

Fysiikan valintakoe Helsingin yliopistossa v. 1991¹

Kokeen yleiskuva

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin pyrki vuonna 1991 kaikkiaan 2758 opiskelijaa, heistä 568 ensisijaisesti fysikaalisiin tieteisiin. Fysiikan valintakokeeseen osallistui 516 pyrkijää. Valintojen pisterajoiksi muodostuivat (maksimi 280, suluissa vuoden 1990 rajat): fysiikassa 170(160), kemiassa 182(170), matematiikassa 170(168) ja tietojenkäsittelyopissa 220(236). Hakijoista hyväksyttiin kaikkiaan 2034, joista 484 sai opiskeluoikeuden fysikaalisten tieteiden koulutusohjelmaan.

Valintakokeen luonne noudatteli aikaisempien vuosien linjaa kysymysten keskittyessä perusasioihin. Kokeen keskiarvo oli 10,7/36. Tehtäväkohtaiset arvosanajakautumat ja keskiarvot nähdään oheisesta taulukosta.

Pisteiden prosenttiset jakaumat						
Tehtävä	1	2	3	4	5	6
Pisteet						
0	44,6	36,0	32,4	56,4	31,0	64,9
1	25,0	6,6	9,7	15,1	12,2	14,7
2	14,9	13,6	3,5	10,7	9,5	9,9
3	5,8	13,0	4,7	6,4	9,7	3,9
4	6,4	12,6	13,8	5,4	4,3	3,7
5	2,1	8,7	24,2	3,5	14,9	2,1
6	1,2	9,5	11,8	2,5	18,4	0,8
Keskiarvo	1,16	2,24	2,78	1,10	2,62	0,76

Vastausten perusteella näyttää siltä, että suurimmalle osalle kokeeseen osallistuneista on jäänyt koulufysiikasta mieleen lähinnä vain epämääräinen joukko kaavoja, joiden merkitys luonnon ilmiöiden esityksinä on täysin hämärässä. Monet maailmankuvan kannalta aivan keskeisetkin ilmiöt ja lait näyttävät jääneen tuntemattomiksi. On varsin helppoa yhtyä matemaattis-luonnontieteellisen perussivistyksen komitean näkemykseen, jonka mukaan kurssimuotoista lukiota suunniteltaessa asetetut fysiikan tavoitteet ovat kyllä hyvät ja yhä ajanmukaiset mutta toteutuvat huonosti.

Tänäkään vuonna valintakoetta tuskin voi moittia vaikeaksi – jos ei liian helpoksikaan. Onhan jotakin yritettävä testata, kun kerran yliopistoon valitaan. Useimmiten huono tulos ei kuitenkaan johtunut tehtäviin kätkeytyvistä vaikeuksista vaan aivan yksinkertaisesti siitä, ettei vastaajalla ollut mitään kuvaa tarkasteltavasta ilmiöstä ja siihen liittyvistä peruskäsitteistä. Tuloksista heijastuu voimakkaasti se usein toistettu näkemys, että kiireen ja ajanpuutteen vuoksi on keskityttävä kaavojen ulkoa opetteluun ja niillä laskemiseen – fysiikan asemesta!

¹ Dimensio, **56**, 4/1992, 51-59.

Tehtävät ja arvostelu

Tehtävä 1. Mitkä säilymlait ilmenevät planeettojen liikkeessä ja millä tavalla?

Vastaukseksi odotettiin kokonaisenergian säilymlakia ja rataliikkeen liikemäärämomentin säilymistä Auringon suhteen ja ehkä myös planeettojen oman pyörimismäärän säilymisen mainintaa.

Energiasta olisi riittänyt todeta, että planeetalla on Auringon painovoimakentässä potentiaalienergia ja että planeetan liike-energian ja potentiaalienergian summa säilyy sen liikkuessa. Liike- ja potentiaalienergian lausekkeiden tunteminen ja niistä seuraava lain esitysmuoto

$$E \equiv \frac{1}{2}mv^2 - \gamma \frac{mM}{r} = E_0,$$

jossa M on Auringon massa, γ gravitaatiovakio, m , v ja r planeetan massa, nopeus ja etäisyys Auringosta, olisi luonnollisesti täsmentänyt vastausta.

Liikemäärämomentista Keplerin toisen lain toteaminen olisi ollut riittävä, vaikka vain mainintana pintanopeuden säilymisestä ehkä kuvin havainnollistettuna. Ei liikemäärämomentin lausekkeen tunteminenkaan olisi ollut pahitteeksi. Laki olisi voitu silloin täsmentää muotoon

$$L = mv_{\perp}r = \text{vakio}.$$

Molemmat säilymlait vaikuttavat siten, että planeetan ratanopeus kasvaa sen lähestyessä Aurinkoa ja vastaavasti pienenee sen etääntyessä. Edellinen koskee planeetan nopeutta v , jälkimmäinen sen kiertokomponenttia v_{\perp} , joka on kohtisuorassa Auringon ja planeetan yhdysjanaa vastaan.

Ylimääräistä hohtoa vastaukseen olisi voinut saada tarkastelemalla tekijöitä, jotka voivat muuttaa energiaa ja liikemäärämomenttia ja esimerkiksi pyörimisen ja rataliikkeen kytkeytymistä. Sen sijaan ratojen muodon lähempi tarkastelu ei varsinaisesti kuulu asiaan.

Vastausten perusteella voisi kuvitella, ettei suuri osa pyrkijöistä tiennyt edes planeettojen kiertävän Aurinkoa. Niiden kuviteltiin porhaltavan suoraan eteenpäin ja törmäilevän toisiinsa. Eniten näytti askarruttavan kysymys, olivatko planeettojen törmäykset kimmoisia vai kimmottomia.

Useimmissa vastauksissa kyllä todettiin aluksi energian säilyminen. Jatkosta kuitenkin ilmeni liian usein, ettei tiedetty, mitä energialajeja tässä yhteydessä olisi tarkasteltava. Täsmennykseksi tarjottiin jopa kaavaa $E = mc^2$.

Seuraavaksi tarjottiin liikemäärän säilymlakia, joka eri vastaajien mielestä ilmeni vähän eri tavoin: "Se pätee planeettojen törmäyksissä." "Planeetan liikemäärä $p = mv$ säilyy – planeetan massan lisääntyessä sen nopeus pienenee." "Planeetat jatkavat matkaansa suoraviivaisesti vakionopeudella, ellei niitä estetä." Voisi kuvitella, että nämä vastaukset ovat yksittäisiä säikähtäneitä poikkeuksia. Mutta ei, kutakin näistä kolmesta ideasta kannatti tilastollisesti merkitsevä osajoukko.

Näiden lisäksi ehdotettiin varsin runsaasti muita "säilymlakeja", kuten "liikkeen säilymlakia", Coulombin (!) lakia, massan säilymlakia, lämpöopin säilymlakeja, atomien määrän säilymistä, "Lorentz-kontraktiota ja aikadilataatiota. Poikkeuksellisen ansiokasta empiriaa tässä joukossa edusti oivallus: "Lisäksi pätee planeettojen yleinen säilyminen, eli kaikki tuntemamme planeetat ovat vieläkin olemassa".

Arvostelussa palkittiin vähäisetkin tiedonmuruset. Kunkin säilymlain mainitseminen ja selostaminen toi 1–2 pistettä. Jos osattiin vielä kertoa niiden ilmenemisestä planeettojen liikkeessä, tuli pisteitä lisää selostuksen tasosta riippuen. Yhden pisteen sai jo energian säilymlain mainitsemisesta. Myös tiedosta, että radat ovat ellipsin muotoisia sai pisteen. Keplerin II lain tai pyörimismäärän mainitsemisesta sekä gravitaatiovuorovaikutuksen järkevistä selostamisesta sai lisäpisteen.

Vaikka kaikesta mahdollisesta palkittiin, pistesaalis jäi surkeaksi, kuten keskiarvo 1,16 osoittaa. Tyhjiä papereita ja nollan arvoisia seipelmiä oli yhteensä yli 40 % koko osallistujamäärästä, hyviä vastauksia (5–6 p.) vain noin 3 %.

Tehtävä 2. Kappale, jonka massa on 1,5 kg liikkuu suoraviivaisesti harmonisen voiman alaisena. Oheinen kuvaaja esittää sen potentiaalienergiaa paikan funktiona. Määritä kuvaajan perusteella liikkeen amplitudi, suurin nopeus ja suurin kappaleeseen vaikuttava voima, kun kappaleen kokonaisenergia on 2,5 J. (Käsittelyä varten jaettiin oheisen kuvan A4-kokoinen kopio.)

Harmonisen voiman alaisessa liikkeessä kappaleen kokonaisenergia säilyy. Tehtävän tilanteessa se on siis koko ajan 2,5 J. Kappaleen liikkua vain sen jakautuminen liike- ja potentiaalienergiaksi vaihtelee. Kussakin radan pisteessä x on siis

$$E_p(x) + E_k(x) = 2,5 \text{ J}.$$

Graafisessa esityksessä tämän merkitys näkyy havainnollisesti. Kokonaisenergian kuvaaja on x -akselin suuntainen suora $E = 2,5 \text{ J}$. Potentiaalienergian kuvaaja on tehtävän kuvassa esitetty paraabeli. Koska liike-energia ei voi olla negatiivinen, kappale ei pääse x -akselilla alueeseen, jossa on $E_p > 2,5 \text{ J}$.

Jana, jonka paraabelin leikkaa suorasta $E = 2,5 \text{ J}$, esittää siten kappaleen kaikkia mahdollisia tiloja. Kappaleen liike on harmonista värähtelyä tätä janaa vastaavalla x -akselin osalla. Janan päätepisteet –kuvaajasta luettuna $x = \pm 32 \text{ cm}$ – ovat sen ääriasemat ja ilmaisevat liikkeen amplitudin 32 cm.

Kussakin pisteessä x potentiaalienergian kuvaaja jakaa tämän janan ja x -akselin välin osiin, joista alempi esittää potentiaalienergiaa, ylempi liike-energiaa. Origossa kappaleen koko energia on liike-energiana $E_k = 2,5 \text{ J}$. Tällöin myös sen nopeus on suurin,

$$E_k(0) = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = 2,5 \text{ J} \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{\frac{2E_k(0)}{m}} = \sqrt{\frac{5,0 \text{ J}}{1,5 \text{ kg}}} \approx 1,8 \text{ m/s}.$$

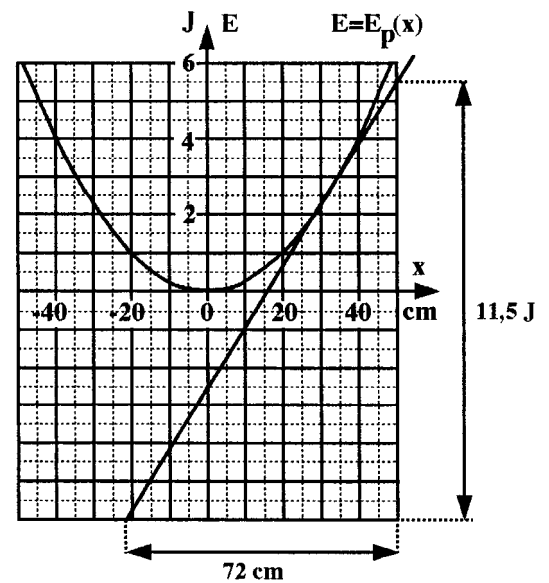
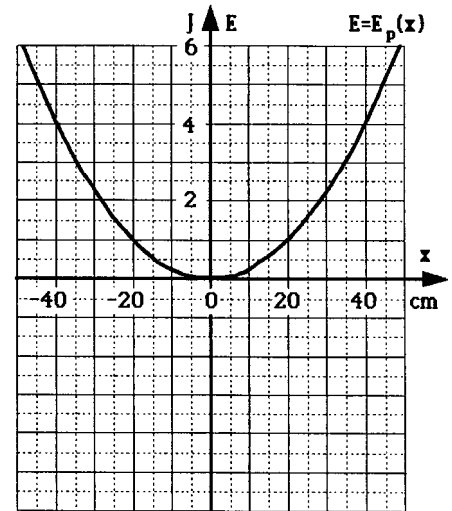
Kappaleeseen vaikuttavan voiman kussakin pisteessä x ilmaisee potentiaalienergiäkäyrän jyrkkyys, ts. tähän pisteeseen piirretyn tangentin fysikaalinen kulmakerroin:

$$F(x) = -\frac{dE_p(x)}{dx}.$$

Tämä on suurin kappaleen ääriasemissa. Sen määrittämiseksi graafisesti käyrälle on piirrettävä kappaleen liikettä vastaavan janan toiseen päätepisteeseen tangentti ja luettava sen kulmakerroin. Näin saadaan

$$|F_{\max}| = \left| \frac{\Delta E}{\Delta x} \right| = \frac{11,5 \text{ J}}{72 \text{ cm}} \approx \underline{16,0 \text{ N}}.$$

Tehtävässä pyydettiin nimenomaan graafista määrittystä. Tulos voidaan varmistaa algebrallisesti käyttämällä hyväksi harmonisen voiman ja potentiaalilausekkeita, $F(x) = -kx$ ja $E_p(x) = \frac{1}{2} kx^2$, joista seuraa kaikissa pisteissä x pätevä relaatio,



$$E_p(x) = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} |F(x)|x \Rightarrow |F(A)| = \frac{2E_p}{A} = \frac{5,0 \text{ J}}{32 \text{ cm}} \approx 16 \text{ N}.$$

Kunkin suureen määrittäminen oli arvostelussa kahden pisteen arvoinen. Selkeistä piirroksista ja hyvistä, tilanteen ymmärtämistä osoittavista selityksistä annettiin niiden harvinaisuuden vuoksi kompensatiopisteitä.

Huolestuttavan monet tarjosivat amplitudiksi suurinta kuvassa esiintyvää x-koordinaatin arvoa ymmärtämättä annetun kokonaisenergian merkitystä. Löytyipä niitäkin, joille amplitudi oli tuntematon käsite. Sen asemesta tarjottiin taajuutta ja jaksonaikaa, joita yritettiin määrittää milloin minkin kaavan avulla. Jotkut päättelivät, että amplitudi on nolla, "koska edestakainen heilahdus tuo kappaleen takaisin lähtökohtaansa". Myös ääretön amplitudi sai kannatusta. Erikoisuuksina mainittakoon vielä ehdotukset $A = \lambda N = A_0 R^{-\lambda t}$ ja $A = v/s = 10,5 \text{ Bq!!}$

Graafisen esityksen hallitsemisesta vastaukset antoivat masentavan kuvan. Ratkaisun helpottamiseksi tarkoitettuun liitepaperiin useimmat merkitsivät vain nimensä! Niistäkin, jotka osasivat lukea amplitudin kuvaajasta oikein, vain harvat esittivät ratkaisunsa selkein piirroksin.

Helpoimmaksi tehtävässä osoittautui suurimman nopeuden määrittäminen. Tavallisin virhe aiheutui tässäkin siitä, ettei kokonaisenergian merkitystä ymmärretty. Liike-energiaksi nimittäin tarjottiin nyt suurinta kuvassa esiintyvää E-akselin lukemaa.

Voiman määrittämiseen vain muutama vastaaja käytti potentiaalienergiakäyrän tangenttia. Useimmat määrittivät ensin kuvaajan jonkin pisteen avulla jousivakion ja sitten tämän ja amplitudin avulla voiman. Jälleen toistui sama virhe: kun kokonaisenergian merkitystä ei ymmärretty, käytettiin paikkakoordinaattina joko kuvan suurinta arvoa $x = 50 \text{ cm}$ tai suurinta energiaa vastaavaa lukemaa $x = 48 \text{ cm}$. Eräs vastaaja hyödynsi taulukkokirjaa ja löysi sieltä universaalisen jousivakion $k = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Yllättävän yleinen virhe oli painovoiman sotkeminen mukaan tilanteeseen vastoin tehtävän asettelua. Sitä tarjottiin suurimmaksi kappaleeseen vaikuttavaksi voimaksi joko sellaisenaan tai harmonisen voiman kanssa skalaarisesti yhteenlaskettuna.

Keskiarvo 2,25 on verrattain korkea siihen nähden, että noin kolmannes kokelaista joko jätti tehtävän väliin tai ansaitsi vastauksellaan pyöreän nollan. On murheellista, jos graafisen esityksen käyttö koulufysiikan pohjalta jää niin vieraaksi, että jo kuvaajan näkeminen saa pyrkijän kauhistuneena siirtymään suoraan seuraavaan tehtävään.

Tehtävä 3. Auton polttoaineen kulutus on 6,7 L/100 km ajettaessa nopeudella 80 km/h.

a) Kuinka suuri on moottorin ja voimansiirtolaitteiston kokonaishyötysuhde, kun moottorista saadaan voimansiirtolaitteiden välityksellä vetäviin pyöriin mekaanista tehoa 15,5 kW?

b) Kuinka suuri on autoon vaikuttava vastusvoima? Polttoaineen lämpöarvo on 46,2 MJ/kg ja tiheys 745 kg/m³.

Tehtävän käsittely edellyttää, että

- ymmärretään energian säilymislain merkitys ja osataan soveltaa sitä tehtävän tilanteeseen,
- tunnetaan hyötysuhteen käsite $\eta = P_{\text{hyöty}}/P_{\text{kok}}$ ja osataan soveltaa sitä tehtävän tilanteeseen niin, että polttoaineen palaessa vapautuva teho ymmärretään auton käyttämäksi kokonaistehoksi ja vetäville pyörille saatu mekaaninen teho hyötytehoksi $P_{\text{hyöty}}$, joka kuljettaa autoa eteenpäin, jolloin erotus $P_{\text{kok}} - P_{\text{hyöty}}$ on moottorissa ja voimansiirtolaitteissa kuluva hukateho,
- tunnetaan polttoaineen lämpöarvon Q merkitys tai se osataan päätellä niin, että osataan kirjoittaa annettujen tietojen perusteella kokonaistehon lauseke, $P_{\text{kok}} = (\rho V v/s) Q$, missä ρ , V/s ja v ovat polttoaineen tiheys, kulutus ja auton nopeus,
- ymmärretään dynamiikan peruslain nojalla, että autoa eteenpäin kuljettava mekaaninen teho kuluu tasaisella nopeudella ajettaessa kokonaan autoon vaikuttavien liikevastusten voittamiseen, $P_{\text{hyöty}} = Fv$, missä F on liikevastusten aiheuttama kokonaisvoima.

Tällöin tehtävän käsittely palautuu yksinkertaisiin laskutoimituksiin:

$$P_{\text{kok}} = \frac{\rho V v}{s} \cdot Q = \frac{745 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{6,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{100 \text{ km}} \cdot \frac{80 \text{ km}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{46,2 \cdot 10^6 \text{ J}}{\text{kg}} = 51,2 \text{ kW}$$

$$\text{a) } \underline{\text{hyötysuhde}}: \eta = \frac{P_{\text{hyöty}}}{P_{\text{kok}}} = \frac{15,5 \text{ kW}}{51,2 \text{ kW}} \approx 0,302 = \underline{30,2 \%}$$

$$\text{b) } \underline{\text{vastusvoima}}: F = \frac{P_{\text{hyöty}}}{v} = \frac{15,5 \text{ kW}}{80 \text{ km}} \cdot 3600 \text{ s} \approx \underline{698 \text{ N}}$$

Tehtävä arvosteltiin siten, että a-osasta annettiin 4 pistettä ja b-osasta 2 pistettä. Vastaukset olivat suhteellisesti katsottuna melko hyviä. Tosin 167 pyrkijää eli n. 32 % ei vastannut mitään tai vastasi nollan arvoisesti. Tehtävän a-osaan vastattiin yleensä kohtuullisesti – hyötysuhteen merkitys oli useimmille selvä, ja varsinkin monet tehtävää tosissaan yrittäneet käsittelivät sen aivan oikein. Hyötysuhteen määrittäminen nurin päin suhteena $P_{\text{kok}}/P_{\text{hyöty}}$ oli yllättäen yksi tavallisimpia virheitä. Se ei jättänyt a-osaan mitään pistein palkittavaa. Monet kirjjasivat ilmeisen muistinvaraisesti hyötysuhteen oikean kaavan osaamatta kuitenkaan käyttää sitä millään tavalla. Tästä annettiin kuitenkin 1 piste. N. 10 % vastaajista lankesi tahattomaan ansaan määrittäessään hyötysuhteen energioiden avulla laskemalla, että auto kulkeekin 100 km 3600 eikä 4500 s:ssä. Tästä sakotettiin yleensä vain 1 piste siitä huolimatta, että virhe esimerkiksi autotehtaan ympyröissä olisi katastrofaalinen. Muidenkin tehtävien vastauksissa esiintyvä harmittava piirre oli kritiikitön suhtautuminen tarkkuuteen, desimaalien huiskiminen paperille laskimen näytön täydeltä. Kuvaava esimerkki oli vastaus, jossa ensin laskettiin hyväksyttävästi $80 \text{ km/h} = 22,2 \text{ m/s}$, mutta jatkettiin sitten toteamalla, että tällä nopeudella 100 km:n ajaminen kestää $(100 \text{ 000 m})/(22,2 \text{ m/s}) = 4504,5045 \text{ s}$!

Tehtävän b-kohtaa osattiin yllättävän huonosti. Erittäin tavallinen virhe oli, että vastusvoima laskettiin hukatehosta eikä hyötytehosta. Tästä huolimatta voitiin tiliä kartuttaa yhdellä pisteellä, jos muuten kävi ilmi, että vastaaja ymmärsi tehon, nopeuden ja vastusvoiman välisen yhteyden. Vain muutamassa vastauksessa todettiin selvästi, että mekaaninen teho on yhtä suuri kuin vastusvoiman teho. Reippaasti yli puolet osanottajista vastasi väärin tähän kysymykseen, mikä ihmetyttää sitäkin enemmän, kun suurin osa esitti henkilöllisyystodistuksenaan ajokortin.

Tehtävä 4. Selitä lyhyesti a) Ohmin lain kokeellinen perusta b) Coulombin lain kokeellinen perusta c) Faradayn ja Henryn lain (induktiolain) kokeellinen perusta.

Arvostelussa tehtävän kutakin osaa pidettiin 2 pisteen arvoisena. Osanottajilla oli suuria vaikeuksia tämän tehtävän käsittelyssä. Peräti 57 % vastaajista tuotti nollan arvoisen vastauksen, ja vain n. 10 % sai 4–6 pistettä huolimatta siitä että arvostelijat joutuivat kokonaan vaientamaan omantunnon äänen ja antamaan pisteitä pelkistä kaavoistakin. Kuitenkin tehtävä keskittyy fysiikan ytimeen, sen empiiriseen perustaan, jonka ymmärtämisen tulisi olla fysiikan opetuksen keskeisimpiä tavoitteita.

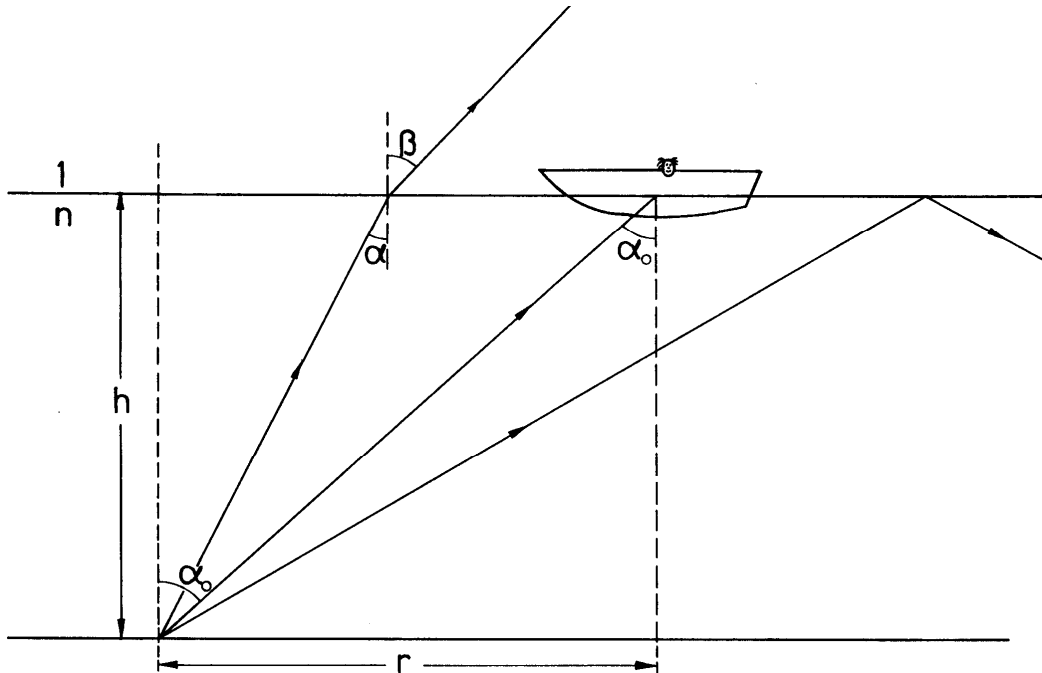
Vastauksilta ei edellytetty lakien algebrallista esitystä. Odotettiin ensi sijassa, että kerrotaan, millaisia sähköisten ja sähkömagneettisten ilmiöiden havaittavia ominaisuuksia mainitut lait esittävät, sekä lyhyttä periaatteellista selvitystä siitä, millä tavalla lakien toteamat mitattavien suureiden väliset yksinkertaiset riippuvuudet voidaan todentaa kokeellisesti.

Vastaukset eivät juuri vastanneet näitä odotuksia. Esimerkiksi useissa vastauksissa oli vain kirjoitettu Coulombin lakia esittävä algebrallinen yhtälö ilman selityksiä. Tästä annettiin kuitenkin yksi ansaitsematon piste. Samoin kaavaa $U = IR$ tai resistanssin määritelmää $R = U/I$ tarjottiin mainitsematta lainkaan, mitä U ja I merkitsevät ja millä tavalla niiden esittämät jännite ja virta liittyvät johonkin fysikaaliseen oloon ja ilmiöön – puhumattakaan huomion kiinnittämisestä olennaisimpaan perusasiaan, siihen, että Ohmin laki merkitsee jännitteen ja virran suhteen riippumattomuutta virrasta. Tässäkin kohdassa arvostelun nollatasoa korotettiin pisteellä. Kovin harvat ymmärsivät tai muistivat kiinnittää huomiota lain pätevyysalueeseen, siihen, että laki edellyttää vakio-olosuhteita ja koskee ensi sijassa metallijohtimia. Täyteen 2 pisteeseen riitti lyhyt kertomus mittauksesta, jossa

todetaan verrannollisuus $U \sim I$. Monet vastaukset ilmensivät sekavaa mielikuvaa sähkön johtumisen luonteesta. Esitettyä kaavaa tulkittiin kummallisesti. Väitettiin esimerkiksi, että vastus pienenee, kun virta suurenee, ja suurenee, kun jännite kasvaa. Paljon esiintyi myös tehtävään kuulumattomia harhailevia muistikuvia: Faraday ja elektrolyysi, $Q = It$, valosähköinen ilmiö ym.

Kolmannen kohdan vastauksesta annettiin 2 pistettä, jos tiedettiin kertoa induktiovirran sitä synnyttävää muutosta vastustavasta suunnasta ja osattiin kuvata sitä yhdellä hyvällä esimerkillä, toisin sanoen huomion kiinnittäminen pelkkään Lenzin lakiin riitti. Induktiolaki näyttää yhä koulukurssin mustalta aukolta huolimatta taannoisesta puolivirallisesta uhkauksesta, jonka mukaan ylioppilastutkinnon reaalikokeessa annetaan sitä koskevia tehtäviä säännöllisesti, kunnes se aletaan tuntea. Kysymyksessä on TÄRKEÄ, ihmiskunnan historian mullistanut, ilmiö ja laki. Aukko on muutenkin käsittämätön, sillä ilmiö on monimuotoisuudessaan mielenkiintoinen ja kouluvälineinkin helposti ja idioottivarmasti demonstroitava. Induktiolain peruspiirteetkin saadaan yksinkertaisin kokein näkyviin, ja opettajankoulutuksessa on annettu perinteisesti hyvä valmennus tällaisten demonstraatioiden tekemiseen. Tämän kohdan arvostelun lempeää asteikkoa voi puolustella nollatason korotustarpeen ohella sillä, ettei oppilaita pidä liikaa rangaista fysiikanopetuksen perinteisistä rakennevirheistä.

Tehtävä 5. Tyttö on pudottanut kellonsa veteen. Hän etsii sitä ensimmäisenä tyynenä ja aurinkoisena päivänä tähyttämällä veneestä kasvat hyvin lähellä veden pintaa. Kuinka lähelle pudotuskohtaa tytön on löydettävä, jotta hän voisi nähdä kellon pohjassa 2,3 m:n syvyydellä. Veden taitekerroin on 1,33.



Kello näkyy pinnan yläpuolelle siellä, mihin kellosta heijastuneet valonsäteet pääsevät taittumaan pinnan läpi. Liian vinosti pintaan tulevat säteet kokonaisuheijastuvat. Kello voi näkyä vain alueessa, jossa säteiden tulokulma on pienempi kuin kokonaisuheijastuksen rajakulma, $\alpha \leq \alpha_0$.

Vedestä ilmaan tulevan valon taittumista esittää taittumislaki

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n},$$

missä β on taitekulma ja n veden taitekerroin (ilman taitekerroin on hyvin tarkasti 1). Kokonaisuheijastuksen rajakulman määrää tästä seuraava ehto

$$\sin\beta = n\sin\alpha < 1 (= \sin 90^\circ) \Rightarrow$$

$$\sin\alpha < \frac{1}{n} = \sin\alpha_0, \quad \sin\alpha_0 = \frac{1}{1,33} \Rightarrow \alpha_0 = 48,75^\circ.$$

Kuvan perusteella nähdään, että näkyvyysalueen säteen r määrää ehto

$$\tan\alpha_0 = \frac{r}{h} \Rightarrow \underline{r} = h \tan\alpha_0 = (2,3 \text{ m}) \cdot \tan 48,75^\circ = \underline{2,6 \text{ m}}.$$

Rajakulmaa ei välttämättä tarvitse laskea välituloksena, vaan voidaan käyttää hyväksi trigonometrian perusyhtälöitä ja kirjoittaa

$$r = h \tan\alpha_0 = \frac{h \sin\alpha_0}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha_0}} = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}} = \frac{2,3 \text{ m}}{\sqrt{1,33^2 - 1}} \approx 2,6 \text{ m}.$$

Tehtävän pistejakautuma on tyydyttävä, mutta arvostelussa annettiin keskimäärin yhtä monta kertaa 5 pistettä kuin täydet 6. Tämä johtuu siitä, että täydelliseltä vastaukselta edellytettiin fysikaalisia perusteluja. Ratkaisun idea piti ilmaista joko sanoin tai selvän kuvan avulla. Useimmat väärinkäsitykset liittyivät säteiden kulkuun ja taittumislaisissa esiintyviin kulmiin.

Vastausten perusteella näytti siltä kuin tehtävä olisi ollut monille tuttu ja paperille olisi projisioitu hämäriä muistikuvia sen käsittelyssä esiintyneistä kaavoista, joissa taitekulmalla 90° on jokin salaperäinen merkitys. Melko usein tulokulma yritettiin virheellisesti laskea Brewsterin lain avulla.

Tehtävässä annettiin tasaisesti pisteitä esitetyistä oikeansuuntaisista ajatuksista ja oikeista laskeuksista.

Tehtävä 6. Millä tavalla aineessa etenevä sähkömagneettinen säteily heikkenee (vaimenee)? Mistä prosesseista heikkeneminen aiheutuu säteilyn eri aallonpituusalueilla? Esittele prosessit lyhyesti.

Tehtävässä odotettiin, että olisi tunnettu eksponentiaalinen heikkennyslaki, joka koskee homogeenisessa aineessa etenevän monokromaattisen säteilyn intensiteetin I heikkenemistä säteilyn läpäisemän ainekerroksen paksuuden (tai säteen kulkeman matkan) x funktiona. Lain voi esittää differentiaalisessa tai eksponenttimuodossa

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad \Leftrightarrow \quad I = I_0 e^{-\mu x},$$

joissa μ on säteilylle ja aineelle ominainen matkavaimennuskerroin eli heikkennyskerroin, mutta myös konkreettisemmin ja havainnollisemmin toteamalla, että intensiteetti pienenee suhteellisesti yhtä paljon jokaisessa saman paksuisessa kerroksessa, jolloin voi todeta puoliintumispaksuuden heikkenemisen voimakkuutta kuvaavana suurena. Sen sijaan joissakin vastauksissa esitetty "säteily vaimenee tasaisesti" on liian epämääräinen hyväksyttäväksi.

Säteilyn ja aineen vuorovaikutusprosesseista odotettiin tunnettavan *–sironnan* kaksi perustyyppiä, klassinen eli Thomsonin sironta, joka voidaan ymmärtää klassisen aaltomallin avulla sekä Comptonin sironta,

– tärkeimmät *absorptioprosessit*, atomien tai molekyylien värähtelyjen virittyminen, molekyylien fotodissosioituminen, atomien ja molekyylien elektroniverhojen sekä johdinelektronien virittyminen tai elektronien irtoaminen (ionisoituminen, valosähköinen ilmiö) ja vastaavasti ydinten virittyminen tai hiukkasten irtoaminen niistä kaikkia näitä ilmiöitä seuraavine sekundaariprosesseineen sekä *–parinsynty*.

Tehtävä edellytti myös perustietoja näiden prosessien fysikaalisesta mallintamisesta, erityisesti sen ymmärtämistä, miten eri prosessien esiintymisen mahdollisuus riippuu ratkaisevasti fotonien energiasta, jonka yhteys aallonpituuteen oli tällöin luonnollisesti myös tiedettävä.

Tehtävä oli vaativa, sillä se edellytti lukion oppimäärän eri kurssien tietojen yhdistelyä kokonaisuudeksi. Säteilyfysiikan ajankohtaisuuden ja keskeisen käytännön merkityksen vuoksi sitä tuskin kuitenkaan voi pitää kohtuuttomana, varsinkin kun täysiin pisteisiin vaadittiin vain aivan tärkeimpien prosessien tuntemus.

Useimmista papereista tehtävä puuttui kokonaan. Monessa vastauksessa vain sirontaprosessi selvitettiin kunnollisesti, siitä 2 pistettä. Lisäksi esiintyi joukko lyhyitä viitteellisiä tai epämääräisiä vastauksia. Yleinen väärinkäsitys oli sähkömagneettisen säteilyn samastaminen radioaktiivisen säteilyyn. Kaikkiaan 516 paperista löytyi vain 3 täysien pisteiden arvoiseksi katsottavaa vastausta.

Tarkasteltavan ilmiöalueen pääpiirteiden tuntemus kuuluu ehdottomasti nykyaikaiseen yleisivistykseen. Tehtävän huono tulos vaatii myös muodissa olevan ympäristökasvatuksen guruja tarkistamaan painotuksiaan.