

FYSIIKAN VALINTAKOE V. 1988 HELSINGIN YLIOPISTOSSA

Sisko Eskola, Björn Fant,
Kaarle Kurki-Suonio ja
Seppo Manninen
Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin (fysi-kaaliset tieteet, kemia, matematiikka ja tietojenkäsittelyoppi) pyrki v. 1988 kaikkiaan 2015 opiskelijaa, heistä 335 ensisijaisesti fysiikaalisiin tieteisiin. Tämä merkitsi neljä vuotta tasaisesti kasvaneen fysiikkaa opiskelemaan pyrkivien määrän laskua, sillä vastaavat luvut viideltä viime vuodelta ovat 1760/278 (1983), 2065/286 (1984), 2112/320 (1985), 2121/358 (1986) ja 2088/413 (1987). Syy tähän romahdukseen ei ole tiedossa, päinvastoin oli odotettavissa kiinnostuksen kasvun jatkuminen yliopistojen ja teknillisten korkeakoulujen valintaperusteiden muuttuessa laajaa fysiikkaa ja matematiikkaa suosiviksi. Lisäksi fyysikkojen työmarkkinat ovat olleet erittäin hyvät, jatkokoulutuksessa on pula opiskelijoista ja fysiikan opettajan uralle aikovista on huutava puute. Tähän valtakunnallisestikin jo merkittävään ongelmaan tulisi kiinnittää vakavaa huomiota sekä koulu- että yliopistoyhteisöissä.

Fysiikan valintakokeeseen osallistui 293 pyrkijää. Valintojen pisterajoiksi muodostuivat (maksimi 280, suluisia v. 1987 rajat): fysiikaalisissa tieteissä 172 (192), kemiassa 184 (176), matematiikassa 172 (176) ja tietojenkäsittelyopissa 244 (245). Laskeva kiinnostus fysiikaalisiin tieteisiin heijastui siis selvästi myös valittujen tasoon. Hakijoista hyväksyttiin kaikkiaan 1638, joista 342 sai opiskeluoikeuden fysiikaalisten tieteiden koulutusohjelmaan.

Valintakokeen luonne noudatteli aikaisempien vuosien linjaa kysymysten keskittyessä perusasioihin. Fysiikan reaaliaineen luonnetta korostettiin jälleen esseetehtävillä, joita oli puolet kokeen kuudesta tehtävästä. Kuten aikaisemminkin on havaittu, tällaisiin tehtäviin vastaaminen on suurelle osalle pyrkijöistä vaikeaa, liekö kysymyksessä tottumattomuus vaiko jäsentymätön fysiikaalinen ajattelu. Kokeen keskiarvo oli 17,4/36, parempi kuin aikaisempina vuosina (17,2/1987, 12,7/1986, 15,2/1985, 12,3/1984 ja 12,9/1983), mutta kokeiden vaikeusasteet eivät ole välttämättä samat. Tehtäväkohtaiset arvosanajakautumat ja keskiarvot nähdään oheisesta taulukosta.

Tehtävien prosenttiset arvosanajakautumat ja keskiarvot

No/p	0	1	2	3	4	5	6	p
1	5	4	10	5	24	32	20	4,2
2	37	9	13	17	16	6	3	2,0
3	15	12	8	9	13	17	26	3,5
4	27	13	19	13	12	10	6	2,3
5	22	3	8	19	23	18	7	3,0
6	29	14	12	6	14	21	4	2,4

TEHTÄVÄT

1. Auto, jonka massa on 1000 kg, liikkuu nopeudella 20 m/s. Se törmää levossa olevaan autoon, jonka massa on 2000 kg. Autot tarttuvat törmäyksessä yhteen. a) Laske autojen nopeus heti törmäyksen jälkeen. b) Laske liike-energian muutos törmäyksessä. c) Mihin olettamuksiin käsittely perustuu? Kommentoi oletusten pätevyyttä.¹
2. Säteilysenergian varastointi: Esitä ja vertaile taloudellisesti käyttökelpoisia menetelmiä aurinkoenergian varastoimiseksi omakotitalon lämmitystä varten. Esitä menetelmien fysiikaalinen perusta.
3. Kaksi lamppua, joissa on merkintä 3,8 V, 0,3 A, kytketään a) sarjaan, b) rinnan. Systemiin otetaan jännite 12 V:n akusta. Millaista etuvastusta systemille on käytettävä, jotta laput palaisivat normaalisti? Akun sisäinen resistanssi on merkityksettömän pieni.
4. Aineen sähköstaattiset tai magneettiset ominaisuudet (valitse jompikumpi vaihtoehto): Mitä kappaleelle tapahtuu, kun se asetetaan staattiseen sähkökenttään (magneettikenttään)? Miten ilmiöiden esiintyminen, niiden luonne ja voimakkuus riippuvat siitä, mitä ainetta kappale on, ja miten aineita luokitellaan tällä perusteella? Tarkastele myös, miten ilmiöt voidaan selittää aineen rakenteen perusteella.
5. Säteilyn vaikutus elolliseen materiaan: "Mikroaaltouuni säteilee. En halua omaa pikku-Tsernobyliä keittiöni." Kommentoi tätä erään päivälehdessä yleisönosastossa esitettyä väitettä ja tarkastele eri säteilylajien vaikutuksia ihmiseen sekä näiden vaikutusten fysiikaalisia perusteita.
6. Yksivärinen valo, jonka aallonpituus on 370 nm ja intensiteetti $3,0 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$, osuu metallipintaan. Elektroninen irrotustyö tästä metallista on 2,1 eV. a) Kuinka monta fotoelektronia tämä valo voi irrottaa 1,0 sekunnissa 1,0 cm²:n suuruiselta alalta? b) Millaista sähkömagneettisen säteilyn on oltava aallonpituudeltaan, jotta se pystyisi irrottamaan elektroneja tästä metallista?

elektronin varaus = $1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 elektronin massa = $9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 valon nopeus = $2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 Planckin vakio = $6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

RATKAISUT JA TULOSTEN TARKASTELU

1. a) Edellyttäen, että tarkasteltavaan systemiin vaikuttavat ulkoiset voimat voidaan jättää huomiotta, säilyy systeemin kokonaisliikemäärä törmäyksessä. Koska autot takertuvat toisiinsa, ne liikkuvat törmäyksen jälkeen samalla nopeudella, jonka on oltava alkuperäisen nopeuden suuntainen. On-

¹ Vrt. Galilei 3. Tehtävä 44.

gelma on siten 1-ulotteinen ja liikemäärän säilymislaista saadaan

$$mv = (m + M)V \Leftrightarrow$$

$$V = \frac{m}{m + M} v = \frac{1000 \text{ kg}}{3000 \text{ kg}} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{20}{3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 6,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Liike-energian muutos on

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2} (m + M) V^2 \\ &= \frac{1}{2} \left[3000 \text{ kg} \cdot \frac{20^2}{3^2} - 1000 \text{ kg} \cdot 20^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] = -130 \text{ kJ} \end{aligned}$$

c) Liikemäärän säilymislaki edellyttää, että systeemiin vaikuttavien ulkoisten voimien impulssi on 0. Tämä on ainoa ehto, joka vaikuttaa tehtävän käsitteeseen. Jos se pätee, ei törmäyksen luonteella eikä sen kestolla ole merkitystä. Autot voivat myös esimerkiksi pyöriä törmäyksen jälkeen lain rikkoutumatta. Laskettu nopeus V on tällöin systeemin massakeskipisteen nopeus.

Vaakasuoralla tiellä autoihin vaikuttava painovoima ja tien tukivoima kumoavat toisensa joka hetki, joten niiden impulssi on 0 ja voidaan jättää huomioonottamatta. Sen sijaan kitkavoimilla auton pyörien ja tien välillä on merkitystä. Niiden impulssien summa on kaikkiaan liikkeen vastainen ja pienentää autojen loppunopeutta vähän jo törmäyksen aikana. Vaikutuksen tarkempi huomioonottaminen on vaikeaa. Se riippuu törmäyksen kestosta, tien ja pyörien pintamateriaaleista, kitkavoimien luonteesta ja suunnasta massakeskipisteen liikkeeseen nähden erikseen kussakin pyörässä sekä törmäysvoimien suunnasta.

Jos törmäys kestää kauan, myös kitka ehtii vaikuttaa sen aikana kauemmin ja antaa suuremman impulssin.

Jos pyörä liikkuu akseliaan vastaan kohtisuoraan se voi vieriä tien pinnalla eli liikkua ilman hankausta ainakin osan ajasta, (jolloin siihen vaikuttava kitka on lepokitkaa). Tämä taas riippuu jarrutuksesta sekä vaihteiden ja pyörien asennosta törmäyksen aikana. Liukukitka vaikuttaa kuhunkin pyörään sen liikesuuntaa (hankaussuuntaa) vastaan, mutta vain sen autojen nopeuden suuntainen komponentti vaikuttaa systeemin kokonaisliikemäärään (tehtävän suuntarajoituksen vuoksi).

Törmäysvoimat vaikuttavat sekä suuntansa että vaikutuspisteensä (momentit) vuoksi törmäyksen aikana vaikuttaviin tukivoimiin ja sitä kautta myös kitkavoimiin ja edelleen näiden antamaan impulssiin.

Aikaisempi kokemus tämäntyyppisestä tehtävästä johti 1-ulotteisen ongelman asettamiseen, vektorikäsitteilyn hallitseminen näyttää olevan lukioista tulleille ylivoimainen ongelma. Lisäksi ennustettavissa oli energiaperiaatteen sotkeminen selvätkin kimmottomalta törmäykseltä näyttävään tilanteeseen. Valitettavan moni laski a-kohdan energiaperiaatteella, käytti kuitenkin b-kohdassa aivan oikein ensin liikemäärän säilymistä. Selitystä näin saatuun erilaiseen loppunopeuteen ei kuitenkaan annettu. Edellytykset liikemäärän säily-

mislain soveltuvuudelle puuttuivat valtaosalta muutten oikein vastanneita, tämänsuuntaiset asiat näyttävät fysiikan kouluopetuksessa jäävän vähälle huomiolle. Toki tehtävä kokonaisuudessaan meni hyvin, kuuluuhan sen sisältö mekaniikan perusasioihin. Pienenä yksityiskohtana voitaisiin taas mainita laskinten orjallinen käyttö, vastaukseen pannaan niin monta numeroa kuin sen näytöstä löytyy.

2. Aurinkoenergiaa käyttäviä lämmitysmuotoja on kolme päätyyppiä.

a) Energian suora talteenotto, jolloin lämmitettävä neste (vesi) kiertää tummennetun metallipinnan sisältävän aurinkopaneeliin kautta lämpöeristettyyn säiliöön, josta sitä voidaan johtaa lämmityskiertoon. Ongelmana on pitempiaikainen varastointi, jossa voi ajatella käytettäväksi esim. sopivan sulamispisteen omaavaa suolaa (glauber-suola) tai vaikkapa talon alla olevaa peruskalliota. Parhaimmillaankin tällainen menetelmä on Suomen oloissa vain muuta lämmitystä täydentävä.

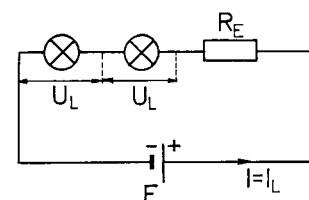
b) Säteilyenergian muuttaminen sähköenergiaksi aurinkokennojen avulla. Muuntamistehokkuus on kuitenkin toistaiseksi huono, eikä sähköenergiankaan pitempiaikainen laajamittainen varastointi ole helppoa.

c) Maaperään ja elolliseen luontoon varastoituneen säteilyenergian käyttö. Maaperään lämpöä hyödyntävä lämpöpumppu on jo kaupallisestikin saatavissa oleva laitteisto, jolla ulkoista työtä (tavallisesti sähköenergiaa) käyttäen siirretään lämpö maaperästä asuntoon. Menetelmä vaatii suhteellisen suuret alkuinvestoinnit maaperään upotettavan putkiston vuoksi, mutta sitä voidaan käyttää ympärivuotisesti. Nopeasti kasvavien puulajikkeiden käyttöä "energiametsänä" on myös suunniteltu. Periaatteessa kaikki fossiilisten polttoaineiden, puu ja turve mukaan lukien, on varastoituneen aurinkoenergian käyttöä.

Tämän tehtävän aihepiiriä on koulumaailman lisäksi käsitelty verraten paljon myös julkisissa tiedotusvälineissä ja tämä näkyi vastausten kirjavuutena. Aurinkoparisto ja -paneeli esiintyivät käsitteinä useimmissa vastauksissa mutta niiden toimintaperiaate oli suurelle osalle tuntematon. Useat vastaajat tarjosivat niitä myös energian varastointiin. Potentiaalisenä omakotitalon lämmittäjänä parhaiten maamme oloihin soveltuva lämpöpumppu esiintyi vain harvoissa vastauksissa.

3. Kummankin lampun läpi pitää kulkea virta $I_L = 0,3 \text{ A}$. Jännitehäviö yhdessä lampussa on silloin $U_L = 3,8 \text{ V}$. Etuvastus on kytketty lampusysteemin kanssa sarjaan. Akun lähdejännite on $E = 12 \text{ V}$, ja sen sisäinen resistanssi voidaan merkityksettömän pienenä jättää ottamatta huomioon.

a) Kuva 1



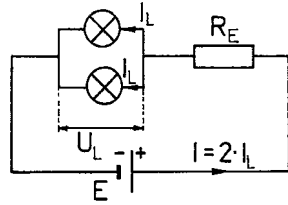
Lampujen ollessa sarjassa kulkee piirissä virta

$I = I_L = 0,3 \text{ A}$. Kirchhoffin 2. säännön mukaan on jännitehäviö virtapiirissä yhtä suuri kuin lähdejännite: $E = 2U_L + I_L R_E$.

Tästä ratkaistaan etuvastuksen resistanssi:

$$R_E = \frac{E - 2U_L}{I_L} = \frac{12 \text{ V} - 3,8 \text{ V}}{0,3 \text{ A}} = 15 \Omega.$$

b) Kuva 2.



Lamppujen ollessa rinnan on Kirchhoffin 1. säännön mukaan etuvastuksen läpi kulkeva virta yhtä suuri kuin lamppujen kautta kulkevien virtojen summa, joten $I = 2I_L$. Kirchhoffin 2. säännön mukaan saadaan kuljettaessa umpinainen silmukka etuvastuksen ja jommankumman lampun kautta.

$$E = IR_E + U_L = 2I_L R_E + U_L.$$

Ratkaistaan tästä etuvastuksen resistanssi

$$R_E = \frac{E - U_L}{2I_L} = \frac{12 \text{ V} - 3,8 \text{ V}}{2 \cdot 0,3 \text{ A}} = 14 \Omega.$$

Tehtävä osattiin melko hyvin, mitä osoittaa sekin, että pistejakauman tyyppi arvo oli 6 ja keskiarvo 3,5. Masentavan suuri joukko oli kuitenkin myös niitä, jotka sekoittivat sarja- ja rinnankytkennän keskenään tai tarkastelivat etuvastuksen sijasta sivuvastausta. Hyvin tavallinen virhe oli myös se, että rinnankytkentätapauksessa merkittiin lamppujen kautta kulkevien virtojen summaksi 0,3 A ja siis yhden lampun osuudeksi vain 0,15 A.

4. Kumpaakin näistä erittäin keskeisistä aiheista on käsitelty oppikirjoissa.

Tehtäväkohtainen keskiarvo oli vain 2,3, koska hämmästyttävän monet osallistujista (75 henkilöä) olivat jättäneet kokonaan käsittelemättä tämän esseetyyppisen tehtävän, vaikka oli vielä mahdollisuus valita kahdesta aiheesta mieluisampi ja tehtävän tekstissä oli annettu valmis jäsentely helpottamaan vastaamista. Ne, jotka tehtävää käsitelivät, selviytyivät keskimäärin kohtuullisesti. Suurimmat kömmähdykset johtuivat siitä, että sotkettiin sähköstaattiset ja magneettiset ominaisuudet keskenään, valittiin jompikumpi otsikko ja kirjoitettiin sitten joko kokonaan tai osittain toisesta. Eräs vastaaja jopa kertoi gravitaatiosta! Yleisiä virheitä olivat myös mm. para- ja diamagnetismin sekä käsitteiden permeabiliteetti ja permittiivisyys sekoittaminen keskenään.

5. Tässä tehtävässä edellytettiin, että vastaaja selvittää lyhyesti miten mikroaaltouuni toimii. Mikroaaltouunissa käytetään hyväksi suuritaajuisia sähkömagneettista säteilyä. Vesimolekyylit ovat voimakkaita sähködipoleita (veden suhteellinen permittiivisyys on 81!). Säteilyn värähtelevä sähkö-

kököntä pakottaa ne sen tähden kiertovärähtelyyn säteilyn taajuudella. Aineen molekyylien välisten vuorovaikutusten (törmäysten) välityksellä värähtelyenergia jakautuu aineen kaikkiin molekyyliin. Näin mikroaaltojen energia muuttuu suoraan uunissa olevan vesipitoisen aineen lämmöksi. Metallissa mikroaallot vaikuttavat elektroneihin ja synnyttävät suuritaajuisia pyörrevirtoja. Sen tähden mikroaaltouuniin ei saa sijoittaa metallisia osia vaan astiamateriaalin on oltava eristettyä, jonka molekyyli-rakenne ei sisällä löyhästi sidottuja dipolimolekyylejä.

Täydelliseltä vastaukselta edellytettiin sähkömagneettisen säteilyn jaottelua eri lajeihin aallonpituuden (fotonin energian) mukaan sekä tarkastelua, josta kävi perustellusti ilmi, miten säteilyn vaikutukset elolliseen aineeseen riippuvat aallonpituudesta. Tshernobyl viittaa ydinsäteilyyn, johon kuuluu hiukkassäteilyn lisäksi gammasäteilyä, joka on hyvin lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä.

Tehtävän vastaukset olivat yleensä hyviä. Väärinkäsityksiä ei esiintynyt, joten voidaan päätellä, että ajankohtainen asia jää koulu kurssista hyvin muistiin ja että asiayhteydet pysyvät koossa.

6. a) Annetun intensiteetin perusteella voidaan laskea, että kyseinen valo luovuttaa 1 cm^2 :n ($= 10^{-4} \text{ m}^2$) alalle 1 sekunnissa energian

$$E = IAt = (3,0 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}) \cdot (1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (1 \text{ s}) = 3,0 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Einsteinin selityksen mukaan yksi valokvantti voi irrottaa vain yhden elektronin. Yhden kvantin energia on

$$E_f = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{370 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,37 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{5,37 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} \approx 3,4 \text{ eV}.$$

Fotoelektronien lukumäärä on enintään yhtä suuri kuin kvanttien lukumäärä, eli

$$n \leq \frac{E}{E_f} = 5,6 \cdot 10^5.$$

b. Kvantti voi irrottaa elektronin vain, jos sen energia on vähintään yhtä suuri kuin elektronin irrotustyö eli

$$E_f = \frac{hc}{\lambda} \geq W = 2,1 \text{ eV},$$

josta säteilyn aallonpituudelle saadaan ehto

$$\lambda \leq \frac{hc}{W} \approx 5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 590 \text{ nm}.$$

Säteilyssä on siis esiinnyttävä rajaa 590 nm pienempiä aallonpituuksia.

Arvostelussa a- ja b-kohdat olivat samanarvoisia. Yksi piste vähennettiin, kun säteilyn koko energia oli jaettu elektronien irrotustyöllä. Näin tehtäessä fotoelektronien lukumäärä arvioidaan liian suureksi. Yhden pisteen vähennys tuli käytetyssä 6 pisteen arvosteluasteikossa myös siitä, kun maininta raja-aallonpituudesta puuttui.