

Hyvän vastauksen piirteet: FI – Fysiikka

30.3.2022

Lopulliset hyvän vastauksen piirteet 17.5.2022

Lopullisista hyvän vastauksen piirteistä ilmenevät perusteet, joiden mukaan koesuorituksen lopullinen arvostelu on suoritettu. Tieto siitä, miten arvosteluperusteita on sovellettu kokelaan koesuoritukseen, muodostuu kokelaan koesuorituksesta saamista pisteistä, lopullisista hyvän vastauksen piirteistä ja lautakunnan määräyksissä ja ohjeissa annetuista arvostelua koskevista määräyksistä. Lopulliset hyvän vastauksen piirteet eivät välttämättä sisällä ja kuvaa tehtävien kaikkia hyväksytyjä vastausvaihtoehtoja tai hyväksytyyn vastauksen kaikkia hyväksytyjä yksityiskohtia. Koesuorituksessa mahdollisesti olevat arvostelumerkinnot katsotaan muistiinpanoluonteisiksi, eivätkä ne tai niiden puuttuminen näin ollen suoraan kerro arvosteluperusteiden soveltamisesta koesuoritukseen.

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 käsiterakenteita asianmukaisesti ja että vastaukset on esitetty selkeästi ja asiasisällön puolesta johdonmukaisesti ja hyvin jäsenellysti.

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

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

Kevään 2022 kokeessa väärästä määrästä merkitseviä numeroita vähennetään yksi piste jokaisesta väärällä tarkkuudella annetusta vastauksesta ellei tehtäväkohtaisesti muuta ole merkitty.

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.

- Pyörittämissä nopeuden nelinkertaistaminen. (2 p.)

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

- Kasvattamalla laserpulssin valon taajuutta. (2 p.)

Pisteitys:

Oikea vastaus (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).

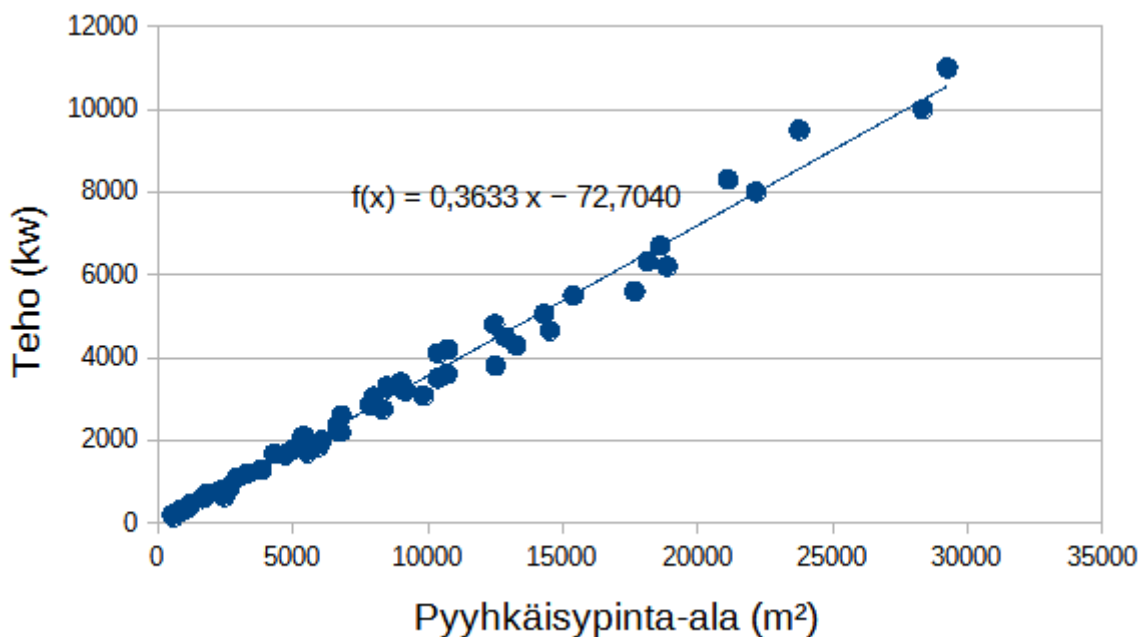
Taulukossa 2.B on annettu valmistajien tuulivoimaloille ilmoittamat tehot. Määritä taulukon tietojen perusteella, kuinka paljon tuulivoimalan teho tyypillisesti kasvaa, jos roottorin pyyhkäisyypinta-ala kasvaa 25 m². Käytä graafista esitystä.

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 kulmakertoimen 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 m².

Pisteitys:

- On esitetty suureyhtälö, jolla halkaisijan avulla määritetään pyyhkäisyypinta-ala (2 p.)
- On esitetty kuvaaja, jossa tehon arvot pinta-alan funktiona näkyvät erillisinä mittauspisteinä ja mittauspisteisiin on sovitettu suora (6 p.). Puuttuvasta sovitesuorasta, murtoviivasta tai muusta kuin suorasta sovitteena vähennetään 2 pistettä. Jos kaikki datapisteet eivät ole näkyvissä vähennetään 2 pistettä. Jos asteikoissa on virheitä, suureen tunnus puuttuu tai yksikkö puuttuu, vähennetään kustakin virheestä 1 piste.
- On annettu tulos 9,1 kW kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).
- Vastauksessa on mainittu, että tulos on saatu sovitesuoran kulmakerrointa käyttäen ja näytetty siihen liittyvä lasku (2 p.)

Tyypillinen virhe:

- Piirretty teho halkaisijan funktiona, jolloin kuvaajasta tulee paraabeli. Mikäli tehon muutoksen linearisointi jää tämän jälkeen tekemättä on ratkaisu epätarkoituksenmukainen (0 p.)

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

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

- aalto(liike)oppi
- aerodynamiikka
- akustiikka
- energiatekniikka
- geofysiikka/geologia
- lujuusoppi
- lämpöoppi/termodynamiikka/termofysiikka
- materiaalitiede/-tekniikka
- mekaniikka
- meteorologia
- sähkötekniikka/sähköoppi/sähkömagnetismi
- virtausmekaniikka
- ympäristötekniikka.

Pisteitys:

- Kolme ensimmäistä erilaista osa-aluetta arvioidaan, jokainen oikea (1 p.).

Tyypillinen virhe:

- On tarjottu osa-alueena magnetismia tai ydinfysiikkaa.

3. Kaasun puristus 15 p.

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

Ilman voidaan ajatella käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin annetuissa olosuhteissa, joten käytetään ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$, jossa R on kaasuvakio ja n kaasun ainemäärä. Riittää tarkastella alkutilannetta ja lopputilannetta. Kaasun (ilman) alkulämpötila on $T_1 = 5 \text{ °C} = 278,15 \text{ K}$ ja loppulämpötila $T_2 = 24 \text{ °C} = 297,15$

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

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

Pisteitys:

- On mainittu sekä ilman käyttäytyvän ideaalikaasun tavoin (2 p.) että ainemäärän säilyminen prosessien aikana (2 p.). On annettu paineen suureyhtälö (2 p.) ja oikea tulos 310 kPa kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).

Tyypillinen virhe:

- Oletettu, että kaasu ei lämpene puristuksen aikana.

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

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

7 p.

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan kaasun sisäenergia U muuttuu, kun energiaa siirtyy lämpönä (Q) kaasun ja ympäristön välillä tai kun kaasu tekee työtä (W) ympäristöön tai ympäristö kaasuun. Suureyhtälönä ilmaistuna pätee $\Delta U = Q + W$.

Kun mäntää työnnetään sisään, voima tekee työtä, jolloin kaasun sisäenergia kasvaa ja kaasun lämpötila nousee. Ideaalikaasun tilanyhtälön avulla saadaan kaasun lämpötilaksi heti puristuksen jälkeen $150 \text{ }^\circ\text{C}$. 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.

Pisteitys:

- On esitetty termodynamiikan ensimmäinen pääsääntö sanallisesti tai kaavan avulla (2 p.).
- On mainittu, että puristuksen aikana kaasuun tehdään työtä ja kaasun sisäenergia kasvaa (2 p.).
- On mainittu, että lämpötilan muuttuessa lämpöä siirtyy kaasusta ympäristöön ja kaasun sisäenergia pienenee (3 p.).
- Jos lämpöä siirtyy tai työtä tehdään väärässä prosessissa, tai selityksessä on käytetty lämmön, työn tai sisäenergian käsitteitä väärin, kyseisen prosessin kuvauksesta ei saa pisteitä.

Tyypillisiä virheitä:

- Oletettu, että kaasu lämpenee, kun sen lämpötila muuttuu kohti laboratorion lämpötilaa.
- Selitetty prosesseja käyttämättä kysymyksessä vaadittuja käsitteitä.
- Käytetty lämpöä tai työtä tilamuuttujana tai lämpöä lämpötilan synonyyminä.

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.

Pisteitys:

- On annettu oikea vastaus kahdesta viiteen merkitsevän numeron tarkkuudella (3 p.).

Tyypillinen virhe:

- Yksikkö puuttuu.

4.2 Mikä on ledin kynnsjännitteen arvo? 3 p.

Ledin jännite etuvastuksen yli on $U_1 = 2,9$ V. Koska pariston lähdejännite on $E = 5,0$ V, ledin kynnsjännite on $U_2 = E - U_1 = 2,1$ V.

Pisteitys:

- On annettu oikea vastaus yhdestä neljään merkitsevän numeron tarkkuudella (3 p.).

Tyypillinen virhe:

- Annettu kynnsjännitteenä etuvastuksen yli mitattu jännite.

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 kynnsjännite on $U_2 = E - U_1 = 0,409$ V. Vastuksissa on sama sähkövirta, joten valovastuksen resistanssi on

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

Pisteitys:

- On annettu oikeat vastaukset kahdesta neljään merkitsevän numeron tarkkuudella vastukselle R_1 (2 p.) ja vastukselle R_{LDR} (2 p.).

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 pienennytävä valovoimakkuuden lisääntyessä.

Pisteitys:

- On annettu oikea vastaus oikein perusteltuna (5 p.). Perustelun toi tehdä esimerkiksi määrittämällä valovastuksen resistanssin eri valaistusvoimakkuuksien arvoilla tai hyödyntämällä Kirchhoffin II lakia.

Tyypillinen virhe:

- Lasketaan jotain, jossa saadaan vastuksen R_1 arvoon muutos.

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.

Piirretään kännykän voimakuvio hissien ollessa paikallaan. Tällöin kännykän kiihtyvyyden 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

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

Kun hissi on lähtenyt liikkeelle, sillä ja kännykällä on kiihtyvyyden \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 hissien kiihtyvyyden ylöspäin. Hissi lähtee paikaltaan ja liikkuu ylöspäin.

Pisteitys:

- On piirretty joko paikallaan olevan tai kiihtyvässä liikkeessä olevan kännykän voimakuvio, jossa on oikeat voimat nimettyinä (2 p.). Voimakuviossa ei saa pisteitä, jos yksikin voima puuttuu tai siinä on ylimääräisiä voimia. Jos voimakuviossa voimanuolien pituudet ovat selvästi väärin tai voimanuolien paikat eivät vastaa voimien vaikutuspisteitä vähennetään 1 piste.
- On annettu kiihtyvässä liikkeessä olevalle kännykälle dynamiikan peruslain mukainen suureyhtälö (2 p.).
- On annettu oikea vastaus kahdesta neljään merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).
- On kerrottu hissien liikkuvan ylöspäin (2 p.).

Tyypillinen virhe:

- Jätetty vastaamatta kysymykseen hissien liikesuunnasta.

5.2 Hissien lähtiessä liikkeelle opiskelija havaitsee jousivaa'an jousen venyvän 4,5 cm lisää. Kuinka suuri on jousivaa'an jousen jousivakio? 7 p.

Newtonin II lain perusteella kännykälle voidaan kirjoittaa jousivoimaa käyttäen tasapainossa

$$kx_1 - mg = 0$$

ja kiihtyvässä liikkeessä

$$kx_2 - mg = ma$$

missä x_1 on jousen venymä hissien ollessa paikallaan ja $x_2 = x_1 + \Delta x$ venymä hissien ollessa kiihtyvässä liikkeessä. Lisävenymä on $\Delta x = 4,5 \text{ cm}$. Yhtälöryhmästä saadaan

$$k\Delta x = ma$$

Sijoittamalla edellisessä osiossa määritetty lauseke

$$ma = T_2 - T_1$$

saadaan jousivakioiksi

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

Vaihtoehtoinen tapa:

Muodostetaan yhtälöryhmä Hooke'n lain avulla

$$T_1 = kx_1$$

$$T_2 = kx_2 = k(x_1 + \Delta x).$$

Ratkaisemalla saadaan sama suureyhtälö jousivakioille kuin edellä.

Pisteitys:

- Ratkaisu on perusteltu käyttämällä dynamiikan peruslakiin tai Hooken lakiin perustuvaa yhtälöryhmää tai yhtälöryhmää vastaavaa sanallista selitystä (3 p.).
- On annettu laskun perusteella määritetty oikean vastauksen antava suureyhtälö jousivakiolle (2 p.).
- On annettu oikea vastaus kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).

Tyypillisiä virheitä:

- Käytetty Hooken laissa perustelematta voiman paikalla jousivaa'an lukemien erotusta.
- Määritetty jousivakiolle negatiivinen arvo.

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.)

Hyväksytään oikeana myös 0.2 Hz

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.)

Pisteitys:

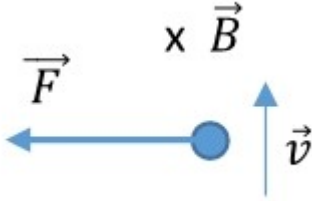
- Oikea lukuarvo vastauksena osioissa 6.1 — 6.3 (2 p.). Jos vastauksessa annettu myös yksikkö tai jos vastaus annettu useammalla kuin yhdellä merkitsevällä numerolla, vähennetty 1 piste.

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 voimakuvasta ilmenee positiivisesti varattuun hiukkaseen kohdistuvan voiman suunta.



Voiman \vec{F} suuruus on $F = qvB$, koska hiukkasen nopeus on kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Newtonin II lain perusteella voidaan kirjoittaa $qvB = ma$. Kiihtyvyyttä 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.

Pisteitys:

- On tunnistettu hiukkasen varaus positiiviseksi (2 p.) ja perustelusta käy ilmi voiman suunta (2 p.). Perustelusta annetaan pisteet vain, mikäli varaus oli tunnistettu positiiviseksi.
- On annettu dynamiikan peruslain, magneettisen voiman ja tasaisen ympyräliikkeen yhdistävä suureyhtälö $qvB = \frac{mv^2}{r}$ (2 p.), liike-energian suureyhtälö (1 p.) ja kysytyn massan suhteen ratkaistu suureyhtälö (2 p.).
- On annettu oikea vastaus kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).

7.2 Selitä, miksi hiukkasen on täytynyt 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.

Pisteitys:

- On tunnistettu radan kaarevuussäteen muutos (2 p.) ja yhdistetty se energian pienenemiseen kuljettaessa kalvon läpi (2 p.).

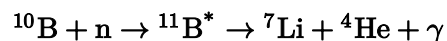
Tyypillinen virhe:

- Tarkasteltu pelkästään kaatumista magneettikentässä.

8. Boori-neutronikaappaushoito 15 p.

8.1 Kirjoita reaktioyhtälö välivaiheineen neutronikaappauksesta lopputuotteisiin. 5 p.

Reaktioyhtälö:



Pisteitys:

- On annettu oikein reaktioyhtälön vasen puoli (1 p.), välivaihe (2 p.) ja oikea puoli (2 p.).

8.2 Reaktiossa vapautuu lopulta alfahiukkanen, tytärydin 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.

Pisteitys:

- On tunnistettu alfasäteilyn lyhyt kantama ja suuri merkitys syöpäsolujen tuhoamisessa (2 p.).
- On tunnistettu tytärydinten lyhyt kantama ja suuri merkitys syöpäsolujen tuhoamisessa (2 p.).
- On tunnistettu gammasäteilyn pitkä kantama ja vaikutus terveeseen kudokseen (2 p.).

Tyypillisiä virheitä:

- Väitetty gammasäteilyn olevan tärkein tai tytärydinten olevan merkityksettömiä syöpäsolujen paikallisessa tuhoamisessa.

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.

Pisteitys:

- On selitetty ydinreaktorissa tapahtuva neutronien tuottaminen raskaan ytimen fissioreaktiona, jossa syntyy ketjureaktiota ylläpitäviä neutroneita (2 p.). On selitetty uudesta tekniikasta protonien kiihdyttäminen, reaktio kohtiossa ja neutronin syntyminen (2 p.). Vaihtoehtona jälkimmäiselle on mainittu vähintään kaksi järkevää eroa laitteiden käytettävyyksille.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Maissipellon energiatuotanto 20 p.

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

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

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

Energiatuoton maksimaalinen hyötysuhde on

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

Pisteitys:

- On annettu jokin oikea suureyhtälö maissista saatavalle energialle tai sanallisesti kerrottu miten lasketaan maissista saatava energia (2 p.). On annettu suureyhtälö hyötysuhteelle (2 p.) ja oikea lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).

Tyypillinen virhe:

- On laskettu käyttäen maissin satona arvoa 480 kg/ha. Tällöin lopputulos on 0,0036%. Mikäli tehtävä muilta osin on oikein, vähennetään virheestä vain 1 piste.

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 prosessienergiaan, 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

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

Pisteitys:

- On tehty energiasuureiden muunnos vertailtavissa oleviin yksikköihin. (2 p.). On annettu suureyhtälö tuotolle (2 p.) ja oikea lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (1 p.).

Tyypillinen virhe:

- Suureyhtälöiden puuttuminen.

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.

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.

Pisteitys:

- Käy ilmi suureyhtälöiden tai selitysten perusteella, että verrataan auringosta saatavaa energiaa etanolista ja jätteistä saatavaan energiaan (2 p.). On annettu oikea lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).
- Jos on laskettu käyttäen maissin satona arvoa 480 kg/ha ja saatu lopputuloksena 77 kertainen, annetaan lopputuloksesta kahden pisteen sijasta yksi piste.

Tyypillisiä virheitä:

- Ratkaisusta puuttuu etanolista tai jätteestä saatava energia.
- Jonkin hyötysuhdetermin unohtuminen.

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

$$m_a = \frac{V \rho_e H_e \eta_e}{\omega_a \eta_s} = \frac{651 \cdot 0,790 \text{ kg/l} \cdot 26\,900 \text{ kJ/kg} \cdot 0,44}{540 \text{ kJ/kg} \cdot 0,89} = 1\,264,62 \text{ kg} \approx 1\,300 \text{ kg}.$$

Pisteitys:

- On annettu suureyhtälö energioiden yhtäsuuruudelle tai ilmaistu asia sanallisesti (2 p.). On annettu suureyhtälö akun massalle (1 p.) ja oikea lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.).

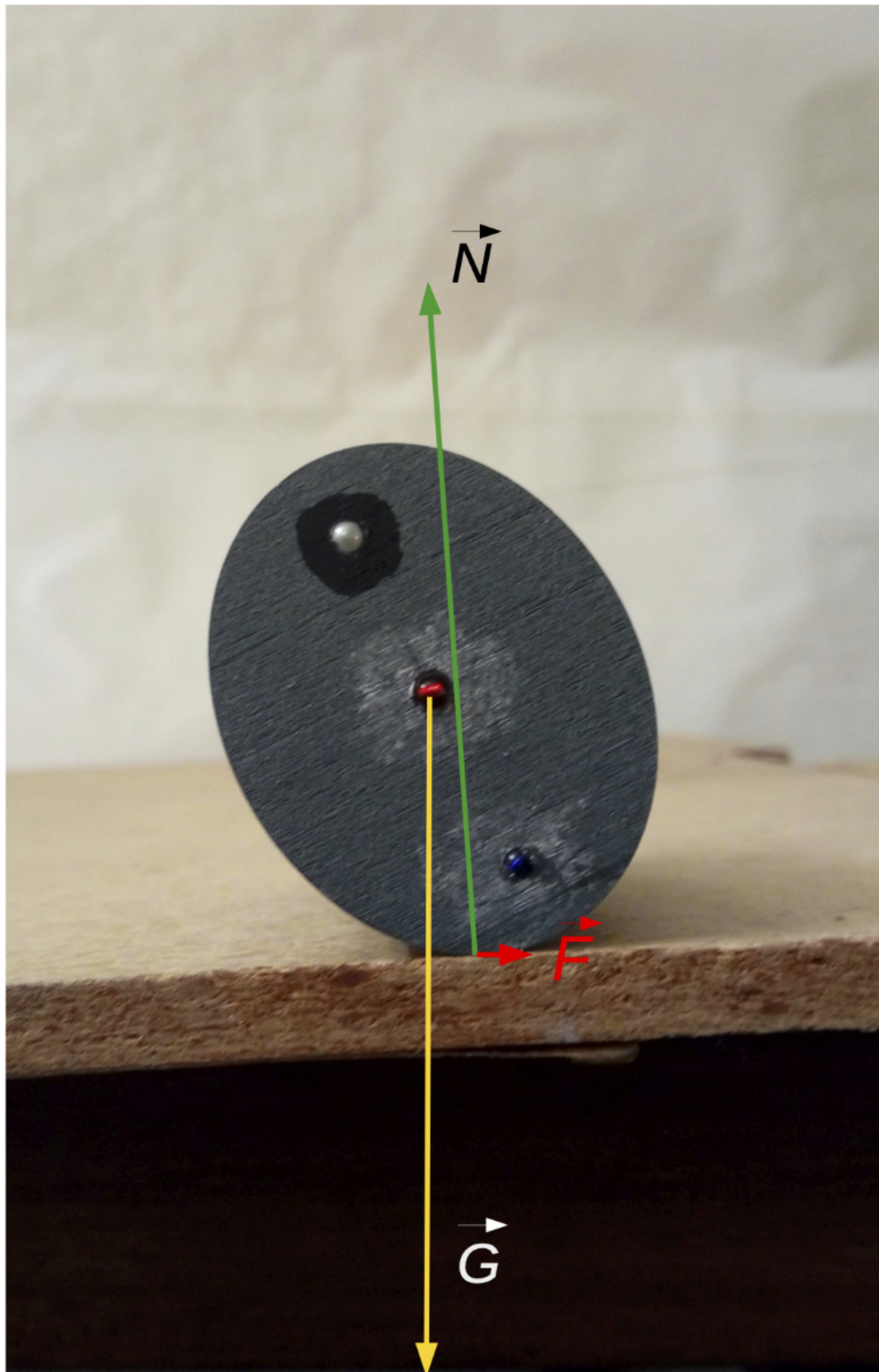
Tyypillinen virhe:

- Suureyhtälöiden puuttuminen.

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 .



Pisteitys:

- On piirretty voimakuvio, jossa on oikeat voimat nimettyinä (4 p.).
- Voimakuvioista ei saa pisteitä, jos yksikin voima puuttuu, jos kuvassa on ylimääräisiä voimia, jos yhdenkin voiman suunta on väärin tai jos voimia on jaettu komponentteihin, jotka eivät erotu voimista. Voimakuvion pisteistä vähennetään yksi piste, jos voimat vaikuttavat väärään pisteeseen tai jos voimanuolien pituudet ovat selvästi väärin. Kitkan suunnan tulee olla pinnan suuntainen. Vierimisen alkaessa kitka vaikuttaa kuvan mukaisesti, mutta jossain myöhemmässä vaiheessa sen suunta kääntyy vastakkaiseksi.

Tyypillisiä virheitä:

- Tukivoima ja painovoima ovat vastakkaissuuntaisia tai tukivoima ei ole kohtisuorassa pintaa vastaan. Kalteva taso on piirretty vaakasuoraan.

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.

Pisteitys:

- Vastauksena on annettu lepokitka (2 p.).

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 nollasta 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 pois päin kasvaa voimakkaimmin. Paikallinen minimiarvo sillä on silloin, kun kiihtyvyys saavuttaa minimiarvon, eli kun massakeskipisteen nopeus tasoa kohti kasvaa voimakkaimmin.

Pisteitys:

- On mainittu, että lieriön keskipisteen etäisyys tasosta vaihtelee (2 p.).
- On selitetty tukivoiman vaihtelu käyttäen Newtonin II lakia, massakeskipisteen kiihtyvää liikettä ja vakiona pysyvää painoa (3 p.).

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).

Pisteitys:

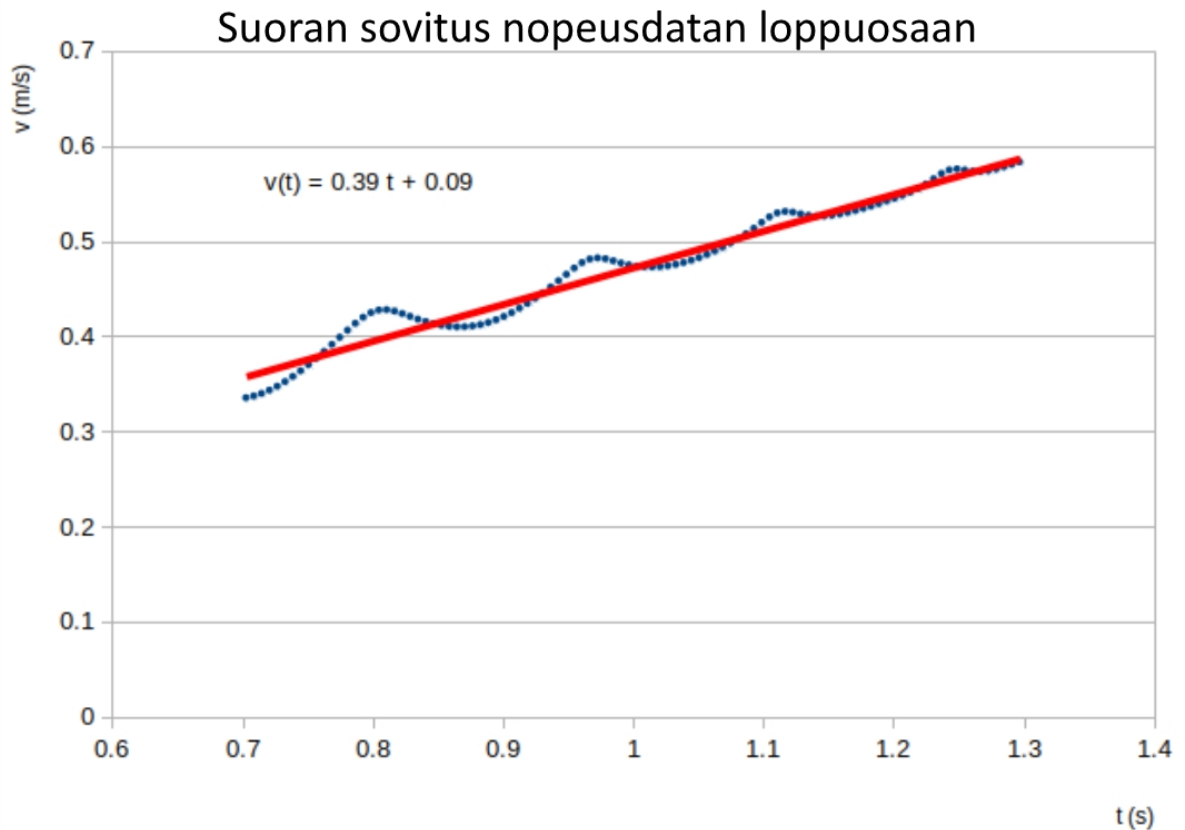
- On mainittu perusteluna tukivoiman arvo 0 N (2 p.) ja annettu oikeana vastauksena kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella 1,9 s tai 2,0 s (2 p.). Yhden merkitsevän numeron tarkkuudella annettu vastaus 2 s arvostellaan vääränä vastauksena.

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 minimit (ensimmäinen minimi jätetään pois). Keskiarvo verhoikäyrien kulmakertoimista on myös $0,39 \text{ m/s}^2$.

Pisteitys:

- On laadittu graafinen esitys nopeudesta ajan funktiona ja näytetty siinä, miten kiihtyvyyden raja-arvo voidaan määrittää (2 p.). On annettu oikea lopputulos kahden tai kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella (3 p.).

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 .

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

Pisteitys:

- On annettu oikea aallonpituusväli, jossa minimi on 13-14 μm ja maksimi 17-18 μm , yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkuudella (3 p.). Jos toinen raja on väärin, koko tulos on väärin.
- On annettu selityksenä absorptio ilmakehän kaasuihin (3 p.). Jos vastauksessa puhutaan auringon säteilyn absorptiosta, vastaus on väärin.

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.

Wienin siirtymälaki ilmaisee intensiteettijakauman maksimikohdan riippuvuuden säteilevän kappaleen lämpötilasta. Tehtävässä annetussa Wienin siirtymälaiissa 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 suureyhtälö

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

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).

Pisteitys:

- Käy ilmi, että on käytetty kuvan maksimia vastaavaa aaltoluvun arvoa oikeissa yksiköissä (2 p.). On annettu aallonpituuden, taajuuden ja valon nopeuden välinen suureyhtälö (2 p.), ratkaistu kysytyn lämpötilan suureyhtälö aallonpituuden, aaltoluvun tai sen avulla määritetyn taajuuden avulla (2 p.). On annettu oikea lopputulos yhden tai kymmenen asteen tarkkuudella välillä 7... 33 °C tai yhdestä kolmeen merkitsevän numeron tarkkuudella välillä 280 ...306 K. (2 p.).

Tyypillinen virhe:

- Käytetty aaltolukuna arvoa 2000 cm^{-1} .

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 *pilvipeitteen 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.

Pisteitys:

- On mainittu lämpötilaero napojen ja päiväntasaajan välillä (2 p.).
- On mainittu pilvien vaikutus (2 p.) ja niiden yhteys absorptioon (2 p.) tarkasteltaessa Maan lähettämää säteilyä.

Tyypillinen virhe:

- Tarkasteltu Auringosta Maahan tulevaa säteilyä Maan lähettämän säteilyn sijaan.