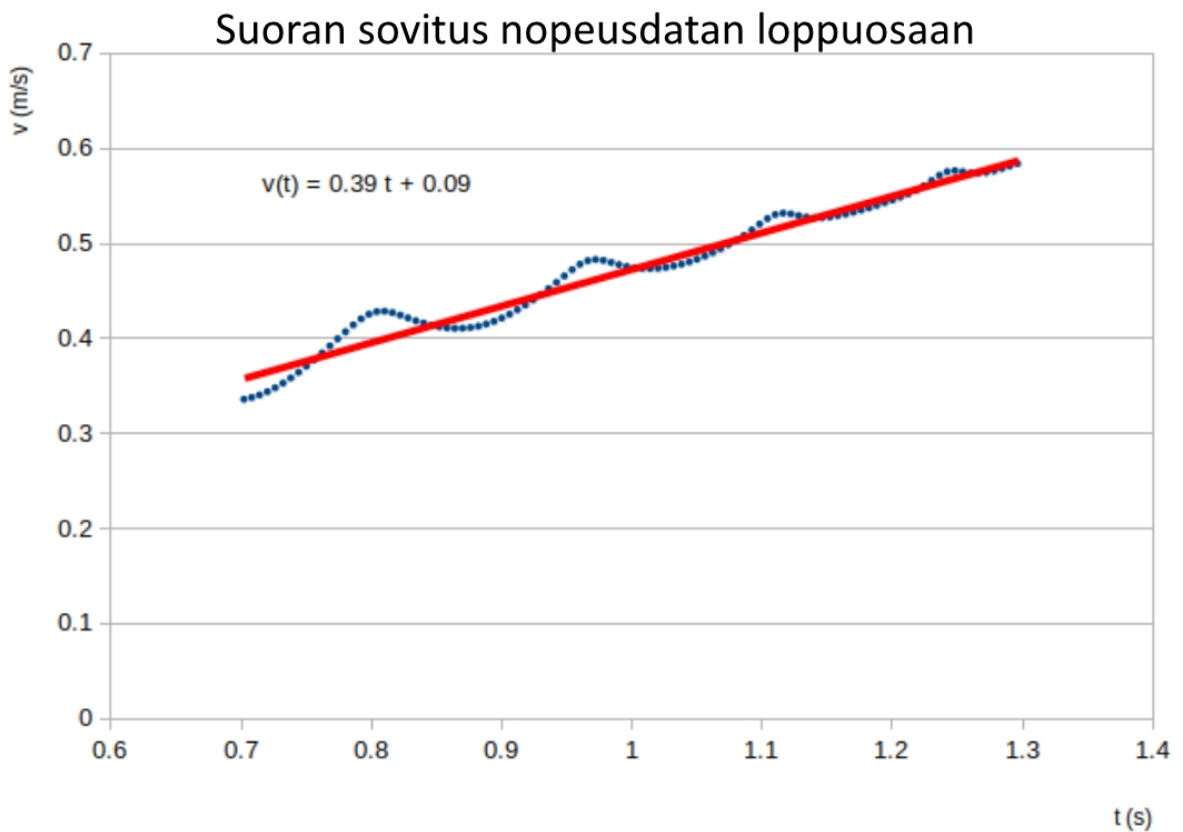
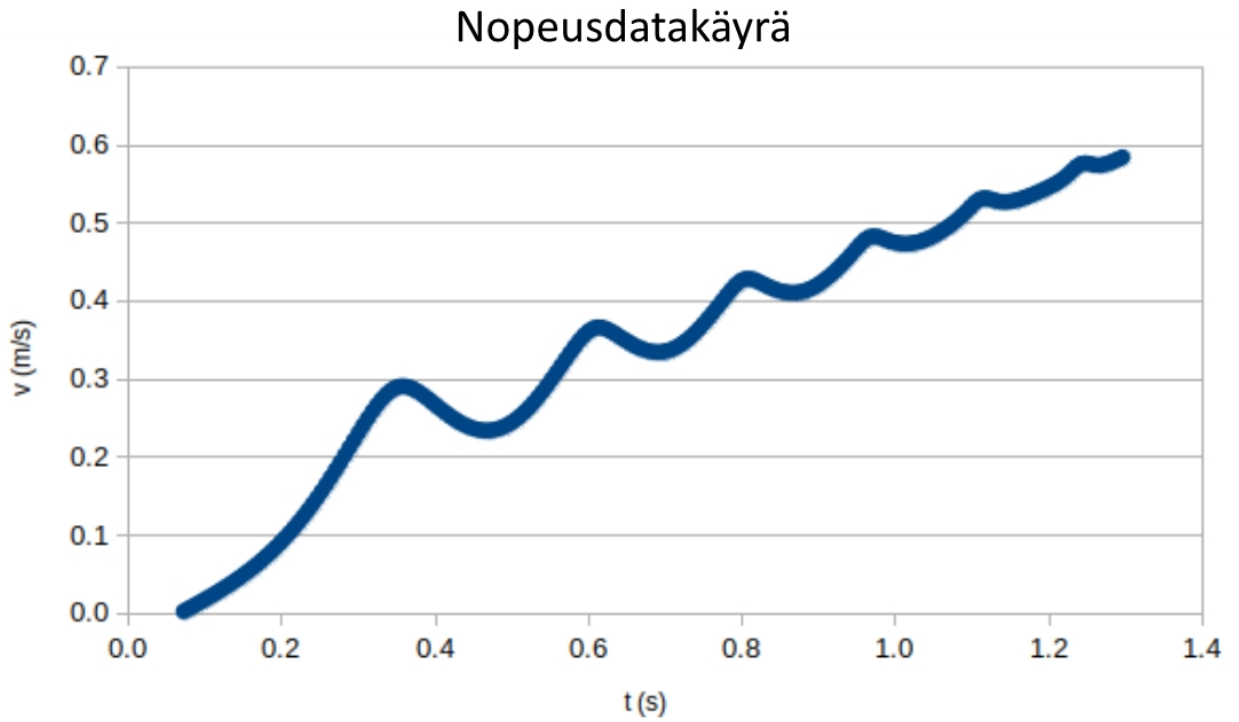
Kun tukivoiman minimi saavuttaa nollan, lieriö irtoaa alustasta. Tämä voidaan havaita kuvassa 10.C ajanhetken 1,91s tai 1,99 s jälkeen (molemmat hyväksytään).

10.5 Taulukossa 10.D on esitetty massakeskipisteen tason suuntainen nopeus ajan funktiona. Määritä sopivaa graafista esitystä käyttäen arvo, jota lieriön massakeskipisteen tason suuntainen kiihtyvyys lähestyy liikkeen edetessä. **5 p.**

Tehdään lineaarinen sovitus nopeusdatan loppupäähän. Sovituksen kulmakertoimesta saadaan keskimääräisen kiihtyvyyden arvoksi

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 0,39 \frac{m}{s^2}.$$

Kiihtyvyys lähestyy tätä arvoa, kun nopeusvaihtelut pienenevät liikkeen edetessä.



Voidaan myös piirtää lineaariset verhoikäyrät, jotka yhdistävät paikalliset maksimit ja minimi (ensimmäinen minimi jätetään pois). Keskiarvo verhoikäyrien kulmakertoimista on myös $0,39 \text{ m/s}^2$.

11. Maapallon pinnan lämpösäteily 20 p.

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.**

Kuvasta nähdään, että kuoppa A alkaa kohdasta $(1/\lambda)_{\min} \approx 570 \text{ cm}^{-1}$ ja päättyy kohtaan $(1/\lambda)_{\max} \approx 770 \text{ cm}^{-1}$. Vastaavat aallonpituudet ovat $\lambda_{\min} = (1/770) \text{ cm} \approx 13 \mu\text{m}$ ja $\lambda_{\max} = (1/570) \text{ cm} \approx 18 \mu\text{m}$.

Kuoppaa A vastaava aallonpituusväli on siis noin 13-18 μm .

(3 p.)

Kuoppia vastaavat vajeet intensiteetissä johtuvat maapallon lähettämän lämpösäteilyn absorboitumisesta ilmakehän kaasuihin.

(3 p.)

11.2 Mitattuun dataan on sovitettu mustan kappaleen säteilyspektri. 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.

Wienin siirtymälaki ilmaisee intensiteettijakauman maksimikohdan riippuvuuden säteilevän kappaleen lämpötilasta. Tehtävässä annetussa Wienin siirtymälakissa f_{\max} on intensiteetin maksimia vastaava taajuus. Tämä taajuus voidaan laskea aaltoluvusta, joka vastaa intensiteetin maksimiarvoa. Sovitteen perusteella $(1/\lambda)_{\max} \approx 580 \text{ cm}^{-1}$. Aaltoliikkeen perusyhtälöstä saadaan

$$f_{\max} = c \left(\frac{1}{\lambda} \right)_{\max}.$$

Wienin siirtymälaki voidaan nyt kirjoittaa muodossa

$$c \left(\frac{1}{\lambda} \right)_{\max} = \frac{\alpha}{h} k T,$$

josta saadaan lämpötilalle suoreyhtälö

$$T = \frac{c h}{\alpha k} \left(\frac{1}{\lambda} \right)_{\max}.$$

Sijoittamalla lukuarvot saadaan

$$T = \frac{2,9979 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 6,6261 \times 10^{-34} \text{ Js}}{2,8214 \cdot 1,3806 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}} \cdot 580 \times 10^2 \text{ m}^{-1} \approx 296 \text{ K} \approx 22,6^\circ \text{C}.$$

Maapallon pintalämpötila on noin 300 K (noin 23 °C).

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.**

Yläilmakehästä mitatun lämpösäteilyn alueellisiin vaihteluihin vaikuttavat ensinnäkin alueiden *lämpötilaerot*. Auringon säteilyä kohdistuu keskimääräisesti eniten päiväntasaajan alueelle, ja sen määrä vähenee leveysasteen kasvaessa. Siksi esimerkiksi napa-alueet ovat viileitä ja lähettävät vähemmän lämpösäteilyä kuin päiväntasaajan seutu.

Toinen merkittävä tekijä on *pilvipiteen vaihtelu*. Esimerkiksi päiväntasaajan alueella on keskimäärin selvästi pilvisempää kuin aavikkoalueilla, kuten Saharassa ja Lähi-idässä. Pilvisillä alueilla pitkäaaltoisen lämpösäteilyn absorboituminen vesihöyryyn korostuu, mikä pienentää yläilmakehässä mitattua lämpösäteilyä.