FYSIIKAN KOE 21.3.2018 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Tutkintoaineen sensorikokous on hyväksynyt seuraavat hyvän vastauksen piirteet.

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 mm. 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. Luovuutta 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. Laskemista edellyttävissä osioissa suureyhtälö on ratkaistu kysytyn suureen suhteen, ja tähän suureyhtälöön on sijoitettu lukuarvot yksikköineen. 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. Laskimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edellyttämällä tavalla.

Tehtävän eri osat arvostellaan 1/3 pisteen tarkkuudella, ja loppusumma pyöristetään kokonaisiksi pisteiksi.

Tehtävä 1.

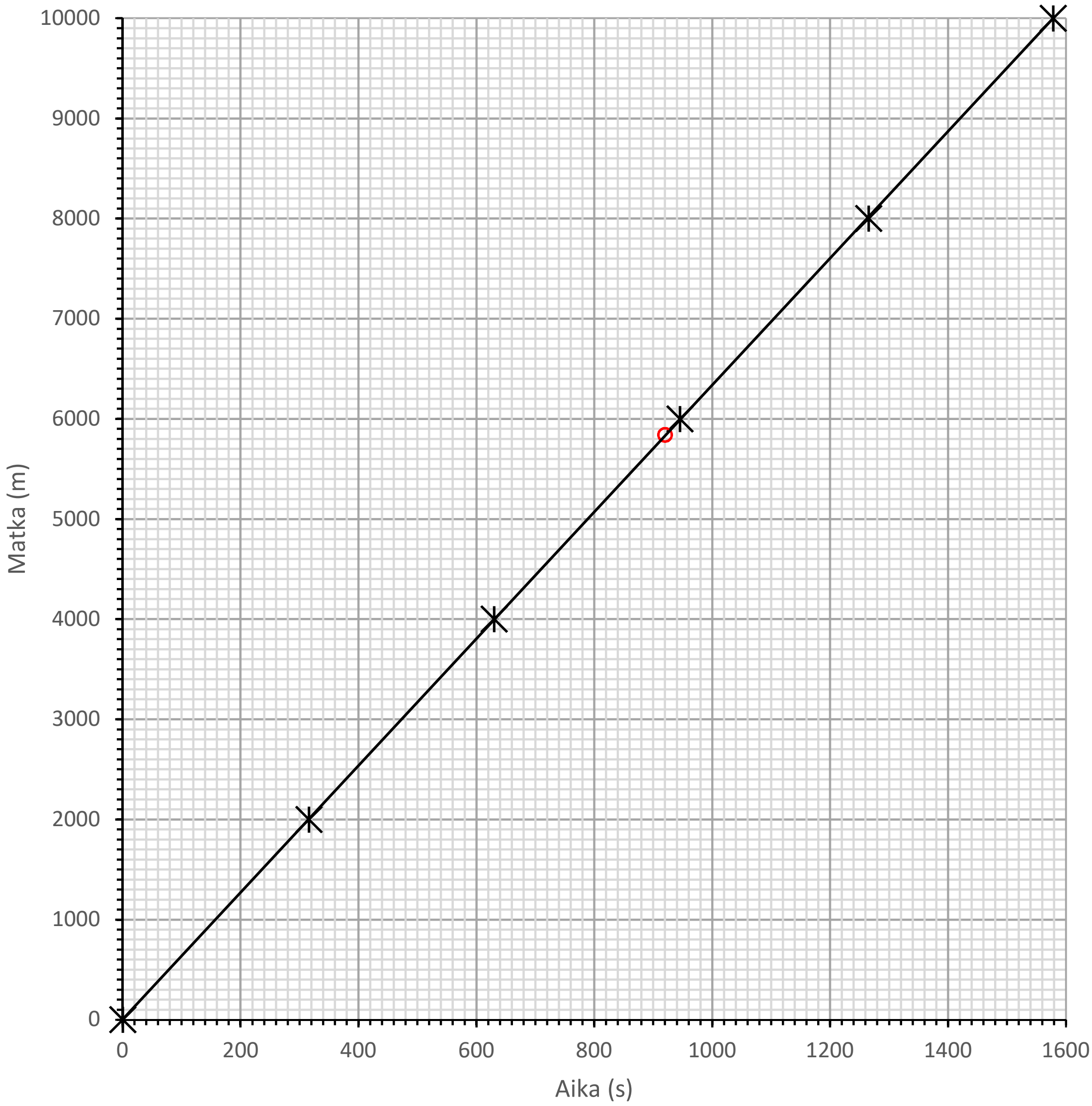
	aika	jännite	massa	matka	sähkövirta	tilavuus
a) nopeus	X			X		
b) liikemäärä	X		X	X		
c) aallonpituus				X		
d) tiheys			X			X
e) resistanssi		X			X	
f) vaihtojännitteen taajuus	X	(X)				

1 p. / oikea rivi

Tehtävä 2.

a) Muutetaan piirtämistä varten väliajat sekunneiksi.

Matka (m)	0	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
Bekelen aika (s)	0	316	630	945	1 265	1 578
Nurmen aika (s)	0	352	718	1 091	1 467	1 840



(3 p.)

b) Koska väliajat ovat kaikki samalla suoralla, oli Bekelen nopeus vakio.

(1 p.)

c) Taulukkoarvojen perusteella voidaan olettaa, että myös Nurmi juoksee vakionopeudella. Matkan puoliväli on 5000 metrin kohdalla. Nurmelta kului tähän aikaa $\frac{1840\ \mathrm{s}}{2} = 920$ sekuntia. (1 p.)

Kuvaajasta nähdään, että Bekele juoksi tässä ajassa noin 5900 metriä. (1 p.)

Tehtävä 3.

a) Keitolle voidaan käyttää veden ominaislämpökapasiteetin arvoa $c = 4{,}2\ ^{\text{kJ}}/_{\text{kg K}}$ ja tiheyden arvoa $\rho = 1{,}0\ ^{\text{kg}}/_{\text{dm}^3}$.

Keitto luovuttaa jäävesiseokselle lämpöä jäähtymisen aikana. Keiton lämpötilan muutos tarkasteluvälillä on $\Delta T = 8{,}0\ ℃ - 65{,}0\ ℃ = -57\ ℃ = -57\ \text{K}$.

$$Q = cm\Delta T = 4{,}2\ ^{\text{kJ}}/_{\text{kg K}} \cdot 1{,}0\ ^{\text{kg}}/_{\text{dm}^3} \cdot 1{,}2\ \text{dm}^3 \cdot (-57\ \text{K}) = -287{,}28\ \text{kJ}$$

(1 p.)

Keitosta siirtyy tämän verran energiaa 25,0 minuutissa. Lasketaan keskimääräinen jäähtymisteho.

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{287{,}28\ \text{kJ}}{25{,}0 \cdot 60\ \text{s}} = 0{,}19152\ \text{kW} \approx 0{,}19\ \text{kW}$$

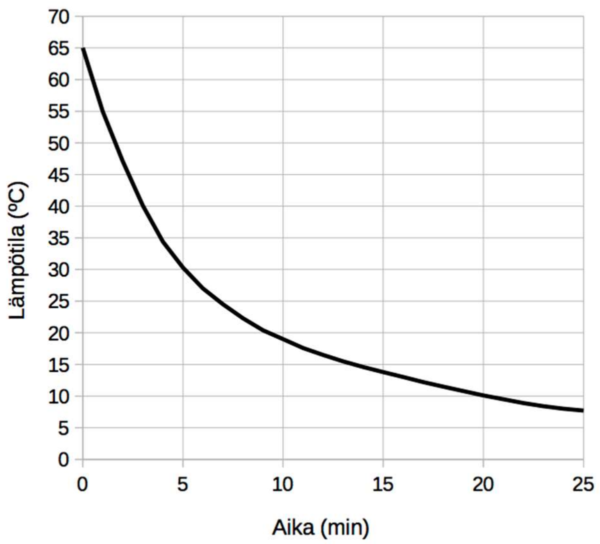
(2 p.)

b) Keiton alku- ja loppulämpötila tiedetään. Jäävesiseoksen lämpötila on 0 ℃, ja se pysyy vakiona, koska jää sulaa vedessä. Jos jäähdyttämistä jatkettaisiin, keiton lämpötila lähestyisi jäävesiseoksen lämpötilaa.

Jäähtyminen on aluksi nopeampaa, koska silloin keiton ja jäävesiseoksen lämpötilaero on suurimmillaan. Jäähtyminen kuitenkin hidastuu, kun keiton lämpötila alenee.

(1 p.)

Hahmotellaan jäähtymistä vastaava kuvaaja.



(2 p.)

Tehtävä 4.

a) Ääni on väliaineessa etenevää aaltoliikettä, joka ilmenee väliaineen jaksollisena tiheyden vaihteluna.

(1 p.)

Ultraääneksi kutsutaan sellaista ääntä, jonka värähtelytaajuus (ja siis äänen korkeus) on suurempi kuin mitä ihminen voi kuulla (taajuus suurempi kuin noin 20 kHz).

(1 p.)

b) Aaltoliikkeen aallonpituus on $\lambda = \frac{v}{f}$, missä v on äänen nopeus ja f värähtelytaajuus. Aallonpituudeksi rasvakudoksessa saadaan

$$\lambda = \frac{1450\ \mathrm{m/s}}{11 \cdot 10^6\ \mathrm{Hz}} = 0{,}00013181818 \ldots \mathrm{m} \approx 0{,}13\ \mathrm{mm}.$$

(1 p.)

c) Aaltoliikkeen etenemisnopeus riippuu väliaineen ominaisuuksista, ja siksi eri kudoksissa ääni etenee eri nopeuksilla.

(1 p.)

Elimien kuvantaminen perustuu ääniaallon heijastumiseen niiden rajapinnoilla. Kun aaltoliike saapuu kahden erilaisen kudoksen rajapintaan, vain osa jatkaa eteenpäin rajapinnan yli ja osa aaltoliikkeestä heijastuu. Nämä heijastumat voidaan havaita kaikuina. (1 p.)

Heijastumisen kannalta olennaista on nopeuksien suhde $n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$. Heijastuminen on tyypillisesti sitä voimakkaampi, mitä suurempi äänen nopeuksien ero on kudoksien välillä.

Kaikujen heijastumiskohdat eli elinten rajapinnat voidaan selvittää mittaamalla ultraääniaallon lähettämisen ja kaiun havaitsemisen välinen aikaero. Kun aallon (keskimääräinen) etenemisnopeus kudoksessa tiedetään, voidaan aikaeron avulla laskea, kuinka kaukana ultraäänilähteestä kaiun aikaansaava rajapinta sijaitsi.

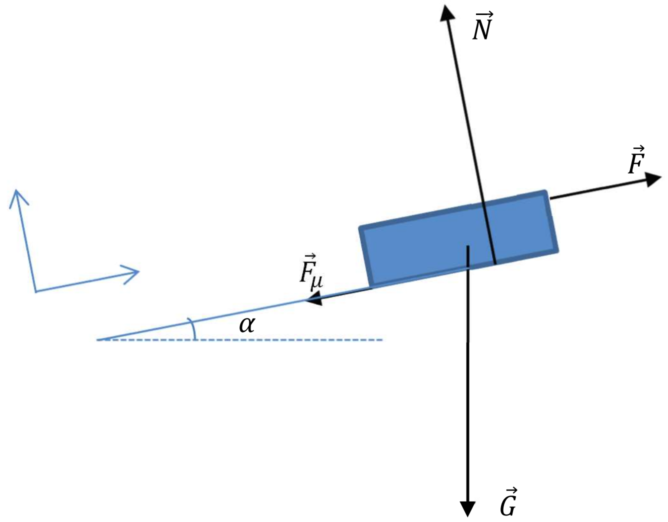
(1 p.)

Kaksi- tai jopa kolmiulotteisen kuvan muodostamista varten täytyy myös mitata, mistä suunnasta kaiku havaitaan. Piirtämällä kaiun lähteiden etäisyydet eri suunnissa voidaan tuottaa kuva sisäelimistä.

Tehtävä 5.

Oletetaan, että vetävä voima on mäenrinteen suuntainen.

Voimakuvio (1 p.)



Liike on tasaista, joten Newtonin II lain mukaan tason suuntaisesti ja sitä vastaan kohti-suoraan vallitsee voimien tasapaino $\sum \vec{F} = \vec{0}$.

$$\begin{cases} F - F_\mu - G\sin\alpha = 0 \\ N - G\cos\alpha = 0 \end{cases}$$

Pulkan ja pikkusiskon paino $G = mg$ ja liikekitkavoima $F_\mu = \mu N = \mu G\cos\alpha$.

(2 p., N II ja voimat)

Näin ollen isosisko vetää pulkkaa voimalla

$$F = F_\mu + G\sin\alpha = G\,(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) = mg\,(\mu\cos\alpha + \sin\alpha).$$ (1 p.)

Merkitään mäen korkeutta h:lla ja kulmaa vaakatason suhteen α:lla.

Isosisko vetää pulkkaa matkan

$$s = \frac{h}{\sin\alpha}.$$

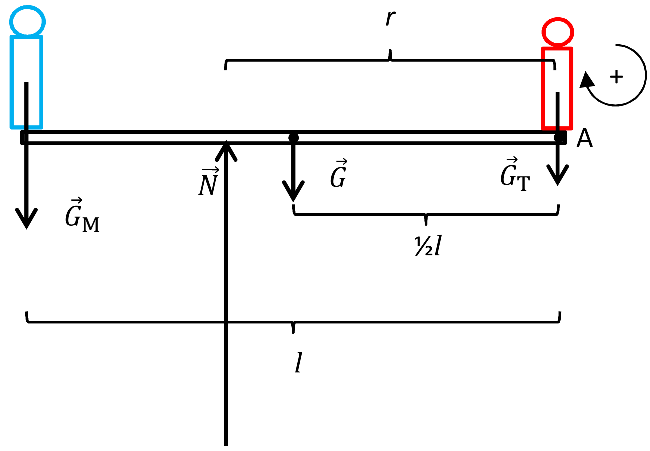
Pulkkaan kohdistuva voima F tekee työn

$$W = Fs = mg\,(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)\frac{h}{\sin\alpha} = mgh\left(\frac{\mu}{\tan\alpha} + 1\right)$$ (1 p.)

$$W = 15\text{ kg}\cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 3{,}5\text{ m}\cdot\left(\frac{0{,}056}{\tan\,11^\circ} + 1\right) = 663{,}4011402\text{ J} \approx 660\text{ J}.$$ (1 p.)

Tehtävä 6.

Tarkastellaan lapsia ja lautaa yhtenä kappaleena.



Voimien tasapainoehdosta $\sum \vec{F} = \vec{0}$ saadaan voimakuvion perusteella

$N - G_\mathrm{M} - G - G_\mathrm{T} = 0,$

joten tukivoima

$N = G_\mathrm{M} + G + G_\mathrm{T}.$ (1/3 p.)

(voimakuvio 1 p.)

Valitaan momenttipisteeksi A laudan pää, missä Timo istuu. (1 p.) Momenttien tasapainoehdon $\sum M_\mathrm{A} = 0$ (2/3 p.) mukaan voidaan kirjoittaa

$$Nr - G \cdot ½l - G_\mathrm{M} l = 0.$$

(2 p.)

Tukivoiman etäisyys momenttipisteestä A eli laudan päästä

$$r = \frac{½Gl + G_\mathrm{M} l}{N} = \frac{(½G + G_\mathrm{M})l}{G_\mathrm{M} + G + G_\mathrm{T}} = \frac{(½m + m_\mathrm{M})gl}{(m_\mathrm{M} + m + m_\mathrm{T})g} = \frac{(½m + m_\mathrm{M})l}{m_\mathrm{M} + m + m_\mathrm{T}}$$

$$r = \frac{(½ \cdot 11\ \mathrm{kg} + 28\ \mathrm{kg}) \cdot 3{,}2\ \mathrm{m}}{28\ \mathrm{kg} + 11\ \mathrm{kg} + 17\ \mathrm{kg}} = 1{,}9142857\ \mathrm{m} = 1{,}9\ \mathrm{m}$$

Halko on asetettava 1,9 metrin päähän siitä päästä, jossa Timo istuu (tai 1,3 metrin päähän siitä päästä, jossa Maija istuu).

(1 p.)

Tehtävä 7.

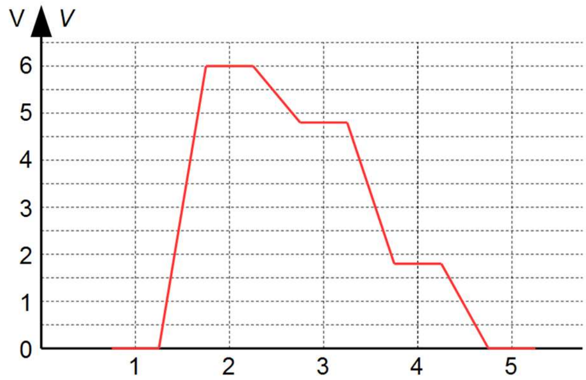
a) Sovelletaan Kirchhoffin jännitelakia. Kierretään piiri myötäpäivään alkaen maadoituskohdasta ja ratkaistaan sähkövirta.

$$U_A - R_A I - U_B - R_B I = 0 \Rightarrow I = \frac{U_A - U_B}{R_A + R_B}$$

(2/3 p.)

$$I = \frac{6{,}0\ \text{V} - 3{,}0\ \text{V}}{220\ \Omega + 330\ \Omega} = 5{,}4545455\ \text{mA}$$

$V_1 = 0$ V, koska piste on maadoitettu. (1/3 p.)
$V_2 = V_1 + U_A = U_A = 6{,}0$ V (1/3 p.)
$V_3 = V_2 - R_A I = 6{,}0\ \text{V} - 220\ \Omega \cdot 5{,}4545455 \cdot 10^{-3}\ \text{A} = 4{,}8\ \text{V}$ (2/3 p.)
$V_4 = V_3 - U_B = 4{,}8\ \text{V} - 3{,}0\ \text{V} = 1{,}8\ \text{V}$ (2/3 p.)
$V_5 = 0$ V, koska piste on maadoitettu. (1/3 p.)

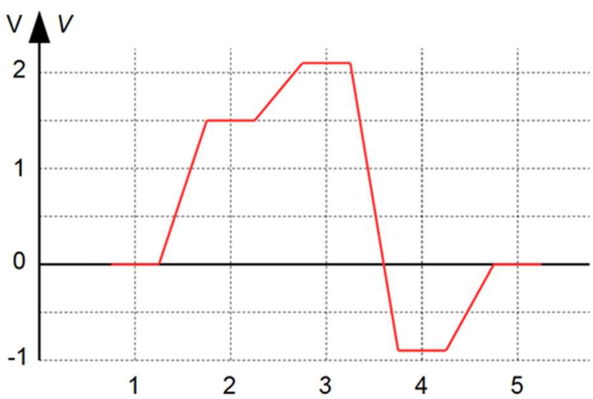


(kuva 1 p.)

b)

$$I = \frac{1{,}5\ \text{V} - 3{,}0\ \text{V}}{220\ \Omega + 330\ \Omega} = -2{,}7272727\ \text{mA}$$

$V_2 = 1{,}5$ V (1/3 p.)
$V_3 = 1{,}5\ \text{V} - 220\ \Omega \cdot (-2{,}7272727\ \text{mA}) = 2{,}1\ \text{V}$ (1/3 p.)
$V_4 = 2{,}1\ \text{V} - 3{,}0\ \text{V} = -0{,}9\ \text{V}$ (1/3 p.)



(kuva 1 p.)

Tehtävä 8.

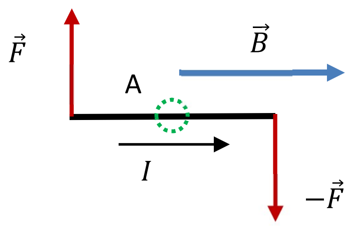
a) Tarkastellaan tilannetta silmukan yläpuolelta. Silmukan pystysuorat johtimet ovat kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. Tällöin kuvan mukaisesti molempiin johtimiin vaikuttaa voima, jonka suuruus on $F = IhB$. (1 p.)

Silmukan vaakasuoriin johtimiin ei kohdistu voimia.

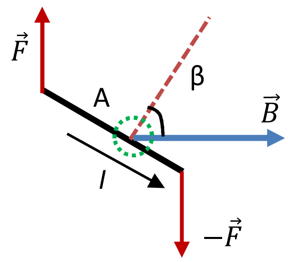
Koska virta kulkee vastakkaisiin suuntiin silmukan pystysuorissa johtimissa, myös johtimiin vaikuttavat voimat ovat vastakkaissuuntaiset ja kohtisuorassa johdinta ja magneettikenttää vastaan. Voimat muodostavat voimaparin, jossa molempien voimien varsi on $d/2$.
(selitys tai kuva 1 p.)

Voimien momentti akselin suhteen on

$$M_A = F\frac{d}{2} + F\frac{d}{2} = IhBd \quad 1{,}3\ \mathrm{A} \cdot 15\ \mathrm{cm} \cdot 0{,}22\ \mathrm{T} \cdot 7{,}3\ \mathrm{cm} = 3{,}1317 \cdot 10^{-3}\mathrm{Nm} \approx 3{,}1\ \mathrm{mNm}.$$
(1 p.)

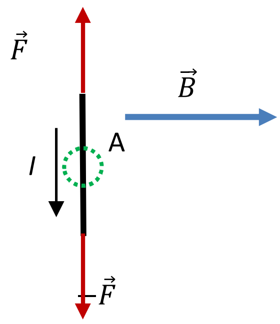


b) Silmukan kääntyessä momentin vaikutuksesta voimat eivät muutu, mutta niiden momenttivarret lyhenevät. Kun silmukan normaalin ja magneettikentän välinen kulma on kuvan mukaisesti β, on momentti akselin A suhteen $M_A = IhBd\sin\beta$. (1 p.)



Silmukan käännyttyä siten, että magneettikenttä läpäisee sen kohtisuorasti, voimaparilla ei enää ole vartta kuvan mukaisesti. Tällöin silmukkaan ei enää kohdistu momenttia. (1 p.)

Momentin suurin arvo on siis a-kohdassa määritetty 3,1 mNm ja pienin 0 mNm, kun voimilla ei enää ole vartta. (1 p.)



Kun silmukka ei ole kentän tason suuntainen, silmukan vaakasuoriin johtimiin kohdistuu voima, mutta näillä voimilla ei ole momenttia akselin A suhteen.

Tehtävä 9.

a) *Vastauksessa voidaan käsitellä sähkömagneettisen säteilyn lajeista gamma-, röntgen- ja ultraviolettisäteilyä ja niiden lisäksi erilaisia ionisoivia hiukkassäteilylajeja. Pisteitys: lajin nimeäminen 1/3 p. syntymekanismi 1/3 p. ja säteilylajille tyypillisen energian määräytyminen 1/3 p. Alla joitakin esimerkkivastauksia.*

Gammasäteily on ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä. Gammasäteilyä syntyy atomiydinten viritystilojen purkautumisesta esimerkiksi radioaktiivisessa hajoamisessa. Energia on peräisin ytimen sidosenergian vapautumisesta.

Gammasäteilyä syntyy myös elektroni-positroniparin annihilaatiossa, jolloin gammafotonin energia on elektronin lepomassaa vastaavan energian suuruinen.

Röntgensäteilyä syntyy atomin energiatilojen muutoksissa, joissa energiamuutos on suuri (ominaissäteily). Energia on peräisin atomin sidosenergian vapautumisesta.

Röntgensäteilyä syntyy myös varauksellisten hiukkasten (usein elektronien) suuren kiihtyvyyden seurauksena (jarrutussäteily), jolloin energia on peräisin elektronin liike-energian pienenemisestä.

Alfahajoamisessa ytimestä tunneloituu kahden protonin ja kahden neutronin muodostama α-hiukkanen (^{4}He-ydin). Alfahajoaminen on yleistä raskailla ytimillä. Alfasäteilyn energia on alfahiukkasen liike-energiaa, joka on peräisin ytimen sidosenergian vapautumisesta.

Beetasäteilyä syntyy kun yksi ytimen neutroni muuttuu protoniksi, elektroniksi (β^--hiukkanen) ja antineutrinoksi tai yksi ytimen protoni muuttuu neutroniksi, positroniksi (β^+-hiukkanen) ja neutrinoksi. Beetasäteilyn energia on elektronin tai positronin liike-energiaa, joka on peräisin ytimen sidosenergian vapautumisesta.

Neutronisäteilyä syntyy ydinreaktioissa. Neutronit ovat varauksettomia hiukkasia. Neutronisäteily ei ionisoi, mutta neutroni voi esimerkiksi olla vuorovaikutuksessa ytimen kanssa. Tämän seurauksena ydin muuttuu radioaktiiviseksi ja lähettää ionisoivaa säteilyä. Neutronisäteily siis ionisoi välillisesti.

b) *Jokaisesta käyttökelpoisesta keinosta saa yhden pisteen (enintään 2 p.). Keinojen tulee olla keskenään erilaisia. Alla on joitakin esimerkkivastauksia.*

- Altistusaika rajataan mahdollisimman lyhyeksi, koska mitä kauemmin altistuu säteilylle, sitä enemmän energiaa säteilyn vaikutuksesta kudokseen tulee.
- Säteilyn intensiteetti pienenee säteilyn levitessä suuremmalle alalle. Etäisyyden kasvattaminen säteilylähteestä pienentää säteilyn intensiteettiä.
- Säteilyn absorptiota suoja-aineeseen käytetään hyväksi säteilysuojelussa. Suoja-aineen (esimerkiksi betonin tai lyijyn) lisääminen säteilylähteen eteen pienentää säteilyn intensiteettiä.

c) *Käyttökelpoisesta sovelluksesta saa pisteen. Tarkemmasta esittelystä saa toisen pisteen. Mahdollisia sovelluksia ovat esimerkiksi seuraavat:*

Gamma- ja röntgensäteilyä käytetään

- terveydenhuollossa röntgentutkimuksissa ja sädehoidossa

- teollisuudessa materiaalien (esim. valutuotteiden ja hitsaussaumojen) laadunvalvonnassa.

Radioaktiivisten aineiden hajotessa syntyvää säteilyä käytetään

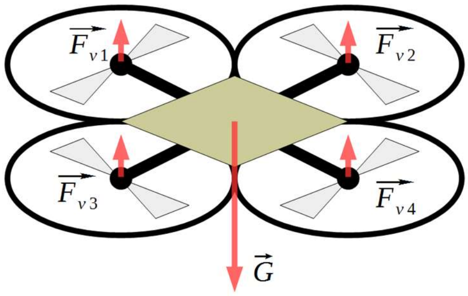
- terveydenhuollossa isotooppitutkimuksissa ja merkkiainekuvauksissa
- biokemian ja fysiologian tutkimuksissa esim. seurattaessa ravinteiden kulkeutumista kasveihin.

Seurantaan käytetyissä laitteissa havainnoidaan säteilylähteen ja ilmaisimen välissä olevan tai liikkuvan aineen paksuuden, tiheyden tai kosteuden muutosta (esim. putkessa virtaava aine, säiliön pinnankorkeus, palovaroitin).

Ruuan säilönnässä säteilyä käytetään siten, että elävät mikrobit säteilytetään kuoliaaksi.

Tehtävä 10.

a)

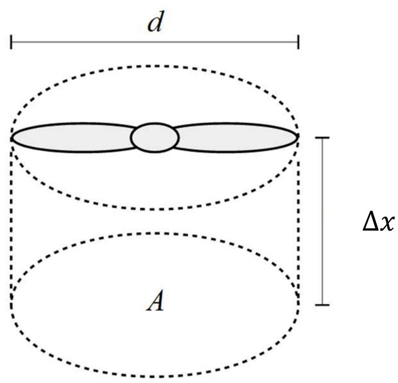


$\vec{G}$ on nelikopterin paino.
$\overrightarrow{F_{v1}}, \overrightarrow{F_{v2}}, \overrightarrow{F_{v3}}, \overrightarrow{F_{v4}}$ ovat roottoreihin kohdistuvat ilmanvastusvoimat.

Kun kopteri leijuu paikallaan, siihen kohdistuvien voimien summa on nolla. (1 p.)

Tästä seuraa, että aikavälillä Δt kopterin painon impulssi on yhtä suuri kuin ilmanvastusvoimien kokonaisimpulssi.

Tarkastellaan yhtä roottoria. Se kohdistaa ilmaan yhtä suuren impulssin kuin ilma kohdistaa roottoriin. (1 p.)



Impulssiperiaate: $I = \Delta p \Rightarrow F_v \Delta t = \Delta m v$, jossa Δm on ajassa Δt roottorin kautta virtaavan ilmapatsaan massa ja v ilman nopeus. Oletusten perusteella ilmapatsas muodostaa kuvan mukaisen sylinterin. (ilmapatsasidea 1 p.)

$\Delta x = v\Delta t \qquad \Delta m = \rho \Delta V = \rho A \Delta x$
$F_v \Delta t = \rho \ \ \Delta x v = \rho \ \ \Delta t v^2$

$$v = \sqrt{\frac{F_v}{\rho A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot G}{\rho \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot 0{,}420\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{1{,}293\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0{,}21\ \mathrm{m}\right)^2}} = 4{,}79585071\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 4{,}8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

(2 p.)

b)
Ilmavirran tuottamiseen tarvittavan tehon on oltava vähintään yhtä suuri kuin ilmanvastusvoimien tekemän työn teho.

$P = Gv = 0{,}420\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot\ 4{,}79585071 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 19{,}7598641\ \mathrm{W}\ \approx 20\ \mathrm{W}$ (1 p.)

Valmistajan ilmoittama moottoriteho riittää siis hyvin.

(Ilmoitettu teho on todennäköisesti moottorin ottaman sähköenergian teho, josta osa muuttuu moottorissa lämmöksi. Todellisuudessa ilmanvastusvoimat eivät ole pystysuoria, vaan roottori saa ilman myös vaakasuoraan liikkeeseen, mihin kuluu energiaa. Lisäksi tarvitaan tehoreserviä kopterin nousuun ja sen liikkuessa syntyvän ilmanvastuksen voittamiseen.)

Tehtävä 11.

Sähkökentässä ionien kiihdyttämiseksi tehdään työtä $W = qU$.
Tehty työ kasvattaa ionien liike-energiaa $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = qU$,
missä v on nopeus, jolla ionit tulevat spektrometrikammiossa olevaan magneettikenttään.

Tästä voidaan ratkaista potentiaaliero

$$U = \frac{mv^2}{2q}.$$

(2 p.)

Magneettikentässä ioniin kohdistuu magneettinen voima. Ioni tulee kohtisuoraan magneettikenttään ($\bar{v} \perp \bar{B}$), jolloin voiman suuruus on $F = qvB$.
Voiman suunta on kohtisuorassa nopeutta ja magneettivuon tiheyttä vastaan, eli ionin lentorata on ympyrärata, jonka säde on r. Ympyräradalla ionin kiihtyvyys on keskeiskiihtyvyyttä.

Newtonin II lain mukaan

$$qvB = m\frac{v^2}{r}.$$

Ratkaistaan tästä nopeus

$$v = \frac{qBr}{m}.$$

(2 p.)

Sijoitetaan tämä kiihdytysjännitteen lausekkeeseen

$$U = \frac{qB^2r^2}{2m}.$$

Yleisin magnesiumin isotooppi on Mg-24 (80 %), jonka atomimassa on $M = 23{,}9850423$ u. Ionin varaus on $q = 1{,}602176 \cdot 10^{-19}$ C. Magneettivuon tiheys on $B = 0{,}520$ T. Oletetaan, että ionit lentävät puoliympyräradan spektrometrin sisääntuloaukosta ulostulosaukkoon, jolloin radan säde on $r = 5{,}00$ cm.

Tällöin tarvittava kiihdytysjännite on

$$U = \frac{1{,}602176 \cdot 10^{-1}\ \ \mathrm{C} \cdot (0{,}520\ \mathrm{T} \cdot 0{,}0500\ \mathrm{m})^2}{2 \cdot 23{,}9850423 \cdot 1{,}660540 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}} = 1359{,}681197\ \mathrm{V} \approx 1360\ \mathrm{V}.$$

(2 p.)

Tehtävä 12.

a) Energian säilymisen ja muuntumisen kannalta systeemiin sisään ja systeemistä ulos siirtyvä lämpö ja systeemiin tehty sekä systeemin tekemä työ muuttavat samalla tavoin systeemin sisäistä energiaa. Systeemin sisäinen energia voi olla systeemin rakenneosien vuorovaikutuksen potentiaalienergiaa, rakenneosien liike-energiaa tai niitä molempia.
(1 p.)

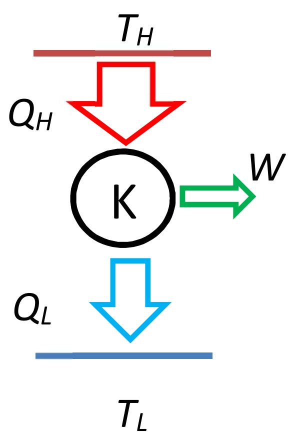
Sisäisen energian muutos ΔU on yhtä suuri kuin lämpönä systeemin ja ympäristön välillä siirtyneen energian ja tehdyn työn summa: $\Delta U = Q + W$. (1 p.)

b) Koneen terminen hyötysuhde on $\eta = \frac{W}{Q}$, jossa W on koneesta saatava työ, kun siihen syötetään lämpöenergia Q. (1 p.)

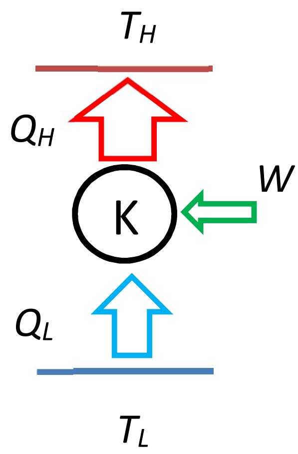
Lämpövoimakoneesta poistuu aina lämpöä. (1 p.)
TAI
Mikään kone ei voi muuntaa kaikkea ottamaansa lämpöä työksi. (1 p.)

c) Oletetaan, että kaikki laitteet toimivat kahden erilämpötilaisen lämpösäiliön välillä eikä säiliöiden lämpötila muutu laitteiden toimiessa.

- Lämpövoimakone ottaa lämpöä korkeammasta lämpötilasta, muuttaa osan lämmöstä työksi ja poistaa lopun lämmön alempaan lämpötilaan.
(1 p.)
- Jäähdytyskone ottaa lämpöä matalammasta lämpötilasta ja siirtää sen korkeampaan. Tähän kone tarvitsee ulkoista työtä. Koneen hyöty on matalammasta lämpötilasta poistettu lämpö.
(1 p.)
- Lämpöpumppu toimii kuten jäähdytyskone. Se ottaa lämpöä matalammasta lämpötilasta ja siirtää sen korkeampaan, mihin kone tarvitsee ulkoista työtä. Koneen hyöty on korkeampaan lämpötilaan tuotu lämpö.
(1 p.)



Lämpövoimakone (1 p.)



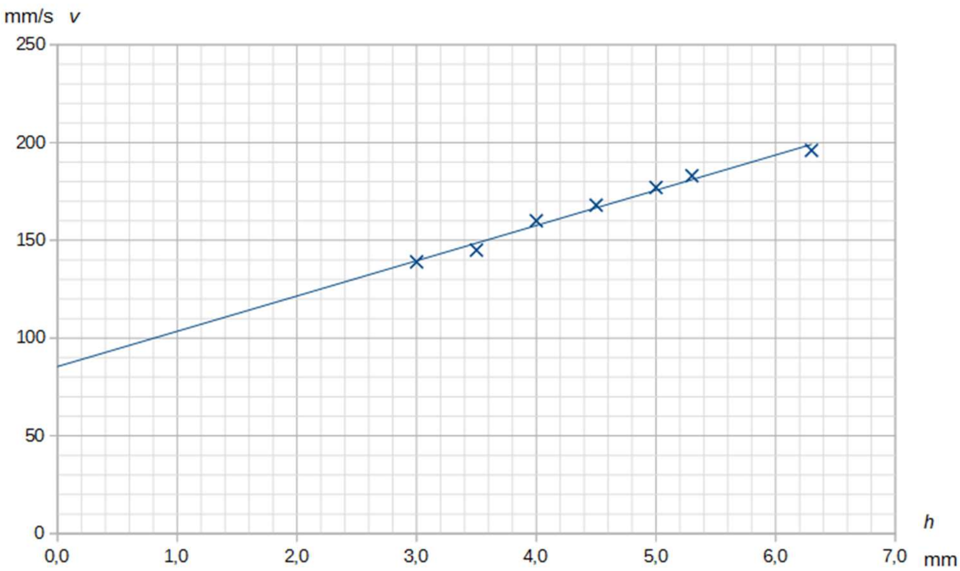
Jäähdytyskone ja lämpöpumppu (1 p.)

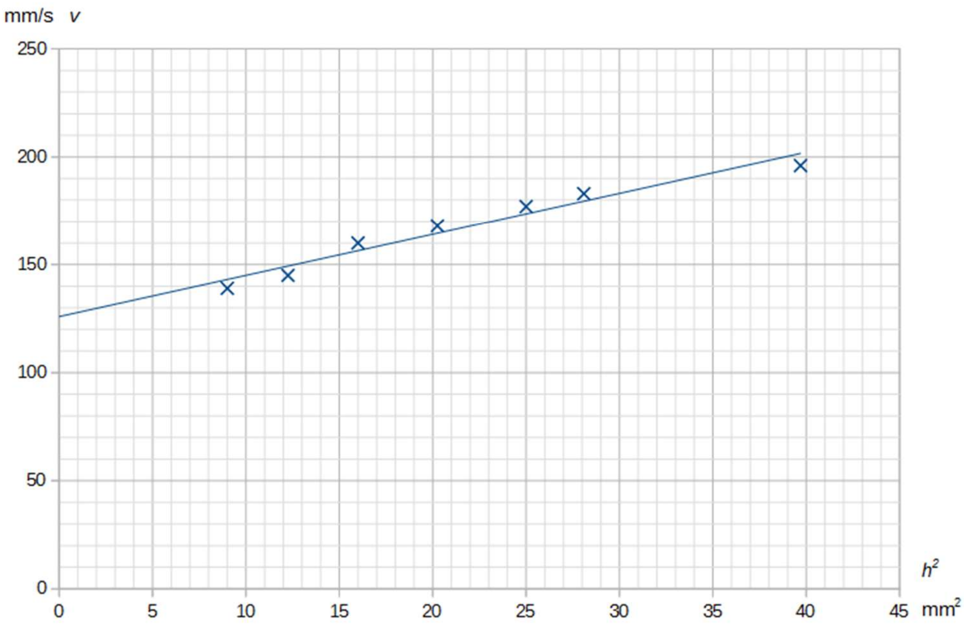
Tehtävä 13.

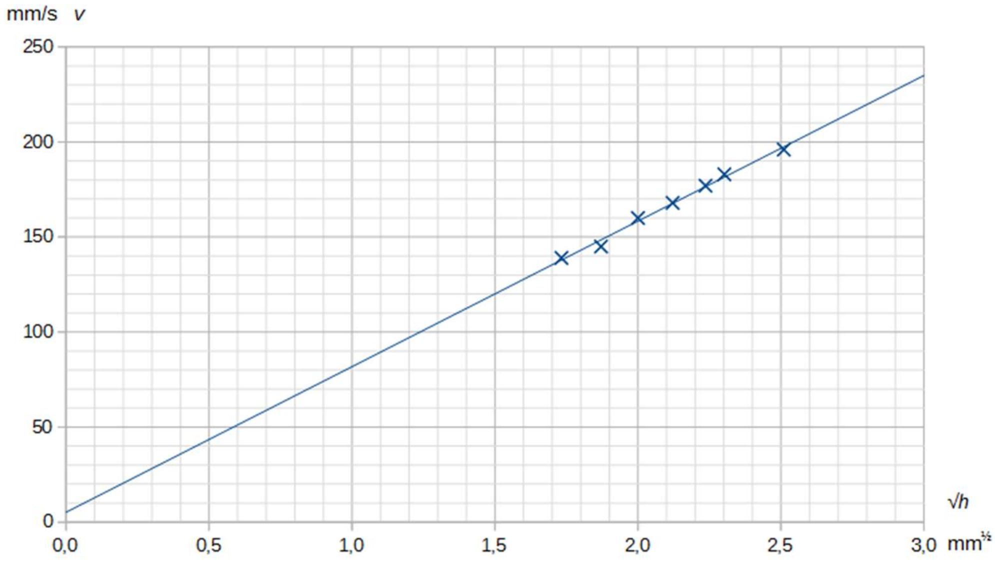
a)

h (mm)	h^2 (mm^2)	$\sqrt{h}$ (mm^{½})	$v = \lambda f$ (mm/s)
3,0	9,00	1,73	139
3,5	12,25	1,87	145
4,0	16,00	2,00	160
4,5	20,25	2,12	168
5,0	25,00	2,24	177
5,3	28,09	2,30	183
6,3	39,69	2,51	196

(1 p.)







(1 p.)

Havaitaan, että kaikissa tapauksissa pisteet ovat kutakuinkin suoralla, mutta pisteisiin $(\sqrt{h}, v)$ sovitettu suora kulkee paljon lähempää origoa kuin muut. Näin ollen malli $v = k\sqrt{h}$ kuvaa parhaiten aaltojen nopeuden riippuvuutta veden syvyydestä. (2 p.)

b) Laskimella tai graafista: pisteisiin $(\sqrt{h}, v)$ sovitetun suoran kulmakerroin on $k = 76{,}598799\ \frac{\text{mm/s}}{\sqrt{\text{mm}}} \approx 77\ \frac{\text{mm}^{½}}{\text{s}}$. (2 p.)

c) Laskimella tai kuvasta saadaan pisteisiin $(\sqrt{h}, v)$ sovitetun suoran yhtälöstä:

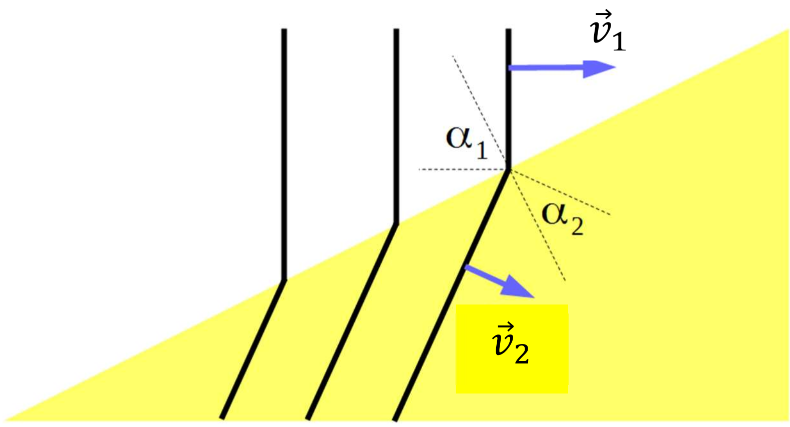
h (mm)	$\sqrt{h}$ (mm½)	v (mm/s)
6,0	2,45	193
3,2	1,79	142

(1 p.)

Aallot taittuvat rajapinnassa. Lasketaan taitekulma Snellin lain avulla $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}$.

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{v_2}{v_1}\cdot\sin\alpha_1\right) = \arcsin\left(\frac{142\ \text{mm/s}}{193\ \text{mm/s}}\cdot\sin 63°\right) = 41{,}0857841° \approx 41°$$

(1 p.)



(1 p.)