



FYSIIKAN KOE 26.3.2020

HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Koe pidettiin poikkeuksellisesti 19.3.2020

Fysiikan näkövammaisten korvaavan kokeen hyvän vastauksen piirteet löytyvät erillisenä tiedostona Hyvän vastauksen piirteet -osiosta lautakunnan verkkosivuilta.

Tämä tiedosto ei välttämättä ole täysin saavutettava esimerkiksi ruudunlukuohjelman käyttäjille.

Lopulliset hyvän vastauksen piirteet 12.5.2020

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 arvostelumerkinnät 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 arvioi-

daan 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.)

Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1. tasaisesti kiihtyvä liike

1.2. seisova aaltoliike

1.3. tasainen liike

1.4. tasaisesti kiihtyvä liike

1.5. vaimeneva värähdysliike

1.6. aktiivisuus

1.7. voima

1.8. resistanssi

1.9. ominaislämpökapasiteetti

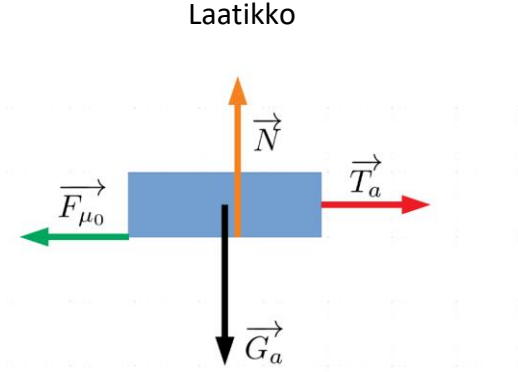
1.10. varaus

Osa II

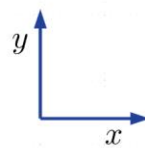
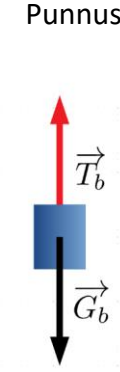
2. Laatikko ja punnus (15 p.)

2.1. (6 p.)

Laatikko



Punnus



\vec{G}_a laatikon paino
 \vec{G}_b punnuksen paino
 \vec{N} tukivoima
 \vec{F}_{μ_0} lepokitka
 \vec{T}_a langan laatikkoon kohdistama (jännitys)voima
 \vec{T}_b langan punnukseen kohdistama (jännitys)voima

Pisteitys:

On esitetty laatikon (4 p.) ja punnuksen (2 p.) voimakuviot.

Jos kuviossa on ylimääräisiä voimia tai jokin voimista puuttuu tai on väärän suuntainen, menettää kaikki kyseisen voimakuvion pisteet.

Jos voiman vaikutuspiste on väärin, vähennetään 1 p./kuvio.

Jos kappaleeseen piirrettyjen voimavektoreiden summa poikkeaa nolasta, vähennetään 1 p.

Väärä tai puuttuva voiman nimeäminen vähentää yhden pisteen.

2.2. (9 p.)

Lepokitka saa suurimman arvonsa $|F_{\mu_0}| = \mu_0 N$ silloin, kun laatikko on juuri lähtemäisillään liikkeelle.

Kappaleiden tasapainoehdot:

Laatikolle $\sum \vec{F}_a = m_a \vec{a}_a = \vec{0}$,

$$\text{x-suunta: } \sum F_{a,x} = F_{\mu_0} - T_a = 0,$$

$$\text{y-suunta: } \sum F_{a,y} = G_a - N = 0.$$

Punnukseen kohdistuu voimia vain y-suunnassa:

$$\text{y-suunta: } \sum F_{b,y} = G_b - T_b = 0.$$

Koska lanka on kevyt, on $T_a = T_b$, joten

$$|F_{\mu_0}| = T_a = T_b = |G_b| = m_b g.$$

Lepokitkakerroin on

$$\mu_0 = \frac{|F_{\mu_0}|}{N} = \frac{m_b g}{m_a g} = \frac{m_b}{m_a}.$$

Etsitään simulaation avulla suurinta lepokitkaa vastaava rajatilanne varioimalla punnuksen massaa. Annetaan valitut massan arvot.

Esimerkiksi arvoilla $m_a = 1,000 \text{ kg}$ ja $m_b = 0,340 \text{ kg}$ laatikko pysyy paikallaan, mutta kun $m_b = 0,341 \text{ kg}$, laatikko lähtee liikkeelle.

Lepokitkakerroin on

$$\mu_0 = \frac{m_b}{m_a} = \frac{0,340 \text{ kg}}{1,000 \text{ kg}} = 0,34$$

Pisteitys:

Perusteluna on mainittu Newtonin II laki tai tasapainotilanne, ja on esitetty lähtöyhtälöinä kolme voimien tasapainoehtoa (4 p.).

Simuloimalla on saatu rajatilannetta vastaava massapari (2 p.).

Lepokitkakertoimelle on johdettu tasapainoehdoista suurelauseke (1 p.) ja määritetty sen avulla lepokitkan arvo (2 p.).

Tyypillinen virhe: On tarkasteltu tilannetta, jossa laatikko ja punnus ovat liikkeessä. (Osista voi saada korkeintaan 4 p.)

3. Merenpinnan nousu (15 p.)

Valtamerien pinta-alasta ja syvyydestä saadaan meriveden tilavuus $V = Ad$. Tilavuuden ja keskimääräisen tiheyden avulla puolestaan määritetään meriveden massa $m = \rho V$ ja lämpökapasiteetti $C = cm$.

Kun merien vuodessa keräämä lämpömäärä on Q , on lämpötilanmuutos $\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{Q}{c\rho Ad}$.

Sijoitetaan tähän $Q = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}$, $c = 3,96 \cdot 10^3 \text{ J/(kg K)}$, $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$, $A = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2 = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ ja $d = 3700 \text{ m}$, jolloin saadaan lämpötilan muutokseksi

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}}{3,96 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{(\text{kg K})} \rho \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \cdot 3700 \text{ m}} \\ &= 2,3928013 \cdot 10^{-3} \text{ K} \approx 0,0024 \text{ K}.\end{aligned}$$

Tämä aiheuttaa lämpölaajenemisen $\Delta V = \gamma V \Delta T$, jossa γ on tilavuuden lämpötilakerroin vedelle.

Tilavuuden muutos ei muuta oleellisesti merien pinta-alaa, mutta kylläkin niiden syvyyttä.

Merenpinnan nousu on $\Delta h = \frac{\Delta V}{A}$, josta saamme

$$\Delta h = \frac{\gamma V \Delta T}{A} = \frac{\gamma V Q}{A c \rho V} = \frac{\gamma Q}{A c \rho}.$$

Sijoitetaan lausekkeeseen seuraavat suureiden arvot: $\gamma = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$, $Q = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}$, $A = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2 = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$, $c = 3,96 \cdot 10^3 \text{ J/(kg K)}$ ja $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$.

Merenpinnan nousu on $\Delta h = 1,212911205 \text{ mm} \approx 1,2 \text{ mm}$.

On huomion arvoista, että lopputulos ei riipu merien syvyydestä – merien ei tarvitse siis lämmentä läpikotaisin, vaan riittää jos lämpenemistä tapahtuu esimerkiksi vain ensimmäisellä 500 metrillä.

Pisteitys:

Lähtöyhtälönä on esitetty lämpömäärän lauseke (2 p.), ja siitä johdettu lämpötilan muutoksen suurelauseke (2 p.). Lämpötilan muutoksen arvo on määritetty (2 p.).

Tilavuuden lämpölaajenemisen yhtälö on esitetty (2 p.). On johdettu merenpinnan nousukorkeus tilavuuden muutoksen avulla käyttäen tietoa, että merien pinta-ala pysyy vakiona (2 p.). Merenpinnan nousukorkeudelle on johdettu suurelauseke (2 p.) ja määritetty sen avulla nousukorkeus (3 p.).

Tyypillisiä virheitä:

Yksikönmuunnoksessa on tehty kertaluokkavirhe, jolloin sekä lämpötilan muutokselle että nousukorkeudelle on saatu epäfysikaalisen suuret arvot (pistemenetys 5 p.).

Tilavuuden lämpölaajenemisen sijasta on tarkasteltu pituuden lämpölaajenemista (pistemenetys 5 p.).

Mikäli lopputulokset on annettu suuremmalla kuin $100 \mu\text{K}$:n tai $100 \mu\text{m}$:n tarkkuudella, kyseisen lopputuloksen pisteitä ei ole annettu.

4. Pimeässä huoneessa (15 p.)

4.1. Ilmiössä on kyse valon taipumisesta eli diffraktiosta. Varjostimelle syntyy valoisia pisteitä sellaisiin kohtiin, jossa eri raoista tulleen säteet interferoivat vahvistavasti. (3 p.)

4.2. Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan. (2 p.)

4.3. Punaiset täplät pysyvät paikoillaan. (2 p.)

4.4. Varjostimella nähdään samankaltainen kuvio kuin kohdassa 4.1. (2 p.)

4.5. Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan. (3 p.)

4.6. Täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan. (3 p.)

Pisteitys:

Kohdassa 4.1 vastauksiksi on hyväksytty diffraktio, valon taipuminen ja interferenssi.

5. Kiertokäämimittari (15 p.)

5.1. (8 p.)

Suurin mitattava sähkövirta $I = 100 \text{ mA}$, suurin sähkövirta käämissä $I_c = 0,10 \text{ mA}$, käämin resistanssi $R_c = 360 \Omega$, sähkövirta vastuksessa R_I I_R

Kirchhoffin virtalaki: $I = I_c + I_R$,

$$I_R = I - I_c.$$

Käämin napajännite saadaan Ohmin laista:

$$U_c = R_c I_c.$$

Koska vastus R_I ja käämi on kytketty rinnan, vastuksen napajännite on yhtä suuri kuin käämin napajännite.

Vastuksen resistanssi on siis

$$R_I = \frac{U_c}{I_R} = \frac{R_c I_c}{I - I_c} = \frac{360 \Omega \cdot 0,10 \text{ mA}}{(100 - 0,10) \text{ mA}} = 0,36036036 \dots \Omega \approx 0,36 \Omega$$

Pisteitys:

On käytetty Kirchhoffin virtalain mukaista sähkövirran jakautumisen periaatetta (2 p.). On todettu, että käämissä ja vastuksessa on sama jännite (2 p.). Vastuksen resistanssille on johdettu suureyhtälö (2 p.), ja on annettu resistanssin suuruus (2 p.).

Toinen ratkaisutapa:

Mittarin kokonaisresistanssi muodostuu rinnan kytketyn vastuksen ja käämin resistansseista.

Kokonaisresistanssille R pätee yhtälö $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_I}$.

Koko mittarin napajännite sähkövirran ollessa I on yhtä suuri kuin käämin jännitehäviö sähkövirran ollessa I_c .

Ohmin lain mukaan $R = \frac{U}{I}$ ja $U = R_c I_c$.

Saadaan yhtälö $\frac{I}{U} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_I}$, josta ratkaistaan vastuksen resistanssi:

$$R_I = \frac{1}{\frac{I}{R_c I_c} - \frac{1}{R_c}} = 0,360360... \Omega \approx 0,36 \Omega.$$

Pisteitys:

On todettu, että mittarin kokonaisresistanssi R saadaan rinnan kytkettyjen vastuksen ja käämin resistansseista (2 p.). On hyödynnetty Ohmin lakia R :n esittämiseen käämin resistanssin ja sähkövirran avulla (2 p.). Vastuksen resistanssille on esitetty suureyhtälö (2 p.), ja on laskettu resistanssin arvo (2 p.).

5.2. (7 p.)

Suurin mitattava jännite $U = 1,0 \text{ V}$, vastuksen R_U napajännite U_R .

Kirchhoffin jännitelaki: $U = U_C + U_R$,

$$U_R = U - U_C.$$

Kun mittari näyttää maksimiarvoa, sähkövirta käämin läpi on yhtä suuri kuin kohdassa 5.1., joten käämin napajännite on

$$U_C = R_c I_c.$$

Koska käämi ja vastus R_U on kytketty sarjaan, sähkövirta vastuksessa on yhtä suuri kuin suurin sähkövirta käämissä.

Vastuksen resistanssi saadaan Ohmin lain avulla:

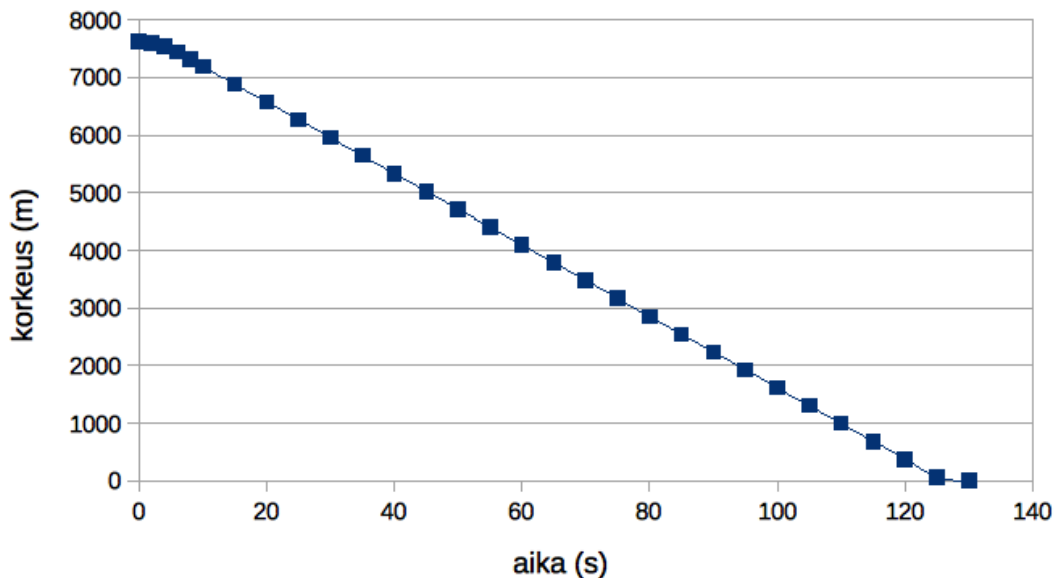
$$R_U = \frac{U_R}{I_c} = \frac{U - U_C}{I_c} = \frac{U - R_c I_c}{I_c} = \frac{1,0 \text{ V}}{0,10 \text{ mA}} - 360 \Omega = 9640 \Omega \approx 9,6 \text{ k}\Omega.$$

Pisteitys:

On todettu, että Kirchhoffin jännitelain mukaan jännitemittauksessa vastuksen ja käämin jännitteet summautuvat. (Tai on todettu, että resistanssit summautuvat, koska vastus ja kela on kytketty sarjaan.) (2 p.) On sovellettu Ohmin lakia kelan jännitteen (tai virtapiirin kokonaisresistanssin määrittämiseen sähkövirran avulla.) (1 p.) On johdettu suureyhtälö vastuksen resistanssille (2 p.), ja laskettu resistanssin arvo (2 p.).

6. Hyppy ilman laskuvarjoa (15 p.)

6.1. (8 p.)



Kuvaajasta nähdään, että Aikinsin nopeus on lähes koko hypyn ajan vakio.

Newtonin II lain mukaan $mg - F_i = 0$ eli $F_i = 95 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 930 \text{ N}$.

Pisteitys:

On esitetty kuvaaja, jossa mittaustulokset näkyvät erillisinä mittauspisteinä tai mittauspisteitä yhdistävänä viivana. Koska murtoviiva näyttää tässä tapauksessa pisteisiin tehdyiltä sovitteelta, se kelpaa hyvin kuvaamaan korkeutta ajan funktiona. (4 p.). Jos vaakatai pystyasteikossa on virheitä, vähennetään 2 p. Mikäli suureen tunnus tai yksikkö puuttuu, vähennetään 1 p.

Kuvasta on päätelty, että hyppääjän nopeus on hypyn keskivaiheilla (likimain) vakio (2 p.). On esitetty Newtonin II lakiin perustuva ilmanvastuksen suureyhtälö (1 p.) ja laskettu siitä ilmanvastuksen suuruus (1 p.).

Tyypillisiä virheitä: Hyppääjän kiihtyvyyks ei ole nolla. (Osioista voi saada enintään 4 p.)

6.2. (7 p.)

a) Väite ”vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa” on virheellinen.

Hyppääjällä on alussa potentiaalienergiaa Maan gravitaatiokentässä.

Putoamisen aikana tämä potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi.

Hyppääjän saavutettua putoamisen rajanopeuden hänen liike-energiansa ei enää kasva, vaan potentiaalienergia muuntuu hyppääjän ja ympäröivän ilman vuorovaikutuksen (ilmanvastuksen) seurauksena ilman sisäenergiaksi (ilmamolekyylien liike-energiaksi).

b) Väite ”jos osuu maahan, kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen” on virheellinen. Kineettinen energia ei heijastu maasta.

Jos hyppääjä ei osuisi verkkoon vaan maahan, maanpinta kohdistaisi häneen erittäin suuren liikettä hidastavan voiman. Hidastavan voiman vaikutus kehoon ylittäisi kehon kestävyys- ja kehon rakenteet rikkoutuisivat.

c) Väite ”verkon kudelman venyi sopivasti ja imi syöksyjän liike-energian” on virheellinen.

Liike-energia ei ”imeydy” verkkoon ja se muuttuu verkon ja sylintereiden liike- ja sisäenergiaksi.

Riippumatta siitä, osuuko hyppääjä turvaverkkoon vai maahan, hänen nopeutensa pienenee putoamisen rajanopeudesta nolnaan. Tämän saa aikaan joko maanpinnasta tai turvaverkosta hyppääjään kohdistuva tukivoima. Kummassakin tapauksessa hyppääjän liikemäärä muuttuu yhtä paljon, joten myös tukivoimien impulssit ovat yhtä suuret. Impulssi on $I = \int F dt$. Jos hyppääjä törmää maanpintaan, tukivoiman vaikutusaika on hyvin lyhyt, joten vastaavasti tukivoima on hyvin suuri, eikä keho kestä sitä. Turvaverkko pidentää törmäyksen kestoaikaa huomattavasti, jolloin tukivoima on paljon pienempi, eikä se ylitä kehon kestävyyskykyä.

Pisteitys:

Kunkin virheellisen kohdan osoittaminen. (1 p.)

Kohta a: Tunnistetaan, että energia muuntuu muodosta toiseen (1 p.), ja kuvataan potentiaalienergian muuttuminen liike-energiaksi ja ilmanvastusvoimien tekemäksi työksi (1 p.).

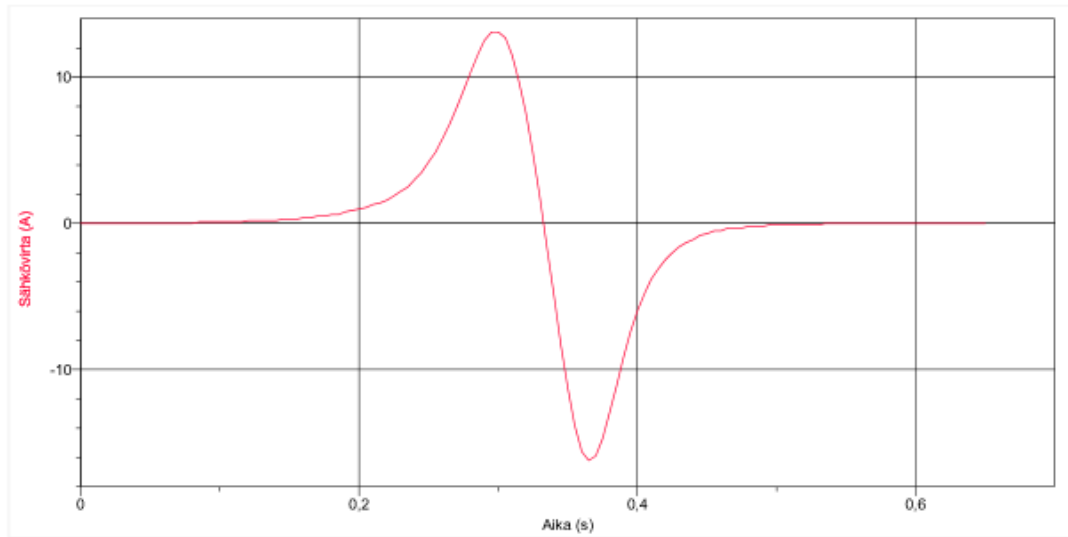
Kohta b: Kuvataan Newtonin 3. lain mukainen voima-vastavoimapari maahan osuessa (1 p.)

Kohta c: Kuvataan liike-energian muuntuminen verkkoon osuessa TAI kuvataan impulssin avulla törmäysajan vaikutus voimiin (1 p.)

Tyypillinen virhe: Kohdassa a: Potentiaalienergia muuntuu kokonaan liike-energiaksi mekaanisen energian säilymislain nojalla.

7. Putoava sauvamagneetti (15 p.)

7.1. (7 p.)



Sauvamagneetin tullessa käämin sisään magneettivuo käämin sisällä kasvaa. Muuttuva magneettivuo aiheuttaa käämiin lähdejännitteen induktiolain $e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ mukaisesti. Käämi on kytketty virta-anturiin, joten se on suljettu. Olkoon käämin resistanssi R . Induktiojännite e synnyttää Ohmin lain mukaan virran $I = e/R$.

Pisteitys:

On esitetty kuvaaja, jossa mittaustulokset näkyvät erillisinä mittauspisteinä tai mittauspisteitä yhdistävänä viivana. Koska murtoviiva näyttää tässä tapauksessa pisteisiin tehdyiltä sovitteelta, se kelpaa hyvin kuvaamaan virtaa ajan funktiona. (4 p.).

Jos vaaka- tai pystyasteikossa on virheitä, vähennetään 2 p. Mikäli suureen tunnus tai yksikkö puuttuu, vähennetään 1 p.

Sähkövirran syntyminen osana suljettua virtapiiriä olevaan käämiin on selitetty muuttuvan magneettivuon (tai induktiolain) ja lähdejännitteen indusoitumisen avulla (3 p.).

Tyypillisiä virheitä: Magneettivuon muuttumisen sijasta puhutaan magneettikentän muuttumisesta. Jännitteen indusoitumista ei ole mainittu.

7.2. (8 p.)

Sähkövaraus ΔQ ja sähkövirta I liittyvät toisiinsa lain $I = \Delta Q / \Delta t$ kautta.

Tästä seuraa, että $\Delta Q = I \Delta t$, eli sähkövaraus saadaan määrittämällä sähkövirran kuvaajan $I(t)$ ja aika-akselin väliin jäävän alueen fysikaalinen pinta-ala.

Jaetaan aikaintegraali kahteen osaan: Integroidaan ensin virta etumerkin vaihtumiseen saakka ja saadaan varauksen muutos ΔQ_1 . Tämän jälkeen integroidaan virta etumerkin vaihtumisen jälkeen ja saadaan varauksen muutos ΔQ_2 . Varausten muutosten arvot ovat

$$\Delta Q_1 = 0,8665 \text{ mC}$$

$$\Delta Q_2 = -0,8655 \text{ mC}$$

Todetaan, että $|\Delta Q_1| \approx |\Delta Q_2|$.

TAI

Olkoon käämin resistanssi R . Induktiojännite e synnyttää Ohmin lain mukaan virran $I = e/R$. Kun tähän lausekkeeseen sijoitetaan induktiojännite $e = -N \Delta \Phi / \Delta t$, saadaan

$$I = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Kokonaisvaraus, joka kulkee ajanjakson Δt aikana käämin läpi, on $\Delta Q = I \Delta t$.

Yhdistetään edelliset lausekkeet, jolloin saadaan käämin läpi kulkeva sähkövaraus:

$$\Delta Q = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot \Delta t = -\frac{\Delta \Phi}{R}.$$

Ensimmäisen virtapiikin aikana vuo kasvaa nolasta maksimiarvoon. Toisen vastakkaismerkkisen virtapiikin aikana vuo pienenee maksimiarvosta noltaan, jolloin vuon muutokset ovat itseisarvoiltaan yhtä suuret. Näin ollen myös käämin läpi kulkeneet sähkövaraukset ovat yhtä suuret.

TAI

Käämissä kulkee induktiojännitteen aikaansaama suljetun virtapiirin virta.

Ohmin lain mukaan virta on suoraan verrannollinen induktiojännitteeseen \mathcal{E} . Näin ollen myös sähkövirta on verrannollinen vuon muutosnopeuteen: $I \sim d\Phi/dt$. Toisaalta koska sähkövirran kuljettama varaus on $dq = Idt$, saadaan että $dQ \sim d\Phi$.

Ensimmäisen virtapiikin aikana vuo kasvaa nollasta maksimiarvoon. Toisen vastakkaismerkkisen virtapiikin aikana vuo pienenee maksimiarvosta nolnaan, jolloin vuon muutokset ovat itseisarvoiltaan yhtä suuret. Näin ollen myös käämin läpi kulkeneet sähkövaraukset ovat yhtä suuret.

Pisteitys:

On esitetty sähkövirta varauksen muutoksen ja kuluvan ajan suhteena (2 p.) On todettu, että sähkövaraus saadaan graafisella integroinnilla sähkövirran kuvaajasta (2 p.). On annettu graafisella integroinnilla saadut sähkövarauksien arvot molemmista piikeistä erikseen tai yhdessä (2 p.) ja todettu, että sähkövarauksien summa on (likipitäen) nolla (2 p.).

Tyypillinen virhe: Varauksen suuruus pyritty määrittämään virtapiikkien hetkittäisten maksimivirtojen avulla. (Ei pisteitä.)

8. Röntgensäteily (15 p.)

8.1. (8 p.)

Röntgenputkessa elektroneja kiihdytetään korkeajännitteellä tyhjiössä, ja nopeasti liikkuvat elektronit törmäävät anodiin.

Spektrin jatkuva osa aiheutuu elektronien hidastumisesta (jarrutussäteily).

Kuvassa näkyvät piikit aiheutuvat Mo-anodin atomien virittymisestä ja viritystilan purkautumisesta. Piikkien energiat ovat käytetylle anodimateriaalille ominaisia.

Pisteitys:

Vastauksessa on kerrottu, että röntgenputkessa kiihdytetään elektroneja jännitteen tai sähkökentän avulla (2 p.), elektronit törmäävät anodiin (1 p.) ja elektronit hidastuvat synnyttäen jarrutussäteilyä (spektrin kumpumainen osan) (2 p.). On selitetty piikkien syntyvän, kun sisäkuorien elektronien virittymiset purkautuvat ja todettu, että piikit ovat kullekin anodiaineelle ominaiset (3 p.).

Tyypillinen virhe: Ei ole mainittu, että kiihdytettävät hiukkaset ovat elektroneja (pistemenetys 5 p.).

8.2. (7 p.)

Röntgendiffraktiossa röntgensäteily siroaa tutkittavan aineen atomeista (tarkemmin atomien elektroneista). Aineen atomit toimivat kolmiulotteisen hilan tapaan. Niissä pisteissä, joissa sironneiden aaltojen maksimit osuvat kohdakkain (interferoivat konstruktivisesti), havaitaan intensiteettimaksimeita.

Diffraktiokuvion perusteella voidaan laskea esimerkiksi aineen hilatasojen etäisyyksiä soveltamalla Braggin lakia $n\lambda = 2d \sin \theta$.

Röntgendiffraktiolla voidaan siis tutkia ainetta, jolla on säännöllinen rakenne (kiteistä ainetta).

Pisteitys:

On mainittu, että röntgensäteily siroaa tutkittavan aineen atomeista ja että eri atomeista sironneet aallot interferoivat keskenään (3 p.). Braggin laki on mainittu tai esitetty yhtälönä, ja yhteys aineen rakenneosasten (atomitasojen) etäisyyteen on mainittu (3 p.). On todettu, että menetelmä sopii kiteisten (säännöllisen rakenteen omaavien) aineiden tutkimiseen (1 p.).

Osa III

9. Ionin ominaisvarauksen määrittäminen (20 p.)

Laite, jolla voidaan määrittää ionien ominaisvaraus, on nimeltään massaspektrometri. Massaspektrometrejä on useita erilaisia.

Ionin ominaisvaraus voidaan määrittää muun muassa seuraavan tyyppisillä massaspektrometreillä:

- kvadrupolianalysaattori
- Ionien syklotroni-resonanssiin perustuva analysaattori
- ionien lentoaika-analysaattori
- magneettiset sektorianalysaattorit
- sähköstaattiset analysaattorit.

Lukion oppimateriaaleissa on usein kuvattu massaspektrometri, jossa on yhdistetty sähköstaattinen ja magneettinen analysaattori. Tällaisessa massaspektrometrissä on kolme osaa: kiihdyttävä sähkökenttä, sähköstaattinen ionien nopeusvalitsin ja analysointimagneettikenttä. Myös sellaiset laitteistot, joissa kiihdyttävän sähkökentän jälkeen on vain nopeusvalitsin ja detektori tai analysointimagneettikenttä ja detektori, soveltuvat ionin ominaisvarauksen määrittämiseen.

Aluksi ionit tulevat homogeeniseen sähkökenttään, jossa ionit kiihdytetään sopivaan nopeuteen. Nopeutta säädetään sähkökentän kiihdytysjännitteellä U :

$$\frac{1}{2}mv^2 = qU,$$
$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Voidaan havaita, että ionit, joilla on eri ominaisvaraus q/m , saavat sähkökentässä eri nopeuden.

Ionien nopeus saadaan määritettyä nopeusvalitsimessa, jossa on toisiaan vastaan kohtisuorasti homogeeninen sähkökenttä ja magneettikenttä. Kun ioni lentää kohtisuorasti

sekä sähkökenttää että magneettikenttää vastaan, vain tietyllä nopeudella lentävät ionit saapuvat suoraan analysointimagneettikentän sisäänmenoon. Tällaisiin suoraan kulkeviin ioneihin vaikuttava sähköinen voima ja magneettinen voima ovat tasapainossa, eli

$$qE = qvB,$$
$$v = \frac{E}{B}.$$

Tarvitaan siis tietoa sekä sähkökentän voimakkuudesta E että magneettikentän magneettivuon tiheyden voimakkuudesta B . Vaikka ionien nopeudet olisivat yhtä suuret, niiden massojen ja varauksien ei tarvitse olla yhtä suuria.

Tämän jälkeen nopeusvalitsimen läpi päässeiden ionien lentorata kulkee kohtisuorasti homogeeniseen analysointimagneettikenttään. Magneettinen voima kaareuttaa ionien lentoradan ympyräradaksi. Radan säde saadaan määritettyä Newtonin II lain avulla:

$$qvB' = \frac{mv^2}{r},$$
$$\frac{q}{m} = \frac{v}{rB'} = \frac{E}{rBB'}$$

Massaspektrometrillä mitataan, mihin kohtaan ilmaisinta ioni osuu, ja siitä saadaan määritettyä lentoradan säde r . Myös nopeusvalitsimen sähkökentän voimakkuus E ja magneettikentän magneettivuon tiheys B sekä analysointimagneettikentän magneettivuon tiheys B' täytyy tuntea. Tällöin voidaan ratkaista ionien ominaisvaraus q/m .

Tuloksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi mittauslaitteiston osien tarkoituksenmukaisuus ja toimivuus sekä mittaajan taidot laitteiden käytössä.

Tuloksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Massaspektrometrin ilmaisimen erotuskyky, joka vaikuttaa siihen, että eri säteillä lentävät ionit voidaan erotella toisistaan.
- Analysointimagneettikentän sisäänmenoaukon koko. Mitä pienempi aukko, sitä tarkemmin valituilla ioneilla on sama nopeus ja lentosuunta. Nopeuksien eroavaisuus vaikuttaa lentoradan säteeseen, ja siten tiettyä ominaisvarausta vastaavan intensiteettiinkin leveyteen ilmaisimella.
- Sähkö- ja magneettikenttien homogeenisuus.

- Sähkökenttien ja magneettivuon tiheyden voimakkuuden mittaamisen käytettävien mittareiden tarkkuus.
- Mittausdatan keräysaika. Mitä pidempään mitataan, sitä paremmin tiettyä ominaisvarausta vastaava intensiteetti erottuu taustakohinasta, kun ioneja ehtii saapua enemmän ilmaisimelle.

Pisteitys:

Vastauksessa kuvataan tarkoitukseen sopiva laitteisto. Kuvauksessa on esitetty toimiva idea (3 p.), lueteltu kokeessa käytettävät laitteet (3 p.), kuvattu laitteiston toiminta ja kerrottu mitä suureita tulee kokeessa mitata (5 p.), johdettu ominaisvarauksen määrittämiseen käytettävä suureyhtälö (5 p.) ja kuvailtu mittausmenetelmän tarkkuuteen ja luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä (4 p.).

10. Painovoima-aallot ja LIGO (20 p.)

10.1. (5 p.)

LIGO mittaa suoraan painovoima-aaltojen aiheuttamaa ilmiötä (suhteellinen venymä järjestelmässä kulkevien valonsäteiden kulkemassa matkassa).

Vuoden 1974 havainnossa nähtiin pulsarien menettävän energiaa, mutta havainto ei sulje pois sitä mahdollisuutta, että tämä energia poistuu jollakin muulla tavalla kuin painovoima-aaltoina.

Pisteitys:

Suoran mittauksen selittäminen (3 p.), epäsuoran mittauksen selittäminen (2 p.).

10.2. (8 p.)

Energiaa poistui 15 millisekunnin aikana $3M_{\odot}c^2 = 6 \cdot 10^{30} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$,

joten gravitaatioaaltojen teho on $P = \frac{3M_{\odot}c^2}{0,015 \text{ s}} = 200M_{\odot}c^2/\text{s} = 3,6 \cdot 10^{49} \text{ W}$. Tämä vastaa noin 10^{23} Auringon tehoa.

Pisteitys:

Poistunut energia on laskettu Einsteinin kaavan avulla (2 p.). On esitetty tehon suureyhtälö ja laskettu sen avulla gravitaatioaaltojen teho (3 p.). On verrattu tehoa Auringon tehoon esittämällä asianomainen suureyhtälö (tehojen osamäärä) ja laskemalla sen arvo (3 p.).

Tyypillisiä virheitä: Energian laskemisessa ei ole huomioitu valonnopeutta tai valonnopeus on ensimmäisessä potenssissa. Tehon arvoa ei ole esitetty pyöristetyssä muodossa.

10.3. (7 p.)

Kuvasta 10. B (alapaneeli) nähdään, että signaalin alkaessa hetkellä 0,35 s, jolloin kappaleet kiertävät toisiaan (signaalin oskillaatio vakiotaajuudella), kappaleiden välinen etäisyys on noin neljä kertaa Schwarzschildin säde. Kappaleelle, jonka massa on noin 62 Auringon massaa, Schwarzschildin säde on noin 180 km. Kappaleiden välinen etäisyys on siis vain noin 700 km. Tämä sulkee pois tavalliset tähdet ja valkoiset kääpiöt, sillä niiden säteet ovat niin paljon tätä etäisyyttä suurempia. Kappaleet voisivat olla neutronitähtiä, mutta näiden massat eivät voi olla 30 kertaa Auringon massan suuruisia, kuten LIGO havaitsi. Kappaleiden on siis oltava mustia aukkoja.

Pisteitys:

Törmäävien kappaleiden etäisyys toisistaan mittauksen alussa on mainittu (3 p.) Tähdet on suljettu pois kiertoetäisyyden perusteella (eivät voi suurien säteidensä takia kiertää toisiaan mittaustulosten mukaisella etäisyydellä toisistaan) (2 p.). Neutronitähdet on suljettu pois liian pienen massansa takia tai sen takia, että törmäyksen alkaessa ne olisivat vielä liian kaukana toisistaan (2 p.).

Tyypillisiä virheitä:

On vertailtu törmäävien kappaleiden säteitä syntyneen kappaleen Schwarzschildin säteeseen.

On tarkasteltu ainoastaan syntyvää kappaletta, ei törmääviä kappaleita.

11. Höyrypuhdistin (20 p.)

11.1. (8 p.)

Tasapainotilassa höyrypuhdistimen säiliössä on nestemäistä vettä ja vesihöyryä. Systeemin tila on siis veden faasidiagrammissa kaasun ja nesteen rajakäyrällä.

Laitteen arvokilven mukaan käyttöpainne on 3,5 bar. Veden lämpötila on faasidiagrammin mukaan tällöin noin 140 °C.

Pisteistys:

On todettu, että säiliössä on vettä sekä nestenä että kaasuna (2 p.). Todettu käyttöpainneeksi 3,5 bar (2 p.). On näytetty kuvana tai selitetty sanallisesti, että lämpötila määritetään faasidiagrammin rajakäyrältä (2 p.) ja annettu tulos (arvot välillä 140 °C – 145 °C hyväksytään) (2 p.).

Typilliset virheet: Faasidiagrammin log-asteikkoa on luettu väärin. Lämpötila on luettu kuvasta epätarkasti.

11.2. (8 p.)

Arvokilven mukaan lämmitysvastuksen teho on $P = 1800 \text{ W}$.

Koska paineastia on täynnä vettä, kylläisen höyryn paine saavutetaan hyvin pienellä määrällä höyrystynyttä vettä. Tämä voidaan jättää huomiotta energiaa tarkasteltaessa.

Veden lämmittämiseen tarvitaan energiaa $\Delta E = Q = cm\Delta T = P\Delta t$, josta saadaan lämmitysajaksi

$$\Delta t = \frac{cm\Delta T}{P} = 311,9222 \text{ s} \approx 310 \text{ s} \approx 5,2 \text{ min},$$

kun $m = 1,0 \text{ kg}$, $c = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ ja $\Delta T = (140 - 6) \text{ °C} = 134 \text{ °C} = 134 \text{ K}$.

(Valmistajan ilmoituksen mukaan käyttövalmiiksi lämmittämiseen kuluu 6–6,5 min.)

Pisteitys:

Lämmitysvastuksen teho on luettu arvokilvestä (2 p.). Teholle on esitetty suurelauseke (2 p.), josta on johdettu lämmitysajan suurehtälö (2 p.) ja laskettu lämmitysaika (2 p.) (arvot välillä 5,2 min – 5,4 min on hyväksytty).

Typillinen virhe: On laskettu mukaan myös veden höyrystymiseen kuluva aika.

11.3. (4 p.)

Sähkövastus on puhtaasti resistiivinen, joten sen lämmitysteho on tehollisen jännitteen ja virran tulo. Tehollinen jännite on $U = 230 \text{ V}$, joten vastaava tehollinen virta on

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1800 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 7,826 \text{ A} \approx 7,8 \text{ A}.$$

Pisteitys:

On todettu, että tehollinen jännite on 230 V (2 p.). On laskettu sähkövirta Ohmin lain avulla (arvot välillä 7,5 A – 8,2 A hyväksytään) (2 p.).

Tyypillinen virhe: On sekoitettu käsitteet jännitteen (sähkövirran) tehollinen arvo ja huippuarvo.