



FYSIIKAN KOE 30.9.2016 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Alla oleva vastausten piirteiden, sisältöjen ja pisteitysten luonnehdinta ei sido ylioppilastutkintolautakunnan arvostelua. Lopullisessa arvostelussa käytettävistä kriteereistä päättää tutkintoaineen sensorikunta.

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 esittämiseksi ja sen soveltamiseksi 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 tilannekuviota, 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.

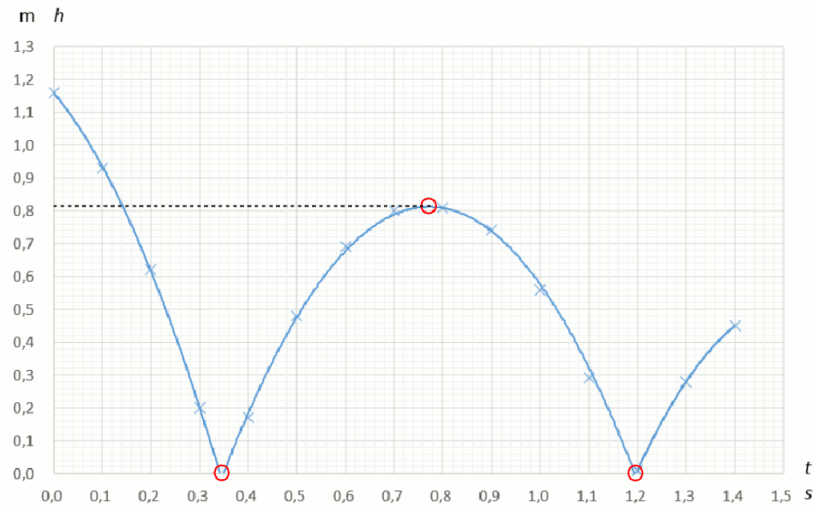
Tehtävä 1

1-b, 2-g, 3-h, 4-f, 5-a, 6-c

1 p. /kohta

Tehtävä 2

a)



Kuvaaja 3 p.

b) Pallon nopeus on nolla sen osuessa lattiaan sekä pompun korkeimmalla kohdalla. Pisteet on merkitty kuvaajaan ympyröillä.

2/3 p. oikea piste
-2/3 p. väärä piste

c) Kuvasta: pallo nousee 0,82 m:n korkeudelle.

1 p.

Tehtävä 3

a) Kun veteen siirtyy lämpö Q_{vesi} , veden lämpötilan muutos on ΔT

$$Q_{vesi} = m_{vesi}c_{vesi}\Delta T.$$

1 p.

Tulipesän teho on $P = 30$ kW, joten tulipesästä vapautuu lämpöä

$$Q_{puu} = Pt.$$

1 p.

Tulipesän luovuttamasta lämmöstä 25 % menee hukkaan, joten lämmityksen hyötysuhde on $\eta = 0,75$.

$$Q_{vesi} = \eta Q_{puu}$$

1 p.

$$m_{vesi}c_{vesi}\Delta T = \eta Pt$$

Veden lämmitykseen kuluva aika on

$$t = \frac{m_{vesi}c_{vesi}\Delta T}{\eta P} = \frac{2000 \text{ l} \cdot 1,0 \text{ kg/l} \cdot 4190 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)} \cdot (38^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C)}}{0,75 \cdot 30000 \text{ W}}$$
$$= 11918,2222\dots \text{ s} = 3,310617 \text{ h} \approx 3 \text{ h}$$

1 p.

b) Kuivan puun tiheys $\rho_{puu} = 520$ kg/m³

Kuivien halkojen lämpöarvo on $H_{puu} = 18$ MJ/kg

Puun poltossa vapautuu lämpöä $Q_{puu} = Pt$.

Lasketaan poltetun puun määrä:

$$H_{puu} = \frac{Q_{puu}}{m_{puu}} = \frac{Pt}{m_{puu}}$$
$$m_{puu} = \frac{Pt}{H_{puu}} = \frac{30000 \text{ J/s} \cdot 3600 \text{ s}}{18 \cdot 10^6 \text{ J/kg}} = 6,0 \text{ kg}$$

1 p.

Poltetun puun tilavuus on

$$V_{puu} = \frac{m_{puu}}{\rho_{puu}}.$$

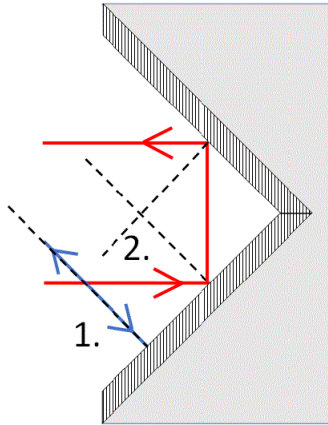
Syntyneen CO₂:n massa on

$$m_{\text{CO}_2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot V_{puu} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{m_{puu}}{\rho_{puu}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{6,0 \text{ kg}}{520 \text{ kg/m}^3}$$
$$= 11,54 \text{ kg} \approx 12 \text{ kg}$$

1 p.

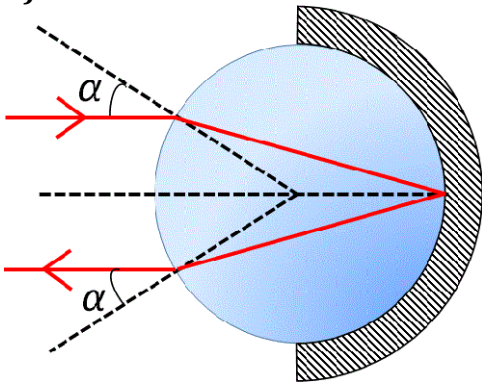
Tehtävä 4

a)



1 p. / valonsäde

b)



1 p.

Teippi toimii heijastimena, eli valon täytyy lähteä lasihelmestä poistuessaan tulosuuntaansa. Valonsäde kulkee helmessä symmetrisesti helmen keskipisteen kautta kulkevan keskiakselin suhteen.

Ilman ja lasihelmen rajapinnassa valonsäde taittuu pinnan normaalin suuntaan.

2/3 p.

Säde heijastuu helmen takaosassa olevasta heijastavasta pinnasta. Heijastuskulma on yhtä suuri kuin tulokulma.

2/3 p.

Valonsäde taittuu uudelleen rajapinnassa, tällä kertaa normaalista poispäin. Säde lähtee tulosuuntaansa, eli α -kulmat ovat yhtä suuret.

2/3 p.

c) Vain tasopeilin pintaa vastaan kohtisuoraan tulevat säteet heijastuvat tulosuuntaansa. Tasopeili toimii siis heijastimena vain yhteen suuntaan. Heijastimen tulee samanaikaisesti pystyä heijastamaan eri suunnista tulevaa valoa takaisin valon tulosuuntaan.

1 p.

(Standardin EN13356:2001 mukaisesti heijastimen tulee pystyä myös sirottamaan valoa tulosuunnan ympärille.)

Tehtävä 5

a) Newtonin II laki: $F = ma$.

Mittaamalla saatu (a, F) -kuvaaja on sangen tarkasti origon kautta kulkeva jana, joten vaunun massa on kuvaajan kulmakerroin. Määritetään kulmakerroin kuvaajasta luettujen janan päätepisteiden avulla.

$$m = \frac{\Delta F}{\Delta a} = \frac{(0,42 - (-0,41)) \text{ N}}{(1,25 - (-1,25)) \text{ m/s}^2} = 0,332 \text{ kg} \approx 0,33 \text{ kg}$$

1 p.

b) Jousivoiman laki (Hooken laki): $F = -kx$.

Mittaamalla saatu (x, F) -kuvaaja on myös sangen tarkasti origon kautta kulkeva jana, joten jousivakio on kuvaajan kulmakertoimen vastaluku.

1 p.

$$k = -\frac{\Delta F}{\Delta x} = -\frac{(0,42 - (-0,41)) \text{ N}}{(-0,070 - 0,071) \text{ m/s}^2} = 5,8865248 \frac{\text{N}}{\text{m}} \approx 5,9 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

1 p.

c) Värähdysliikkeen energia E_0 on vaunun liike-energian ja jousivoiman potentiaalienergian summa: $E_0 = E_k + E_p$.

Vaimentavia vuorovaikutuksia ei ole, joten värähdysliikkeen energia säilyy.

1 p.

Kun $x = 0$, myös $F = 0$, joten $E_p = 0$. Tällöin $E_0 = E_k$ ja nopeudella on positiivinen tai negatiivinen maksimi, kuten (x, v) -kuvaajasta ilmenee.

$$E_0 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,332 \text{ kg} \cdot \left(0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,01494 \text{ J} \approx 0,015 \text{ J}$$

1 p.

d) Systeemi on harmoninen värähtelijä, jonka värähtelyn taajuus saadaan lausekkeesta:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{5,8865248 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{0,332 \text{ kg}}} = 0,6701632 \frac{1}{\text{s}} \approx 0,67 \text{ Hz}$$

1 p.

Tehtävä 6

- a) Oletetaan, että viimeinen täysi pyörähdys tapahtuu vakionopeudella. Tällöin lähtönopeus on

$$v_0 = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \frac{2\pi \cdot 2,0 \text{ m}}{0,45 \text{ s}} = 27,925268 \text{ m/s} \approx 28 \text{ m/s}$$

1 p.

- b) Koska moukariin kohdistuvaa ilmanvastusta ei huomioida, niin pystysuunnassa (y) liike on tasaisesti kiihtyvää ja vaakasuunnassa (x) nopeus pysyy vakiona.

Kun moukari osuu maahan, niin

$$y = y_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = 0,$$

josta saadaan ratkaistua lentoaika

$$\begin{aligned} t &= \frac{-v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{v_0^2 (\sin \alpha)^2 + 2y_0 g}}{-g} \\ &= \frac{-27,925268 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 42^\circ \pm \sqrt{\left(27,925268 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 (\sin 42^\circ)^2 + 2 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}{-9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= (-0,094011 \text{ s tai}) 3,903522 \text{ s} \end{aligned}$$

2 p.

Moukarinheiton pituus on

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot t \\ &= 27,925268 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 42^\circ \cdot 3,903522 \text{ s} = 81,007912 \text{ m} \approx 81 \text{ m} \end{aligned}$$

1 p.

- c) Koska moukariin kohdistuvaa ilmanvastusta ei huomioida, moukarin mekaaninen kokonaisenergia säilyy, eli

$$E_{kin}^{lopussa} + E_{pot}^{lopussa} = E_{kin}^{alussa} + E_{pot}^{alussa}$$

2/3 p.

Valitaan maanpinta potentiaalienergian nollakohdaksi, jolloin

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgy_0$$

2/3 p.

Tästä saadaan ratkaistua loppunopeus

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_0^2 + 2gy_0} = \sqrt{\left(27,925268 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,8 \text{ m}} \\ &= 28,550597 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 29 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

2/3 p.

Tehtävä 7

- a) Tasapainossa kumpaankin kuulaan vaikuttavat painovoima, langan jännitysvoima ja Coulombin voima. Koska molemmilla kuulilla on sama varaus ja massa, niihin vaikuttavat voimat ovat yhtä suuria. Tämän vuoksi tilanne on symmetrinen luotisuoran suhteen, joten riittää, että tarkastelee vain toista kuulaa.

2/3 p.

Newtonin II laki tasapainotilanteessa: $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Kuulaan vaikuttavien voimien komponenteille saadaan yhtälöt:

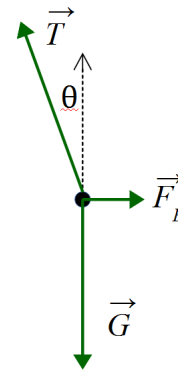
$$\begin{cases} F_E - T \sin \theta = 0 \\ T \cos \theta - G = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T \sin \theta = F_E \\ T \cos \theta = G = mg \end{cases}$$

1 p.

Eliminoidaan jännitysvoiman suuruus T :

$$\tan \theta = \frac{F_E}{mg}$$



Voimakuviosta 2/3 p.

Coulombin voiman suuruus riippuu kuulien varauksista:

$$F_E = k \frac{Q^2}{x^2}$$

2/3 p.

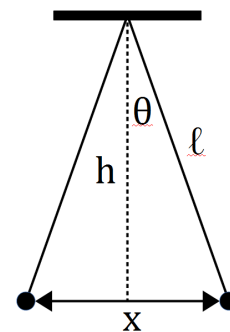
Viereisestä kuviosta saadaan, että

$$\sin \theta = \frac{0,5 \cdot x}{\ell},$$

jolloin lanka on kulmassa

$$\theta = \arcsin\left(\frac{0,5 \cdot 4,2 \text{ cm}}{20 \text{ cm}}\right) = 6,02716656^\circ.$$

Ratkaistaan yhden pallon varaus



$$\tan \theta = \frac{kQ^2}{x^2 mg}$$

$$\begin{aligned} Q &= \pm \sqrt{\frac{x^2 mg \cdot \tan \theta}{k}} \\ &= \pm \sqrt{\frac{(0,042 \text{ m})^2 \cdot (8,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \tan 6,02716656^\circ}{(8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)}} \\ &= \pm 4,156924402 \cdot 10^{-8} \text{ C} \approx \pm 42 \text{ nC} \end{aligned}$$

1 p.

b) Kun toisen kuulan varaus poistetaan, kuulien välillä ei ole Coulombin voimaa.

2/3 p.

Kuulat osuvat toisiinsa, jolloin toiseen kuulaan jäänyt varaus jakautuu tasan molemmille kuulille, eli yhden kuulan varaus on puolet alkuperäisestä varauksesta.

2/3 p.

Tämän jälkeen kuulien välillä vaikuttaa Coulombin voima, ja kuulat liikkuvat toisistaan erilleen. Kuulilla on uusi tasapainoasema, jonka suhteen kuulat tekevät heilahdusliikettä. Koska kuulien varaukset ovat puolittuneet, on tasapainoetäisyys pienempi kuin a-kohdassa.

2/3 p.

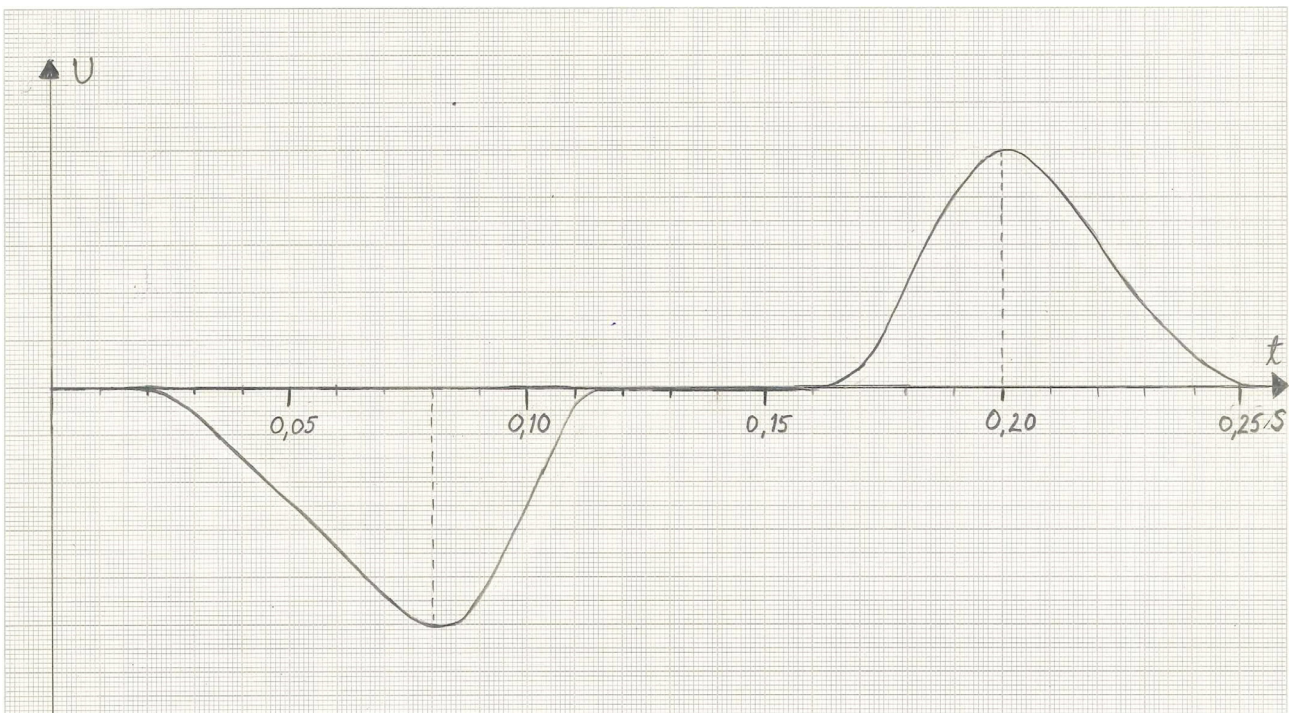
Tehtävä 8

- a) Kun magneetin pohjoisnapa menee käämin sisään, käämin läpäisevä magneettivuon aluksi kasvaa, jolloin käämiin indusoituu jännite $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$. Magneettivuon muutosnopeus $\frac{d\Phi}{dt}$ on tällöin positiivinen, joten induktiolain mukaisesti jännite on negatiivinen. Magneettivuon muutosnopeus kasvaa aina ajanhetkeen 0,08 s saakka, johon asti myös jännitteen itseisarvo kasvaa. Tämän jälkeen magneettivuon muutosnopeus pienenee, jolloin induktiojännitteen itseisarvo pienenee.

Käämin ollessa magneetin keskiosan ympärillä magneettivuon ei muutu, joten induktiojännite on nolla.

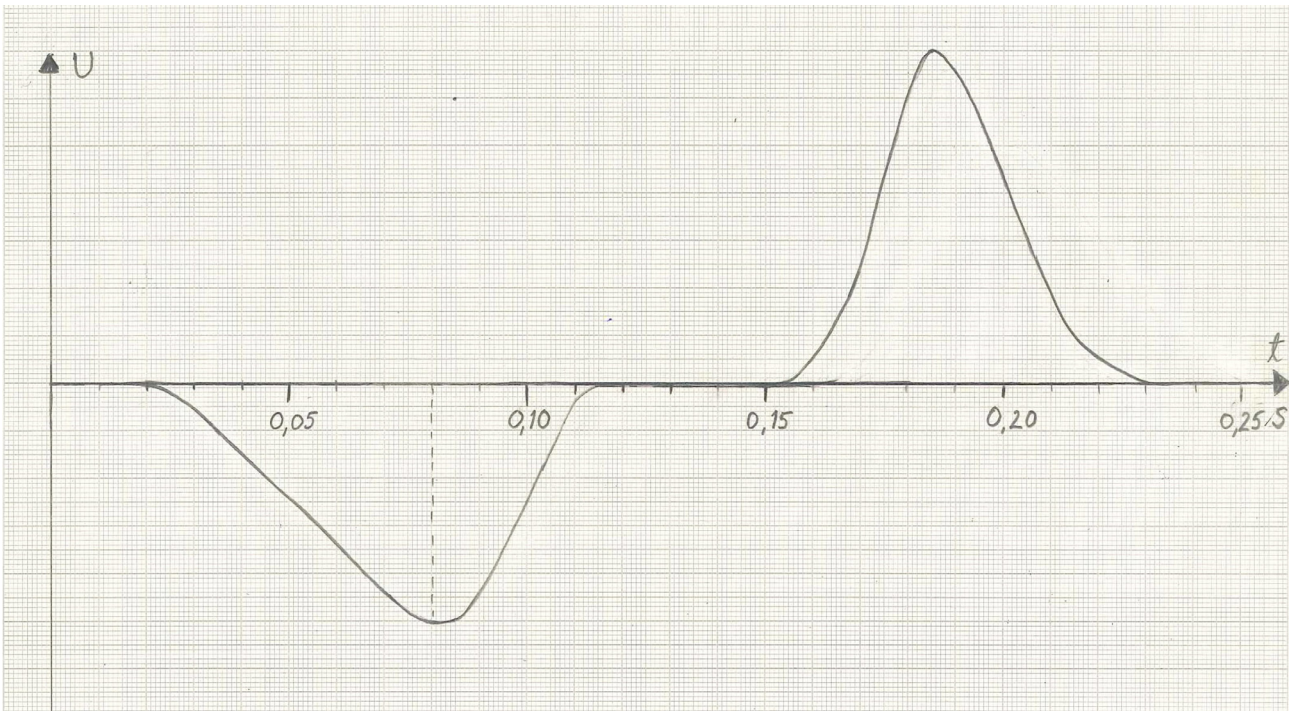
Magneetin poistuessa käämistä magneettivuon pienenee. Magneettivuon muutosnopeus $\frac{d\Phi}{dt}$ on tällöin negatiivinen, mistä aiheutuu positiivinen induktiojännite. Induktiojännite kasvaa, kun magneettivuon muutosnopeuden itseisarvo kasvaa, ja vastaavasti induktiojännite pienenee, kun magneettivuon muutosnopeuden itseisarvo pienenee. Jännitteen huippuarvo saavutetaan noin ajanhetkellä 0,20 s.

Koska magneetti liikkuu vakionopeudella, käämin läpäisevä magneettivuon muuttuu alussa ja lopussa samalla tavalla. Jännite indusoituu alku- ja loppuvaiheessa samalla tavalla, ja jännitepiikit kestävät ajallisesti yhtä kauan.



Selitys 2 p. ja kuva 2 p.

- b) Koska magneetin nopeus kasvaa koko ajan, magneetin loppuosa kulkee käämin läpi nopeammin kuin alkuosa. Magneettivuon muutosnopeus on lopussa suurempi kuin alussa. Täällöin induktiojännitteen huippuarvo on suurempi magneetin poistuessa käämistä kuin magneetin mennessä käämin sisään. Jännitepiikki kestää myös lyhyemmän ajan lopussa kuin alussa ja on muodoltaan epäsymmetrinen.



Selitys 1 p. ja kuva 1 p.

Tehtävä 9

a)

i) Saman alkuaineen isotoopeilla on yhtä monta protonia ytimessään, mutta eri määrä neutroneja.

Hapen isotooppeja ovat $^{16}_8\text{O}$ ja $^{18}_8\text{O}$ ja typen $^{14}_7\text{N}$ ja $^{15}_7\text{N}$. 1 p.

ii) Ei millään atomeilla. Jokaisen atomin ytimen protoni- ja neutronilukujen yhdistelmä on erilainen. 1 p.

iii) Emissiospektri syntyy elektroniverhon viritystilojen purkautuessa, joten atomien isotooppien emissiospektrit ovat samanlaiset; $^{16}_8\text{O}$ ja $^{18}_8\text{O}$ sekä $^{14}_7\text{N}$ ja $^{15}_7\text{N}$. 1 p.

b)

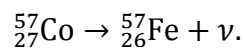
i) Reaktio $^{234}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{238}_{92}\text{U} + \alpha$ ei ole mahdollinen, koska alfa-hajoamisessa $^A_Z\text{X} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + ^4_2\text{He}$ syntyvän tytärtyimen massaluvun täytyy olla neljä yksikköä pienempi kuin emoytimen massaluku A .

1 p.

iii) Reaktio $^{23}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{19}_9\text{F} + \alpha$ ei ole mahdollinen, koska $^{23}_{11}\text{Na}$ on stabiili. 1 p.

c)

Elektronisieppaus $^1_1\text{p} + ^0_{-1}\text{e} \rightarrow ^1_0\text{n} + \nu$, joten atomille reaktioyhtälö

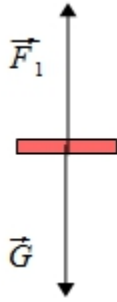


1 p.

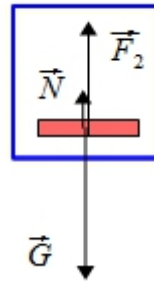
Tehtävä 10

a)

sormus ilmassa



sormus vedessä



1 p. / kuva

b) Newtonin II laki, kun voimat ovat tasapainossa

$$\sum F_{yi} = 0 \quad \begin{array}{l} \text{ilmassa: } \left\{ \begin{array}{l} F_1 - G = 0 \\ \text{vedessä: } \left\{ \begin{array}{l} F_2 + N - G = 0 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

1 p.

Vedessä kolikkoon vaikuttaa noste N , joka on kolikon syrjäyttämän nesteen massa kerrottuna putoamiskiihtyvyydellä. Ratkaistaan kolikon tilavuus:

$$N = \rho_v V g$$

$$V = \frac{N}{\rho_v g} = \frac{F_1 - F_2}{\rho_v g} = \frac{F_1/g - F_2/g}{\rho_v} = \frac{11,90 \text{ g} - 11,11 \text{ g}}{1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0,790 \text{ cm}^3$$

1 p.

Toisaalta kolikon tilavuus on kuparin ja kullan yhteistilavuus

$$V = V_{\text{Au}} + V_{\text{Cu}} = \frac{m_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Au}}} + \frac{m_{\text{Cu}}}{\rho_{\text{Cu}}}$$

Kolikon massa ilmassa on kullan ja kuparin yhteismassa: $m = m_{\text{Au}} + m_{\text{Cu}} = 11,90 \text{ g}$.

Eliminoimalla kahdesta edellisestä yhtälöstä kuparin massa saadaan

$$V = \frac{m_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Au}}} + \frac{m - m_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Cu}}}$$

1 p.

Tästä saadaan ratkaistua kullan massa:

$$\begin{aligned} m_{\text{Au}} &= \left(V - \frac{m}{\rho_{\text{Cu}}} \right) \cdot \frac{\rho_{\text{Cu}} \rho_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Cu}} - \rho_{\text{Au}}} \\ &= \left(0,790 \text{ cm}^3 - \frac{11,90 \text{ g}}{8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \right) \cdot \frac{8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 8,999698 \text{ g} \end{aligned}$$

Kullan painoprosentti kolikossa on

$$\frac{m_{\text{Au}}}{m} = \frac{8,999698 \text{ g}}{11,90 \text{ g}} = 0,756277 \approx 76 \%$$

1 p.

Tehtävä 11

- a) Sähköisen aurinkotuulipurjeen työntövoima syntyy purjeen sähkökentän ja protonien vuorovaikutuksesta. Kun protonit kääntyvät purjeen sähkökentässä takaisin tulosuuntaansa, niiden liikemäärä muuttuu. 1 p.

Protonien vuorovaikutuksia sähkökentän kanssa voidaan verrata kimmoisiin törmäyksiin. Koska luotaimen massa on paljon protonin massaa suurempi ja luotain liikkuu hitaasti verrattuna protonien nopeuksiin, protonin liike-energia on lähes sama hiukkasen tullessa sähkökenttään ja poistuessa sähkökentästä. Näin ollen protonin nopeuden muutos on $\Delta v \approx -2v$. Koska protonien ja luotaimen yhteinen kokonaisliikemäärä säilyy, luotaimen saama liikemäärän lisäys on suurin piirtein kaksinkertainen protonin alkuperäiseen liikemäärään nähden.

2 p.

Impulssiperiaatteen mukaisesti $I_{luotain} = -I_{protoni} = -\Delta p_{protoni}$. Tällöin yhden protonin törmäys kiihdyttää luotainta voimalla $F_{luotain} = \frac{m_{protoni} \Delta v}{\Delta t}$.

1 p.

- b) Purjeen synnyttämän sähkökentän potentiaali on

$V = 0$, kun $x > x_0$ ja

$V(x) = V_0 \ln \frac{x_0}{x}$, kun $x < x_0$.

Protonien liike-energia juuri ennen sähkökenttään saapumista on

$$E_{k,a} = \frac{1}{2} m_p v^2 = \frac{1}{2} m_p c^2 \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2} * 938,27 \text{ MeV} \left(\frac{400 \text{ km/s}}{299\,792 \text{ km/s}} \right)^2 = 835,1755 \text{ eV}$$

2/3 p.

Protonien ja kentän vuorovaikutuksen potentiaalienergia etäisyydellä x on $E_p = e \cdot V(x)$.

Olkoon x_c etäisyys, jolla protonit pysähtyvät ja $E_{k,l} = 0$.

Koska mekaaninen kokonaisenergia säilyy, on oltava

$$\begin{aligned} E_{k,a} + E_{p,a} &= E_{k,l} + E_{p,l} \\ E_{k,a} + 0 &= 0 + e \cdot V(x_c) \end{aligned}$$

2/3 p.

$$E_{k,a} = e \cdot V_0 \ln \left(\frac{x_0}{x_c} \right)$$

$$\ln \left(\frac{x_0}{x_c} \right) = \frac{E_{k,a}}{e \cdot V_0}$$

$$x_c = x_0 \exp \left(- \frac{E_{k,a}}{e \cdot V_0} \right)$$

Sijoittamalla arvot $V_0 = 0,50 \text{ kV}$ ja $x_0 = 100 \text{ m}$ saadaan

$$x_c = 100 \text{ m} * \exp \left(- \frac{835,1755 \text{ eV}}{500 \text{ eV}} \right) = 18,818100 \text{ m} \approx 20 \text{ m}.$$

2/3 p.

Tehtävä +12

Vastauksissa tulee esiintyä seuraavia piirteitä, jolloin jokainen mainittu kohta tai sen oleellisesti korvaava huomio arvostellaan 1/3 p. Vastauksen tulee olla johdonmukainen ja esitystavaltaan eheä.

a)

Rutherfordin malli: (1 p.)

- Atomin massa ja positiivinen varaus ovat keskittyneet atomin kokoon nähden pieneen ytimeen.
- Hiukkasmaiset elektronit kiertävät ydintä Coulombin vuorovaikutuksen vuoksi.
- planeettamalli (planeettaradat)
- Malli ei selitä, miksi atomin rakenne on pysyvä.

Bohrin malli: (1 p.)

- Malli on pätevä vain vedylle ja vedyn kaltaisille 1-elektronisille ioneille. (Malli voidaan osittain yleistää raskaammille atomeille.)
- Ytimen ja elektronin välillä on Coulombin vuorovaikutus.
- Elektroni esiintyy vain tietyillä stationäärisillä radoilla, joilla energia säilyy.
- Siirtymät ovat mahdollisia vain stationääristen ratojen välillä.
- Atomin energiatilat ovat kvantittuneet. Siirtymissä tapahtuvat energianmuutokset ovat kvantittuneet.
- Atomin tiloja kuvataan kuorimallilla.
- Energian kvantittuminen määrää kokonaisenergian, jota kuvaa ns. pääkvanttiluku.
- Pyörimismäärän kvantittuminen määrää atomin magneettimomentin, jota kuvaa ns. sivukvanttiluku.

Schrödingerin malli: (2 p.)

- Ytimen ja elektronien välillä on Coulombin vuorovaikutus.
- Atomin elektroniverhoa kuvataan aaltofunktion (tai todennäköisyystiheyden tai Schrödingerin funktion) avulla. Atomin tilat määräytyvät aaltofunktion ajasta riippumattomina tiloina (stationäärinen tila). Malli on ns. aaltomekaaninen malli.
- Malli on pätevä monen elektronin atomeille.
- Atomin tiloja kuvataan orbitaaleilla ja niihin liittyvillä kvanttiluvuilla.

b)

Rutherfordin malli: (1 p.)

Alfasirontakokeiden tulosten perusteella voitiin päätellä massan keskittyneen ytimeen.

Bohrin malli: (1 p.)

Vetyatomien emissio- ja absorptiospektrien mittaaminen

- Vetyatomin spektri, erityisesti Balmerin sarja, osoitti, että atomi voi emittoida/absorboida vain tiettyjä sähkömagneettisen spektrin taajuuksia. Atomin energiatilojen pääteltiin olevan kvantittuneita.
- Vetyatomin spektrin tarkempi rakenne (hienorakenne) antoi aiheita olettaa, että myös pyörimismäärä on kvantittunut.

Schrödingerin malli: (1 p.)

- Vetyä raskaampien atomien emissio- ja absorptiospektrien mittaaminen
- Atomin spektrin havaittiin muuttuvan ulkoisessa magneettikentässä (spektriviivojen kahdentuminen)
- Elektronidiffraktio (Davissonin ja Germerin koe) osoitti elektronin aaltoluonteen.
- Sternin ja Gerlachin koe: elektronin pyörimismäärä ja sen kvantittuminen

c)

Rutherfordin malli (1/3 p.):

- Ytimen koko suhteessa atomin kokoon on pieni.
- Vuorovaikutuksissa elektroni käyttäytyy kuten hiukkanen.

Bohrin malli (2/3 p.):

edellisten lisäksi

- Ennustaa vedyn spektrin energiat.
- Kuorimalli on käyttökelpoinen luokittelussa ja jaksollisen järjestelmän tulkinnassa.

Schrödingerin malli: (1 p.)

- Selittää atomien absorptio/emissiospektrit.
- Orbitaalien muodostuminen
- Kemiallisen sidoksen muodostuminen
- Kiinteän aineen ominaisuudet (mm. puolijohteet, energiavyöt)
- kemialliset reaktiot

Tehtävä +13

Vastauksessa voidaan käsitellä esimerkiksi seuraavia asioita:

Mekaaniset koneet

Yksinkertaiset koneet: vipu, väkipyörä, talja, kalteva taso

- Vivulla esimerkiksi siirretään lihasten energiaa nostettavan kappaleen potentiaalienergiaksi.
- Kone pienentää syöttövoimaa.
- Syöttövoiman tekemä työ W_s on suurempi kuin kuormavoimaa vastaan tehty hyötytyö $W_h \Rightarrow$ koneessa on energiahäviöitä, jotka aiheutuvat kitkasta, muodonmuutoksista, jne.
- Koneen hyötysuhde on $\eta = \frac{W_h}{W_s}$.

Vesiratas, tuuliratas, turbiini

- Osa virtaavan aineen liike-energiasta saadaan muutettua esim. generaattorin pyörimisenergiaksi.
- Energiahäviöt aiheutuvat mm. kitkahäviöistä ja ohivirtauksesta.
- Tuulimyllyn hyötysuhde on alle 50 %, vesiturbiinin jopa 95 %.

Lämpövoimakoneet

- Jaksollisesti toimivia koneita, jotka muuttavat lämpöä mekaaniseksi työksi.
- esim. höyrykone, polttomoottori, höyry- ja kaasuturbiinit
- Hyötysuhteella on lämpöopin 2. pääsäännön mukainen teoreettinen yläraja, joka riippuu koneen lämpötilaerosta, $\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, kun kone toimii kahden vakio- lämpötilaisen säiliön välillä. Todellisuudessa hyötysuhde on selvästi pienempi.
- Mm. sähköä tuottavat ydin-, kivihiihi-, maakaasu- ja öljyvoimalat ovat lämpövoimakoneita.

Sähkömoottorit

- Sähkömoottori muuntaa sähköenergiaa liike-energiaksi.
- Sähkömoottorin toimintaperiaate lyhyesti: Sähkömoottorissa on käämejä, joihin luodaan sähkövirran avulla magneettikenttä. Moottorin pyörivää osaa kutsutaan roottoriksi ja paikallaan olevaa osaa staattoriksi. Kun moottorin magneettikentän suuntaa vaihdellaan sopivalla taajuudella, roottori saadaan pyörimään akselinsa ympäri.
- Moottorin hyötysuhde määrittelee, kuinka suuren sähkötehon moottori ottaa sähköverkosta tuottaakseen nimellistehonsa verran mekaanista tehoa. Sähkömoottoreiden hyötysuhteeseen vaikuttavat moottorin koko ja laatu, mutta tyypillisesti moottorien hyötysuhde on 70–95 %.
- Sähkömoottorissa energiahäviöitä syntyy mm. seuraavilla tavoilla:
 - Käämien magneettikenttää vahvistetaan rautasydämellä. Osa sähköenergiasta muuttuu rautasydämessä lämmöksi pyörrevirtojen vuoksi. Moottoria täytyy tuulettaa esimerkiksi puhaltimella tai tuulettimella, ettei moottori lämpene liikaa. Kuumuus vaurioittaa mm. käämien johtimien sähköeristystä. Tämä pienentää moottorin hyötysuhdetta.
 - Energiahäviöitä syntyy myös siitä, että käämityksien kuparijohtimilla on resistanssia ja johtimet lämpiävät.
 - Pyörivissä osissa tapahtuu kitkan vuoksi liike-energian häviöitä. Kitkaa pienennetään laakereiden avulla.