

MAIJA AHTEE JA KAARLE KURKI-SUONIO

FYSIIKAN VALINTAKOE HELSINGIN YLIOPISTOSSA KESÄLLÄ 1976

Valintakokeet Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteelliseen osastoon pyrkiviä opiskelijoita varten järjestettiin tänä vuonna kesäkuun lopulla. Fysiikan koe oli 23.6. Tehtävät laadittiin – kuten edellisinäkin vuosina – niiden oppikirjojen perusteella, jotka noudattavat voimassa olevaa lukion fysiikan opetussuunnitelmaa.

Fysiikan valintakokeiden tehtävien selitykset on julkaistu MAA:ssa vuodesta 1973 alkaen. Ne on pyritty esittämään mallivastausten muodossa kiinnittäen huomiota sellaisiin seikkoihin, joiden tulisi ilmetä myös hyvästä koepaperista. Tätä on syytä korostaa sen vuoksi, että yhä esiintyy hyvin runsaasti vastauksia, jotka ovat pelkkiä kaavoja ja laskutoimituksia ilman sanaakaan selitykseksi tai perusteluksi. Periaatteessa tällaiset vastaukset ovat arvottomia, koska ne keskittyvät epäolennaiseen ja sivuuttavat fysiikan.

Fysiikassa on olennaisinta teorian ts. kaavojen, symbolien jne. ja reaalitodellisuuden välinen vastaavuus. Kaavat, symbolit ja niillä suoritettavat laskutoimitukset sellaisenaan ovat tyhjiä. Vain selitys, miten ja millä edellytyksillä niiden ajatellaan vastaavan todellisuutta, tehtävässä esitettyä tilannetta, voi tehdä niiden käytöstä fysiikkaa. Fysikaalisen tehtävän oikeassa käsittelyssä on välttämätöntä ilmaista käytettyjen symbolien, lausekkeiden, kaavojen ja yhtälöiden merkitykset, ne fysikaaliset periaatteet, mallit tai teoriat, joihin tehtävän käsittelyssä nojaututaan, sekä perustelu niiden käytölle. Tulosten fysikaalisen sisällön ja mielekkyyden toteaminen on myös usein tarpeellista.

Fysiikan kokeella pyritään mittaamaan fysikaalisten käsitteiden ja periaatteiden tuntemusta ja hallintaa. Kaavoja voi muistaa ulkoa ja arvata tehtävään sopivan kaavan – mekaanista laskentaakin voi taitaa – ilman varsinaista fysiikan osaamista. Täysin muodollinen ja perustelematon tehtävän käsittely asettaa sen vuoksi arvostelijalle tulkintaongelmia. Objektiivisuus ja oikeudenmukaisuus erityisesti niitä kohtaan, jotka esittävät oikeat perustelut, edellyttäisi tällaisen ratkaisun pitämistä ratkaisevasti puutteellisena, vaikka laskut olisivat oikein suoritettu. Siedettävän asteikon saamiseksi on tässä suhteessa kuitenkin ollut noudatettava hyväntahtoisesti tulkitsevaa arvostelulinjaa. On myös huomattava, että vastaavasti tehtävän fysikaalisen periaatteen oikea toteaminen, jopa täysin ilman kaavoja, on tärkeä osa tehtävän suoritusta ja otetaan sen mukaisesti huomioon arvostelussa.

Yksinkertaisia lyhyitä ohjeita siitä, miten mainitut seikat tulisi ilmaista koevastauksissa, ei ole helppoa antaa. Yksikäsitteisesti ainoata oikeata tapaa ei ole. Myös MAA:ssa esitetyissä mallivastauksissa on persoonallisia tyylieroja. Pitkiin selityksiin ei kuitenkaan ole aihetta. Kaiken tarpeellisen voi yleensä tuoda ilmi hyvin lyhyesti.

Tehtävät

1. Kierrejousen pituus on 400 mm. Sen varaan ripustetaan kappale, jonka massa M on suuri verrattuna jousen massaan. Jousi venyy tällöin 40 mm. Tämän jälkeen jousen yläpää kiinnitetään ja sen varassa oleva kappale saatetaan kiertämään vaakasuoraa ympyrärataa niin, että jousi muodostaa pystysuoran suunnan kanssa 40° :n kulman. Mikä on näin muodostuneen kartioheilurin a) varren (jousen) pituus, b) heilahdusaika?

2. Valo osuu kohtisuorasti optiseen hilaan.

a) Valo on valkoista. Mitkä aallonpituudet sen ensimmäisen ja toisen kertaluvun spektreissä osuvat päällekkäin? Kirjoita aallonpituuksien välinen relaatio.

b) Valo on yksiväristä (monokromaattista), aallonpituus 600 nm. Mitä voidaan päätellä hilassa olevien uurtojen (rakojen) tiheydestä sen perusteella, että kolmannen kertaluvun spektri näkyy, neljäs ei näy? Ilmoita vastaus kvantitatiivisesti uurtoina/mm.

3. Vetyatomin ionisoitumisenergia on 13,6 eV.

- a) Ilmaise kvantitatiivisesti millaista sähkömagneettisen säteilyn on oltava aallonpituudeltaan, jotta se pystyisi ionisoimaan vetyatomeja.
 b) Mikä on vedyn absorptiospektrin pitkäaaltoisimman spektriviivan aallonpituus? Perustelee.

4. Kaksi kondensaattoria, joiden kapasitanssit ovat 2,0 μF ja 4,0 μF , on kytketty sarjaan. Ensimmäisessä kondensaattorissa on jännite 120 V. a) Mikä on jälkimmäisen kondensaattorin jännite? b) Mikä on tämän systeemin kokonaisenergia?

5. Selitä lyhyesti enintään kahdella lauseella a) kolmoispiste, b) polarisaatio, c) isotooppi, d) intensiteetti, e) pietsosähköinen ilmiö.

6. Suunnittele koejärjestely, jonka avulla voidaan jatkuvasti seurata sähkölaitteessa kuluvaa tehoa, kun käytettävissä on sekä voltti- että ampeerimittari. Selosta koejärjestely sekä sanallisesti että piirroksen avulla. Mitä voit sanoa esittämässäsi koejärjestelyssä tehonmittauksen tarkkuudesta, jos teho määritetään pelkästään voltti- ja ampeerimittarien lukemien U ja I avulla. Ilmaise mahdollisimman täsmällisessä muodossa mittaustuloksen virhe.

Vakioita:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2, hc = 1,240 \cdot 10^{-6} \text{ eVm}, h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}, e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Ratkaisut

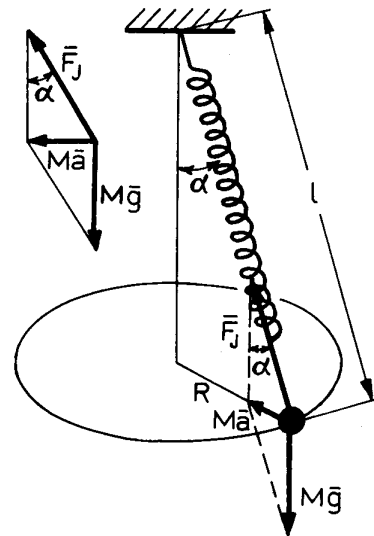
Tehtävä 1. Kappaleeseen vaikuttavat voimat:

- Jousen harmoninen voima F_j ; $F_j = ks$ (1)
 (s on venymä, k on jousivakio)
- Painovoima Mg
 (M on kappaleen massa, g on putoamiskiihtyvyys)

Dynamiikan peruslaki \Rightarrow liikeyhtälö: $Ma = F_j + Mg$ (2)
 (a = kiihtyvyys) ks. kuvan vektorikuvio.

Tasapainossa on $a = 0$: (1,2) $\Rightarrow ks_1 = Mg$; (3)
 $s_1 = 40 \text{ mm}$.

Ympyräliikkeessä kiihtyvyys on $a = \frac{v^2}{R}$, (4)
 suunnattu keskipisteeseen (v = nopeus, R = säde)



a) Liikeyhtälöä (2) esittävästä vektorikuvioista $Mg = F_j \cos \alpha = (1,3) \Rightarrow ks_1 = ks \cdot \cos \alpha$
 \Rightarrow venymä $s = \frac{s_1}{\cos \alpha} \Rightarrow$ varren pituus $l = l_0 + \frac{s_1}{\cos \alpha} = (400 + \frac{40}{\cos 40^\circ}) \text{ mm} = \underline{452 \text{ mm}}$.

b) Vektorikuvioista saadaan $Ma = Mg \cdot \tan \alpha = (4) \Rightarrow \frac{v^2}{R} = g \cdot \tan \alpha \Rightarrow v = \sqrt{Rg \tan \alpha}$ (5)

$$\text{Heilahdusaika } T = \frac{2\pi R}{v} = (5) \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g \tan \alpha}}$$

$$R = l \cdot \sin \alpha \Rightarrow T = \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}} = \sqrt{\frac{(0,452 \text{ m}) \cdot (\cos 40^\circ)}{9,81 \text{ m/s}^2}} = \underline{1,18 \text{ s}}$$

(Tulos on järkevä, vrt. sekuntiheiluri: $T = 2 \text{ s}$, $l \approx 1 \text{ m}$)

Tehtävä 2. Kun valo osuu kohtisuorasti hilaan, valomaksimien suunnat saadaan hilayhtälöstä

(1) $d \cdot \sin \alpha = n\lambda$, missä $n = 0, 1, 2, \dots$ on spektrin kertaluku, d on hilavakio ts. rakojen välinen etäisyys, $\lambda =$ valon aallonpituus ja α on taipumiskulma).

a) Tämän mukaan samalle taipumiskulmalle α osuvien eri kertalukujen n spektrien aallonpituuksien λ_n välillä on relaatio

$$d \cdot \sin \alpha = n\lambda_n = 1 \cdot \lambda_1 = 2 \cdot \lambda_2 = \dots,$$

joka pätee kulmasta riippumatta.

b) Vastaavasti suuntakulmat α_n , johon sama aallonpituus λ osuu eri kertalukujen n spektreissä saadaan yhtälöstä

$$\sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{d}.$$

Koska kolmannen kertaluvun viiva näkyy, on $\alpha_3 < 90^\circ$, eli $\sin \alpha_3 = \frac{3\lambda}{d} < 1 \Rightarrow d > 3\lambda$.

Koska neljännen kertaluvun viiva ei näy, on $\alpha_4 > 90^\circ$, eli $\sin \alpha_4 = \frac{4\lambda}{d} \geq 1 \Rightarrow d \leq 4\lambda$.

Uurtojen tiheys on siten välillä

$$\frac{1}{4\lambda} \leq \frac{1}{d} < \frac{1}{3\lambda} \quad \text{eli} \quad \underline{\underline{417 \text{ mm}^{-1} \leq \frac{1}{d} < 556 \text{ mm}^{-1}}}.$$

Tehtävä 3. a) Sähkömagneettisen säteilyn kvantin energia on Planckin lain mukaan $W = h\nu$, missä h , λ ja c ovat Planckin vakio, säteilyn aallonpituus ja valonnopeus. Säteily pystyy ionisoimaan vetyatomeja, jos siinä esiintyy kvantteja, joiden energia on suurempi kuin ionisoimisenergia W_i

$$\frac{hc}{\lambda} \geq W_i \quad \text{eli} \quad \lambda \leq \frac{hc}{W_i} = \frac{1,24 \cdot 10^{-8} \text{ eVm}}{13,6 \text{ eV}} \approx 91,2 \text{ nm}.$$

(Sijoituksessa on käytetty hyväksi tehtäväpaperin alalaidassa annettua lausekkeen hc arvoa).

b) Vetyatomin (stationaaristen) tilojen energiat ovat :

$$W_n = -\frac{W_1}{n^2} = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}, \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Absorptiossa atomi siirtyy perustilalta $n = 1$ jollekin viritystilalle $n > 1$. Tällöin absorboituvan kvantin energia on $\frac{hc}{\lambda_n} = W_n - W_1$. Pitkäaaltoisin absorptioviiva syntyy virityksessä perustilalta $n = 1$

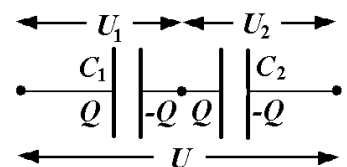
ensimmäiselle viritystilalle $n = 2$, jonka energia on $W_2 = (-16,3 \text{ eV})/4 = -3,4 \text{ eV}$, ja sen aallonpituus on

$$\lambda_2 = \frac{hc}{W_2 - W_1} = \frac{1,24 \cdot 10^{-8} \text{ eVm}}{(-3,4 \text{ eV}) - (-13,6 \text{ eV})} \approx \underline{\underline{122 \text{ nm}}}.$$

Tehtävä 4. Kondensaattorin varaus on verrannollinen sen jännitteeseen $Q = CU$. Verrannollisuuskerroin C on kondensaattorin kapasitanssi.

a) Sarjassa kumpaankin varastoituu yhtä suuri varaus:

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{C_1}{C_2} U_1 = \frac{2,0}{4,0} \cdot (120 \text{ V}) = \underline{\underline{60 \text{ V}}}.$$



b) Kondensaattorin energia $W = \frac{1}{2} CU^2$, joten kondensaattorisysteemin

kokonaisenergia on

$$W_{\text{kok}} = \frac{1}{2} C_1 U_1^2 + \frac{1}{2} C_2 U_2^2 = \frac{1}{2} (2,0 \mu\text{F}) \cdot (120 \text{ V})^2 + \frac{1}{2} (4,0 \mu\text{F}) \cdot (60 \text{ V})^2 = \underline{21,6 \text{ mJ}}$$

Tehtävä 5. Ks. oppikirjat.

Tehtävä 6. Sähkölaite kuluttaa tehon $P = UI$, missä I ja U ovat laitteessa kulkeva sähkövirta ja jännitehäviö laitteessa, joka on sama kuin laitteen napojen välinen jännite. Näiden määrittämiseksi ampeeri- ja volttimittari voidaan kytkeä kahdella eri tavalla.

Kuvan a mukaisessa kytkennässä volttimittari näyttää oikean jännitteen, ampeerimittari näyttää vähän liian suurta sähkövirtaa $I + I_V$, missä I_V volttimittarissa kulkeva virta. Jos laitteen ja volttimittarin resistanssit ovat R ja R_V , on Ohmin lain mukaan $I = U/R$ ja $I_V = U/R_V$, jolloin laitteen ja volttimittarin kuluttamat tehot ovat

$$P = UI = \frac{U^2}{R} \quad \text{ja} \quad P_V = UI_V = \frac{U^2}{R_V}.$$

Mitattu teho on näiden summa

$$P_m = P + P_V = U^2 \left(\frac{R + R_V}{RR_V} \right),$$

jonka suhteellinen virhe on

$$\frac{P_m - P}{P_m} = \frac{P_V}{P_m} = \frac{R}{R + R_V}.$$

Virhe on siis sitä pienempi, mitä suurempi volttimittarin resistanssi on verrattuna laitteen resistanssin. Kun $R_V = R$, virhe on 50 %; kun $R_V = 100R$, virhe on 1 %. Kun $R_V = 1000R$, virhe on enää 0,1 % eli alle tavallisen yleismittarin lukematarakkuuden (n. 0,5 %).

Kuvan b mukaisessa kytkennässä ampeerimittari näyttää oikean sähkövirran, volttimittari näyttää vähän liian suurta jännitettä $U + U_A$, missä U_A on jännitehäviö ampeerimittarissa. Jos laitteen ja ampeerimittarin resistanssit ovat R ja R_A , on Ohmin lain mukaan $U = IR$ ja $U_A = IR_A$, jolloin laitteen ja ampeerimittarin kuluttamat tehot ovat

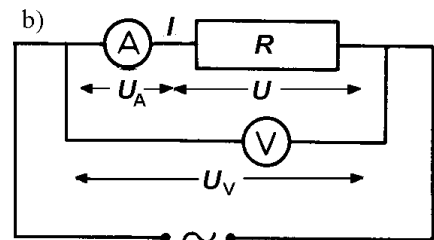
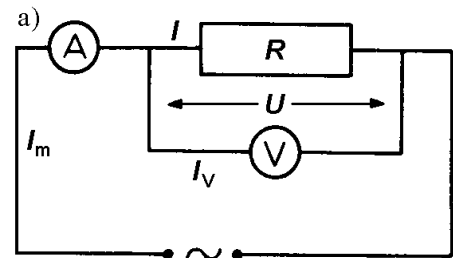
$P = UI = I^2 R$ ja $P_A = U_A I = I^2 R_A$. Mitattu teho on näiden summa

$$P_m = P + P_A = I^2 (R + R_A),$$

jonka suhteellinen virhe on

$$\frac{P_m - P}{P_m} = \frac{P_A}{P_m} = \frac{R_A}{R + R_A}.$$

Nyt virhe on siis sitä pienempi, mitä pienempi ampeerimittarin resistanssi on verrattuna laitteen resistanssin. Kun $R_A = R$, virhe on 50 %; kun $R_V = 0,01R$, virhe on 1 %. Kun $R_V = 0,001R$, virhe on enää 0,1 % eli alle tavallisen yleismittarin lukematarakkuuden (n. 0,5 %).



Tulokset ja arvostelu

Valintakokeeseen osallistui 743 pyrkijää 1033 ilmoittautuneesta. Kukin tehtävä arvosteltiin 0–5 pisteillä. Suoran arvostelun keskiarvo oli $11,06/30 = 0,37$. Eri valintakokeista saatujen pistemäärien vertaamiseksi suoritettiin muunnos tavanomaiseen 0–10 asteikkoon. Samalla asteikkoa venytettiin yläpäästä ja supistettiin alapäästä ja kokeen keskiarvoksi saatiin halutut 0,50. Oheisessa taulukossa on esitetty tehtävien pistejakautuma prosentteina. Vaikeusaste v.a. on saatu jakamalla tehtävästä annettujen pistemäärien keskiarvo maksimipistemäärällä. Tehtävän 5 eri osakysymyksille saatiin vastaavasti: a/0,38; b/0,46; c/0,69; d/0,22; e/0,17.

Taulukko

| Pisteet | Tehtävät | | | | | |
|---------|----------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | 57,5 | 51,6 | 31,8 | 23,1 | 16,6 | 62,9 |
| 1 | 11,3 | 10,4 | 4,2 | 6,6 | 20,0 | 3,2 |
| 2 | 7,4 | 7,1 | 2,3 | 2,6 | 26,2 | 10,4 |
| 3 | 10,9 | 15,1 | 41,8 | 13,2 | 22,4 | 14,4 |
| 4 | 5,8 | 12,7 | 1,9 | 17,0 | 11,7 | 5,5 |
| 5 | 7,1 | 3,1 | 18,1 | 37,6 | 3,1 | 3,6 |
| v.a. | 0,24 | 0,27 | 0,46 | 0,61 | 0,40 | 0,21 |

Tällä kertaa vain tehtävä 3 edusti modernia fysiikkaa. Tehtävän b-kohdassa esitetty absorptiospektrin käsite tuntui olevan tuntematon – joukosta löytyi vain kaksi täysin oikeata vastausta. Jättimekin b-kohdan arvostelematta ja tehtävän 3 a-kohta arvosteltiin siis 0–5 pistettä. b-kohdan oikein käsitelleet saivat tehtävästä ylimääräiset kolme pistettä.

Tehtävä 6 osoittautui ehkä outoutensa vuoksi vaikeimmaksi siitäkin huolimatta, että viime vuonna meillä oli mukana kokeelliseen fysiikkaan liittyvä vastaavanlainen tehtävä. Peräti 63 % vastanneista oli joko jättänyt tehtävän kokonaan käsittelemättä tai tehnyt niin karkean virheen käsittelyssä – esim. kytkenyt ampeeri- ja volttimittarit sarjaan –, että tehtävä arvosteltiin nollassa.

Myös mekaniikan tehtävä 1 osoittautui vaikeaksi samoin kuin valo-opin tehtävä 2. Hilayhtälö oli kovin monelle tuntematon. Ratkaisussa selostettiin valon taipumista kahdessa kapeassa raossa pääsemättä interferoimisehtoja pitemmälle. Tehtävän 2 b-kohdan täsmällisen vastauksen antaminen tuotti vaikeuksia ja täysin oikeita vastauksia löytyikin vain parikymmentä kappaletta.

Selittämistehtävässä 5 isotoopin tunsi suurin osa, heikoimmin tunnettiin pietsosähköinen ilmiö. Polarisatiota selittäessään kovin moni ilmoitti, että valo polaroituu kapeassa raossa tai hilassa. Liekö oppikirjoissa käytetty mekaanisten aaltojen analoginen selitys kuvineen vienyt heitä harhaan.

Vuoden 1977 valinnoissa on tarkoitus noudattaa aikaisempaa linjaa. Muodollisiin valintaperusteisiin on suunniteltu sellainen muutos, että kaikki pyrkijät, myös ne, joilla on sekä matematiikassa että yleisarvosanana laudatur, joutuvat mukaan samaan valintapisteyden laskentajärjestelmään.