

Hyvän vastauksen piirteet: FI – Fysiikka

27.3.2024

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 27.3.2024

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 käsite rakenteita 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.

Sisällys

Osa 1: 20 pisteen tehtävä

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

Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. [Omenamehupuristin](#) 15 p.
3. [Uudenvuodentoinjojen valaminen](#) 15 p.
4. [Voimat](#) 15 p.
5. [Eksoplaneetan kiertoaika](#) 15 p.
6. [Pölyhiukkanen kondensaattorissa](#) 15 p.
7. [Leijulauta](#) 15 p.
8. [Ydinvoimalaitos Olkiluoto 3](#) 15 p.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Aurinkovoimala 20 p.
10. Autorata 20 p.
11. Röntgendiffraktio ja elektronidiffraktio 20 p.

Koe yhteensä 120 p.

Osa 1: 20 pisteen tehtävä**1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta 20 p.**

Valitse jokaisessa osatehtävässä parhaiten soveltuva vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Kahdeksaslukkalainen mittaa 60 metrin juoksuun kuluvan ajan älypuhelimien ajanottoominnolla. Millä tarkkuudella tulos on mielekästä ilmoittaa? **2 p.**

- 0,1 s (2 p.)

1.2 Missä seuraavista mittaustuloksista on suurin suhteellinen virhe? **2 p.**

- 2,2 kg ± 0,2 kg (2 p.)

1.3 Mikä on kodin sähkösaunan energiankulutuksen suuruusluokka yhdellä saunomiskerralla? **2 p.**

- 8 kWh (2 p.)

1.4 Mikä seuraavista matkustusmuodoista kuluttaa eniten energiaa yhtä henkilöä ja yhtä kilometriä kohti? **2 p.**

- Lentokone (2 p.)

(Lentokoneella energiankulutus on noin 3 km/kWh, bussilla 5 km/kWh, junalla 13 km/kWh ja sähköpolkupyörällä 100 km/kWh.)

1.5 Miten ilmakehän kasvihuonekaasut lämmittävät maapalloa? **2 p.**

- Ne absorboivat maapallon pinnan säteilyä, joten ilmakehä lämpenee ja maapallon lämpötila nousee. (2 p.)

1.6 Millä voimalaitostyyppillä Suomessa tuotetun sähköenergian määrä on kasvanut eniten 2020-luvulla? **2 p.**

- Tuulivoimalaitokset (2 p.)

1.7 Mikä perusvuorovaikutuksista on voimakkain hyvin pienillä etäisyyksillä (< 1 fm)? **2 p.**

- Vahva vuorovaikutus (2 p.)

1.8 Kuinka suuri osa maailmankaikkeuden koostumuksesta on tuntemaamme tavallista ainetta? **2 p.**

- 5 % (2 p.)

1.9 Kuulakärkikynän kierrejousta puristetaan kokoon 2,5 N:n voimalla, jolloin se lyhenee 0,1 cm. Voidaanko tämän perusteella päätellä, että 2 500 N:n voimalla venytettäessä kyseisen jousen pituus kasvaa 100 cm? **2 p.**

- Ei, koska jousta ei voi venyttää niin pitkäksi. (2 p.)

1.10 Havaitusta uudesta fysikaalisesta ilmiöstä luotiin malli, jonka pätevyyttä testattiin kokeellisesti. Mallin mukainen ennuste ja kokeellinen tulos olivat ristiriidassa. Miten tutkimuksen tulee edetä tästä? **2 p.**

- Jos kokeen suorituksesta ei löydy ilmeistä virhettä, luotua mallia on muutettava. (2 p.)

Osa 2: 15 pisteen tehtävät

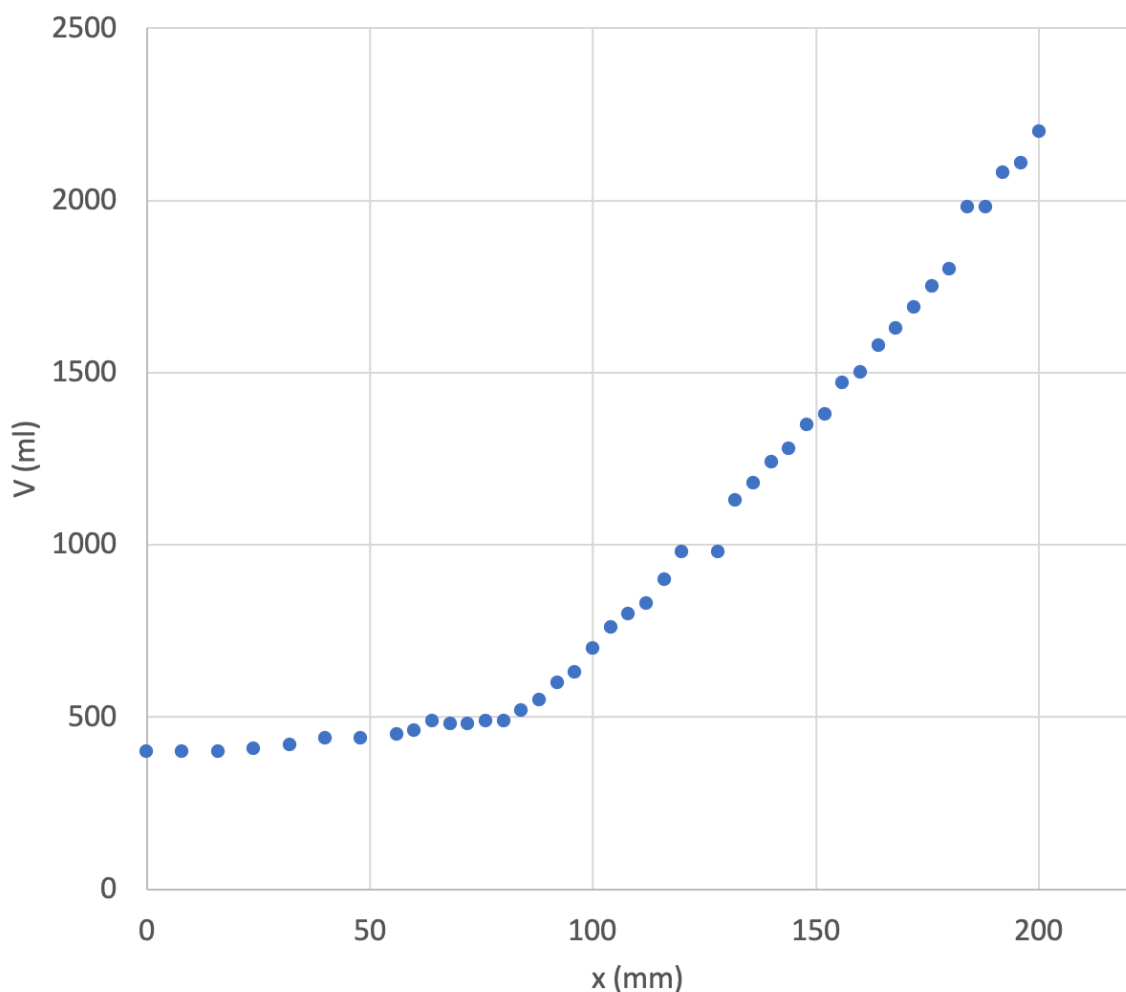
2. Omenamehupuristin 15 p.

Omenamehupuristimella (kuva 2.A) tehdään omenoista tuoremehua. Omenat murskataan ja pannaan suodatinpussiin ja edelleen kuvassa näkyvään metalliastiaan. Metallastian seinät ovat täynnä reikiä, jotta mehu pääsee valumaan ulos. Puristimen kampea pyörittämällä mäntä painuu alaspäin ja puristaa omenamurskaa.

Puristimen kampea kierrettiin yksi kierros kerrallaan ja ulos valuneen mehun tilavuus mitattiin. Mittaustulokset on esitetty aineistossa 2.B.

2.1 Esitä graafisesti mehun tilavuus männän ylimmästä asemastaan liikkuman matkan funktiona. Yksi kammen kierros vastaa 4,0 mm:n pystysuoraa liikettä. Esityksessä tulee näkyä mittaustuloksia vastaavat pisteet, mutta ei pisteitä yhdistäviä viivoja. **5 p.**

Taulukkolaskennan avulla luodaan uusi taulukko, jossa sarakkeina on männän yläasennosta kulkema matka ja mehun tilavuus. Piirretään kuvaaja.

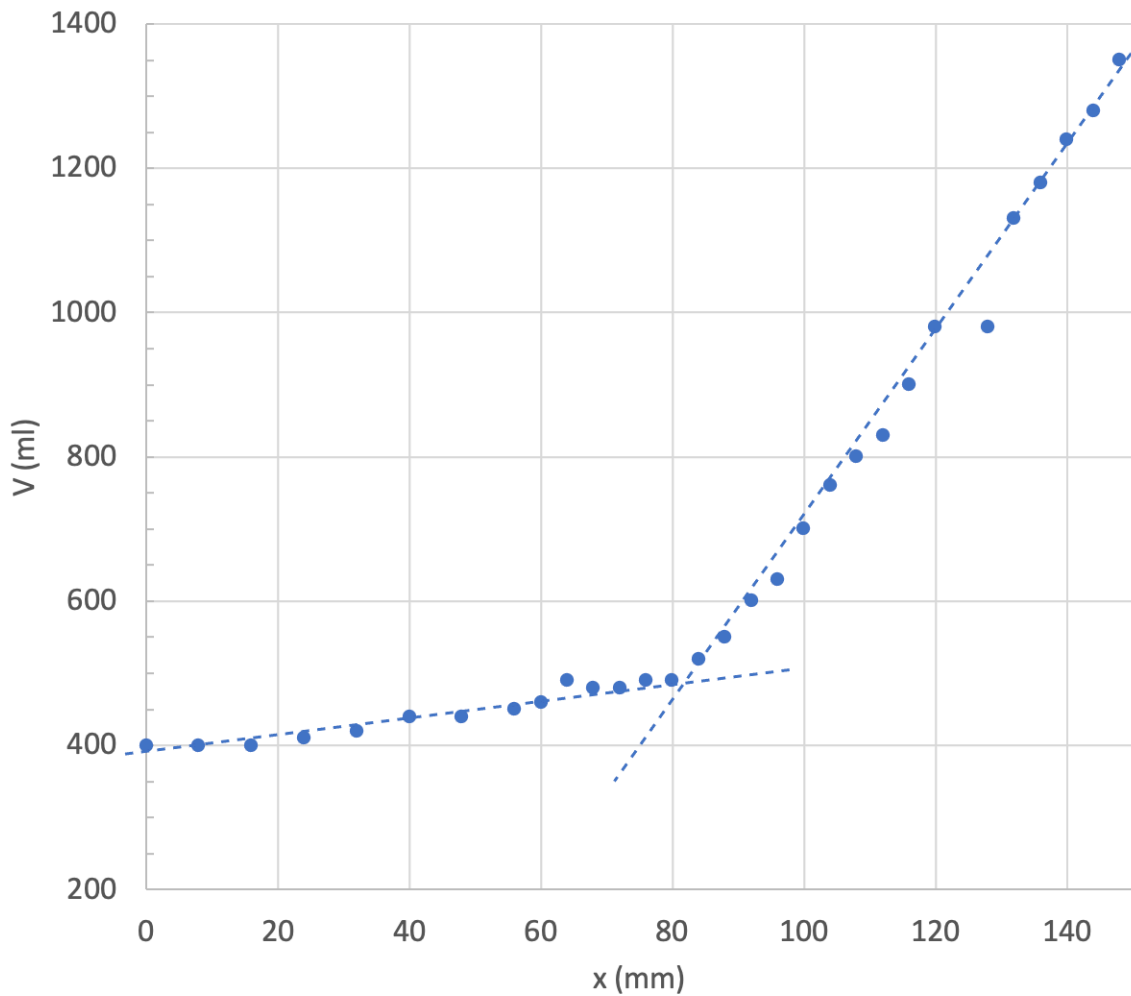


(Kuvaajasta 5 p.)

2.2 Kuten kuvasta 2.A näkyy, kampea pitää kiertää useita kierroksia ennen kuin mäntä saavuttaa omenamurskeen. Määritä osatehtävässä 2.1 piirtämäsi kuvaajaa pohjana käyttäen, kuinka paljon mehua omenoista saatiin ennen kuin mäntä saavutti murskeen. **4 p.**

Graafisessa esityksessä näkyy kaksi osaa, joita kumpaakin voi approksimoida suoralla. Suorien leikkauspiste asettuu noin 500 ml:n kohdalle. (2 p.)

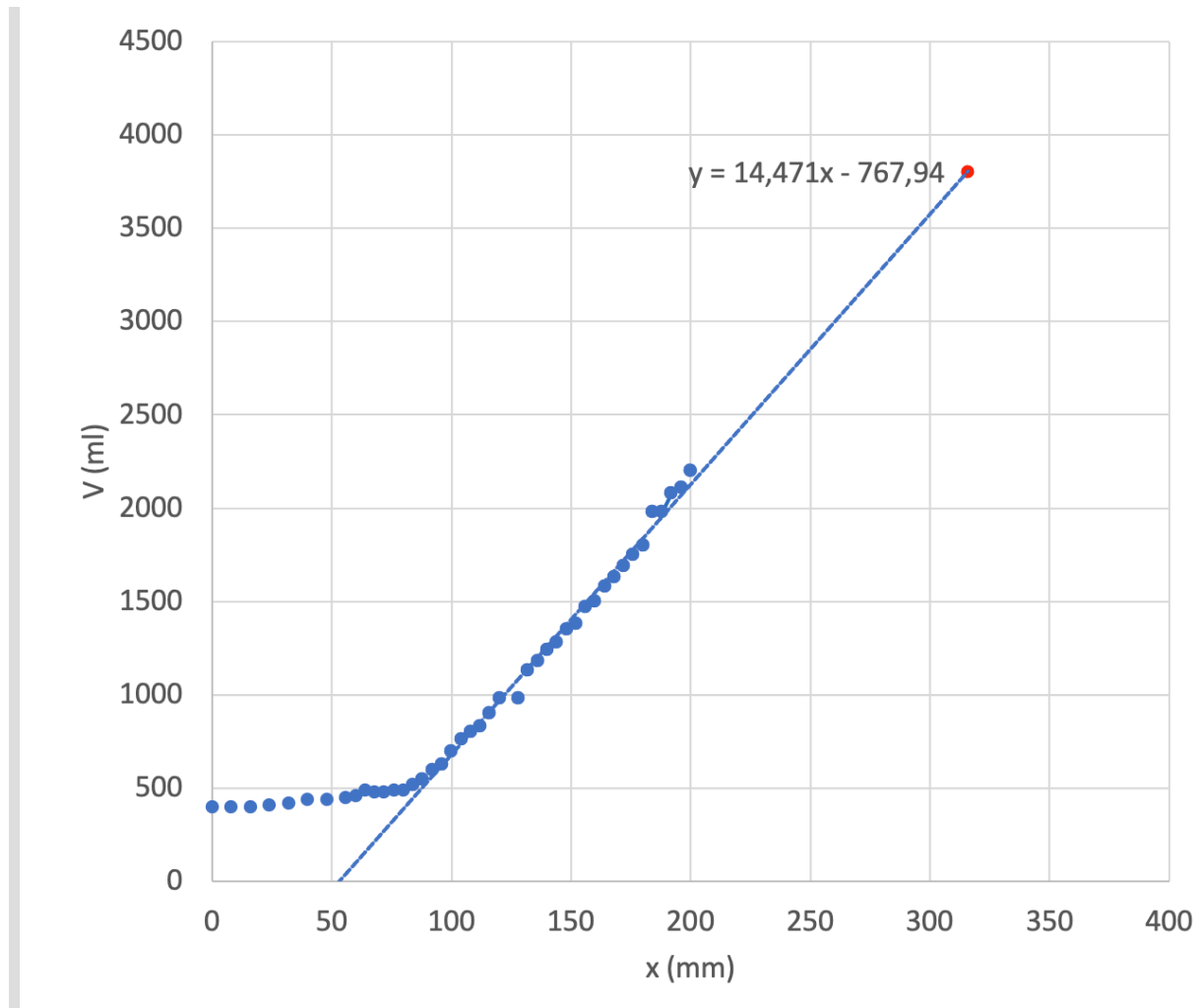
Mehua saadaan puristamatta noin 0,5 litraa. (2 p.)



2.3 Omenoiden puristusta jatkettiin siihen asti, että kampea oli kierretty yhteensä 79 kierrosta. Mehua saatiin samassa suhteessa tilavuuden pienenemiseen verrattuna. Arvioi graafista esitystä käyttäen, kuinka paljon mehua omenoista kokonaisuudessaan saatiin. **6 p.**

Sovitetaan mittauspisteistön loppuosaan suora, josta luetaan 316 mm:n kohdalta saadun mehun määräksi 3,8 litraa.

Vaihtoehtoisesti graafisesta esityksestä saadaan suoran yhtälöksi $V(x) = 14,5 \text{ l/m} \cdot x - 0,768 \text{ l}$. Tästä saadaan arvolla $x = 316 \text{ mm}$ 3,8 litraa.



3. Uudenvuodentinojen valaminen 15 p.

Tinojen valaminen on suomalainen uudenvuodenperinne. Liedellä sulatetaan pienessä kauhassa kiinteää ainetta, usein pienen hevosenkengän muotoista tinapalaa. Sula aines kaadetaan nopeasti kylmään veteen, jossa se jähmettyy satunnaiseen muotoon. Aiemmin tinapala oli lijyää, mutta 2020-luvulla lijyyn käyttäminen kiellettiin ympäristösyistä. Jotkut käyttävät metallin korvikkeena tavallista kidesokeria. Kidesokerin ominaisuuksia on esitetty taulukossa 3.A.

3.1 Osoita, että kidesokerin sulattamiseen tarvitaan 8,2 kJ energiaa, jos huoneenlämpöistä (21°C) sokeria otetaan kaksi ruokalusikallista (30 ml). 7 p.

Sokerin sulattamiseen tarvittava energiamäärä kuluu sen lämmittämiseen ja sulattamiseen:

$$Q = cm\Delta T + sm, \text{ missä } c \text{ on sokerin ominaislämpökapasiteetti ja } s \text{ sokerin ominaissulamislämpö.}$$

Aineistossa on annettu molaarinen lämpökapasiteetti c' ja molaarinen sulamislämpö s' . Näiden avulla yhtälö tulee kirjoittaa

$$Q = c'n\Delta T + s'n.$$

$$\text{Sokerin massa on } m = \rho V = 30 \text{ ml} \cdot (80 \text{ g}) / (100 \text{ ml}) = 24 \text{ g.}$$

$$\text{Sokerin ainemäärä on } n = \frac{m}{M} = \frac{24 \text{ g}}{342,3 \text{ g/mol}} = 0,070 \text{ mol.}$$

Sokerin lämpötilan muutos huoneenlämpötilasta sulamispisteeseen on $\Delta T = 462 \text{ K} - (273,15 + 21) \text{ K} = 167,85 \text{ K}$.

Tarvittava energia on

$$Q = 422,5 \text{ kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 0,070 \text{ mol} \cdot 167,85 \text{ K} + 46,2 \text{ kJ/mol} \cdot 0,070 \text{ mol} = 8198 \text{ kJ.}$$

3.2 Osatehtävän 3.1 sokerimäärä sulatetaan levyllä, jonka teho on 1 200 W. Sulaminen kestää 2,5 minuuttia. Määritä sulattamisen hyötysuhde. **4 p.**

Kohdan 3.1 perusteella sokerin sulattaminen vaatii $Q = 8\,212\text{ J}$ energiaa. Sähkölieden levyn teho on $P = 1\,200\text{ W}$, joten lieden tuottama energia on $E = Pt$. Hyötysuhde on

$$\eta = \frac{Q}{Pt} = \frac{8212\text{ J}}{1200\text{ W} \cdot 2,5 \cdot 60\text{ s}} = 0,046.$$

Hyötysuhde on siis 4,6 %.

3.3 Video 3.B esittää rinnakkain lyijyn ja sokerin kuumentamista liedellä samoissa olosuhteissa. Lyijykimpale sulaa kokonaan lyhyen ajan kuluessa, mutta sokerikekoa sulatettaessa osa sokerista ei sula pitkään aikaan. Mistä ero johtuu? **4 p.**

Ero johtuu eroista aineiden lämmönjohtavuudessa. Metallia johtaa lämpöä paremmin kuin sokeri. Lisäksi lämpö johtuu kappaleesta toiseen, eli sokerikiteestä toiseen, huomattavasti heikommin kuin yhtenäisen metallikappaleen sisällä.

4. Voimat 15 p.

Valitse osatehtävien tilanteissa voimakuvioista A–D se, joka kuvaa parhaiten tarkasteltavaan kappaleeseen vaikuttavia ulkoisia voimia. Kappale liikkuu kaikissa tilanteissa oikealle. Kirjoita vastauskenttään valitsemasi voimakuvion kirjain ja nimeä tähän voimakuvioon piirretyt voimat.

4.1 Ilmassa lentävä nuoli. **4 p.**

- C (2 p.)
- \vec{F}_4 painovoima (1 p.)
- \vec{F}_2 ilmanvastus (1 p.)

4.2 Heiton jälkeen jään pinnalla liukuva curling-kivi. **5 p.**

- A (2 p.)
- \vec{F}_3 kitka (1 p.)
- \vec{F}_5 jään tukivoima (1 p.)
- \vec{F}_6 painovoima (1 p.)

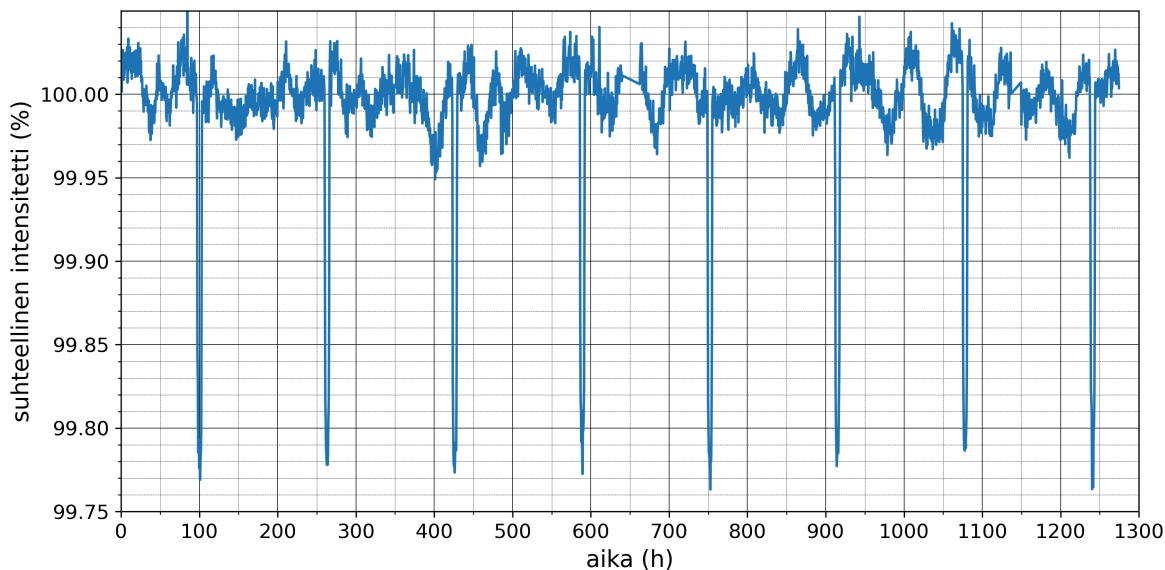
4.3 Uimarin selkään hihnalla kiinnitetty, vedessä liukuva uimapoiju. **6 p.**

- C (2 p.)
- \vec{F}_1 hihnan jännitysvoima (1 p.)
- \vec{F}_3 veden vastusvoima (1 p.)
- \vec{F}_4 noste (1 p.)
- \vec{F}_5 painovoima (1 p.)

5. Eksoplaneetan kiertoaika 15 p.

Vierasta tähteä kiertävää planeettaa kutsutaan eksoplaneetaksi. Eksoplaneetta voidaan löytää esimerkiksi siten, että tähden valon intensiteetin havaitaan pienenevän aina, kun eksoplaneetta kulkee tähden editse (kuva 5.A).

5.1 Kuvassa 5.B on esitetty erään tähden valon suhteellisen intensiteetin ajallinen vaihtelu Kepler-satelliitin mittaamana. Kuinka monta prosenttia tähden pinta-alasta planeetta enimmillään peittää? **3 p.**



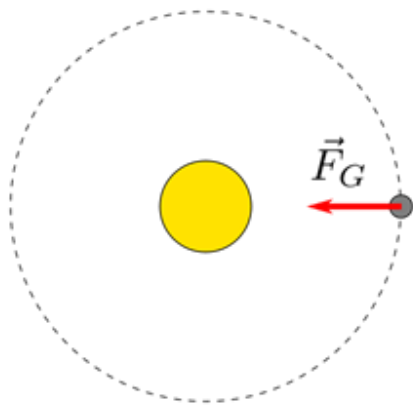
Tähdestä havaittu valon suhteellinen intensiteetti on verrannollinen tähden näkyvään pinta-alaan. Kuvasta 5.B nähdään, että peittotapahtumissa valon suhteellinen intensiteetti on pienentynyt keskimäärin arvoon 99,775 %. Tällöin tähden pinta-alasta on peittyneenä 0,225 %.

5.2 Määritä kuvan 5.B avulla tähteä kiertävän eksoplaneetan kiertoaika. **4 p.**

Tähti himmenee 7 kertaa ajassa $1\,240\text{ h} - 100\text{ h} = 1\,140\text{ h}$, joten eksoplaneetan kiertoaika on $T = 1140\text{ h}/7 = 162,86\text{ h} \approx 163\text{ h}$

5.3 Täydennä eksoplaneetan voimakuvio kuvaan 5.C tai vastaavaan itse piirtämäsi kuvaan. Liitä kuvakaappaus vastaukseesi. Eksoplaneetan kiertorata on likimain ympyrä. Laske ympyräradan säde, kun tähden massa on 1,52 kertaa Auringon massa. **8 p.**

Ympyräradalla kulkevaan eksoplaneettaan vaikuttaa vain tähden gravitaatiovetovoima \vec{F}_G



Liikeyhtälö on voimakuvion perusteella

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

(4 p.)

jossa M on tähden massa, m on planeetan massa, r on radan säde, G on gravitaatiovakio ja v on ratanopeus.

Planeetan ratanopeus kiertoaajan T avulla lausuttuna on $v = 2\pi r/T$. Sijoittamalla tämä liikeyhtälöön saadaan radan säteen lausekkeeksi

$$r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

ja radan säteeksi $r = 1,21 \cdot 10^{10} \text{ m}$.

(4 p.)

6. Pölyhiukkanen kondensaattorissa 15 p.

Levykondensaattorin levyjen välinen ilmarako on 2,6 mm. Kondensaattori kytketään jännitelähteeseen, jonka lähdejännite on 36 V. Tällöin positiivisesti varautuvalla levyllä ollut pölyhiukkanen saa 5,7 pC:n varauksen ja irtoaa levyltä. Hiukkasen massa on 3,3 mg.

6.1 Kuinka suuri on sähkökentän voimakkuus levyjen välissä, ja minkä suuntainen se on? 4 p.

Levyjen välisen sähkökentän voimakkuuden suunta on positiivisesti varautuneelta levyltä negatiivisesti varautuneelle. Kentän voimakkuuden suuruus on $E = U/d = 13846,15 \text{ V/m} \approx 14 \text{ kV/m}$.

6.2 Kuinka suuri on pölyhiukkaseen kohdistuva sähköinen voima? 3 p.

Pölyhiukkaseen kohdistuvan sähköisen voiman suuruus on $F = QE = 0,0000000789231 \text{ N} \approx 79 \text{ nN}$.

6.3 Tarkastellaan vain hiukkaseen vaikuttavaa sähköistä voimaa. Millaista hiukkasen liike on? Kuinka pitkä aika hiukkaselta kuluu matkaan kondensaattorin negatiivisesti varautuneelle levyille, kun hiukkanen lähtee levosta? 8 p.

Sähkökenttä on homogeeninen, joten hiukkaseen kohdistuu vakiovoima ja hiukkasen liike on Newtonin II lain nojalla tasaisesti kiihtyvää.

(4 p.)

Hiukkasen kiihtyvyys on $a = F/m = QE/m = QU/(dm)$ ja sen ajassa t kulkema matka on $d = \frac{1}{2}at^2$. Ratkaisemalla yhtälöstä aika saadaan $t = \sqrt{2d/a} = \sqrt{2d^2m/(QU)} = 0,466290575 \text{ s} \approx 0,47 \text{ s}$.

(4 p.)

(Nopeus, jolla pölyhiukkanen törmää negatiivisesti varautuneeseen levyyn, on $v = at = 0,011151845 \text{ m/s}$.)

7. Leijulauta 15 p.

Vuonna 1989 ilmestyneessä Paluu tulevaisuuteen II -elokuvassa päähenkilö Marty McFly matkustaa aikakoneella tulevaisuuteen vuoteen 2015. Marty käyttää tulevaisuuden kaupungissa liikkumiseen leijulautaa.

Vuonna 2015 esiteltiin leijulaudan prototyyppi, jolla voi leijailia kuparilattian päällä (kuva 7.A). Leijulaudan sisällä olevat moottorit pyörittävät kestmagneetteja.

7.1 Miksi leijulaudan pyörivät magneetit mahdollistavat leijumisen kuparilattian päällä? 6 p.

Laudan pyörivät magneetit saavat aikaan paikallisia magneettivuon muutoksia. Ne indusoivat kuparilattiaan pyörrevirtoja, joiden suunnat ovat Lenzin lain mukaan sellaiset, että niiden synnyttämät magneettikentät vastustavat magneettivuon muutoksia. Näin syntyvät lautaan vaikuttavat magneettiset voimat voidaan saada yhtä voimakkaiksi kuin lautaan ja lautailijaan vaikuttavat gravitaatiovoimat, jolloin leijuminen onnistuu.

7.2 Miksi leijuminen ei onnistu asfaltin päällä? 3 p.

Asfaltissa ei muodostu pyörrevirtoja, koska siinä ei ole vapaita elektroneja (varauksenkuljettajia).

7.3 Mitä voimia lautaan vaikuttaa kuvan 7.A tilanteessa? 3 p.

Lautaan vaikuttavat lautailijan lautaan kohdistama (tuki)voima, laudan paino sekä lattian pyörrevirtojen synnyttämät magneettiset voimat.

7.4 Miksi lattia lämpenee, vaikka lauta ei kosketa lattiaa? 3 p.

Pyörrevirrat lämmittävät lattiaa kuparin resistiivisyyden vuoksi. Toisin sanoen pyörrevirrat synnyttävät resistanssista johtuvia tehohäviöitä, jolloin kupari lämpenee.

8. Ydinvoimalaitos Olkiluoto 3 15 p.

Olkiluoto 3 on ydinvoimalaitos Suomen länsirannikolla. Se tuottaa sähköä 1 600 MW:n teholla, ja sähköntuotannon hyötysuhde on 0,375. Käyttösuunnitelman mukaan laitos käy täydellä teholla yhtämittaisesti 330 vuorokautta vuodessa. Noin kuukauden kestävä käyttökätkon aikana laitosta huolletaan ja 32 tonnia käytettyä polttoainetta korvataan tuoreella polttoaineella seuraavaa käyttöjaksoa varten.

Ydinvoimalaitoksen energiantuotanto perustuu uraanin fissioreaktioon, jossa uraaniydin halkeaa kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi. Kussakin fissioreaktiossa vapautuu keskimäärin 0,20 GeV energiaa, jolla tuotetaan höyryä. Höyry pyörittää turbiinia ja turbiini generaattoria, joka tuottaa sähköenergiaa.

8.1 Kuinka monta fissioreaktiota tapahtuu sekunnissa Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitoksessa, kun se käy täydellä teholla? 4 p.

Fissiot tuottavat lämpötehoa, joka saadaan tunnetusta sähkötehosta hyötysuhteen avulla:

$$\eta = P_e / P_{th} \Rightarrow P_{th} = P_e / \eta.$$

Fissioiden lukumäärä sekunnissa saadaan jakamalla lämpöteho yhdessä fissiossa vapautuvalla energialla:

$$x = P_{th} / E_{fissio} = P_e / (\eta E_{fissio}) = 1600 \text{ MW} / (0,375 \cdot 0,20 \text{ GeV} \cdot 1,6021765 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}) = 1,3315 \cdot 10^{20} / \text{s} \approx 1,3 \cdot 10^{20} / \text{s}.$$

8.2 Kuinka paljon polttoaineen massaa katoaa fissioreaktioiden takia vuodessa, kun laitos toimii käyttösuunnitelman mukaisesti? 4 p.

Energian ja massakadon yhteys on: $E = mc^2$, josta $m = E/c^2$.

Vuoden aikana fissioiden tuottama lämpöenergia saadaan kertomalla teho käyttöajalla:

$$E = P_{th} T = P_e T / \eta.$$

Näin ollen massan muutos vuoden aikana on

$$m = P_e T / (\eta c^2) = 1600 \text{ MW} \cdot 330 \text{ d} \cdot 24 \text{ h/d} \cdot 3600 \text{ s/h} / (0,375 \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2) = 1,3517 \text{ kg} \approx 1,4 \text{ kg}.$$

Samaan tulokseen voi päätyä vaiheittain lähtien osatehtävän 8.1 vastauksesta x. Kertomalla x käyttöajalla $T = 330 \text{ d}$ saadaan fissioiden lukumäärä käyttöjakson aikana ja siitä massan muutos kertomalla tulos E_{fissio}/c^2 :lla.

8.3 Jos saman sähkötehon tuottamiseen käytetään kivihiiivoimalaitosta, tarvittavan kivihiiilen massa on 100 000-kertainen uraanipolttoaineen massa verrattuna. Mistä tämä ero johtuu? 4 p.

Kivihiiilen polttamisen yhteydessä energiaa vapautuu hiiliatomin yhtyessä hapteen, kun taas uraanin fissiossa energiaa vapautuu atomiytimen haljetessa. Palamisreaktiossa vapautuva energia liittyy molekyylien sidosten katkeamisiin ja muodostumisiin ja se on reaktiota kohti eV-luokkaa. Fissioreaktiossa energiaa vapautuu nukleonien uudelleenjärjestymisestä (vahva vuorovaikutus) ja se on reaktiota kohti MeV-luokkaa. Uraanipolttoaineen ytimistä tyypillisesti vain muutama prosentti fissioituu käytön aikana,

mutta siitä huolimatta palamisreaktioita ja hiilipolttoainetta tarvitaan 5–6 suuruusluokkaa enemmän kuin ydinreaktioita ja ydinpolttoainetta.

(Vastaukseksi ei riitä, että toteaa uraanin energiatihyden olevan suurempi, vaan tarvitaan perustelu tälle.)

8.4 Hiilivoima ja ydinvoima aiheuttavat käytön aikana ympäristölle haittoja ja riskejä. Kuvaile kolme merkittävää eroa hiilivoimalan ja ydinvoimalan välillä käytön aikaisissa haitoissa ja riskeissä. **3 p.**

Merkittävimmät erot hiilivoiman ja ydinvoiman haittojen ja riskien välillä laitosten käytön aikana:

1. Hiilidioksidi: Hiilivoimalaitos tuottaa käytön aikana hiilidioksidia, ydinvoimalaitos ei. TAI Ydinvoimalaitos luokitellaan CO₂:n suhteen vähäpäästöiseksi energiantuotantomuodoksi, hiilivoimalaitos suuripäästöiseksi.
2. Pienhiukkaset: Hiilivoimalaitos tuottaa käytön aikana pienhiukkasia, ydinvoimalaitos ei.
3. Onnettomuusriski: Ydinvoimalaitoksessa on käytön aikana suuria määriä radioaktiivisia aineita, jotka aiheuttavat säteilyonnettomuuden riskin. Hiilivoimalaitoksessa ei käytetä radioaktiivisia aineita.

Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Aurinkovoimala 20 p.

Kuvassa 9.A on esitetty eteläsuomalaisen omakotitalon katolla olevista 18 aurinkopaneelistä muodostuvan pienvoimalan tuottama sähköteho 3.8.2022. Kuvasta voidaan havaita, että teho vaihtelee nopeasti paneeleihin osuvan valon määrän mukaan. Taulukossa 9.B on esitetty aurinkopaneelien tuottama sähköteho ajan funktiona keskiyöstä alkaen useana päivänä samalla viikolla.

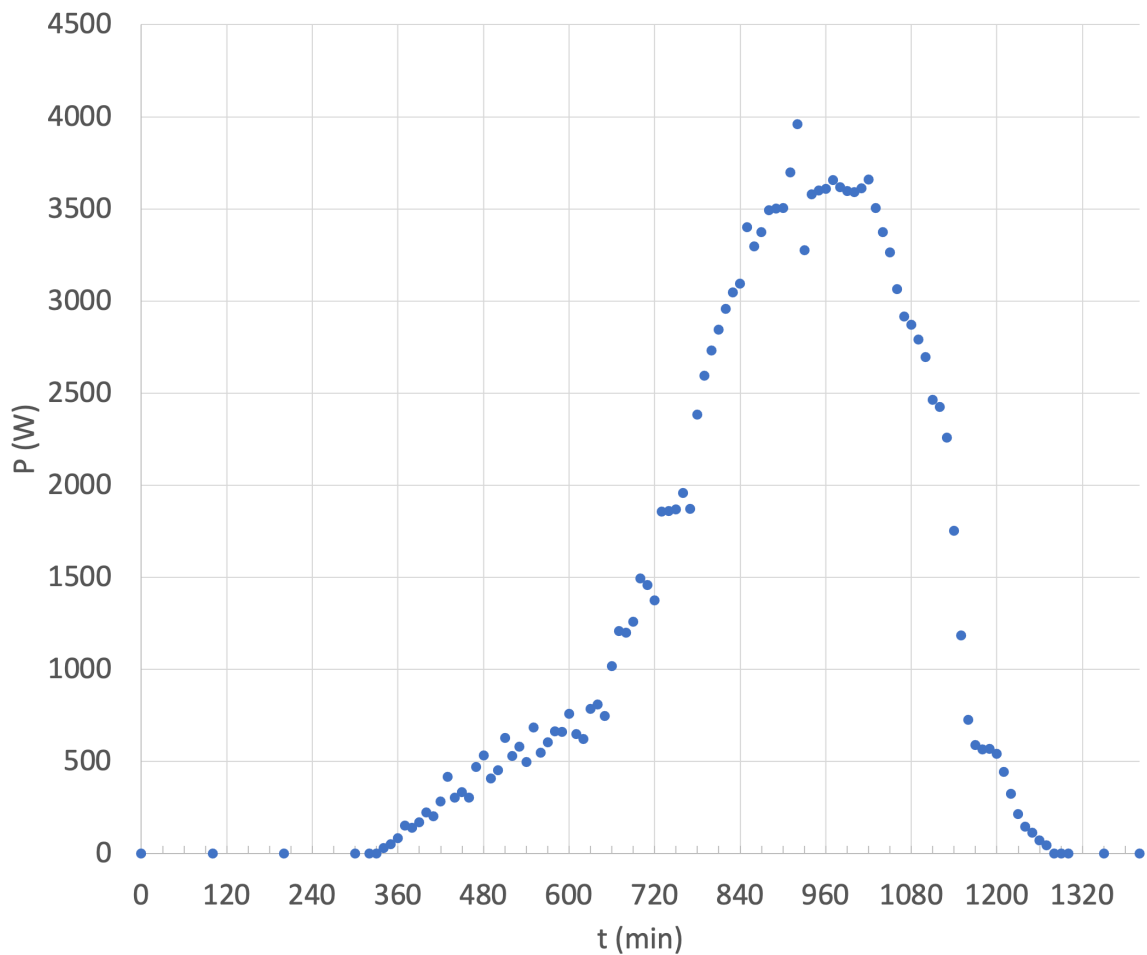
9.1 Aurinkopaneelien energiantuotanto riippuu kellonajasta. Ilmeisin tähän vaikuttava asia on se, että elokuussa aurinko nousee kello 5:n aikoihin ja laskee kello 22:n aikoihin. Mainitse kolme muuta asiaa, jotka vaikuttavat siihen, että energiantuotanto muuttuu vuorokauden mittaan. **3 p.**

Energiantuotannon muutoksiin vaikuttavat ainakin seuraavat asiat:

- Pilvet varjostavat paneeleita, ja auringon valo absorboituu pilviin tai siroaa niistä muualle. Tämä näkyy tuotannon nopeina muutoksina.
- Auringon ja paneelien välinen kulma muuttuu vuorokaudenajan mukaan. Maksimin paikka ei ole kello 13, joten paneelit on suunnattu länteen. Tällöin auringon säteily osuu paneeleihin paremmin vasta iltapäivällä.
- Puut ja rakennukset varjostavat paneeleita, joten ne ovat varjossa tiettyihin aikoihin päivässä. Esimerkiksi kello 14.30–15.00 kaikissa käyrissä on hetkellinen minimi, joka saattaa syntyä tällaisesta varjosta.

9.2 Kuinka paljon energiaa tällä pienvoimalalla pystyisi enimmillään tuottamaan yhdessä vuorokaudessa elokuun alussa? Laadi taulukon 9.B perusteella sopiva graafinen esitys, josta määrität enimmillään tuotettavissa olevan energian. **9 p.**

Valitaan mittaussaineistosta kunkin ajankohdan suurin mitattu teho ja muodostetaan näistä oma sarake tiedostoon. Piirretään näin saatu aika-tehokuvaaja. Se vastaa pilvettömän päivän energiantuottoa.



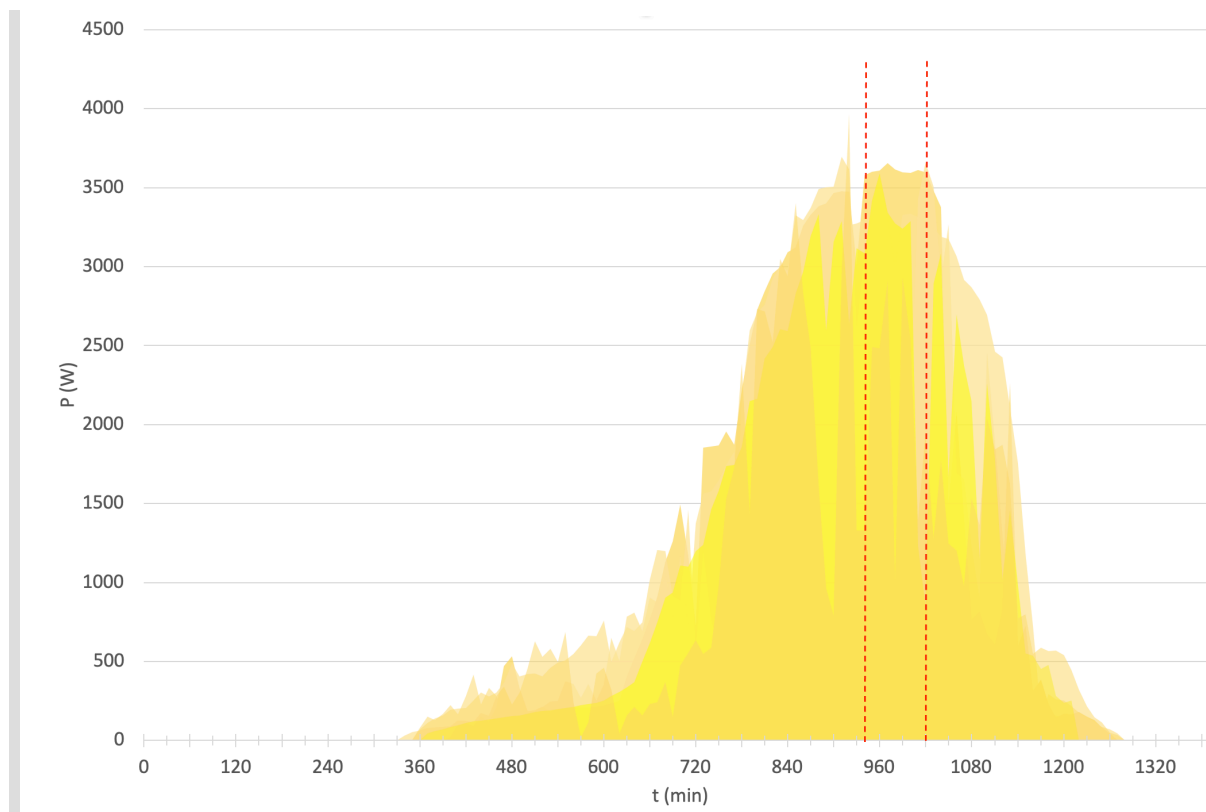
(5 p.)

Vuorokaudessa tuotettua energiaa kuvaa käyrän alle jäävä pinta-ala, joka on $1\,550\,000\text{ W} \cdot \text{min}$ tai $25,9\text{ kWh}$ tai $93,2\text{ MJ}$.

(4 p.)

9.3 Mihin aikaan päivästä ja kuinka pitkällä aikavälillä paneelien energiantuotanto olisi suurimmillaan osatehtävän 9.2 mukaisessa ideaalilanteessa? **4 p.**

Käytetään osion 9.2 graafista esitystä tai piirretään mittausaineisto kultakin päivältä samaan kuvaan. Niistä voidaan päätellä, että suurin teho saavutetaan noin 90 minuutin ajan iltapäivällä 940 minuuttia keskiyöstä eli noin kello 15.00–16.30. Käyrän maksimin alue on mahdollisesti tätäkin laajempi.



9.4 Valmistajan antamien tietojen mukaan aurinkopaneelit pystyvät muuttamaan 19 % niihin osuvasta auringon säteilyenergiasta sähköenergiaksi. Mainitse kaksi seikkaa, jotka vaikuttavat siihen, että kaikkea paneeleihin osuvaa säteilyenergiaa ei voida muuttaa sähköenergiaksi. **4 p.**

Hyötysuhteeseen vaikuttavat seuraavat asiat (2 p. / oikea ja merkityksellinen asia):

- Osa tulevasta säteilystä heijastuu paneelin pinnasta.
- Jotta paneeli pystyisi tuottamaan säteilystä sähköä, säteilykvantin energian tulee ylittää paneelin puolijohdemateriaalin kynnyenergia. Kynnyenergiaa vastaavaa aallonpituutta pitkäaaltoisempi säteily ei absorboitu paneeleihin eikä siten tuota sähköä. Auringosta tulevasta säteilystä merkittävä osa (noin neljäsosa) on infrapunasäteilyn alueella, eikä näiden kvanttien energia riitä sähkön tuottamiseen.
- Energian luovuttaminen on kahden hiukkasen välinen prosessi. Kennoon absorboituva fotoni luovuttaa energiansa yhdelle elektronille. Kun fotonin energia on suurempi kuin kynnyenergia, kenno ei pysty käyttämään hyväkseen fotonin koko energiaa vaan ainoastaan tarvitsemansa kynnyenergian. Näin lyhytaaltoisemman säteilyn kaikkea energiaa ei pystytä käyttämään hyväksi. Auringosta tulevasta säteilystä merkittävä osa (noin neljäsosa) on ultraviolettialueella, ja näiden kvanttien energiasta merkittävä osa jää ylimääräiseksi.

10. Autorata 20 p.

Leikkiauto kulkee autoradalla, jossa on kolme ympyränmuotoista pystysuoraa silmukkaa (video 10.A). Auto laukaistaan matkaan. Sopivalla alkuvauhdilla se kiertää kaikki kolme silmukkaa ja lennähtää sen jälkeen hyppyristä muoviastiaan. Silmukoiden halkaisijat ovat 51 cm, 38 cm ja 25 cm. Leikkiauton massa on 37 g.

10.1 Auto kulkee autoradan korkeimmassa kohdassa ylösalaisin mutta pysyy radalla. Mikä on sen pienin mahdollinen nopeus tässä kohdassa? **6 p.**

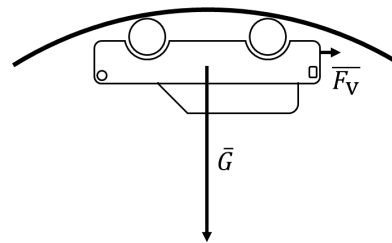
Newton II lain mukaan $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$, jolloin y-suuntaiset voimat $\vec{G} + \vec{N} = m\vec{a}_n$, jossa \vec{a}_n on auton normaalikiikkyvyys suurimman silmukan keskipistettä kohti. Nopeus on pienimmillään rajatapauksessa, jossa $\vec{N} = 0$ jolloin $\vec{G} = m\vec{a}_n$.

(4 p.)

Normaalikiikityvyyden $a_n = v^2/r$ ja auton paino on $G = mg$, joten $mg = mv^2/r$, josta saadaan pienin mahdollinen nopeus

$$v = \sqrt{gr} = \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,51}{2} \text{ m}} = 1,581629 \text{ m/s} \approx 1,6 \text{ m/s}.$$

(2 p.)



10.2 Auto lähetetään radalle nopeudella 3,1 m/s. Radan läpi kulkenut auto

lennähtää hyppyristä 32 cm:n korkeuteen ja laskeutuu takaisin radan tasolle 15 cm:n etäisyydelle lentoradan korkeimmasta kohdasta (kuva 10.B). Autoon ilmalennon aikana kohdistuvat vastusvoimat voidaan olettaa merkityksettömiksi, joten hypyn aikana auton nopeuden vaakasuora komponentti pysyy vakiona, mutta pystysuora komponentti muuttuu tasaisesti. Kuinka suuri oli autoon kohdistuvien vastusvoimien tekemä työ koko radan matkalla? **7 p.**

Mekaniikan energiaperiaatteen mukaan $E_{p1} + E_{k1} + W = E_{p2} + E_{k2}$, jossa W on vastusvoimien tekemä työ. Auton mekaaninen energia on alussa $E_{p1} = 0$ ja $E_{k1} = \frac{1}{2}mv_0^2$ ja lopussa $E_{p2} = mgh$ ja $E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2$, joten energiaperiaatteesta saadaan yhtälö $\frac{1}{2}mv_0^2 - W = mgh + \frac{1}{2}mv^2$, jolloin $W = m(\frac{1}{2}v_0^2 - gh - \frac{1}{2}v^2)$.

(3 p.)

Auton nopeus hypyn aikana voidaan laskea auton putoamisliikkeen avulla. Auto putoaa pystysuoran matkan h samalla kun se etenee vaakasuoran matkan x . Lakipisteessä y -suuntainen nopeus on nolla, jolloin $h = \frac{1}{2}gt^2$, josta saadaan auton putoamiseen kuluva aika $t = \sqrt{2h/g}$. Lakipisteestä auto etenee vaakasuuntaan $x = vt$, jolloin auton nopeus

$$v = x/\sqrt{2h/g} = 0,15 \text{ m}/\sqrt{2 \cdot 0,32 \text{ m}/(9,81 \text{ m/s}^2)} = 0,587267 \text{ m/s}.$$

Vastusvoimien tekemä työ on tällöin

$$W = m(\frac{1}{2}v_0^2 - gh - \frac{1}{2}v^2) = 0,037 \text{ kg} \cdot (\frac{1}{2} \cdot (3,1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,32 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot (0,587267 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2) = 0,0552543 \text{ J} \approx 0,055 \text{ J}.$$

(4 p.)

10.3 Eri leikkiautot toimivat radalla hieman eri tavalla. Valitaan leikkiauto, jonka alkuvauhti ja vastusvoimat ovat sellaiset, että auto ohittaa ensimmäisen ja toisen silmukan korkeimmat kohdat pienimmillä mahdollisilla nopeuksilla. Pääseekö leikkiauto myös kolmannen silmukan läpi? Voit olettaa, että autoon vaikuttavat vastusvoimat ovat keskimäärin yhtä suuria radan kaikissa silmukoissa. **7 p.**

Radan ja auton välinen tukivoima on nolla, jos auto liikkuu pienimmillä mahdollisella nopeudella, jolloin y -suuntaiset voimat kahden ensimmäisten silmukan korkeimmissa kohdissa noudattavat samaa ehtoa kuin osatehtävässä 10.1, eli $G = ma_n$. Tästä saadaan $v_n = \sqrt{gr_n}$.

Mekaaninen kokonaisenergia eri silmukoiden lakipisteissä on tällöin

- ensimmäisen silmukan kohdalla $mgd_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgd_1 + \frac{1}{2}mgr_1 = E_1$,
- toisen silmukan kohdalla $mgd_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = mgd_2 + \frac{1}{2}mgr_2 = E_2$.

Auton mekaaninen kokonaisenergia ensimmäisen silmukan lakipisteessä on

$$E_1 = mgd_1 + \frac{1}{2}mgr_1 = 0,037 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,51 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,51 \text{ m}}{2}) = 0,23139338 \text{ J}.$$

Toisen silmukan lakipisteessä kokonaisenergia on vähentynyt vastusvoimien tekemän työn verran,

$W = -F\Delta x_1$, jolloin $E_2 = mgd_2 + \frac{1}{2}mgr_2 = E_1 - F\Delta x_1$, jossa radan pituus ensimmäisen ja toisen silmukan lakipisteiden välillä on

$$\Delta x_1 = \frac{1}{2}2\pi r_1 + \frac{1}{2}2\pi r_2 = \frac{1}{2}\pi(d_1 + d_2) = \frac{1}{2}\pi(0,51 \text{ m} + 0,38 \text{ m}) = 1,3980087 \text{ m}.$$

$$\text{Keskimääräiseksi vastusvoimaksi saadaan } F = \frac{1}{\Delta x_1}(E_1 - mgd_2 - \frac{1}{2}mgr_2) = 0,042190455 \text{ N}.$$

(3 p.)

Kolmannen silmukan kohdalla energia on edelleen vähentynyt vastusvoimien matkalla Δx_2 tekemällä työllä, eli kokonaisenergia kolmannen silmukan lakipisteessä on

$E_3 = E_1 - F\Delta x_1 - F\Delta x_2 = E_1 - F(\Delta x_1 + \Delta x_2)$, jossa etäisyys toisen ja kolmannen silmukan lakipisteiden välillä on

$$\Delta x_2 = \frac{1}{2}2\pi r_2 + \frac{1}{2}2\pi r_3 = \frac{1}{2}\pi(d_2 + d_3) = \frac{1}{2}\pi(0,38 \text{ m} + 0,25 \text{ m}) = 0,98960169 \text{ m}.$$

Mekaaninen kokonaisenergia on tällöin $E_3 = E_1 - F(\Delta x_1 + \Delta x_2) = 0,13065900 \text{ J}$.

Leikkiauto pääsee kolmannenkin silmukan läpi, jos sen nopeus lakipisteessä ylittää pienimmän mahdollisen nopeuden, eli $v_n = \sqrt{gr_n}$. Siten mekaanisen kokonaisenergian pitää olla vähintään

$$E_{\min} = mgd_3 + \frac{1}{2}mgr_3 = 0,037 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,25 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,25 \text{ m}}{2}) = 0,11342813 \text{ J}.$$

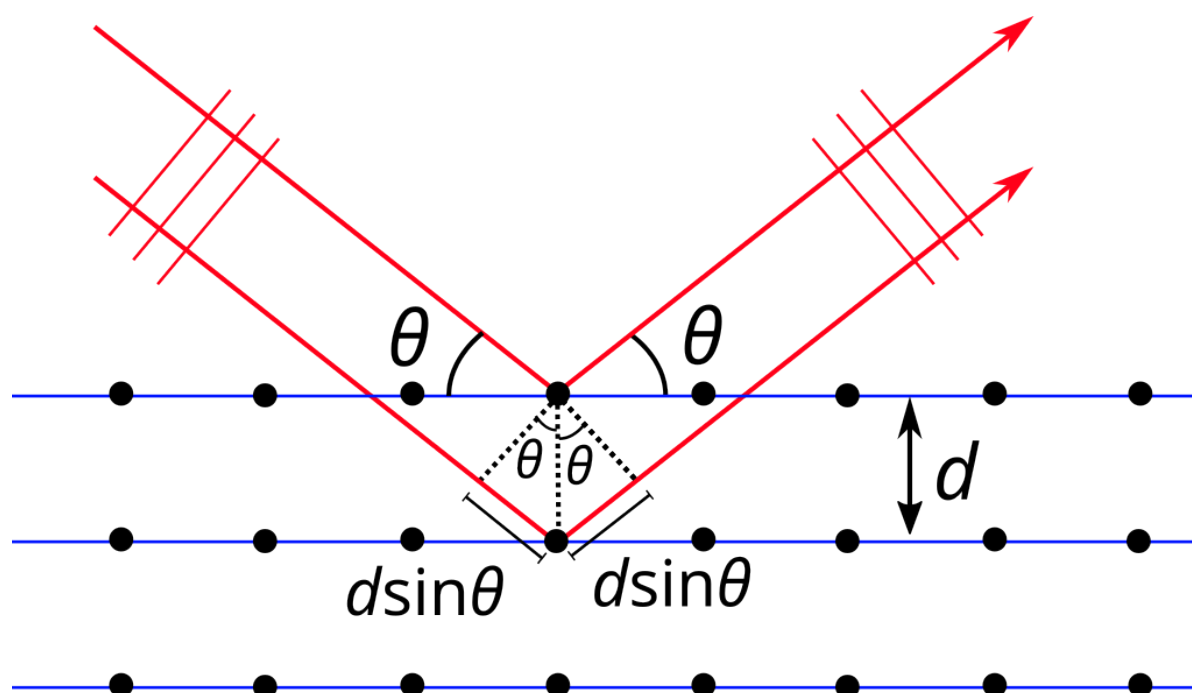
Tässä tapauksessa energia ylittää vähimmäisenergian, eli $E_3 > E_{\min}$, joten leikkiauto pääsee läpi kolmannelstakin silmukasta.

(4 p.)

11. Röntgendiffraktio ja elektronidiffraktio 20 p.

Tekstissä 11.A on kuvattu röntgendiffraktion ja elektronidiffraktion käyttöä kiteisen aineen rakenteen tutkimuksessa. Hyödynnä tekstiä vastatessasi osatehtäviin.

11.1 Johda aineiston 11.A kuvaa apuna käyttäen Braggin laki $2d \sin \theta = n\lambda$, jossa θ on säteilyn ja atomitasojen välinen kulma, λ on säteilyn aallonpituus ja n on diffraktion kertaluku. 5 p.



Tutkitaan kahdesta allekkaisesta tasosta sironneita säteitä. Alemmasta tasosta sironnut säde on kulkenut pidemmän matkan kuin ylemmästä tasosta sironnut säde. Matkaero havaitaan kuvasta, kun siihen lisätään aaltorintamat sopiviin kohtiin, jolloin kahdesta suorakulmaisesta kolmiosta voidaan lukea matkaeroksi $2d \sin \theta$. Jotta säteet (oikeastaan aaltorintamat) olisivat samassa vaiheessa, kun ne osuvat detektoriin, matkaeron tulee olla aallonpituuden monikerta, eli vaaditaan, että $2d \sin \theta = n\lambda$, joka on Braggin laki.

11.2 Kuvassa 11.B on raudasta mitattu röntgendiffraktiokuvaaja, jossa näkyy kolme ensimmäisen kertaluvun ($n = 1$) intensiteettimaksimia. Mittaus tehtiin säteilyllä, jonka aallonpituus oli $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$. Mikä intensiteettimaksimeista (a, b, c) vastaa pienintä atomitasojen välistä etäisyyttä? Määritä kyseinen etäisyys. 5 p.

Braggin laista nähdään, että mitä suurempi on diffraktiokulma, sitä pienempi on d :n arvo. Pienintä atomitasojen välistä etäisyyttä vastaa intensiteettimaksimi c. Luetaan kuvan 11.B spektristä kulma θ piikille

c : $\theta = 41,0^\circ$. Kirjoitetaan Braggin laki muotoon $d = \lambda / (2 \sin \theta)$, kun $n = 1$. Sijoitetaan kulma ja aallonpituuden arvo $\lambda = 0,15406$ nm, joista saadaan tasojen väliseksi etäisyydeksi $d = 0,117$ nm.

11.3 Eräässä röntgendiffraktiokokeessa käytetään molybdeenin niin sanottua $K\alpha$ -röntgensäteilyä, jonka energia on 17,48 keV. Toisessa diffraktiokokeessa käytetään röntgensäteilyn sijasta elektroneja. Määritä elektronien nopeus prosentteina valon nopeudesta, kun elektronien de Broglien aallonpituus on yhtä suuri kuin röntgensäteilyn aallonpituus. **6 p.**

Muodostetaan lauseke $K\alpha$ -säteilyn aallonpituudelle. Kyseessä on fotoni, joten $E = hf = hc/\lambda$. Tästä saadaan $\lambda = hc/E$.

De Broglien aallonpituudelle pätee $\lambda = h/p$, jossa $p = mv$ on elektronin liikemäärä. Vaaditaan, että aallonpituudet ovat samat, joten $hc/E = h/(mv)$. Ratkaistaan nopeudeksi $v = E/(mc)$.

Vastaus pyydettiin c :n murto-osana $v/c = E/(mc^2)$. Jos käytetään elektronin lepoenergiaa eli 511 keV, saadaan $v/c = 17,48 \text{ keV} / 511 \text{ keV} = 0,03421$ eli 3,4 % valon nopeudesta.

Tai: $v/c = (17,48 \cdot 10^3 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}) / (9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} (2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2) = 0,03421$, joten nopeus on 3,4 % valon nopeudesta.

11.4 Kuinka suuri kiihdytysjännite tarvitaan elektronien kiihdyttämiseksi osatehtävässä 11.3 kysytyyn nopeuteen? **4 p.**

Elektronien nopeus on noin 3 % valonnopeudesta, joten suhteellisuusteorian mukaista tarkastelua ei tarvita. Kineettinen energia $E_k = mv^2/2$. Elektronit kiihdytetään jännitteen U yli, jolloin ne saavat energian $E_k = eU$, jossa e on alkeisvaraus. Näistä saadaan $eU = mv^2/2$, josta

$$U = \frac{mv^2}{2e} = \frac{E_k}{2emc^2} \approx 298,9 \text{ V}.$$