

# FYSIIKAN VALINTAKOE HELSINGIN YLIOPISTOSSA V. 1990

Sisko Eskola, Björn Fant, Kaarle Kurki-Suonio ja Folke Stenman  
Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin (fysiikka, kemia, matematiikka ja tietojenkäsittelyoppi) pyrki v. 1990 kaikkiaan 2402 opiskelijaa, heistä 395 ensisijaisesti fysikaalisiin tieteisiin.

Fysiikan valintakokeeseen osallistui 413 pyrkijää. Valintojen pisterajoiksi muodostuivat (maksimi 280, suluissa v. 1989 rajat): fysiikassa 160 (164), kemiassa 170 (188), matematiikassa 168 (168) ja tietojenkäsittelyopissa 236 (238). Hakijoista hyväksyttiin kaikkiaan 1925, joista 443 sai opiskeluoikeuden fysikaalisten tieteiden koulutusohjelmaan.

Valintakokeen luonne noudatteli aikaisempien vuosien linjaa kysymysten keskittyessä perusasioihin. Kokeen keskiarvo oli 13,0/36. Tehtäväkohtaiset arvosanajakautumat ja keskiarvot nähdään oheisesta taulukosta.

**Taulukko: Tehtävien prosenttiset arvosanajakautumat ja keskiarvot**

No/p	0	1	2	3	4	5	6	p
1	22	16	25	19	12	4	2	2,1
2	5	6	29	27	19	8	6	3,0
3	24	15	15	20	8	7	11	2,4
4	42	40	8	4	3	2	1	1,0
5	38	6	13	15	11	10	7	2,1
6	32	8	22	2	5	13	18	2,5

## TEHTÄVIEN KÄSITTELY JA ARVOSTELU

**Tehtävä 1.** Säilymlait makroskooppisten kappaleiden törmäyksissä. Mitä suureita ne koskevat, millä edellytyksellä ne pätevät ja miten ne voidaan perustella? Tehtävässä odotettiin liikemäärän ja energian – mahdollisesti myös liikemäärämomentin – säilymlakien yksinkertaista perustarkastelua. Tehtävä on tuskin kohtuuton, koska ne ovat fysiikan kaikkein keskeisimpiä peruslakeja

Makroskooppisuus sulkee hiukkasfysiikan eksoottiset säilymlait pois. Samalla sen perusteella pitäisi olla ilmeistä, että edellytyksiä ja perusteluita tarkastellaan nimenomaan Newtonin mekaniikan kannalta. Tällöin on olennaista todeta erikseen ulkoisten voimien ja törmäysvoimien merkitys.

Törmäysvoimat eivät vaikuta systeemin liikemäärään (eivätkä liikemäärämomenttiin). Liikemäärä (liikemäärämomentti) säilyy, jos systeemi on vapaa

eli ulkoisia voimia ei ole. Tämä voidaan perustella voiman ja vastavoiman (Newtonin III) lailla ja dynamiikan peruslailla (Newtonin II laki), jotka takaavat, että törmäys antaa kappaleille aina yhtä suuret vastakkaisuuntaiset impulssit. (Vetoaminen yleiseen vapaan systeemin liikemäärän säilymlakiin on myös hyvä perustelu – jopa parempikin.) Muuten säilymlaki pätee sitä tarkemmin, mitä pienempi on impulssi, jonka ulkoiset voimat yhteensä antavat törmäyksen aikana.

Yleensä kappaleet tekevät työtä törmäysvoimia vastaan, joten liike-energia pienenee törmäyksessä. Makrotörmäys voi tietysti olla sellainenkin, että siinä vapautuu energiaa. Kimmoisa törmäys, jossa liike-energia säilyy, on ideaalinen malli, joka pätee makroskooppisessa fysiikassa sitä paremmin mitä kimmoisampia törmäävät kappaleet ovat. Perusteluksi sopii mekaniikan energiaperiaate, jonka mukaan systeemin liike-energian muutos on yhtä suuri kuin ulkoisten ja sisäisten voimien yhteensä tekemä työ. Yleisen energian säilymlain kannalta törmäyksessä häviävä liike-energia muuttuu muiksi energian lajeiksi, esim. kappaleiden sisäenergiaksi, joka ilmenee mm. kappaleiden lämpenemisenä. Annetuissa vastauksissa selostettiin liikemäärän ja energian säilymistä, muutamissa papereissa mainittiin myös liikemäärämomentin säilyminen. Karkea lähtökohta arvostelulle oli kolme pistettä liikemäärän ja kolme pistettä energian tarkastelusta: piste, jos tajuttiin, mikä säilyy, toinen edellytyksistä ja kolmas selityksistä. Jos jotakin asiaa oli käsitelty erittäin hyvin tai jos mainittiin myös liikemäärämomentti, annettiin kompensatiopisteitä. Käytännössä "lohdutuspisteitä" jouduttiin jakamaan sellaisillekin, jotka tosin oikeat suureet mainittuaan eivät selvästikään ymmärtäneet niiden merkitystä – erotukseksi niistä, jotka eivät tienneet tätäkään!

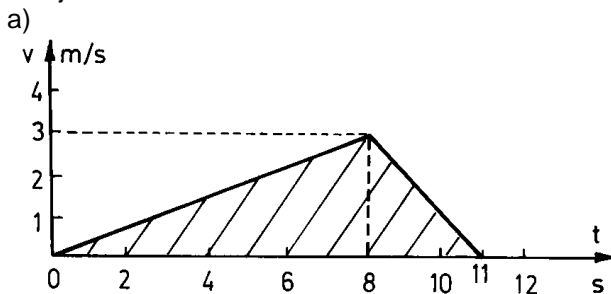
Kuten pistetaulukostakin ilmenee, tehtävään vastattiin keskimäärin käsittämättömän huonosti. Yli viidennes osallistujista jätti sen kokonaan käsittelemättä tai kirjoitti aivan puuta heinää. Yli kaksi viidennestä sai 1–2 pistettä, joka sekin tässä tapauksessa tarkoittaa lähes täydellistä tietämättömyyttä. Harvinaisia helmiä vastausten joukossa olivat ne, joissa säilymlakeja oli osattu myös perustella, edellytyksistä osasivat jo useammat mainita jotakin – ainakin selostaa kimmoisaa ja kimmotonta törmäystä. Oma surullinen ryhmänsä olivat ne, jotka ensin tiesivät kertoa kokonaisliikemäärän säilyvän ja sitten havainnollistivat asiaa esim. kaavalla  $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_2 + \vec{p}_1$ . Vaihtoehtoisesti saatettiin väittää

esimerkiksi: "Törmäyksessä kappaleiden liikemäärät säilyvät". Jotkut kirjoittivat atomipainosta tai elektroneista, vaikka kysymys koski makroskooppisia kappaleita. Tiedettiinpä eräässä vastauksessa jopa kertoa: "Energia säilyy törmäyksissä,  $E = hf/c$ ". Ehdotettiin myös esimerkiksi voiman ja paikan säilymlakia sekä "Kirchhoffin neljää säilymlakia". Edellytyksiksi ehdotettiin mm. normaali-ilmakehää ja sitä, että kappaleiden täytyy olla "toistensa suhteen symmetrisiä". Perusteluiksi taas jotkut ehdottivat "luonnon symmetriaa" tai "fysikaalisia laskutoimituksia". Joukossa oli toki kunnollisia ja jopa hyviäkin esityksiä, joista ilmeni, että vastaaja sekä ymmärsi kysytyt asiat että osasi esittää tietonsa kirjallisesti. Kaiken jälkeen kuitenkin oikeastaan ihmetyttää, että keskiarvoksi saatiin edes 2,5.

**Tehtävä 2.** Ajoneuvo lähtee levosta rullaamaan alas pitkää ja suoraa tasaisesti laskevaa mäkeä. 8,0 s:n kuluttua, jolloin sen nopeus on 3,0 m/s, se lyö jarrut lukkoon pysähtyen 3,0 s:ssa. a) Esitä graafisesti ajoneuvon nopeus ajan funktiona. Määritä kuvaajaa hyväksi käyttäen ajoneuvon kiihtyvyys kummassakin vaiheessa ja sen kulkema matka. b) Laske edelleen mäen kaltevuuskulma sekä kitkakerroin jarrutuksen aikana. c) Perustele esityksesi fysikaalisesti ja ilmaise oletukset, joita joudut tekemään tehtävän ratkaisemiseksi.

Tehtävässä annetut lukuarvot kiinnittävät ajoneuvon nopeuden kolmena hetkenä,  $v(0\text{ s}) = v(11\text{ s}) = 0\text{ m/s}$  ja  $v(8\text{ s}) = 3,0\text{ m/s}$ .

Jos ajoneuvon liike kummassakin vaiheessa on tasaisesti kiihtyvää, nopeuden kuvaaja  $v = v(t)$  saadaan yhdistämällä  $tv$ -akselistossa näiden vastinpiisteet janoilla.



Ajoneuvon kiihtyvyydet rullaus- ja jarrutusvaiheissa ovat kuvaajan näitä vaiheita vastaavien osien fysikaaliset kulmakertoimet:

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{(3,0 - 0)\text{ m/s}}{8,0\text{ s}} = 0,375\text{ m/s}^2 \approx 0,38\text{ m/s}^2$$

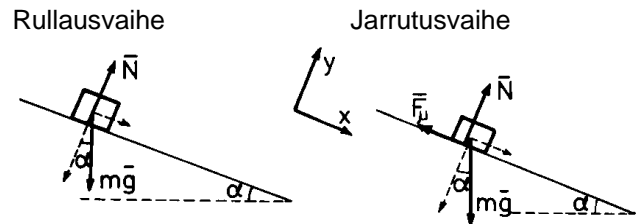
$$a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = \frac{(0 - 3,0)\text{ m/s}}{3,0\text{ s}} = -1,0\text{ m/s}^2$$

Kuljettua matkaa esittää kuvaajan ja aika-akselin rajoittaman kuvion fysikaalinen pinta-ala.

$$s = \frac{1}{2} \cdot (11,0\text{ s}) \cdot (3,0\text{ m/s}) = 16,5\text{ m}.$$

b) Ajoneuvon kiihtyvyyden  $a$  määrää dynamiikan peruslaki  $F = ma$ , missä  $m$  ja  $F$  ovat ajoneuvon

massa ja siihen vaikuttavien (ulkoisten) voimien summa. Tärkeimmät voimat ovat painovoima eli ajoneuvon paino  $G = mg$  ja alustan tukivoima  $N$  sekä jarrutusvaiheessa nopeuden vastainen liukukitka  $F_\mu$ . Ilmanvastus on esiintyvissä nopeuksissa merkityksetön. Rullausvaiheessa liikettä jarruttavat vierimisvastus ja lepokitka, joka kumoaa laakerien kitkamomentin ja antaa pyörille niiden kulmakihtyvyyden. Nämäkin voidaan jättää huomiotta, jolloin ajatellaan, että tien pinta on kova ja rengaspaineet riittävät ja että pyörien laakerit ovat kunnossa eikä pyörien pyörimishitautea ole merkittävä. Ajoneuvon liikeyhtälöt liikkeen kummassakin vaiheessa.



Tehtävän mukaan mäkeä voidaan pitää kaltevana tasona, jolla on kiinteä kaltevuuskulma  $\alpha$ . Valitaan koordinaatisto kuvien mukaisesti ja käytetään kitkan perusmallin mukaista liukukitkan lakia  $F_\mu = -\mu N$ . Tie voidaan olettaa samanlaiseksi koko matkalla, jolloin kitkakerroin  $\mu$  on vakio. Dynamiikan peruslaista seuraa tällöin kummankin vaiheen liikeyhtälö komponenttimuodossa.

Rullausvaihe

$$(1\ x) : mg \sin \alpha = ma_1$$

$$(1\ y) : N - mg \cos \alpha = 0$$

Jarrutus

$$(2\ x) : mg \sin \alpha - \mu N = ma_2$$

$$(2\ y) : N - mg \cos \alpha = 0$$

Rullausvaiheen yhtälöstä (1 x) voidaan ratkaista kaltevuuskulma

$$\sin \alpha = \frac{a_1}{g} = \frac{0,375\text{ m/s}^2}{9,81\text{ m/s}^2} \approx 0,0382 \Rightarrow \alpha \approx 2,2^\circ$$

a tämän jälkeen jarrutusvaiheen yhtälöistä (2 x)(2 y) kitkakerroin

$$\mu = \frac{a_1 - a_2}{g \cos \alpha} = \frac{(0,375 + 1,0)\text{ m/s}^2}{(9,81\text{ m/s}^2) \cdot \cos 2,2^\circ} \approx 0,14.$$

c) Perustelut on esitetty edellä kohdissa, joihin ne kuuluvat.

Koska tehtävässä tarkastellaan liikettä ajan (eikä paikan) funktiona, on luontevinta käsitellä sitä liikeyhtälön avulla. Energiaperiaatteen käyttö on luonnollisesti myös mahdollista, mutta se johtaa kömpelöön ratkaisuun, jossa laskuvirheiden mahdollisuus on paljon suurempi.

Kaikki voimat, jotka jätettiin huomioon ottamatta, ovat liikettä hidastavia. Jos ne ovat merkittäviä, kaltevuuskulman on oltava vähän laskettua suurempi, jotta auton (keski-)kiihtyvyys rullausvaiheessa voisi olla annetun suuruinen. Tämä yksinään vaatisi suurempaa kitkaa jarrutusvaiheessa. Koska kuitenkin samat voimat osallistuvat jarrutukseen, ei ole ilman tarkempia selvityksiä pääteltävissä, mitä ne vaikuttavat tulokseksi saatuun kitkakertoimeen.

Arvostelussa kukin kohta oli kahden pisteen arvoisen. a-kohdassa pisteensä sai vielä, vaikka yksi kysytyistä suureiden arvoista olisi ollut väärin. b- ja c-kohdissa taas hyvällä vastauksella voi kompensoida toisen kohdan puutteita.

Graafinen esitys yleensä osattiin, kiihtyvyyksien ja matkan määrittäminen siitä onnistui sekin kohtalaisesti. Kaltevuuskulman ja kitkakertoimen määrittäminen tuottivat jo suuria vaikeuksia. Yleinen virhe oli, että jarrutusvaiheen liikeyhtälöstä unohtui painovoiman tason suuntainen komponentti. Monilla energiaperiaatteen käyttäjillä menivät kitkatyöt ja potentiaalienergian muutosta laskettaessa matkat ja korkeuserot väärin, tai sitten jokin energialaji tai työ unohtui kokonaan.

Surullista kyllä, tämänkin tehtävän kohdalla esityksen fysikaalinen perustelu ei useimmilta kerta kaikkiaan onnistunut. Oletuksista osattiin vielä sanoa jotakin, mutta tuntui, että monet vastaajat eivät ollenkaan käsittäneet, mitä fysikaalisella perustelulla tarkoitetaan. Yleinen ehdotus oli – taas kerran – että "perusteluina ovat kaavat" tai "yllä suoritettujen laskutoimitukset".

Näyttää siltä, ettei fysikaalisen perustelemisen luonnetta enimmäkseen lainkaan ymmärretä, vaikka kysymyksessä on fysiikan opetuksen ehkä kaikkein tärkein yleinen tavoite. Ilman järkeviä perusteluja kaikki laskeminen on pelkkää höpöä. Fysikaaliset lait ja niiden pätevyysalueet ovat fysiikassa ainoita kelvollisia lähtökohtia. Perustelujen tarkoitus on todeta, mitkä lait pätevät tehtävän tilanteessa ja miksi. Kaavat eivät ole lakeja vaan lakien laskennallisia esityksiä. Ne eivät sellaisinaan kerro mitään siitä, millä edellytyksissä lait ovat voimassa ja miten hyvin nämä edellytykset toteutuvat tai voidaan toteuttaa tehtävän tilanteessa. Sen tähden perusteluna käytetyt lait pitäisi myös esittää aina varsinaisessa yleisessä muodossaan eikä valmiiksi tehtävän tilannetta kuvaavan mallin mukaisiksi kaavoiksi redusoituina. Perustelemista on harjoitettava koulussa. Ei sitä ilman opita!

Tehtävän a-kohdan ansiosta kuitenkin saavutettiin keskiarvo 2,98, jota voitaneen pitää kohtalaisena tämän tyyppisestä tehtävästä. Positiivista oli myös se, että vain pieni osa kokeeseen osallistujista jätti tehtävän kokonaan käsittelemättä.

**Tehtävä 3.** Tiettyä määrää kiinteää ainetta lämmitetään vakioteholla isossa umpinaisessa astiassa, jossa on paineentasausventtiili, kunnes kaikki tämä aine on muuttunut höyryksi.

a) Piirrä kuvaaja, joka esittää tämän aineen lämpötilaa ajan funktiona.

b) Mitkä tämän aineen termiset ominaisuudet näky-

vät kuvaajasta?

c) Miten niitä esittävien suureiden arvot voidaan määrittää kuvaajan perusteella?

Tehtävän ymmärtämiseksi on tunnettava seuraavat lainalaisuudet:

1) Aineen lämpötila nousee kohti sulamispistettä nopeudella, joka on verrannollinen lämmitystehoon, kääntäen verrannollinen aineen määrään ja ominaislämpökapasiteettiin.

2) Sulamispisteessä aine sulaa vakio­lämpötilassa. Sulamiseen kuluva aika on verrannollinen aineen määrään ja ominais­sulamis­lämpöön, kääntäen verrannollinen lämmitystehoon.

3) Nestemäiseksi muuttunut aine lämpenee kohti kiehumispistettä samalla tavalla kuin kiinteä aine kohti sulamispistettä.

4) Kiehumispisteessä aine höyrystyy vakio­lämpötilassa. Höyrystymiseen kuluva aika on verrannollinen aineen määrään ja ominais­höyrystymis­lämpöön, kääntäen verrannollinen lämmitystehoon.

Tehtävä arvosteltiin siten, että sen eri osilla oli sama painokerroin. Vastausten taso vaihteli melko paljon, ja pisteet jakautuivat yllättävän tasaisesti yli koko asteikon. Osanottajista 16 % ei vastannut tähän kysymykseen lainkaan. Tämä on yllättävän suuri osa kysymyksen jokapäiväisen luonteen huomioon ottaen. Useimmat vastaajat osasivat kuitenkin piirtää lämpötilan kuvaajan periaatteessa oikein. Tosin esiintyi vastauksia, joissa piirretty käyrä näytti perustuvan vain yleiseen muistikuvaan lämpötilan kuluusta. Muutamissa kuvissa lämpötila oli piirretty laskemaan reippaasti tietyn alkulämpenemisen jälkeen. Lisäksi esiintyi vastauksia, joissa kuvaaja oli piirretty oikein, mutta joista selitys puuttui kokonaan.

Kysymyksen b-osaan tuli vielä suhteellisen hyviä vastauksia, eli aika monessa vastauksessa luettiin kuvaajan avulla siitä määritettävät suureet.

Tehtävän c-osa tuotti vaikeuksia. Termisten ominaisuuksien kvantitatiivinen ilmaiseminen mitattujen suureiden avulla oli useimmille tuntematon asia. Oli mielenkiintoista havaita, että ruotsinkielisistä kouluista tulleiden pyrkijöiden pisteet olivat nimenomaan tämän kysymyksen kohdalla erittäin korkeat. Tämä viittaa mahdollisesti käytettyjen oppikirjojen välisiin eroihin juuri tässä kohdin.

Arvostelussa kiinnitettiin ensisijaisesti huomiota nk. terveeseen järkeen, koska kysymyksen ilmi­ömaailman pitäisi olla kaikille tuttu kokemuksesta. Jos kuvaaja oli piirretty oikein ja siihen oli merkitty sulamis- ja kiehumispiste, heltisi 2–3 pistettä. Jos lisäksi lämpenemis- ja olomuodonmuutosprosessit oli esitetty selvästi ja merkitty kuvaajaan, annettiin 2–3 pistettä lisää. Jos vielä oli annettu määrittävien suureiden lausekkeet, annettiin täydet pisteet. Täysien pisteiden saavuttamiseksi ei vaadittu aivan täydellistä vastausta, jos vastauksen fysikaalinen perusta oli selvä, vaikka jokin tarvittava relaatio tai kaava puuttuikin.

**Tehtävä 4.** a) Selosta lyhyesti, miksi tehonsiirtoon sähkövoimalasta kuluttajille käytetään suuria jännitteitä. b) Voimala tuottaa 135 MW sähkötehoa.

Tehonsiirtoon 260 km:n päähän käytetään alumiinista siirtojohtinta, jonka poikkipinta-ala on  $1600 \text{ mm}^2$  ja resistiivisyys  $2,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ . Kuinka suuri jännitteen on oltava, jotta tehonsiirron hyötysuhde olisi parempi kuin 97 % ?

Tämä tehtävä arvosteltiin siten, että kummankin osan oikeasta vastauksesta annettiin 3 pistettä. Sato oli hyvin heikko. Pyrkijöistä 16 % jätti kysymyksen kokonaan väliin. Yli kolmasosa vastauksista sisälsi vain yleisluontoisen toteamuksen, että "kuluu vähemmän tehoa". Tästä annettiin kuitenkin 1 piste. Osa vastauksista sisälsi lisäksi tarkastelun, josta kävi ilmi, että tehonkulutus johtimessa on  $I^2 R$  ja että kokonaisteho on  $UI$ . Tästä pääteltiin, että suurta jännitettä käytettäessä virta on pienempi, jolloin myös tehonhäviö on pienempi. Näin pitkälle päässeille annettiin 2–3 pistettä. Jos perustelut kuitenkin olivat epäselviä lopputuloksen oikeasta sanallisesta muodosta huolimatta, vähennettiin 1 piste.

Tehtävän b-osa karsi sitten varsin perusteellisesti. Hyötysuhteen merkitys oli tässä tapauksessa useimmille epäselvä. Miltei kaikki ne pyrkijät, jotka a-kohdan jälkeen käsitelivät b-kohtaa kvantitatiivisesti (eli n. 30 % koko määrästä), määrittivät jännitteen sellaiseksi, että koko tuotettu teho hukkuu siirtojohtimeen. Tällaisesta b-kohdan käsittelystä annettiin kuitenkin 1 piste, koska tehonhäviön perusfysiikka sinänsä oli suurin piirtein kunnossa vaikka toteutus olikin väärä. Ilahduttavaa oli, että varsinaisia laskuvirheitä esiintyi hyvin vähän. Vain 11 osanottajaa oivalsi, että perille pitää saada 97 % koko tuotetusta tehosta, jolloin korkeintaan 3 % saa hukkaa johtimeen.

Tämän kysymyksen vastausten taso panee taas kerran miettimään, mihin lukion fysiikan opetuksessa olisi pyrittävä. On hälyttävää, että näinkin keskeinen jokapäiväisen luonto-opin asia on onnistuttu piilottamaan oppilailta läpi koko 12-vuotisen koulun ajan jopa paremmalla hyötysuhteella kuin tehtäväsissä annettu varsin korkea luku. Tämä johtunee paljolti opetuksen ja käytettyjen oppikirjojen teoreettista lähestymistapaa korostavasta linjasta.

**Tehtävä 5.** Luonnollisen radioaktiivisuuden yhteydessä esiintyvät säteilyn lajit. a) Miten ne tunnistetaan kokeellisesti? b) Millaisiksi ydinprosesseiksi niiden synty tulkitaan ja millä perusteella? Tehtävä jakautuu karkeasti kolmeen osaan:

1. Säteilyn lajit: Piti tuntea  $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ -säteilyn luonne.

2. Lajien kokeellinen tunnistaminen: Tässä odotettiin, että säteilyn lajien erilainen käyttäytyminen magneettikentässä olisi tunnettu (historiallinen perustuntomerkki) ja tiedetty jotakin säteilyn ilmaisimien peruseräilyistä,  $\alpha$ -hiukkasten, elektronien ja  $\gamma$ -fotonien vuorovaikutuksista aineen kanssa ja esim. niihin perustuvista kyvyistä läpäistä ja ionisoida materiaa.

3. Ydinten hajoamisprosessit: Edellytettiin, että tunnettiin  $\alpha$ - ja  $\beta$ -hajoamisen perusreaktiot sekä  $\gamma$ -fotonien syntyminen niiden johtaessa tytärytimen

viritystilaan. Reaktioiden perusteluiksi odotettiin (alunperin kemiallisesti todennettua) tietoa prosesseissa tapahtuvista alkuaineiden muuttumisista toisiksi, tietoa  $\beta$ -spektrin jatkuvuudesta  $\alpha$ -spektrin viivaluonteen vastakohtana antineutriinon perusteluksi ja ehkä vielä mainintaa  $\gamma$ -fotonien samanaikaisesta esiintymisestä  $\alpha$ -hiukkasten tai elektronien kanssa (koinsidenssit) osoitukseksi niiden kiinteästä kytkeytymisestä  $\alpha$ - ja  $\beta$ -hajoamisiin.

Arvostelussa osia pidettiin samanarvoisina niiden erilaisesta laajuudesta huolimatta. Hyvästä osavastauksesta annettiin lisäpiste.

Vastaukset osoittavat, että teoreettiset perustiedot osataan kohtalaisesti. Säteilyn lajit tunnettiin hyvin, syntyprosessit myös melko hyvin, vaikka täysin odotusten mukaiset vastaukset olivatkin harvinaisia. Sen sijaan taas kerran on pakko todeta, että kokeellinen tietämys on luvattoman huonoa – siinä määrin heikkoja olivat vastaukset tehtävän toiseen osioon.

**Tehtävä 6.** Natriumatomin tietyn viritystilan purkauksessa perustilaan syntyy keltaista valoa, jonka aallonpituus on 589,0 nm. a) Laske syntyvän keltaisen valon taajuus. b) Kuinka suuri on Na-atomin energia tässä viritystilassa, kun sen energia perustilassa on  $-5,14 \text{ eV}$ ?

Alkeisvaraus =  $1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ As}$   
Planckin vakio =  $6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$   
Valon nopeus =  $2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

a) Aaltoliikkeen aallonpituutta  $\lambda$  taajuutta  $f$  ja (vaihe-)nopeutta  $c$  yhdistää peruslaki  $f\lambda = c$ , jonka perusteella natriumin keltaisen valon aallonpituudeksi saadaan

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 5,09 \cdot 10^{14} \text{ Hz} .$$

b) Planckin (ja Einsteinin) perushypoteesin mukaan valo, jonka taajuus on  $f$  syntyy ja imeytyy kvanteina, joiden energia on  $hf$  missä  $h$  on Planckin vakio, eli tässä tapauksessa

$$E = hf = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (5,09 \cdot 10^{14} \text{ 1/s})}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 2,10 \text{ eV} .$$

Atomin virituksen purkauksessa syntyy yksi kvantti, jonka energia on energian säilymislain perusteella sama kuin viritys- ja perustilan energioiden erotus

$$hf = E_x - E_0 \quad \Rightarrow \quad E_x = E_0 + hf .$$

Viritystilan energia tässä tehtävässä on siis

$$E_x = -5,14 \text{ eV} + 2,10 \text{ eV} = -3,04 \text{ eV} .$$

Tehtävä osoittautui verraten helpoksi. Tehtävän b-osalle annettiin suurempi paino. Viritystilan energian laskeminen tuotti yllättävän paljon ongelmia. Näyttää siltä, että stationaaristen tilojen energian negatiivisuus koettiin ongelmalliseksi.