

Kaarle Kurki-Suonio

FYSIKAN VALINTAKOE
HELSINGIN YLIOPISTOSSA
SYKSYLLÄ 1973

Tehtävät

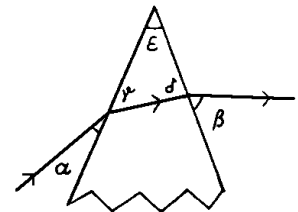
Fysiikassa oli jälleen neljä tehtäväsarjaa, jotka poikkesivat toisistaan tehtävien järjestyksen ja luku-
arvojen puolesta. A-sarjan tehtävät olivat seuraavat:

1. Kappale, jonka massa on 2,0 kg, halutaan saada liikkumaan siten, että se lakikorkeudessaan on 2,6 metriä lähtöpistettä ylempänä. Kuinka suuri alkunopeus kappaleelle on annettava, jos se
 - a) lähetetään liukumaan kitkatta kaltevaa tasoa, jonka kaltevuuskulma on 30° ,
 - b) heitetään ylöspäin vaakatasoon nähden 30° :n kulmassa,
 - c) on kiinnitetty 6,0 m pitkän painottoman langan päähän, ja nopeus annetaan sille heilurin tasapainoasemassa vaakasuoraan suuntaan,
 - d) on ripustettu kuten c)-kohdassa, mutta langan pituus on puolet tavoitellusta lakikorkeudesta?

2. Sähköenergiaa siirretään 21000 V:n jännitteisenä käyttöalueelle ja muunnetaan siellä muuntajan avulla 220 V:n käyttöjännitteeksi. Muuntajasta otetaan 9,0 kW:n teho ja sen hyötysuhde on 95 %. Primäärikäämin kierrosluku on 4000. Kuinka suuri on sekundäärikäämin kierrosluku? Kuinka suuri on muuntajan verkostosta ottama teho? Kuinka suuri virta kulkee kummassakin käämissä?

3. Atomivoimalan polttoaineena käytetyn ^{235}U :n halkeamisessa (fissiassa) saadaan energiaa keskimäärin 185 MeV/atomi. Jos oletetaan voimalan pystyvän käyttämään 16 % tästä energiasta, kuinka paljon ^{235}U :a tarvitaan, jotta voimalasta hukkaan joutuvalla energialla pystyttäisiin sulattamaan etelänapamantereen jäätikkö. Jäätikön pinta-ala on 14 milj. km^2 . Sen keskimääräiseksi paksuudeksi oletetaan 1,5 km ja keskimääräiseksi lämpötilaksi -10°C .

4. Prisma on upotettu veteen. Prismän taitekerroin ilman suhteen on 1,50 ja veden 1,33. Prismän taittava kulma ε on 35° . Millä saapumiskulman α arvoilla valo kulkee prismän läpi kuvan edellyttämällä tavalla, ja mihin kulma-alueeseen β se joutuu poistuessaan prismasta?



5. Happimolekyylin 0^2 dissosiaatioenergia on 5,08 eV. Millaista on valon oltava aallonpituudeltaan, jotta se aikaansaisi hapen dissosioitumista vapaiksi happiatomeiksi? (Sivu 3, alaosa)

6. Selitä enintään kahdella lauseella

- a) kiehuminen
- b) sähkömagneettinen induktio
- c) pallopoikkeama
- d) valosähköinen (fotosähköinen) ilmiö
- e) miten eroavat hehkulampun ja neonlampun valo. (Sivu 4)

putoamiskiihtyvyyys $9,81 \text{ m/s}^2$

$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

atomimassayksikkö $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Avogadron vakio $6,023 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$, Planckin vakio $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

valonnopeus $3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

^{235}U :n atomimassa $235,0 \text{ g/mol}$

Jään tiheys $0,92 \text{ g/cm}^3$, ominaislämpökapasiteetti $2,09 \text{ J/gK}$ ja ominaislammislämpö 334 J/g ¹

¹ Alleiviivaukset ovat korjauksia alkuperäisten tehtävien vanhentuneeseen terminologiaan

Ratkaisut

Tehtävä 1. Merkitään: alkunopeus v , nopeus lakikorkeudessa v_1 , lakikorkeus lähtötasosta mitattuna $h = 2,6$ m.

Tehtävässä voidaan soveltaa suoraan energiaperiaatetta: liike-energia lähtöpisteessä = potentiaalienergian lisäys + liike-energia lakipisteessä eli

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (m = \text{kappaleen massa}).$$

Erot ero kohtien välillä seuraavat loppunopeuden v_1 eroista.

a- ja c-kohdassa on $v_1 = 0 \Rightarrow v = \sqrt{2gh} \approx 7,15$ m/s.

b-kohdassa $v_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}v =$ alkunopeuden vaakakomponentti.

d-kohdassa lakikorkeuden $h = 2r$ (r on langan pituus) saavuttaminen edellyttää, ettei lakipisteessä painovoiman kiihtyvyys g ole suurempi kuin ympyräliikkeen edellyttämä kiihtyvyys v_1^2/r ,

eli on oltava $v_1 \geq \sqrt{gh/2} \Rightarrow v \geq \sqrt{5gh/2} \approx 7,98$ m/s.

Tehtävä 2. Merkitään: käämin napojen välinen jännite U , sähkövirta käämissä I , käämin kierrosluku n ja teho P käyttäen indeksejä 1 ja 2 primaari- ja sekundaaripuolen tunnuksina sekä muuntajan hyötysuhde η .

Induktiolain perusteella on $U_1/U_2 = n_1/n_2$, josta sekundaarikäämin kierrosluvuksi saadaan

$$n_2 = \frac{U_2}{U_1} n_1 = \frac{220}{21000} \cdot 4000 \approx 42.$$

Hyötysuhteen määritelmän mukaan on $P_2 = \eta P_1$, josta muuntajan ottamaksi tehoksi saadaan

$$P_1 = P_2/\eta = (9,0 \text{ kW})/0,95 \approx 9,5 \text{ kW}.$$

Sähkötehon lausekkeesta $P = UI$ saadaan sähkövirrat käämeissä ovat

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{P_2}{\eta U_1} = \frac{9000 \text{ W}}{0,95 \cdot (21000 \text{ V})} \approx 0,45 \text{ A} \quad \text{ja} \quad I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{9000 \text{ W}}{220 \text{ V}} \approx 41 \text{ A}.$$

Tehtävä 3. Homogeenisen kappaleen massa on verrannollinen sen tilavuuteen, $m = \rho V$. Verrannollisuuskerroin on kappaleen aineen tiheys. Jään tiheyden ρ_j sekä jäätikön keskimääräisen paksuuden d ja pinta-alan A perusteella sulatettavan jään massa on siis

$$m_j = \rho_j A d = (920 \text{ kg/m}^3) \cdot (14 \cdot 10^{12} \text{ m}^2) \cdot (1,5 \cdot 10^3 \text{ m}) = 1,93 \cdot 10^{19} \text{ kg}.$$

Ominaislämpökapasiteetin c ja ominaissulamislämmön s määritelmien mukaan jään lämmittämiseen määrällä ΔT ja sulattamiseen tarvitaan lämpömäärä

$$Q = (c\Delta T + s)m = [(2,09 \text{ J/gK}) \cdot (10 \text{ K}) + 334 \text{ J/g}] \cdot (1,93 \cdot 10^{22} \text{ g}) = 6,85 \cdot 10^{24} \text{ J}.$$

Uraanin ^{235}U määrässä, jonka massa on m_{U} , on $N = \frac{m_{\text{U}}}{A_{\text{U}}} N_0$ ydintä, missä A_{U} on tämän uraanin atomimassa ja N_0 Avogadron vakio. Tämän määrän fissioituessa vapautuu energia $E = NE_0$, missä E_0 on yhden ytimen hajotessa vapautuva energia. Voimalan hyötyenergiaa on siitä osa ηE , missä $\eta = 0,16$ on voimalan hyötysuhde, ja osa $(1 - \eta)E$ jää käytettäväksi jään sulattamiseen. Jotta koko jäätikkö voitaisiin sulattaa sillä, on siis oltava

$$(1 - \eta)E = Q \quad \text{eli} \quad (1 - \eta) \cdot \frac{m_{\text{U}}}{A_{\text{U}}} N_0 E_0 = Q,$$

josta tarvittavan uraanimäärän massaksi saadaan

$$m_{\text{U}} = \frac{QA_{\text{U}}}{(1 - \eta)N_0 E_0} = \frac{(6,85 \cdot 10^{24} \text{ J}) \cdot (0,2350 \text{ kg/mol})}{0,84 \cdot (6,023 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}) \cdot (185 \cdot 10^6 \text{ eV}) \cdot (1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV})} = 1,07 \cdot 10^{11} \text{ kg}.$$

Tehtävä 4. Taantumislain mukaan on, tehtävän kuvan merkintöjä käyttäen,

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \gamma} = \frac{\cos \beta}{\cos \delta} = \frac{n_1}{n_2},$$

missä $n_1 = 1,33$ ja $n_2 = 1,50$ ovat veden ja prisman taitekertoimet. Saapumiskulman α alarajalla $\alpha_{\min} = 0$, $\cos \alpha_{\min} = 1$, tästä saadaan

$$\cos \gamma = n_1/n_2 \Rightarrow \gamma = 27,54^\circ, \quad \delta = 180^\circ - \varepsilon - \gamma = 117,46^\circ \Rightarrow$$

$$\cos \beta_{\max} = \frac{n_1}{n_2} \cos \delta \Rightarrow \beta_{\max} = 121,34^\circ.$$

Valon kulun käänteisyyden perusteella on $\alpha_{\max} = \beta_{\max} = 121,34^\circ$ ja $\beta_{\min} = \alpha_{\min} = 0^\circ$.

Tehtävä 5. Planckin lain mukaan valo, jonka aallonpituus on λ ja taajuus $f = c/\lambda$, luovuttaa energiaa kvantteina $hf = hc/\lambda$, missä h on Planckin vakio ja c valonnopeus. Kvantti voi dissosioida happimolekyylin, jos sen energia on vähintään yhtä suuri kuin molekyylin dissosiaatioenergia,

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_d \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{E_d} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(5,08 \text{ eV}) \cdot (1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV})} = 245 \text{ nm}.$$

Valossa on siis esiinnyttävä aallonpituuksia $\lambda \leq 245 \text{ nm}$. (Tämä on ultraviolettin alueella.)

Tulokset

Fysiikan kokeeseen osallistui 1049 pyrkijää. Suorassa arvostelussa kokeen keskiarvo jäi alhaiseksi $10,2/30 = 0,34$. Valintapisteet annettiin kuperan asteikon mukaan siten, että keskiarvoksi saatiin tavoiteltu 0,5. Jos tehtävien vaikeutta mitataan niistä annettujen pistemäärien keskiarvolla (lauseutena osuutena maksimipistemäärästä), saadaan vaikeusjärjestys: (tehtävä/vaikeus), 4/0,05, 1/0,31, 3/0,32, 5/0,40, 6/0,42 ja 2/0,53 sekä tehtävän 6 eri osakysymyksille vastaavasti d/0,35, b/0,38, e/0,39, c/0,46 ja a/0,48. Tehtävien vaikeusasteessa oli siis huomattavia eroja. Tehtävä 4 oli 5 %:n tuloksellaan ilmeisesti liian vaikea. Toisaalta on hämmästyttävää, että niinkin yksinkertaisessa ja jokapäiväisessä kysymyksessä kuin 6a osaamisprosentti on alle 50 vaikka, kuten tehtävän 6 arvostelussa yleensäkin, ei edellytetty tiettyjä täsmällisiä määritelmiä vaan hyvinkin kuvailevat ilmaukset hyväksyttiin jos ne vain korostivat joitakin kysytyn ilmiön keskeisiä piirteitä.

Laadinnan ja arvostelun periaatteita

Valintakokeen tehtävät on luonnollisesti aina pyritty laatimaan siten, että ne kuuluvat vaadittavaan oppimäärään ja kattavat sen sopivasti. Tämän ilmeisen periaatteen lisäksi liittyy kokeen laadintaan ja arvosteluun aina kätkeytyviä tavoitteita ja arvostuksia, joiden määrittelemine on vaikeata. Opetusministeriökin on kiinnittänyt niihin huomiota kehottaessaan lokakuussa 1972 korkeakouluja ja tiedekuntia tekemään lähdeaineiston nimeämisen lisäksi selkoa tavasta, jolla aineiston sisältö olisi hallittava. Julkaisemalla tehtävät selityksin ja kommentein on pyritty luonnollisesti juuri tähän. Tämä voi kuitenkin merkitä pyydettyä täsmentämistä vain, jos samalla sitoudutaan säilyttämään vaatimusten luonne ennallaan. Tällöin taas pitäisi määritellä, minkä on jäätävä ennalleen ja miten tämä ennalleen jääminen tai jäämättömyys on todettavissa. Muuten tarjotaan oikeastaan vain tilaisuus omalla intuitiolla arvailla valitsijan intuitiivisia pyrkimyksiä, tuskinpa paljon muuta.

Lähtemättä yleisemmin erittelemään nykyisten valintakokeiden tarkoitusta ja tarkoituksenmukaisuutta voidaan todeta, että fysiikan kokeella mitataan lähinnä lukion fysiikanopetuksen tavoitteiden toteutumista pyrkijän kohdalla. Tämän katsotaan mittaavan samalla heidän edellytyksiään fysikaalisten tieteiden opiskeluun yliopistossa. Ongelmana on, että asiasisältöä lukuun ottamatta lukion virallisesti hyväksytyt tavoitteet on ilmaistu varsin abstraktissa muodossa. Fysiikan heikosta asemasta koulussa ja ylioppilastutkinnossa johtunee toisaalta, että käsitys fysiikan erityisluonteesta perusluonnontieteenä on varsin yleisesti hämärä eivätkä tavoitteiden keskeiset abstraktit sanonnat "*luonnontieteellinen ajattelutapa*" ja "*fysikaalisten käsitteiden ja lakien soveltamistaito*" ole siten aina voineet saada riittävän konkreettista sisältöä opetuksessa. Kuitenkin juuri näihin epäilemättä sisältyvät fysiikan olennaisimmat piirteet. Samalla ne ovat keskeisiä edellytyksiä fysikaalisten tieteiden yliopisto-opinnoille, ja mielenkiinto valintakokeissa on luonnollisesti kiinnitettävä erityisesti niihin.

Fysiikan opetuksen tavoitteita lähemmin tarkasteltaessa voidaan erottaa fysiikan *tiedollinen, metodinen ja käsitteellinen* hallinta. Fysiikan piiriin kuuluva tietoaineisto on tavattoman laaja, ja oppimäärien suunnittelu pelkästään tiedollista hallintaa tavoitteena pitäen muodostuu lähes mahdottomaksi. Yleisesti ollaankin yhtä mieltä siitä, että metodinen ja käsitteellinen hallinta ovat puhtaasti tiedollista tärkeämpiä tavoitteita. Opetuksessa tiedollisen komponentin tulee ensisijaisesti palvella kahta muuta, joiden avulla vasta on mahdollista saavuttaa rakenteellinen yleiskuva fysiikasta ja jotka ilmeisesti ovat ns. luonnontieteellisen ajattelutavan peruselementtejä. Tämä on samalla myös ainoa mahdollinen tie vähänkin laajempaan tiedolliseen hallintaan.

Metodisen ja käsitteellisen hallinnan suhteen saavutettujen oppimistulosten mittaaminen on paljon vaikeampaa kuin tiedollisten saavutusten, ts. lähinnä muistin, testaaminen. Vallitsee eräänlainen epämääräisyysperiaate: *Mitä tarkemman ja objektiivisemmän mittauksen pyrimme suorittamaan, sitä huonommin tehtävämme mittaavat sitä, mitä haluaisimme mitata.* Tämä mittaustehtävä pyritään kuitenkin tietoisesti ottamaan huomioon valintakokeiden laadinnassa ja arvostelussa. Vaikka sen kriteerejä ei voidakaan täsmällisesti ja yksikäsitteisesti määritellä, voidaan sen merkitystä selventää eräillä tehtävän luonteesta johtuvilla toteamuksilla.

Tehtävillä ei pyritä mittaamaan matemaattista valmiutta tai laskutaitoa. Siksi vältetään vaikeita tai pitkiä laskutoimituksia edellyttäviä tehtäviä, eikä laskuvirheille anneta suurta painoa arvostelussa. Pyritään asettamaan tehtäviä, joissa esitetyn tilanteen fysikaalinen tajuaminen johtaa lyhyeen ja suoraviivaiseen ratkaisuun, edellyttäen luonnollisesti, että tarkasteltavaan ilmiöön ja tilanteeseen liittyvät keskeiset käsitteet ja luonnonlait hallitaan. Arvostelussa annetaan vastaavasti suuri merkitys sille, että tilanteen fysikaalinen tajuaminen on osoitettu, esim. käytettyjen kaavojen valinta on perusteltu ja ratkaisun idea selvitetty, vaikka ratkaisun suoritus ei olisikaan onnistunut. Fysiikan opetuksessa tulisikin jatkuvasti korostaa, että *pelkkä kaava on merkitykseltään tyhjä.* Olisi totuttava ilmaisemaan *kaavan symbolien merkitykset, mitä kaava esittää ja millä edellytyksellä se pätee.* Myös, jos saatu lopputulos on esim. suuruusluokaltaan tai dimensioltaan mieletön, seuraa fysikaalisen tajuamisen vaatimuksesta, että ratkaisun arvo alenee vaikka kysymyksessä olisikin vain laskuvirhe. Jos vastaaja on ilmaissut havainneensa tuloksen mielettömyyden, suhtaudutaan virheeseen lievemmin, vaikka sen syytä ei olisikaan keksitty. On syytä muistaa, että fysiikkaa ovat yleensä ne

osat tehtävän käsittelyä, jotka suoritetaan ennen laskemista ja laskemisen jälkeen, ts. laskutavan perustelut ja tulosten tulkinta. Fysiikan kokeessa siis juuri ne olisi syytä ilmaista, eikä tyytyä pelkkien vähemmän mielenkiintoisten laskusuoritusten esittämiseen.

*Tehtävillä ei pyritä mittaamaan kielellistä valmiutta, esim. ainekirjoitustaitoa. Siksi kartetaan ns. esseekysymyksiä. Tehtävätyyppi, jota vuoden 1973 tehtävä 6 edustaa, on antanut myönteisiä kokemuksia. Parhaimmillaan tällainen tehtävä kohdistuu pelkistetyksi *ilmiöiden fysikaalisen selitystavan ja fysikaalisen peruskäsitteistön aktiiviseen hallintaan*, joita on pidettävä luonnontieteellisen ajattelutavan lähtökohтина. Vastauksissa kielellinen sujuvuus jää epäolennaiseksi. Ratkaisevaksi muodostuvat sanonnan käsitteellinen selkeys, joka seuraa käsitteiden merkityksen tajuamisesta, sekä kyky erottaa olennainen epäolennaisesta, syy seurauksesta, sovellutukset perusilmiöstä ym., jossa kuvastuvat fysikaalisen ajattelutavan eri komponentit.*

Objektiivisuuden noudattaminen tällaisten periaatteiden mukaan toimittaessa on luonnollisesti vaikeampaa kuin yksinkertaisessa muistin mittauksessa, laskutaidon testauksessa tai esim. passiivista käsitteiden tuntemusta korostavissa monivalintatehtävissä. Mutta käsitykseni mukaan tähän suuntaan olisi edettävä, ja näitä periaatteita olisi kehitettävä, jotta fysiikan erityisluonne tulisi opetuksessa näkyviin ja voitaisiin tavoittaa jotakin luonnontieteelliseksi ajattelutavaksi kutsutusta abstraktista ihanteesta.

Huom.

MAA:n vuoden 1974 1. numerossa esitetyt uudet valintaperusteet on Helsingin yliopiston kansleri hyväksynyt 13.3. tekemällään päätöksellä.