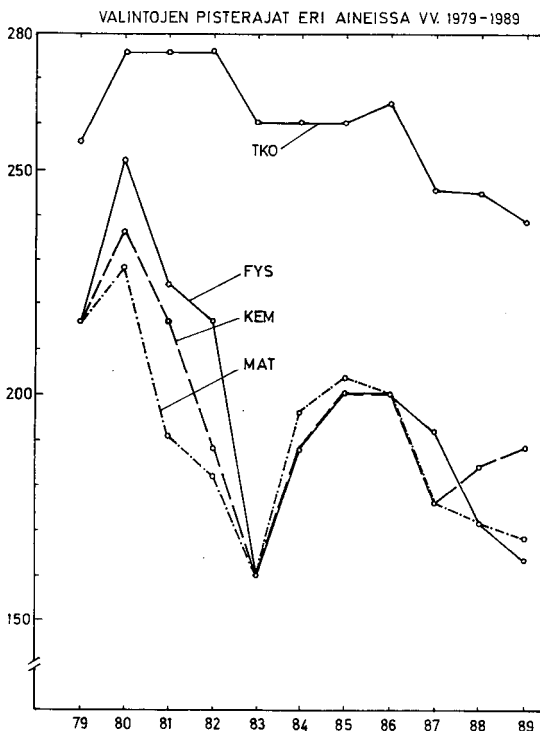


# Fysiikan valintakoe Helsingin yliopistossa v. 1989

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

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin pyrki vuonna 1989 kaikkiaan 2007 opiskelijaa, heistä 303 eli 15,1 % ensisijaisesti fysikaalisiin tieteisiin. Tämä merkitsee, että viime vuonna havaittu fysiikan suosion lasku on jatkunut muutaman väli vuoden kohoamisen jälkeen. Matemaattisten aineiden jäsentenvälisessä kisassa tämä ei näytä prosentuaalisesti yhtä pahalta kuin lukumääräisesti, koska pyrkijöiden kokonaismääräkin on vähentynyt.

Oheiset graafit esittävät fysiikan suosion vaihteluita vuosina 1979–89. Tutkimusten puutteessa muutosten syitä voidaan vain ar-

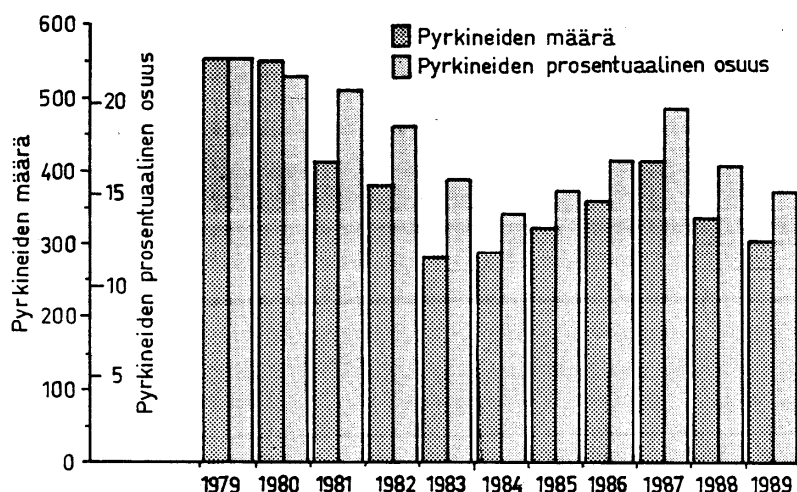


vailla. Ilmeistä kuitenkin on, ettei edellisen vuoden valintojen alhainen pisteraja havaittavasti houkuttele hakijoita seuraavana vuonna, niin kuin joskus on ehdotettu. Esitetyt rajojen vaihtelut heijastavat pääasiassa oppiaineiden suosiosuhteita kunakin vuonna erikseen. Rajojen yleinen aleneminen johtuu siitä, että hyväksytyjen lukumäärää on viime vuosina lisätty samalla kun pyrkijöiden kokonaismäärä on vähentynyt.

Fysiikan valintakokeeseen osallistui 311 pyrkijää. Kaikkiaan matemaattisiin aineisiin hyväksyttiin 1654 hakijaa eli 82,4 % kaikista hakijoista. Heistä 386 eli 23,3 % sai opinto-oikeuden fysikaalisten tieteiden koulutusohjelmassa. On selvää, että huomattavalla osalla fysiikka on ollut toissijaisena vaihtoehtona. Näitä lukuja tarkasteltaessa on samalla otettava huomioon, ettei valintakokeisiin osallistuminen ole pakollista. Valintojen pisterajoiksi saatiin fysiikassa 164, kemiassa 188, matemaatikassa 168 ja tietojenkäsittelyopissa 238/280.

Valintakokeen luonne noudatti aikaisempien vuosien linjaa. Kysymyksillä pyrittiin testaamaan laskutaidon asemesta fysikaalisten peruskäsitteiden ja -lakien tuntemusta, kykyä soveltaa niitä yksinkertaisissa tilanteissa ja jäsentää luonnonilmiöitä niiden avulla. Fysiikan luonnetta reaaliaineena korostettiin myös yhdellä selvällä nk. esseetehtävällä.

Kokeen keskiarvoksi tuli 19,6/36. Yksittäisten tehtävien vaikeusasteita voidaan vertailla oheisen taulukon perusteella. Sen antaman kuvan erotuskykyä tosin huonontaa se, että arvosteluperiaatteilla eri tehtävien vastausten tasoeroja on jonkin verran tasoitettu. Erityisesti "esseetehtävää" 3 on arvosteltu lievästi siihen nähden, mitä fysikaaliselta vastaukselta pitäisi voida edellyttää. Muuten on ilmeistä, että tehtävä 5 oli vastaajille vaikein. Tehtävien 4 ja 6 arvosanjakaumat painottuvat vahvasti asteikon ääripäihin. Tämä kielii selvästi siitä, että perinteisin tavoittein ja painotuksin lukion laajan oppimäärän opettaminen kokonaan on vaikeaa käytettävän tuntimäärän puitteissa.



Kaavakokoelman sisällyttäminen MAOL:n taulukkokirjaan ja sen hyväksyminen käytettäväksi ylioppilaskokeessa (Erkki Arminen, Dimensio 8/89, 48) ja ilmeisesti myös valintakokeissa antaa aiheen tarkastella näitäkin tehtäviä uudesta näkökulmasta. Näyttää kuitenkin siltä, ettei tällainen uusi glasnost olisi lainkaan vähentänyt näiden tehtävien käyttökelpoisuutta. Arvostelussa sen sijaan olisi voinut sen johdosta painottaa fysikaalisuutta paljonkin selvemmin. Ainakin kaavojen muistamisesta annettavat perus- tai jäännöspisteet olisi voitu jättää pois.

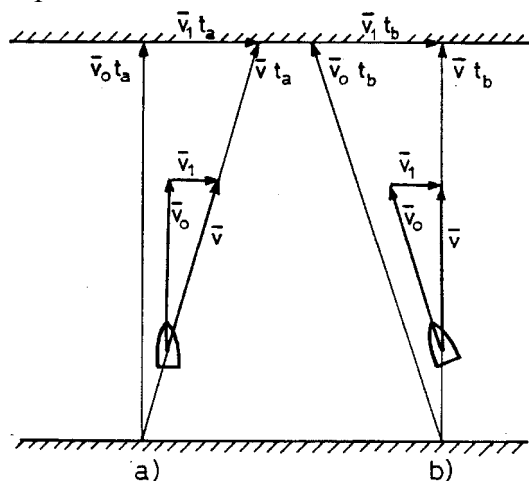
Uudistus epäilemättä johtaa yksinkertaisten laskennallisten probleemien vähenemiseen. Painopistettä voidaan tällöin siirtää mm. tehtävän 2 tapaiseen avoimempaan kysymyksenasetteluun. Varmaankin myös tehtävän 3 tapainen yksinkertainen "esseetyyppi" rehabilitoituu oikeaan arvoonsa. Tältä kannalta katsottuna uudistuksella on ainakin hyvät mahdollisuudet toimia fysiikan puolesta kaavatauttia vastaan.

Taulukko. Tehtävien prosenttiset arvosana-jakaumat ja keskiarvot.

p	–	0	1	2	3	4	5	6	<p>
No									
1	3	2	7	6	18	16	11	37	4,14
2	4	4	10	10	20	13	9	30	3,59
3	7	1	11	14	15	19	15	18	3,40
4	18	17	12	3	3	4	2	41	2,97
5	21	9	11	14	12	11	13	9	2,39
6	31	11	3	1	4	2	8	42	3,10

## TEHTÄVIEN KÄSITTELY JA ARVOSTELU

**Tehtävä 1.** Joen leveys on 160 m ja virran nopeus siinä 2,0 m/s. Joki ylitetään veneellä, jonka nopeus virrattomassa vedessä on 7,0 m/s. a) Mihin kohtaan vastarantaa vene osuu, kun veneen suhteellinen nopeus veden suhteen on koko ajan rantaviivaa vastaan kohtisuora, ja kuinka kauan ylitys kestää? b) Kuinka kauan ylitys kestää, kun vene ohjataan kohtisuoraan joen poikki?



Veneen kulkunopeus eli sen nopeus rannan suhteen on vektorisumma  $v = v_0 + v_1$ , missä  $v_0$  on veneen oma nopeus eli nopeus veden suhteen ja  $v_1$  veden nopeus rannan suhteen. Edellinen on itseisarvoltaan 7,0 m/s, jälkimmäinen on rantaviivan suuntainen ja itseisarvoltaan 2,0 m/s.

a) Vene on suunnattu kohtisuoraan rantaviivaa vastaan, joten  $v_0 \perp v_1$ . Joen ylitykseen kuuluu aika

$$t_a = \frac{L}{v_0} = \frac{160 \text{ m}}{7,0 \text{ m/s}} \approx 23 \text{ s}.$$

Samalla vene ajautuu alavirtaan matkan

$$x = v_1 t_a = \frac{v_1}{v_0} \cdot L = \frac{2,0 \text{ m/s}}{7,0 \text{ m/s}} \cdot (160 \text{ m}) \approx 46 \text{ m}$$

b) Vene on suunnattu vinosti ylävirtaan siten, että se kulkee kohtisuoraan joen poikki,  $v \perp v_1$ . Suorakulmaisesta vektorikolmiosta saadaan veneen kulkunopeudeksi

$$v = \sqrt{v_0^2 - v_1^2} = \sqrt{7,0^2 - 2,0^2} \text{ m/s} \approx 6,71 \text{ m/s},$$

joten joen ylitys kestää nyt ajan

$$t_b = \frac{L}{v} = \frac{160 \text{ m}}{6,71 \text{ m/s}} \approx 24 \text{ s}.$$

Tehtävä testaa nopeuden vektoriluonteen ja suhteellisen nopeuden käsitteen ymmärtämistä. Tehtävä oli odotetusti helpoin, ja sen keskiarvo 4,2 osoittaa kohtalaisen hyvää hallintaa. Arvostelussa tehtävä pisteytettiin siten, että helpommasta, a-kohdasta annettiin 4, b-kohdasta 2 pistettä. Vaikeuksia esiintyi lähinnä tilanteen hahmottamisessa. Verrattain monessa vastauksessa a- ja b-kohdan tilanteet olivat vaihtuneet.

**Tehtävä 2.** a) Miten jarrutusmatka muuttuu, kun auton nopeus kaksinkertaistuu? b) Ovatko kuuauton jarrutusmatkat Kuussa olennaisesti erilaiset kuin Maassa Kuun pintaa jäljittelevällä koealueella? Jos ne ovat, miten ne poikkeavat? Painovoiman kiihtyvyyden Kuussa on n. 1/6 Maan painovoiman kiihtyvyydestä. Perustele vastauksesi toteamalla, mihin fysiikan lakeihin ja tilannetta koskeviin oletuksiin vastauksesi perustuu.

a) Tehtävää voidaan tarkastella yksinkertaisin energiaperiaatteen valossa. Sen mukaan kappaleen liike-energian muutos on aina yhtä suuri kuin kappaleeseen vaikuttavien voimien tekemä työ,  $E_k = W$ . Jarrutustilanteessa tämä merkitsee, että auton koko liike-energia  $E_k$  kuluu jarruttavia voimia vastaan tehtyyn työhön. Jos jarruttava voima (voimien

summa) on vakio eli riippumaton auton nopeudesta ja paikasta jarrutusalueella, tätä esittää yksinkertainen yhtälö

$$\frac{1}{2} m v^2 = F s,$$

missä  $m$  ja  $v$  ovat auton massa ja alkunopeus,  $F$  ja  $s$  jarruttavan voiman itseisarvo ja jarrutusmatka. Jarrutusmatka on tällöin verrannollinen alkunopeuden neliöön,  $s \sim v^2$ . Jos alkunopeus kaksinkertaistuu, jarrutusmatka tulee nelinkertaiseksi. Perusoletus,  $F = \text{vakio}$ , edellyttää, että jarrutusalue on suora, tasainen ja tasa-aineinen ja että jarrutus on aina "samanlainen ja tasainen". Tällöin alustan ja pyörien välinen kitka noudattaa likimäärin mallia, joka esittää kitkavoimaa  $F_\mu$  kahdella kitkakertoimella. Pyörien liukuessa kitka on liukukitkaa,  $|F_\mu| = \mu N$ , niiden vieressä se on lepokitkaa,  $|F_\mu| \leq \mu_0 N$ ,  $\mu < \mu_0$ , missä  $N$  on alustan ja auton välinen tukivoima. "Tasainen ja samanlainen" jarrutus voi käytännössä merkitä lähinnä lukkojarrutusta, jolloin kitka on liukukitkaa. Nykyaikaisia nk. lukkiutumattomia jarruja käytettäessä se voi merkitä myös ideaalijarrutusta, jossa kitka on lepokitkaa ja koko ajan hyvin lähellä tämän ylärajan.

Oletus merkitsee myös, että ilmanvastus jätetään huomioon ottamatta. Se riippuu voimakkaasti nopeudesta ja on auton tavallisissakin maantienopeuksissa jo varsin huomattava. Sen huomioon ottaminen pienentää jarrutusmatkan ennustetta sitä enemmän, mitä suurempi on alkunopeus.

On luonnollista rajoittaa tarkastelu vaakasuoralle alustalle, jolloin tukivoima tasapainottaa auton painon,  $N = mg$ . Tällöin jarrutusmatkalle lukko- ja ideaalijarrutuksessa saadaan esitetyin edellytyksin yksinkertaiset ennustelausekkeet:

$$s = \frac{v^2}{2\mu g} \quad \text{ja} \quad s = \frac{v^2}{2\mu_0 g}.$$

(Alustan kaltevuus ei vaikuta tehdyn oletuksen pätevyYTEEN. Kaltevallakin tasolla tukivoima on vakio ja jarruttavaksi (tai jarrutusta heikentäväksi) voimaksi tulee lisäksi auton painon alustan suuntainen komponentti, joka on vakio.)

b) Siirryttäessä Maasta Kuuhun auton hitaus (massa) pysyy ennallaan, mutta sen paino pienenee noin kuudesosaan ja ilmanvastus jää pois. Esitetyt tarkastelut ja ennustelausekkeet

pätevät sellaisinaan, kun otetaan huomioon, että painovoiman kiihtyvyys Kuussa on  $g_K = g/6$ . Niiden perusteella jarrutusmatkat Kuussa siis ovat noin kuusinkertaiset.

Tehtävänasettelun avoimuudesta huolimatta vastauksissa painottuivat enemmän kaavat kuin tilanteen fysikaalinen tarkastelu. Arvosteltaessa vastauksia oli pakko katsella läpi sormien. Täysiin pisteisiin kuitenkin vaadittiin fysikaalisia perusteluita, esimerkiksi "autokouluissa opetettiin" ei tällöin kelvannut.

Kun dynamiikan peruslaki ja energiaperiaate ovat varsinaisesti ainoat koulussa opetetut mekaniikan "asiat", on jossakin määrin outoa, että niiden välinen työnjako on niin monille epäselvä. Tehtävä koskee mitä ilmeisimmin voiman vaikutusta matkan funktiona, jota energiaperiaate esittää. Tällöin on epätarkoituksenmukaista käyttää dynamiikan peruslakia (impulssiperiaatetta), joka esittää voiman vaikutusta ajan funktiona, sillä tällöin energiaperiaate joudutaan tavallaan johtamaan uudelleen tarkasteltavassa erityistapauksessa. Laskutoimitukset ja niihin liittyvät virhemahdollisuudet moninkertaistuvat.

Arvostelussa a- ja b-kohtaa pidettiin saman arvoisina, b-kohtaan vastattiin vähän huonommin. Vastaukset osoittivat jälleen kerran, että voiman käsite hallitaan perin heikosti. Yllättävää on, etteivät kaikki tunteneet kitkan yksinkertaista perusmalliakaan.

---

**Tehtävä 3.** Aineen olomuodot ja olomuodon muutokset.

Tämä oli kokeen ainoa varsinainen "essee-tehtävä". Sitä koskeva fysikaalinen perustietämys kuuluu yleissivistykseen ja siihen liittyvää aineistoa on lukion oppikirjoissa varsin runsaasti. Tämän tyyppiset tehtävät ovat oikeastaan kaikkein vaativimpia. Niissä vastaaja osoittaa selvimmin kykynsä hahmottaa luontoa fysiikan käsitteiden, lakien ja teorioiden avulla. Niistä näkyy, millaisen kuvan vastaaja on saanut fysikaalisen tiedon luonteesta ja sen käsitteenmuodostuksen perusteista. Niissä myös fysikaalisen ajattelun puute näkyy täysin alastomana, sitä ei voi verhoata laskeskelun ja kaavojen viikunanlehteen. Tällaisen tehtävän vastauksia lukiessaan joutuu ihmettelemään sitä, miten harvoille lukion fysiikanopetus

antaa valmiutta jäsentää luonnonilmiöitä koskevia havaintoja ja tietoja – ja kuitenkin tämän pitäisi olla fysiikan kiistaton päätehtävä.

Varsinaisesti vastauksissa ei esiintynyt selviä virheitä, mutta esitystavassa oli fysikaaliselta kannalta paljon toivomisen varaa. Arvostelussa pisteitä jouduttiin jakamaan lähinnä sen mukaan, miten hyvin keskeisimmät asiat oli muistettu ottaa mukaan, kiinnittämättä kovin paljon huomiota esitystavan fysikaalisuuteen. Murheellisen paljon oli pelkkiä käsitelueteluita tai -kaavioita ilman viittaustakaan mainittujen käsitteiden fysikaaliseen perustaan ja merkitykseen. Niistä annettiin vain yksi piste.

Tehtävän luonteeseen kuuluu, ettei yksikäsitteistä mallivastausta voi antaa. Sen hyvän käsittelyn tulisi kuitenkin antaa kuva olomuotoja ja olomuodonmuutoksia koskevasta fysikaalisesta käsitteenmuodostuksesta. Tähän kuuluu niille ominaisten havaittavien *perusominaisuuksien ja -ilmiöiden* esittely ja luokittelu sekä näitä vastaavien ja esittävien *suureiden ja lakien* toteaminen. Tällöin keskeisimpiä ovat mekaaniset ja termiset ominaisuudet, suureet ja lait, joiden avulla olomuodot ja niiden muutokset tunnistetaan, ja olisi suotavaa tuoda lyhyesti esiin, miten niitä voidaan *kokeellisesti* mitata, tutkia ja todentaa.

Vastaukseen kuuluu myös *teoreettinen* puoli, ominaisuuksien ja lakien *selittäminen* ainakin kvalitatiivisesti sekä makroskooppisen *jatkuvan aineen* mallin että *atomaarisen*, aineen rakenteeseen ja atomien tai molekyylien väliin vuorovaikutuksiin perustuvan, tarkastelun avulla.

On luonnollisesti välttämätöntä esitellä tällä tavoin kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen olomuoto, niiden tilanmuuttujien luonne ja riippuvuus lämpötilasta ja paineesta (ts. eri olomuodoille ominaisten tilanyhtälöiden luonne), niiden väliset muutokset, latenttilämmöt, muutospiisteet ja niiden riippuvuudet lämpötilasta ja paineesta (myös kolmoispiste ja kriittinen piste). Hyvään vastaukseen voidaan liittää, vaikkapa vain mainintana, myös näiden käsitteellinen *yleistyminen ja täsmentyminen* termodynaamisen systeemin faaseiksi ja niissä esiintyviksi faasimuutoksiksi.

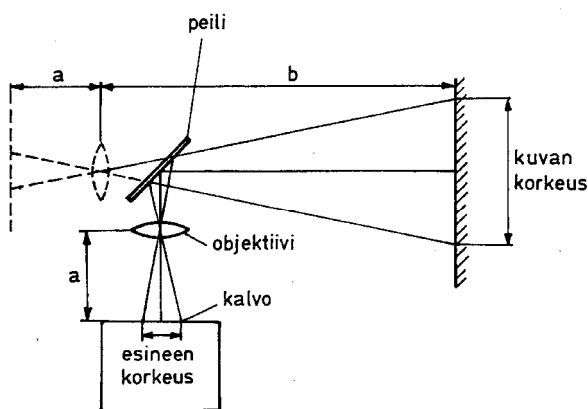
On myös hyvä tarkastella eri olomuotojen, olomuodonmuutosten ja niitä koskevien lakien *esiintymistä ja merkitystä* luonnossa ja *soveluksissa*. (Esimerkiksi Maan materia, alkua-

neet, maailmankaikkeuden aine, veden olo-  
muotojen ja olomuodonmuutosten erityismerkitys, jäähdystekniikka, lämpötilanmäärityksen kiintopisteet ym.).

Fysikaalisen "esseen" rakenne voi vaihdella paljon, ja on suuressa määrin valinnanvaraista, minkälaisia yksityiskohtia tuodaan esille. Ne elementit, joista hyvä vastaus rakentuu, voidaan kaaviomaisesti tiivistää otsikoihin: (1) *ilmiöt*, (2) *suureet*, (3) *lait*, (4) *teoriat*, (5) *täsmennykset ja yleistyks*et sekä (6) *sovellukset*. Tällaisen perusjäsentelyn avulla vähemmänkin kirjallisia oppilaita voidaan harjoittaa rakentamaan fysikaalisesti mielekkäitä ja ehjiä "esseevastauksia", samalla kun oppilaita autetaan hahmottamaan fysikaalisen tiedon rakennetta ja luonnetta.

**Tehtävä 4.** Piirtoheittimen objektiivin polttoväli on 300 mm. Sillä halutaan heijastaa seinälle kuva, jossa kalvon 3,2 mm korkeat kirjaimet näkyvät 48 mm:n korkuisina. a) Kuinka kauas seinästä piirtoheittimen objektiivin pitää sijoittaa? b) Kuinka pitkäksi objektiivin etäisyys kalvosta pitää säätää?

Tehtävässä on ymmärrettävä, että piirtoheittimen toiminta perustuu kuvan muodostumiseen kojeen objektiivissa. Sitä voidaan siten käsitellä yhden linssin kuvausyhtälön  $1/a + 1/b = 1/f$  avulla, missä  $a$ ,  $b$  ja  $f$  ovat kalvon ja kuvan etäisyydet objektiivista sekä objektiivin polttoväli. Etäisyydet on mitattava pääakselin kautta kulkevan säteen reittiä pit-



kin. Peili, joka heijastaa (muuten kattoon syntyvän) kuvan seinälle on kuitenkin niin lähellä objektiivia, että kuvan etäisyyttä  $b$  voidaan pitää samalla linssin ja seinän välimatkana.

### Viivasuurennus

$G = (\text{kuvan korkeus})/(\text{esineen korkeus})$  yhden linssin kuvauksessa noudattaa lakia  $G = b/a$ , joka on helppo johtaakin, ellei sitä satu muistamaan. Kun tämä sijoitetaan kuvausyhtälöön, saadaan  $G/b + 1/b = 1/f$ , josta voidaan ratkaista tarvittavat

a) objektiivin etäisyys seinästä

$$b = (G + 1)f = \left(\frac{44}{3,2} + 1\right) \cdot (300 \text{ mm}) \approx 4,4 \text{ m}$$

b) objektiivin etäisyys kalvosta

$$a = \frac{b}{G} = \left(1 + \frac{1}{G}\right)f \\ = \left(1 + \frac{3,2}{44}\right) \cdot (300 \text{ mm}) \approx 32 \text{ cm} .$$

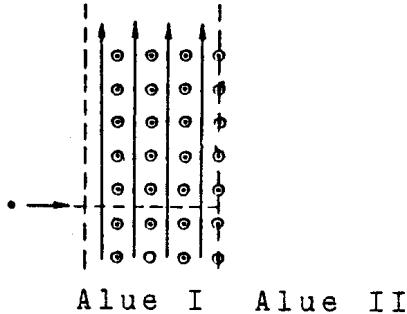
Tehtävä on varsin suoraviivainen, ja noin 40 % osanottajista ratkaisikin sen täysin oikein. Sen lisäksi 10 %:ssa vastauksista periaate oli oikein mutta muodollisessa käsittelyssä oli virheitä. Laskuvirheistä vähennettiin 0...2 pistettä riippuen niiden vakavuudesta. Vaikka virhe olisi laskuopillisesti pelkkä alkeellinen lipsahdus, se on vakava, jos tulos sen johdosta on älytön eikä vastaaja huomaa tätä. Noin 18 % oli jättänyt tämän tehtävän kokonaan käsittelemättä.

Noin 10 %:ssa vastauksia oli asetettu suoraan  $a = f$  ja  $b = Gf$  käyttämättä kuvausyhtälöä. Ne palkittiin 1 pisteellä, koska niihin kätkeytyy oikea tieto viivasuurennuksesta, vaikka varsinaisesta kuvanmuodostuksesta ei ole hajuakaan. Nämä yhtälöt johtavat myös numeerisesti tolkuttomiin tuloksiin. Esimerkiksi tapauksessa  $G = 1$  saataisiin  $a = b = f$ , kun todellisessa kuvauksessa on  $a = b = 2f$ .

Vajaat 10 % vastaajista oli muistanut ulkoa kuvausyhtälön ja viivasuurennuksen lain ilmaisematta mitenkään niiden yhteyttä tehtävän tilanteeseen ja siten pääsemättä lainkaan eteenpäin. Heillekin lahjoitettiin 1 piste. Pelkkä kuvausyhtälön muistaminen ei tuottanut pisteitä.

Vastaajissa oli vielä noin 10 % niitä, joilla oli ehdottaa jotkin  $a$ :t,  $b$ :t ja  $f$ :t mutta joille koko optisen kuvauksen ilmiömaailma oli vieras. Pitäisikö jokin sellainen hyödyllinen tempu kuin naapurin kengännauhan kärehtäminen "polttolasilla" tehdä pakolliseksi harjoitustyöksi.

**Tehtävä 5.** Kuvan alueessa I on homogeeninen sähkökenttä, jonka suunta on kohti paperin ylälaitaa, sekä homogeeninen magneettikenttä, joka suuntautuu kohtisuoraan paperista ylöspäin. Negatiivinen ioni kulkee tasaisella nopeudella vaakasuoraan alueen I läpi alueeseen II.



a) Mitkä voimat vaikuttavat ioniin alueessa I, ja mitä voit päätellä siitä, että ionin liike on tasaista?

b) Miten ioni liikkuu alueessa II, jos alueen I magneettikenttä jatkuu sinne mutta sähkökenttä ei?

c) Miten ioni liikkuu alueessa II, jos alueen I sähkökenttä jatkuu sinne mutta magneettikenttä ei?

d) Miten ioni käyttäytyy, jos molemmat kentät rajoittuvat vain alueeseen I?

a) Ioniin vaikuttaa sähköstaattinen voima  $F_E$  ja magnetostaattinen voima  $F_B$ . Niitä koskevien peruslakien mukaan edellinen on verrannollinen ionin varaukseen  $q$  ja vaikuttaa kentän suuntaan, tässä, koska varaus on negatiivinen, kentän vastaiseen suuntaan eli kohti paperin alalaitaa, jälkimmäinen on verrannollinen varauksen lisäksi myös ionin nopeuden magneettikenttää vastaan kohtisuoraan komponenttiin, tässä siis nopeuteen, ja vaikuttaa kohtisuoraan sekä nopeutta että kenttää vastaan siten, että  $qv$ , kentän suunta ja  $F_B$  muodostavat oikeakätisen kolmikon, tässä siis kohti paperin ylälaitaa eli päinvastaiseen suuntaan kuin sähköstaattinen voima.

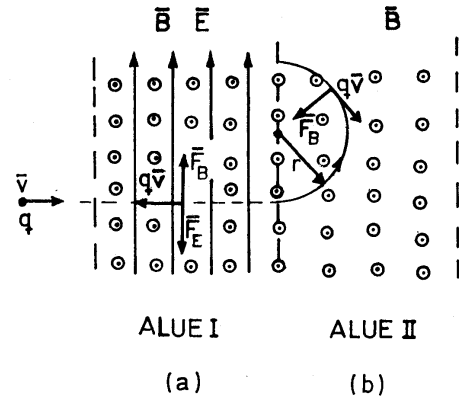
Koska ionin liike on tasaista, voimat ovat yhtä suuret ja kumoavat toisensa,  $F_E + F_B = 0$ .

Sähkökentän voimakkuuden  $E$  ja magneettivuon tiheyden  $B$  määritelmien perusteella voimille voidaan kirjoittaa lausekkeet

$$F_E = qE \text{ ja } F_B = qvB$$

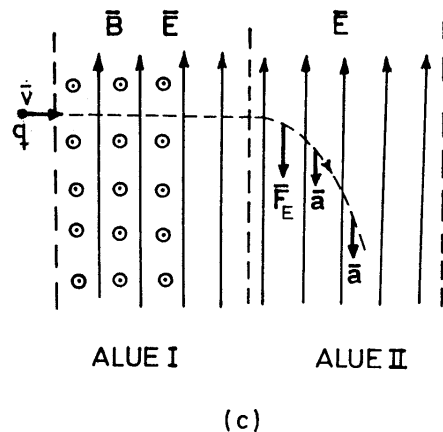
(vektoreina  $F_E = qE$  ja  $F_B = qv \times B$ ).

Niiden yhtäsuuruudesta seuraa ionin nopeudelle lauseke  $v = E/B$ .

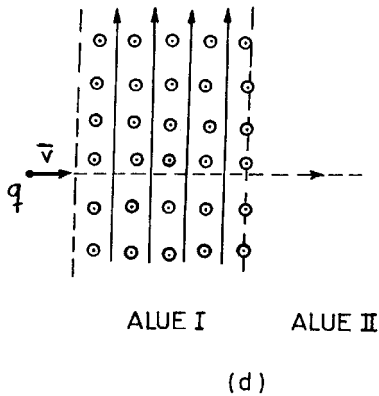


b) Alueessa II ioniin vaikuttaa vain magneettinen voima. Koska ionin alkunopeus ja siihen vaikuttava voima ovat kenttää vastaan kohtisuorassa, ionin kentän suuntainen komponentti pysyy nollana ja se liikkuu kentän normaalitasossa (paperin tasossa). Koska magneettinen voima on aina kohtisuorassa nopeutta vastaan, se ei vaikuta ionin ratanopeuteen ja pysyy siten homogeenisessa kentässä suuruudeltaan muuttumattomana. Ioni joutuu näin tasaiseen ympyräliikkeeseen ja kiertää alueessa II puoliympyrän. Käyttämällä normaalikiiketyvyyden lauseketta  $v^2/r$  ionin Newtonin II lain mukainen liikeyhtälö saadaan muotoon  $mv^2/r = qvB$ , josta radan säteeksi saadaan  $r = mv/(qB)$ .

c) Ioniin vaikuttaa alueessa II nyt vain sähköinen voima. Ionin liikeyhtälö on  $ma = qE$ . Tämä ilmaisee, että sen liike on tasaisesti kiihtyvää kentän vastaisella kiihtyvyydellä  $a = (q/m)E$ . Ioni liikkuu nytkin paperin tasossa, ja sen ratakäyrä alueessa II on alaspäin aukeava paraabeli.



d) Koska ioniin ei nyt vaikuta mitään voimaa, sen liiketila ei voi muuttua. Se jatkaa tasaista suoraviivaista liikettään alkuperäisellä nopeudellaan.



Arvostelussa kohdat a ja d olivat yhteensä kolmen pisteen arvoiset, samoin kohdat b ja c yhdessä. Pienet puutteet sallittiin veloitukselta, jos kaikki esitetty oli oikein. Tavallisin puute oli, että b- ja c-kohdan ratojen sanottiin alkavan kaartua ylös- ja alaspäin selvittämättä tarkemmin liikkeen luonnetta ja ratakäyrän muotoa.

Hyvin yleistä oli, että voimien suunnat oli päätelty väärin. Hämmästyttävän monet jouduivat ymmälle d-kohdan perin yksinkertaisessa tilanteessa. Saatettiin vastata esimerkiksi, että ioni "lähtee mihin tahansa" tai "ei pääse ollenkaan alueeseen II". Tämäkin osoittaa, ettei mekaniikan peruskäsitteiden ja -lakien, hitauden, voiman, jatkavuuden lain ja dynamiikan peruslain merkityksen hahmottamiseen kiinnitetä riittävästi huomiota. Eikö oivalleta, että mekaniikan perusteet ovat koko fysiikan perusta, jota vailla fysiikka surkastuu pussilliseksi ulkoa opittavia irtotiedon sirpaleita?

**Tehtävä 6.** GOMOS-satelliitilla, jonka suunnitteluun suomalaisetkin fyysikot osallistuvat, on tarkoitus tutkia ilmakehän otsonia, happea ja vesihöyryä. Tutkimuksessa havaitaan tähdistä tulevan valon absorboitumusta ilmakehässä näille aineille ominaisilla aallonpituuksilla 255 nm, 310 nm, 550 nm (otsoni), 760 nm (happi) ja 930 nm (vesihöyry).

a) Mitä mainituista aallonpituuksista voidaan tutkia, jos käytettävä ilmaisimena pystyy ilmaisemaan fotonit, joiden energia on välillä 1,1...3,2 eV?

b) Miten laaja ilmaisimen energia-alueen pitäisi olla, jotta tutkimus voitaisiin toteuttaa suunnitellulla tavalla?

$$\text{Alkeisvaraus} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ As,}$$

$$\text{Planckin vakio} = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js,}$$

$$\text{Valonnopeus} = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Tehtävän ymmärtämiseksi on tiedettävä, että – valon emittoituminen ja absorboituminen ovat kvanttiprosesseja, joissa syntyy ja häviää yksi fotonikerrallaan,

– valon taajuus  $f$  määrää sen fotonien energian  $E$  Planckin lain  $E = hf$  mukaisesti, missä  $h$  on Planckin vakio,

– valon taajuus ja aallonpituus toteuttavat (perusmuotoisen) aaltoliikkeen yleisen perusrelaation  $f\lambda = c$ , missä  $c$  on valonnopeus (aaltoliikkeen vaihenopeus), joten fotonin energia voidaan ilmaista myös muodossa  $E = hc/\lambda$ , ja – elektronivoltti on energia, jonka elektroni tai muu hiukkanen, jolla on yhden alkeisvarauksen  $e$  suuruinen varaus, saa kiihdytettäessä 1 voltin jännitteellä, eli  $eV = e \cdot (1 \text{ V}) = e \text{ J/(As)}$ .

Näiden perusteella havaittaviksi tarkoitettuja aallonpituuksia vastaavien fotonien energiat voidaan määrittää elektronivolteina:

$\lambda/\text{nm}$	255	310	550	760	930
$E/\text{eV}$	4,86	4,00	2,25	1,63	1,33

Ilmaisimena, jonka toiminta-alue on 1,1...3,2 eV siis ilmaisee kolme viimeistä mutta ei kahta ensimmäistä. Jotta kaikki aallonpituudet voitaisiin havaita, ilmaisimen energia-alueen ylärajan on oltava suurempi kuin 4,86 eV, alarajan pienempi kuin 1,33 eV.

Oikeiksi vastauksiksi on hyväksytty myös alarajat 1,3 eV ja 1,1 eV sekä yläraja 4,9 eV. Vain toisen rajan ilmoittamisesta on sakotettu 1 piste. Pienehköistä laskuvirheistä, joita on tehty energioita ja aallonpituuksia laskettaessa, on vähennetty 0...2 pistettä.

Täydetyt pisteet sai noin 40 % vastaajista. Pis-teasteikon alapäässä on 11 % nollia ja 2 % ykkösiä. Yksi piste on tavallisesti ansaittu sillä, että on muistettu relaatio  $E = hc/\lambda$  mutta ei ole osattu muuta. Jotkut laskivat energiat oikein, mutta tekivät niistä vääriä johtopäätöksiä; vähennys 2 p.