



FYSIIKAN KOE 26.9.2019 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

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.

Fysiikka pyrkii ymmärtämään luonnon perusrakennetta, luonnonilmiöiden perusmekanismeja ja niiden säännönmukaisuuksia. Fysiikassa käsitteellinen tieto ja tietorakenteet pyritään ilmaisemaan mahdollisimman kattavina ja yleisinä. Kokeellinen menetelmä on fysiikan tiedon perusta, ja saavutettu tieto esitetään usein matemaattisina teoriarakenteina ja malleina. Malleilla on keskeinen asema myös kehitettäessä, sovellettaessa ja käytettäessä näin saavutettua tietoa. Fysiikan tiedonhankinnalle, tiedon esittämiselle ja sen soveltamiselle on tyypillistä teorian ja kokeellisuuden nivoutuminen toisiinsa.

Fysiikan kokeessa arvioinnin kohteita ovat sekä fysikaalisen tiedon ymmärtäminen että tiedon soveltamisen taito lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti. 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. Luonnontieteiden ja teknologian alaan liittyviä ongelmia ratkaistaan käyttäen ja soveltaen fysiikan käsitteitä ja käsiterakenteita. Luo- vuutta ja kekseliäisyyttä osoittavat ratkaisut katsotaan erityisen ansiokkaiksi. Arviointiin vaikuttavat myös kokelaan vastausten selkeys, asiasisällön johdonmukaisuus ja jäsentyneisyys.

Fysiikan tehtävän vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Kokelas osaa yhdistellä tietoa ja soveltaa oppimaansa. Vastaus osoittaa, 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 tehtävässä. Usein vastauksessa tarvitaan tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafista esitystä. Kuviot, kaaviot ja graafiset esitykset ovat selkeitä ja oppiaineen yleisten periaatteiden mukaisia. Voimakuviossa todelliset voimat erotetaan vektorikomponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä edellyttävissä tehtävissä suureyhtälöt ja kaavat on perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen, esimerkiksi lähtien jostain fysiikan peruslaista tai -periaatteesta. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut sekä muut riittävät perustelut ja lopputulos. Suureiden arvojen sijoituksia yhtälöön ei digitaalisessa kokeessa tarvitse kirjoittaa näkyviin, jos vastauksessa on selkeästi esitetty, mitä lukuarvoa ja yksikköä kullekin suuresymbolille käytetään. Fysiikan kokeessa kaikki funktio-, graafiset ja symboliset laskimet ovat sallittuja. Symbolisen laskimen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu ja lopputuloksen yhteydessä on esitetty tehtävänannossa kysytyn suureen ratkaistu suureyhtälö. Laskimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edellyttämällä tavalla.

OSA I

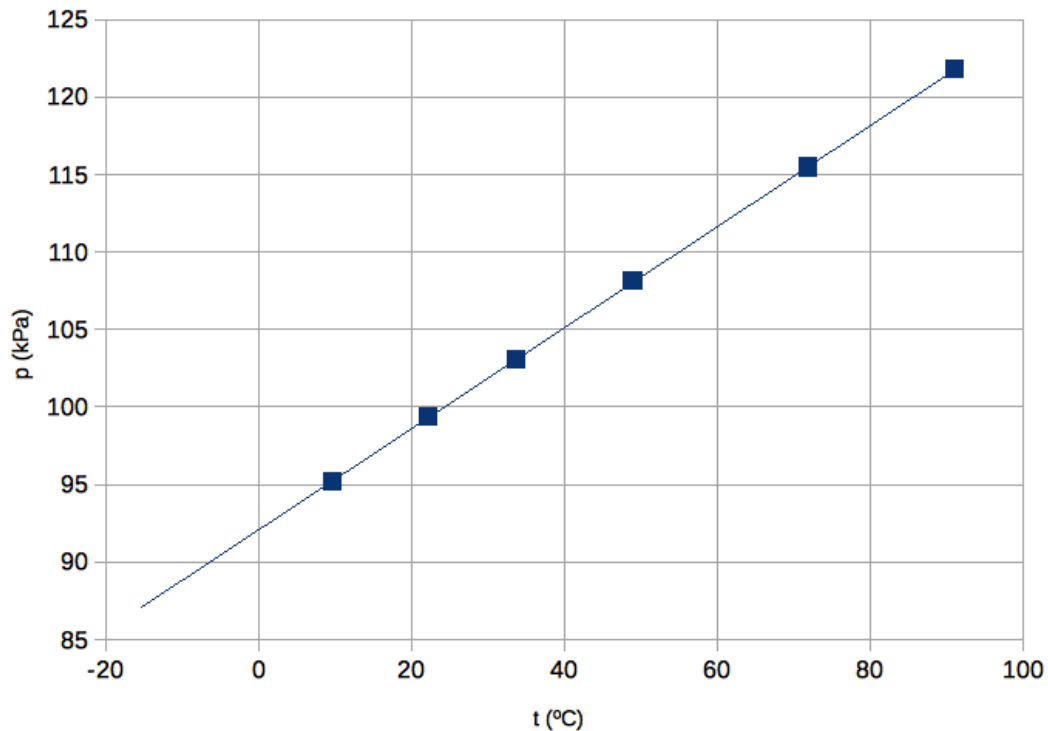
1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta (20 p.)

- 1.1. Vaunu A saa pienemmän liike-energian kuin vaunu B. (2 p.)
- 1.2. Vaunujen liikemäärien summa on nolla. (2 p.)
- 1.3. Jousivoiman potentiaalienergia muuttuu jaksollisesti. (2 p.)
- 1.4. systeemin massakeskipiste pysyy paikallaan (2 p.)
- 1.5. suuntautuu kuvassa ylös (2 p.)
- 1.6. suuntautuu kuvassa oikealle (2 p.)
- 1.7. 30 °C (2 p.)
- 1.8. Kappaleesta A on siirtynyt enemmän energiaa kuin kappaleesta B. (2 p.)
- 1.9. Astiassa A vesi jäähtyy aluksi nopeammin kuin astiassa B. (2 p.)
- 1.10. Lämpötilan mittauksen mukaan astian B vesi saavuttaa 30 °C:n lämpötilan ensin eli ennen astian A vettä. (2 p.)

OSA II

2. Kaasulämpömittari (15 p.)

2.1. (5 p.)



Täysien pisteiden (5 p.) saamiseksi kuvassa tulee näkyä kaikki mittauspisteet ja niihin tehty asianmukainen sovite. Akselit tulee merkitä asianmukaisesti ja akselien skaalauksen tulee olla järkevä.

Jos sovite puuttuu tai on selkeästi väärä tai jos mittauspisteet puuttuvat, vähennetään 2 p. virhettä kohti. Yhden pisteen vähennys tehdään seuraavista virheistä kustakin: puuttuva, ylimääräinen tai väärä datapiste; suureen tunnus, yksikkö tai numeroskaala puuttuu akselilta; karkean epätarkoituksenmukainen skaalaus.

2.2. (5 p.)

Tutkitulla lämpötila-alueella ilmaa voidaan pitää ideaalikaasuna. Tällöin vakiotilavuudessa

$$\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \text{vakio, joten pisteisiin voidaan sovittaa suora.}$$

Suoran sovituksella saadaan

$$p(t) = 0,326083 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}} \cdot t + 92,1404 \text{ kPa,}$$

joten

$$t(p) = \frac{p - 92,1404 \text{ kPa}}{0,326083 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}}$$

Lasketaan lämpötila, kun paine $p = 88,2 \text{ kPa}$.

Vastaukseksi saadaan $t = -12,0841 \text{ }^\circ\text{C} \approx -12,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vastauksesta käy ilmi, kuinka pisteisiin sovitettua suoraa käytetään lämpötilan määrittämiseen (3 p.). Oikea lopputulos (2 p.).

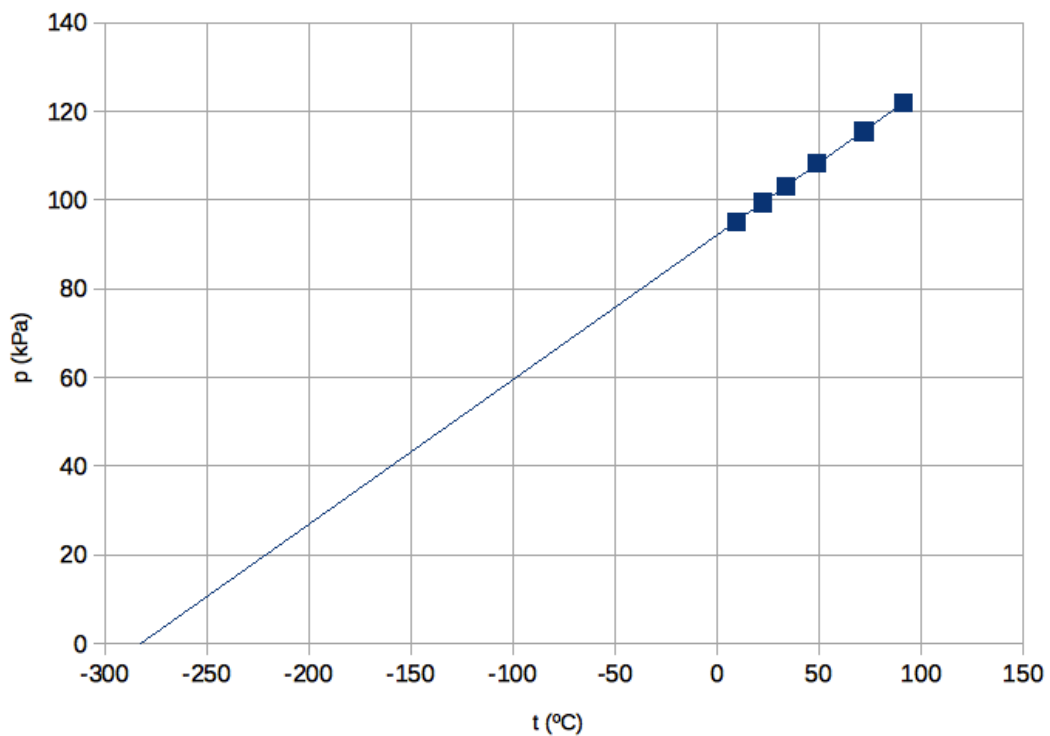
2.3. (5 p.)

Ekstrapoloidaan, miten ideaalikaasu käyttäytyisi lämpötilan laskiessa.

Lasketaan kaasun lämpötila käyttäen kohdan 2.2. yhtälöä, kun paine $p = 0 \text{ kPa}$.

$$t(0 \text{ kPa}) = \frac{-92,1404 \text{ kPa}}{0,326083 \frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}}} = -282,567 \text{ }^\circ\text{C} \approx -283 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kaasun lämpötila olisi siis $-283 \text{ }^\circ\text{C}$ absoluuttisessa nollassa.



Vastauksessa mainitaan ilman käyttäytyminen ideaalikaasun tavoin (2 p.). Oikea lopputulos on saatu joko laskemalla tai ohjelmallisesti kuvaajaa ekstrapoloimalla (3 p.).

3. Ledilamppu autossa (15 p.)

3.1. (6 p.)

Lähteen jännite $U = 14,4 \text{ V}$

Ledin kynnyksjännite $U_L = 1,7 \text{ V}$

Sähkövirta $I = 0,0200 \text{ A}$

Etuvastuksen resistanssi $R = ?$

Etuvastuksen resistanssin alaraja vastaa tapausta, jossa ledin jännitehäviö on sen kynnyksjännitteen suuruinen. Kaikki komponentit ovat sarjassa, joten etuvastuksen ja ledin läpi kulkee sama sähkövirta I .

Sovelletaan Kirchhoffin II lakia:

$$U - U_L - RI = 0,$$

$$R = \frac{U - U_L}{I} = 640 \Omega.$$

Etuvastuksen resistanssin on siis oltava vähintään 640Ω .

Vastauksesta käy ilmi, että kaikkien komponenttien läpi kulkee sama sähkövirta (2 p.). Ratkaisussa on sovellettu Kirchhoffin II lakia laki nimeltä mainiten tai käsittelemällä ledi vastuksellisena komponenttina ja viittaamalla sarjaan kytkentään (2 p.). Lopputuloksessa on suureyhtälön oltava kirjoitettuna näkyviin (2 p.). Vastausta, jossa ei huomioida ledin jännitettä, ei hyväksytä.

3.2. (3 p.)

Lähteen jännite $U = ?$

Etuvastuksen resistanssi $R = 830 \Omega$

Sähkövirta $I = 0,0300 \text{ A}$

Ledin kynnyksjännite $U_L = 1,7 \text{ V}$, sillä ledin jännite ei muutu, kun sähkövirta kasvaa $0,020$ ampeerista $0,030$ ampeeriin.

Lasketaan Kirchhoffin II lain avulla suurin jännite, jonka ledi kestää rikkoutumatta:

$$U - U_L - RI = 0,$$

$$U = U_L + RI = 26,6 \text{ V} \approx 27 \text{ V}.$$

Vastauksesta käy ilmi, että ledin jännite ei muutu sähkövirran kasvaessa. Ratkaisussa on sovellettu Kirchhoffin II lakia, ja lopputuloksessa on suureyhtälö kirjoitettu näkyviin (3 p.).

3.3. (6 p.)

Etuvastuksen ja lediyhdistelmien yli oleva jännite on 14,4 V. Tällöin etuvastuksen jännitehäviö on $U_R = U - U_L = 14,4 \text{ V} - 1,7 \text{ V} = 12,7 \text{ V}$.

Molempien ledien sähkövirta on 20,0 mA, joten etuvastuksen sähkövirta on $I_R = 2 \cdot I_L = 40,0 \text{ mA}$.

Etuvastuksen resistanssi on $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{12,7 \text{ V}}{0,0400 \text{ A}} = 317,5 \Omega \approx 320 \Omega$.

Vastauksessa etuvastuksen jännitehäviö on päätelty Kirchhoffin II lain avulla (2 p.) ja etuvastuksen läpi kulkevan sähkövirran suuruus on perusteltu (2 p.). Lopputuloksessa on suureyhtälön oltava kirjoitettuna näkyviin (2 p.).

4. Mäenlaskua (15 p.)

4.1. (7 p.)

Käytetään seuraavia merkintöjä:

mäen kaltevuus $\alpha = 14^\circ$

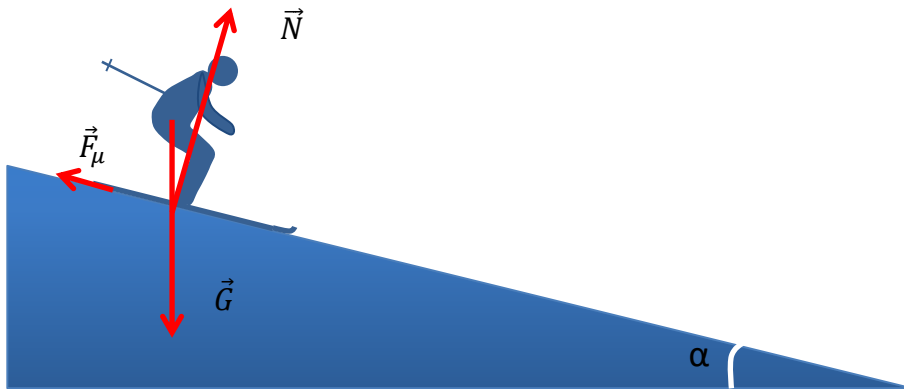
mäen korkeus $h = 7,5 \text{ m}$

mäen pituus $s = \frac{h}{\sin \alpha}$

hiihtäjän massa m

liukukitkakerroin $\mu = 0,11$

Hiihtäjään vaikuttavat voimat ovat painovoima \vec{G} , mäen tukivoima \vec{N} sekä suksien ja lumen välinen liikekitka \vec{F}_μ . (Ilmanvastusta ei huomioida.)



Hiihtäjän laskiessa mäkeä hiihtäjän potentiaalienergian ja liike-energian muutosten summa on mekaniikan energiaperiaatteen mukaan yhtä suuri kuin liikekitkan tekemä työ:

$$\Delta E_p + \Delta E_k = W_\mu,$$

jossa $\Delta E_p = -mgh$, $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ja $W_\mu = -F_\mu s$.

Hiihtäjä on tasapainossa mäenrinnettä vastaan kohtisuorassa suunnassa, joten pinnan tukivoima $N = G_y = mg \cos \alpha$. Liikekitka on $F_\mu = \mu N = \mu mg \cos \alpha$.

Näin saadaan

$$-mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha}.$$

Ratkaistaan nopeus:

$$v = \pm \sqrt{2gh \left(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}\right)} = \pm 9,06805 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \pm 9,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Hiihtäjän nopeus mäen lopussa on 9,1 m/s.

Voimakuviosta ei puutu voimia eikä siinä ole ylimääräisiä voimia, eivätkä voimavektoreiden vaikutuspisteet tai pituudet ole selvästi vääriä (3 p.).

Vastauksessa on esitetty ratkaisun kannalta oikeat lähtöyhtälöt (2 p.).

Lopputuloksessa on suureyhtälön oltava kirjoitettuna näkyviin (2 p.)

4.2. (8 p.)

Tasamaalla hiihtäjään kohdistuu tukivoima $N = mg$, jolloin häneen vaikuttava liikekitka on $F_\mu = \mu mg$.

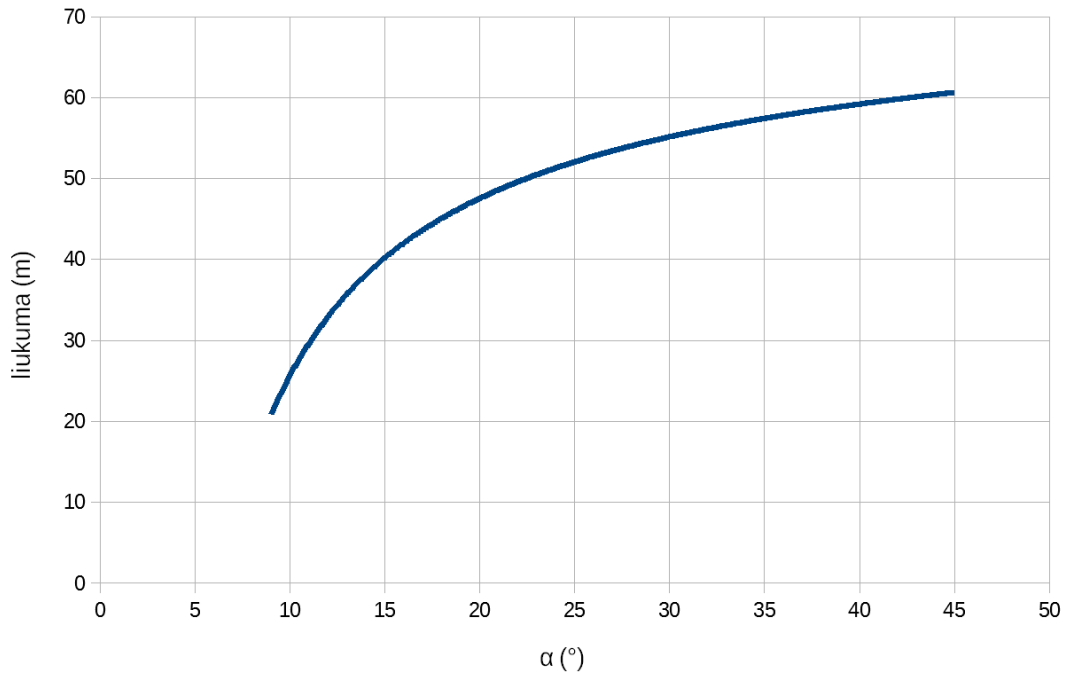
Hiihtäjällä on tasamaan alussa liike-energia $mv^2/2$, jossa v on edellä laskettu nopeus. Liikekitka hidastaa hiihtäjää, ja liu'uttuaan matkan d hiihtäjä pysähtyy. Liikekitkan tekemä työ on $W_\mu = \mu mgd$. Työ-energiaperiaatteen avulla voidaan ratkaista hiihtäjän liukuma matka d :

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= W_\mu, \\ d &= \frac{-\frac{1}{2}mv^2}{-\mu mg} = \frac{v^2}{2\mu g}. \end{aligned}$$

Sijoitetaan kohdasta 4.1. saatu nopeuden lauseke $v = \pm \sqrt{2gh \left(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}\right)}$:

$$d = \frac{h}{\mu} \left(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}\right)$$

Liukumimatka on funktion $d = \frac{h}{\mu} \left(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}\right)$ kuvaaja, kun kulma on $9^\circ \dots 45^\circ$.



Tehtävä on ratkaistu joko työ-energiaperiaatetta käyttäen (kuten yllä) tai kinemaattisesti Newtonin II laista lähtien. Käytetty laki tai periaate on nimetty (1 p.). Vastauksessa on esitetty ratkaisun kannalta oikeat lähtöyhtälöt (2 p.) ja matkan lauseke suureyhtälönä (2 p.). Kuvaaja on yhtenäinen käyrä, ja se käsittää tehtävässä annetun kulma-alueen. Akselit on merkitty asianmukaisesti ja akselien skaalaus on järkevä (3 p.).

Kuvaajan virheitä, -1 p./virhe

- *suureen tunnus, yksikkö tai numeroskaala puuttuu akselilta*
 - *kuvaaja tai derivaatta eivät näytä jatkuvilta*
 - *kulman alue muu kuin tehtävänannossa tai muuten epätarkoituksenmukainen skaalaus*
- Jos vain pisteitä ilman käyrää -2 p.*

5. Kitaran kieli (15 p.)

5.1. (5 p.)

Alin taajuus vastaa värähtelyä, jonka aallonpituus $\lambda = 2L$, jossa $L = 0,655$ m on kielen soivan osan pituus.

Kuvaajalta luettuna alin taajuus $f = 110$ Hz.

Aallon nopeus on $v = \lambda f = 144,1$ m/s ≈ 144 m/s.

Vastauksessa on yhdistetty jokin kielen seisovista aalloista oikeaan taajuuskuvion taajuuteen, esimerkiksi pisin seisova aalto alimpaan taajuuteen (kuten yllä) (2 p.) ja luettu kyseinen taajuuden arvo kuvaajasta (1 p.). Lopputuloksessa on nopeuden suureyhtälön oltava kirjoitettuna näkyviin (2 p.).

5.2. (4 p.)

Kun kieltä kiristetään, kielen pituus ei muutu, joten seisovan aallon pituus ei muutu. Koska värähtelyn taajuus kasvaa, lain $v = \lambda f$ perusteella kieltä kiristettäessä myös aallon nopeus kasvaa.

Vastauksessa on todettu, että aallonpituus ei muutu (2 p.), ja aallon nopeuden päättelyyn on käytetty lakia $v = \lambda f$ (2 p.). Vastauksia, joissa väitetään aallonpituuden muuttuvan, ei hyväksytä.

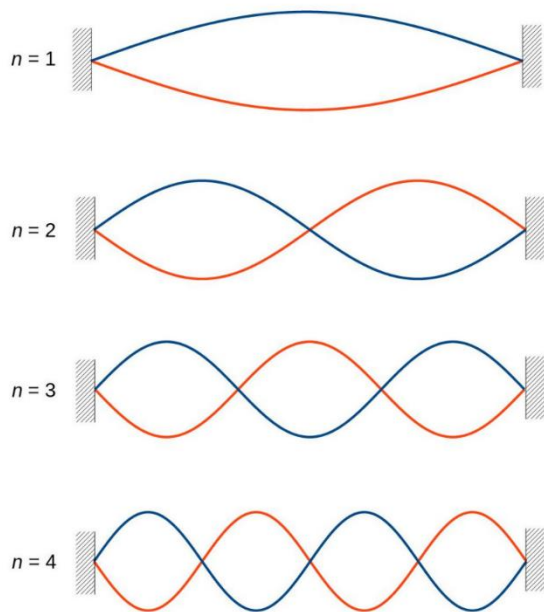
5.3. (6 p.)

Kun kitaran kieli soi, siinä esiintyy yhtä aikaa useita erilaisia seisovia aaltoja ja tämän takia useita eri värähtelytaajuuksia, kuten kuva osoittaa. Perustaajuutta korkeammat taajuudet vastaavat seisovia aaltoja, joissa on päässä olevien solmujen lisäksi yksi, kaksi tai kolme solmua. Seisovien aaltojen aallonpituudet ovat $\frac{2L}{n}$, jossa $n = 1, 2, 3, \dots$, ja vastaavien värähtelyjen taajuudet ovat

$$f_n = \frac{v}{2L/n} = n \frac{v}{2L} = n f_1.$$

Taajuudet ovat siis alimman taajuuden f_1 kokonaislukukerrannaisia.

Vastauksessa mainitaan, että kyse on seisovista aalloista (2 p.). Korkeampia taajuuksia vastaavat aallonpituudet on perusteltu esimerkiksi kuvalla tai laskemalla (2p.). Lopputuloksena on annettu ylätaajuuksien suureyhtälö (2p.).



6. Heiluri magneettikentässä (15 p.)

6.1. (5 p.)

Kokeessa 1 käytetään telineestä roikkuvaa alumiinilevystä valmistettua heiluria. Kokeessa 2 on heilurin lisäksi kestopagneetti.

Kokeessa 1 heiluria poikkeutetaan tasapainoasemastaan ja päästetään irti. Heiluri heilahtelee tasapainoasemansa molemmilla puolilla. Heilahtelu vaimenee ja lopulta pysähtyy.

Kokeessa 2 heiluri asetetaan kestopagneetin napojen väliin. Koe toistetaan. Tässä tapauksessa heiluri pysähtyy nopeasti kestopagneetin päiden väliin.

Vastauksessa on mainittu koeasetelman osina alumiininen heiluri ja kestopagneetti (1 p.).

Kokeen 1 kuvailussa on todettu heilurin heiluminen ja vaimeneminen tai pysähtyminen (2 p.), ja kokeen 2 kuvailussa, että heiluri heilahtelee magneetin napojen välissä ja pysähtyy nopeammin kuin kokeessa 1 (2 p.). Hyvältä vastaukselta vaaditaan, että siinä esitetyn kuvailun perusteella kokeesta ja koeasetelmasta pystyy saamaan oikean käsityksen.

6.2. (5 p.)

Kyseessä on pyörrevirtojen syntyminen alumiinilevyyn, kun levyn läpi kulkeva magneettivuo muuttuu. Tämä hidastaa heilurin liikettä. Koska alumiini on johde, siihen syntyy pyörrevirtoja.

Heilurin liike johtuu painovoimasta ja telineen heiluriin kohdistamasta tukivoimasta, joiden yhteisvaikutuksesta heiluri suorittaa heilahdusliikettä tasapainoasemansa molemmin puolin.

Jos heiluri olisi valmistettu eristeestä, kuten muovista, ei siihen syntyisi pyörrevirtoja. Tällöin heiluri ei pysähtyisi nopeasti magneettikentässä, vaan heilahtelu olisi samankaltaista kuin ensimmäisessä koejärjestelyssä eli vaimenisi hitaasti kitkan ja ilmanvastuksen vaikutuksesta.

Vastauksessa on mainittu, että alumiiniin syntyy pyörrevirtoja, koska magneettivuo sen läpi muuttuu heilahdusten aikana (2 p.). On todettu, että muovilevy heilahtelisi samalla tavalla kuin alumiinilevy kokeessa 1 (1 p.), koska muovi on eriste eikä siihen siksi synny pyörrevirtoja (2 p.)

6.3. (5 p.)

Pyörrevirrat ovat johdekappaleen vapaiden elektronien liikettä. (2 p.)

Elektroneihin kohdistuu magneettinen Lorentzin voima. (2 p.)

Magneettisten voimien yhteisvaikutus saa heilurin liikkeen vaimenemaan. (1 p.)

TAI

Lenzin lain mukaan levyyn indusoituvien pyörrevirtojen synnyttämät magneettikentät pyrkivät vastustamaan magneettikentän muutosta. Kestomagneetin leukojen väliin tulossa olevan levyn osan kohdalla magneettikenttä voimistuu, joten pyörrevirran kenttä pyrkii heikentämään sitä. Tällöin pyörrevirran synnyttämän sähkömagneetin ja kestopagneetin samanlaiset navat ovat vastakkain. Magneetit hylkivät toisiaan ja jarruttavat siten heilurin liikettä. Vastaavasti kestopagneetin leukojen välistä poistuvaan levyn osaan syntyy pyörrevirran muodostama sähkömagneetti, joka pyrkii pitämään yllä heikkenevää kenttää. Tällöin sähkömagneetin ja kestopagneetin erilaiset navat ovat vastakkain. Ne vetävät toisiaan puoleensa ja jarruttavat näin heilurin liikettä.

Vastauksessa on mainittu Lenzin laki nimeltä ja selitetty, mitä laki tarkoittaa (2 p.), sekä

sovellettu lakia tarkasteltavaan tilanteeseen siten, että käy ilmi sähkömagneetin ja kestopagneetin vuorovaikutus ja heilurin liikkeen jarruuntuminen (3 p.).

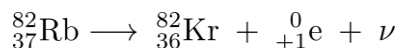
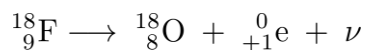
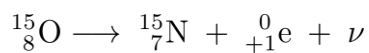
TAI

Alumiinilevy on johde, mutta kuitenkin se vastustaa sähkövirran kulkua, ja sähkövirran energiaa muuttuu materiaalissa lämmöksi. Tästä syystä pyörrevirtojen ylläpito vaatii energiaa. Se otetaan heilurin liikkeestä, joka hidastuu ja heilahtelu vaimenee.

Vastauksessa on todettu, että pyörrevirroista aiheutuu energian muuttumista lämmöksi (alumiinin sisäenergiaksi) (1 p.), koska alumiinilla on resistanssia (2 p.). On selitetty tämän yhteyden heilurin heilahtelun vaimenemiseen (2 p.).

7. Beetahajoaminen (15 p.)

7.1. (4 p.)



Hyväksytyssä vastauksessa reaktiossa syntyvä alkuaine on nimetty oikein ja sillä on oikea järjestysluku eikä reaktiossa ole ylimääräisiä tai väärä hiukkasia (4 p.). Jos vastaus on muuten oikein, mutta siinä on väärä massa- ja neutronilukuja tai neutriino puuttuu, tehtävästä voi saada enintään 2 p.

7.2. (7 p.)

Massavajeet:

$$\Delta m = [m(^{15}_8\text{O}) - 8m(e)] - [m(^{15}_7\text{N}) - 7(e) + m(e)] = m(^{15}_8\text{O}) - m(^{15}_7\text{N}) - 2m(e)$$

$$= 15,003065 \text{ u} - 15,000108 \text{ u} - 2 \cdot 5,4857990 \cdot 10^{-4} \text{ u} \approx 0,00185984 \text{ u}$$

$$\Delta m = [m(^{18}_9\text{F}) - 9m(e)] - [m(^{18}_8\text{O}) - 8(e) + m(e)] = m(^{18}_9\text{F}) - m(^{18}_8\text{O}) - 2m(e)$$

$$= 18,000937 \text{ u} - 17,9991594 \text{ u} - 2 \cdot 5,4857990 \cdot 10^{-4} \text{ u} \approx 0,000680440 \text{ u}$$

$$\Delta m = [m(^{82}_{37}\text{Rb}) - 37m(e)] - [m(^{82}_{36}\text{Kr}) - 36m(e) + m(e)] = m(^{82}_{37}\text{Rb}) - m(^{82}_{36}\text{Kr}) - 2m(e)$$

$$= 81,918209 \text{ u} - 81,913482 \text{ u} - 2 \cdot 5,4857990 \cdot 10^{-4} \text{ u} = 0,00362984 \text{ u}$$

Vapautuva energia:

$$Q = 0,00185984 \text{ u} \cdot c^2 = 0,00185984 \cdot 931,49432 \text{ MeV} \approx 1,732 \text{ MeV}$$

$$Q = 0,000680440 \text{ u} \cdot c^2 \approx 0,6338 \text{ MeV}$$

$$Q = 0,00362984 \text{ u} \cdot c^2 \approx 3,381 \text{ MeV}$$

Hajoamisenergiat vastaavat havaittujen spektrien maksimiarvoja tai jopa hieman ylittävät ne spektrien mittaustarkkuuden rajoissa.

Vastauksessa on laskettu massavaje kohdassa 7.1. tarkastellulle hajoamiselle (3 p.). Massavajeen avulla on määritetty hajoamisessa vapautuva energia (2 p.) ja verrattu tätä aineistossa annetun positronin energiaspektrin maksimienergiaan (2 p.).

7.3. (4 p.)

Säteily-spektrit ovat jatkuvia, koska vapautuva hajoamisenergia jakaantuu kolmen hiukkasen eli tytärytimen, positronin ja neutriinin kesken. (1 p.)

Valtaosa liike-energiasta jakaantuu positronille ja neutriinolle, ja tämä jakosuhte vaihtelee hajoamisissa. (2 p.)

Positronin liike-energia voi olla mitä tahansa nollan ja havaitun maksimiarvon välillä. (1 p.)

8. Rehun radioaktiivisuus (15 p.)

8.1. (6 p.)

Hajoavia ytimiä on pellolla $N = n N_A = \frac{m}{M} N_A$, jossa n on ainemäärä, m kokonaismassa ja M moolimassa. Tästä saadaan pellolla olevien isotooppien kokonaismassaksi $m = \frac{N}{N_A} M$.

Mitatun aktiivisuuden perusteella saadaan $N = \frac{1}{\lambda} A$, jossa $A = 5 \cdot 10^4 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ m}^2$.

Hajoamisvakio on $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$, jossa ^{60}Co -isotoopin puoliintumisaika on 5,27 vuotta = $5,27 \cdot 31,536 \cdot 10^6 \text{ s}$.

^{60}Co -isotoopin moolimassa on $M = 59,933819 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$. Kokonaismassaksi saadaan

$$m = \frac{AMT_{1/2}}{N_A \ln 2},$$

johon sijoittamalla saadaan massaksi $2,38623505 \cdot 10^{-5} \text{ g} \approx 20 \mu\text{g}$.

Vastauksessa on esitetty lähtöyhtälöt, joista käy ilmi, että $N \sim A$ ja $N \sim m$ (2 p.).

Niiden avulla on määritetty koko pellon aktiivisuus (1 p.) ja taulukosta löytyvää ^{60}Co -isotoopin puoliintumisaikaa (1 p.) käyttäen määritetty pellolla olevien isotooppien kokonaismassa (2 p.).

8.2. (4 p.)

Aluksi pellon kokonaisaktiivisuus pinta-alayksikköä kohti on $A_0 = 5 \cdot 10^4 \text{ Bq/m}^2$.

Hajoamisvakio on $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$, jossa ^{60}Co -isotoopin puoliintumisaika on 5,27 vuotta.

Vuoden ($t = 1 \text{ a}$) kuluessa kobolttipellon aktiivisuus on vähentynyt arvoon

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = 4,383778103 \cdot 10^4 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^2}.$$

Kasvisto kantaa tästä 30 %:n osuuden. Kun koko pelto niitetään, on saatavan rehun aktiivisuus

$$A_{rehu} = 0,3 \cdot 4,383778103 \cdot 10^4 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ m}^2 = 2,6302686 \cdot 10^8 \text{ Bq}.$$

Aktiivinen koboltti on jakautunut tasaisesti rehuun, jonka tilavuus on 10 m^3 . Siten 3 litran annoksen aktiivisuus on $3 \cdot 10^{-4} \cdot 2,6302686 \cdot 10^8 \text{ Bq} = 7,8908058 \cdot 10^4 \text{ Bq} \approx 80 \text{ kBq}$.

Vastauksessa on annettu hajoamislaki suuremuodossa ja sovellettu sitä koko pellon aktiivisuuden (2 p.) ja rehun aktiivisuuden (2 p.) määrittämisessä.

8.3. (5 p.)

Aktiivisuuden fysikaalinen puoliintumisaika on $T_f = 5,27 \text{ a} = 1923,55 \text{ d}$ ja biologinen puoliintumisaika $T_b = 10 \text{ d}$. Lasketaan efektiivinen puoliintumisaika:

$$T_e = \frac{T_f T_b}{T_f + T_b} = 9,94828 \text{ d}.$$

Efektiivinen hajoamisvakio on $\lambda_e = \frac{\ln(2)}{T_e}$.

Ratkaistaan hajoamislaista, kuinka pitkän ajan t kuluttua aktiivisuus on sadasosa alkuperäisestä aktiivisuudesta eli $A = \frac{A_0}{100} = A_0 e^{-\lambda_e t}$:

$$t = -\ln(0,01) \cdot \frac{T_e}{\ln(2)} = 66,09494166 \text{ d} \approx 70 \text{ d}.$$

Lampaan saaman koboltin aktiivisuus on siis vähentynyt sadasosaan 70 vuorokauden kuluessa.

Ratkaisusta käy ilmi, että kokelas on ymmärtänyt efektiivisen puoliintumisajan oikein (2 p.) ja osannut sitä käyttäen määrittää kysytyn ajan loppulausekkeineen (3 p.).

OSA III

9. Tuulivoimala (20 p.)

9.1. (5 p.)

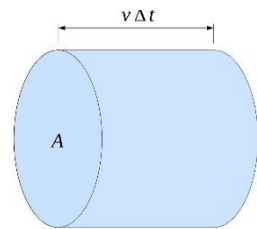
Tuulivoimalassa tuuli pyörittää turbiinia, johon on kytketty sähköä tuottava generaattori. Energian muuntumiset: tuulen liike-energia → turbiinin pyörimisliikkeen energia → generaattorin roottorin pyörimisliikkeen energia → sähköverkon välittämä energia. Osa energiasta muuntuu kitkan ja ohmisten häviöiden takia lämpöenergiaksi.

Vastauksessa on esitetty vähintään viisi energiavaihetta (5 p.).

9.2. (4 p.)

Pinta-alan A läpi ajassa Δt nopeudella v kulkeneen ilman tilavuus on $V = Av \cdot \Delta t$ ja massa $m = \rho V = \rho Av \cdot \Delta t$. Näin ollen ilmavirran liike-energian teho on

$$P_K = \frac{E_K}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho Av\Delta t \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho Av^3.$$



Ratkaisusta käy ilmi, miten massa on määritetty kuvitteellisen ilmatynnyrin avulla (2 p.).

Tehon lauseke on johdettu algebrallisesti oikein (2 p.).

9.3. (3 p.)

Betzin lain mukaan suurin teho saavutetaan, kun $v_2 = \frac{1}{3}v_1$. Tällöin

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{1}{4}\rho A \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1 \right) \left(v_1^2 - \left(\frac{1}{3}v_1 \right)^2 \right), \\ P_B &= \frac{1}{4}\rho A \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1 \right) \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1 \right) \left(v_1 - \frac{1}{3}v_1 \right), \\ P_B &= \frac{1}{4}\rho A \frac{4}{3}v_1 \cdot \frac{4}{3}v_1 \cdot \frac{2}{3}v_1 = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho Av_1^3. \end{aligned}$$

Silloin

$$\frac{P_B}{P_K} = \frac{16}{27} \approx 0,59.$$

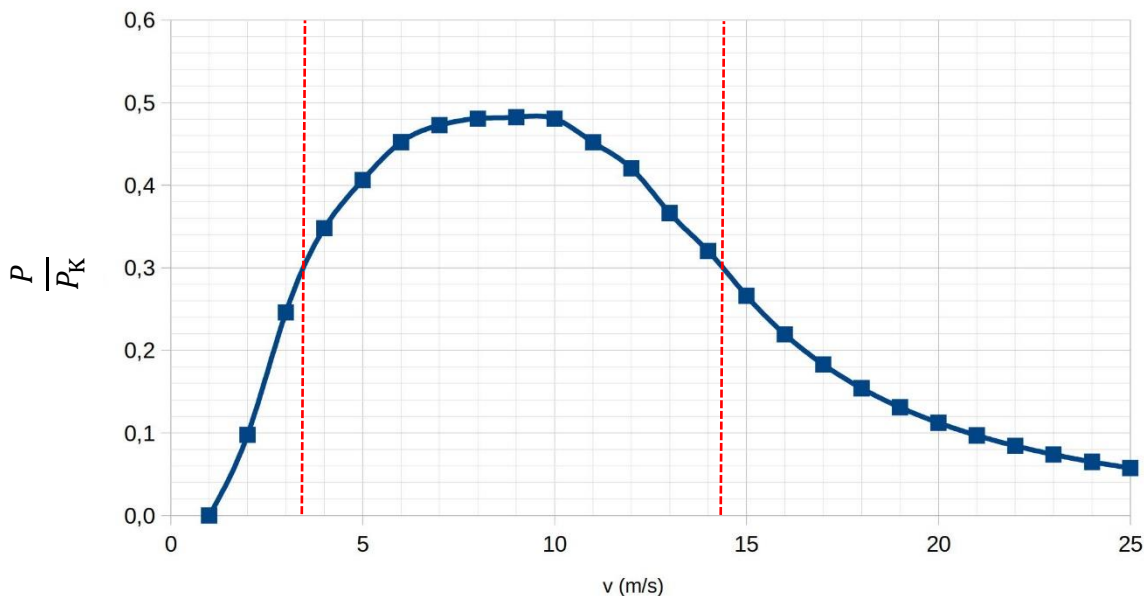
Betzin lain mukaisen tehon lauseke on saatettu algebrallisesti sievennettyyn muotoon (2 p.) ja sitä käyttäen on määritetty suurin teoreettinen hyötysuhde (1 p.).

9.4. (8 p.)

Turbiinin pyyhkäisemä pinta-ala on $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{71}{2} \text{ m}\right)^2 = 3959,19 \text{ m}^2$.

Ilman tiheys on $\rho = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Lasketaan näiden avulla ilmavirran tehot $P_K = \frac{1}{2} \rho A v^3$ eri nopeuksilla, luetaan todellisen sähkötehon P arvot annetusta tiedostosta, ja piirretään kuvaaja $\left(v, \frac{P}{P_K}\right)$.



(datan käsittely ja kuvaajan tuotto 6 p.)

Luetaan kuvaajasta, millä tuulen nopeuksilla todellinen hyötysuhde on 0,3 tai sitä suurempi. Kun tuulen nopeus on välillä 3,5 – 14,4 m/s, todellinen hyötysuhde on yhtä suuri tai parempi kuin 30 %.

Ratkaisussa on laskettu turbiinin pyyhkäisemä pinta-ala (1 p.), laskettu sitä käyttäen ilmavirran teho eri tuulennopeuksille ja tuotettu todellisen hyötysuhteen kuvaaja (5 p.). Kuvaajasta

vähennetään pisteitä, jos siinä väärää pisteitä tai pisteitä puuttuu, puuttuu tasoitus tai akseli-merkinnät ovat puutteelliset. Kuvaajasta on luettu oikein kysyty tuulennopeuden vaihteluväli (2 p.).

10. Grafeeni (20 p.)

10.1. (4 p.)

Kuvassa on määritelty neljästä hiiliatomista koostuva yksikkökoppi, jota kopioimalla voidaan kattaa koko pinta. Pintatiheys on näin ollen

$$\rho = \frac{m_{\text{koppi}}}{A_{\text{koppi}}} = \frac{4 \cdot 12 \text{ u}}{3a_0 \cdot \sqrt{3}a_0} = \frac{16 \text{ u}}{\sqrt{3}a_0^2}.$$

Yksi gramma grafeenia peittää pinta-alan

$$A = \frac{m}{\rho} = \frac{0,001 \text{ kg}}{16 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \cdot \sqrt{3}(0,142 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2 \approx 1300 \text{ m}^2.$$

Ratkaisussa on osattu aineiston perusteella käyttää oikeaa grafeenin yksikköpinta-alaa (2 p.) ja ratkaista sitä käyttäen kokonaispinta-ala (2 p.).

10.2. (8 p.)

Tausta-aineiston mukaan grafeeni kestää 20 %:n venymisen alkuperäisestä pituudestaan, jolloin maksimaalisesti venyneen grafeenimaton pituus on $1,20 \cdot 4,0 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$. Tällöin maton pituus telineestä 1 tankoon on kuvan mukaisesti 2,4 m.

Grafeenin maksimaalinen vetolujuus eli maksimaalinen voima poikkileikkauksen pinta-alaa kohden on $P = 130 \text{ GPa}$, jolloin maksimaalinen jännitysvoima on

$$T_1 = T_2 = PA.$$

Maton poikkileikkauksen pinta-ala on $A = 1,0 \text{ m} \cdot 0,33 \text{ nm} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$.

Kuvan perusteella voidaan määrittää kulma α .

$$\cos \alpha = \frac{b}{a} \rightarrow \alpha = \arccos\left(\frac{b}{a}\right) = \arccos\left(\frac{2,0 \text{ m}}{2,4 \text{ m}}\right) = 33,5573^\circ$$

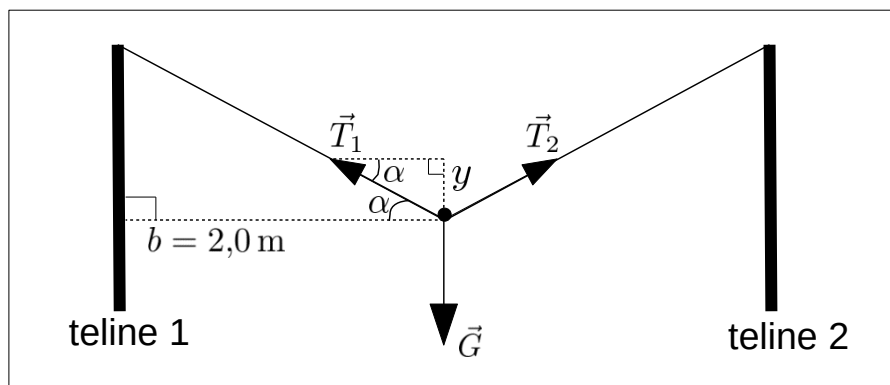
Tangon kohdalla graafeenimattoon vaikuttavien voimien tasapainon perusteella saadaan ehto

$$G = T_{1y} + T_{2y} = 2T_{1y} = 2T_1 \sin \alpha = 2PA \sin \alpha,$$

jossa $G = mg$.

Yhdistämällä tulokset saadaan

$$m = \frac{2PA \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 130 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \sin 33,5573^\circ}{9,81 \text{ m/s}^2} = 4,83463 \text{ kg} \approx 4,8 \text{ kg}.$$



Vastauksessa on esitetty tilanteen voimakuvio (2 p.) ja voimien tasapainoehto pystysuorassa suunnassa (2 p.). Sen pohjalta on johdettu suureyhtälö tangon massalle (2 p.) ja laskettu yhtälön avulla massa (2 p.).

10.3. (8 p.)

Vastauksessa voi keskittyä mm. seuraaviin ominaisuuksiin ja niistä seuraaviin sovelluksiin:

(1&2) Erinomaiset sähkön- ja lämmönjohtavuusominaisuudet

→ elektroniikan komponentit, transistorit, paristot, polttokennot, akut, biosensorit.

(3&4) Läpinäkyvyys, joustavuus ja venyvyys yhdistettynä edelliseen

→ optoelektroniikan komponentit, ohuet ja taivuteltavat (kosketus)näytöt, nestekidenäytöt, OLED-näytöt, älyvaatteet.

(5) Erinomainen kestävyys suhteessa ohuuteen

→ nanopinnoitteet, rakennusmateriaalit, käyttö sidosaineena rakenteiden vahvistamiseksi.

(6) Läpäisemättömyys (tiiviyys)

→ suodattimet (esim. vedenpuhdistus, kemikaalien puhdistaminen), diffuusion estäminen materiaalitekniikassa.

Vastauksessa voi huomioida grafeenin myrkyttömyyden yllä mainittujen sovellusten kannalta.

Vastauksessa voi käsitellä myös grafeenin johdannaisista ja hybridimateriaaleista kehitteillä olevia moderneja sovelluksia kuten topologisia kvanttiaineita (kvanttilaskenta) sekä uusia suprajohteita.

Vastauksessa on grafeenin eri ominaisuuksiin yhdistetty perustellen realistinen ja relevantti sovellus. Arvostelussa huomioidaan näistä neljä parasta, eri ominaisuuteen liittyvää sovellusta. (8 p.)

11. Vaimeneva värähtely (20 p.)

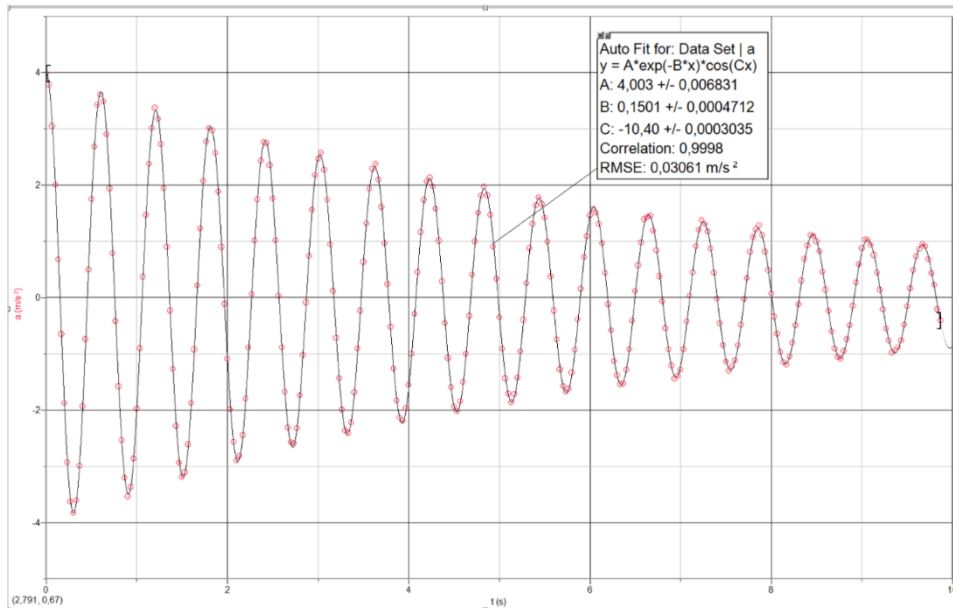
11.1. (5 p.)

Piirretään värähtelyn kuvaaja.

Tekemällä sovite saadaan tulokseksi, että malli sopii mittaustuloksiin parhaiten, kun parametrit ovat $A = 4,003 \text{ m/s}^2$, $B = 0,1501 \text{ 1/s}$ ja $C = 10,40 \text{ 1/s}$. Parametreista C on värähtelyn kulmataajuus, joten värähtelyn taajuus on $f = \frac{C}{2\pi} = 1,655 \text{ Hz} \approx 1,7 \text{ Hz}$.

TAI

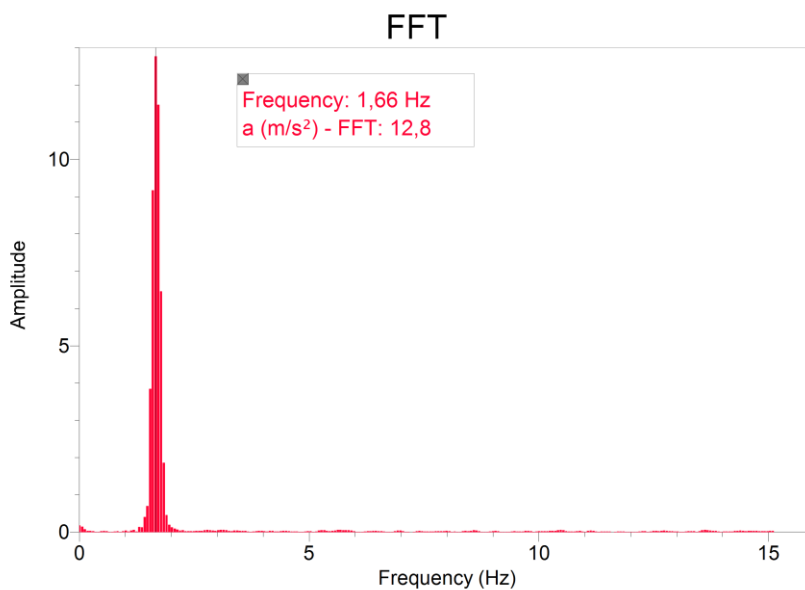
Kuvaajasta nähdään, että ajanhetkien 5 s ja 8 s välillä tapahtuu 5 värähdystä. Värähtelyn jaksonaika on siis $T = \frac{8 \text{ s} - 5 \text{ s}}{5} = 0,6 \text{ s}$ ja taajuus $f = \frac{1}{T} = 1,666667 \text{ Hz} \approx 1,7 \text{ Hz}$.



Pienoismallin vaimenevasta värähtelystä on piirretty kuvaaja (2 p.). Kuvaajaan tehdyn sovitefunktion lausekkeesta on luettu värähtelyn kulmataajuus tai on määritetty kuvaajasta värähtelyn jaksonaika (1 p.). On annettu kaava taajuuden ja jaksonajan tai kulmataajuuden ja jaksonajan riippuvuudelle toisistaan (1 p.) ja laskettu sen avulla värähtelyn taajuus (1 p.).

TAI

Tehdään LoggerPro:ssa FFT ja luetaan taajuuspiikin maksimi kuvaajalta tai taulukosta.



Kuvaajalta luettu taajuus on $1,66 \text{ Hz} \approx 1,7 \text{ Hz}$.

Vastauksessa on tuotettu FFT-kuvaaja (2 p.) ja luettu siitä taajuus (3 p.).

11.2. (10 p.)

Jotta kivi pysyisi paikoillaan eikä lähtisi liukumaan, on siihen kohdistuttava Newtonin II lain mukaan kitkavoima $F_\mu = ma$.

Suurin mahdollinen kiveen kohdistuva lepokitkavoima on $F_{\mu,max} = \mu N = \mu mg$.

Ehto $F_\mu < F_{\mu,max}$ on yhtäpitävä ehdon $a_{max} < \mu g$ kanssa.

Kiveen vaikuttava suurin kiihtyvyys on juuri värähtelyn alussa noin $4,0 \text{ m/s}^2$.

Kiven ja puun välinen lepokitkakerroin on $0,7$, joten $\mu g = 6,867 \text{ m/s}^2 > a_{max}$.

Kivi pysyy siis paikoillaan koko värähtelyn ajan.

Vastauksessa on mainittu Newton II laki (1 p.) ja suurimman lepokitkan käsite (1 p.).

On luettu edellisessä kohdassa tuotetusta värähtelyn kuvaajasta tai muutoin ratkaistu pienoismallin suurin kiihtyvyys 4 m/s^2 (2 p.).

Taulukosta luetun kiven ja puun lepokitkakertoimen (1 p.) avulla on määritetty suurin lepokitka. Suurinta lepokitkaa vastaavaa kiihtyvyyttä on verrattu pienoismallin suurimpaan kiihtyvyyteen (3 p.) ja tehty tästä oikea johtopäätös (2 p.).

11.3. (5 p.)

Mallin avulla voidaan määrittää hetki, jolloin kiihtyvyyden suurin arvo on pienentynyt kahdeksasosaan:

$$\frac{A}{8} = Ae^{-Bt_x}, \text{ jossa } A = 4,003 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ ja } B = 0,1501 \frac{1}{\text{s}}. \text{ Tästä saadaan}$$

$$t_x = -\frac{\ln(1/8)}{B} = 13,85370781 \text{ s} \approx 14 \text{ s}.$$

On määritetty värähtelyn matemaattisen mallin parametrien A ja B arvot (2 p.), johdettu suureyhtälö kysytylle ajalle (2 p.) ja laskettu sen avulla aika (1 p.).

TAI

Värähtelyn alussa kiihtyvyyden suurin arvo on noin $4,0 \text{ m/s}^2$. Kuvaajaa tutkimalla havaitaan, että arvo on puolittunut arvoon $2,0 \text{ m/s}^2$ hetkellä $4,5 \text{ s}$. Kiihtyvyyden arvo $1,0 \text{ m/s}^2$ taas saavutetaan hetkellä $9,1 \text{ s}$. Tästä voidaan päätellä, että värähtelyn amplitudin puoliintumisaika on $4,5 \text{ s}$.

Värähtelyn amplitudi on pienentynyt kahdeksasosaan, kun se on puoliintunut kolme kertaa. Aikaa on siis kulunut $13,5 \text{ s} \approx 14 \text{ s}$.

Kysytty aika (1 p.) on päätelty perustellen (4 p.) värähtelyn kuvaajasta.