Kaarle Kurki-Suonio:

FYSIIKAN VALINTAKOKEET HELSINGIN YLIOPISTOSSA SYKSYLLÄ 1972

Helsingin yliopistoon eksaktien luonnontieteiden opintosuunnalle pyrkivien ylioppilaiden määrä kasvaa jatkuvasti. Valintakokeisiin ilmoittautui tänä vuonna 2372 pyrkijää (viimevuotinen luku +214). Ilman koetta hyväksyttäviä oli lisäksi 507 (+72). Kemian ja fysiikan kokeisiin ilmoittautuneiden luvuissa tapahtui odottamaton muutos: kemia 996 (–119), fysiikka 1995 (+302). Edellisten viiden vuoden aikana näiden lukujen suhde on ollut keskimäärin loivasti nouseva pysytellen välillä 0,62 – 0,70, kun se nyt oli vain 0,41. Ainoa tiedossa oleva potentiaalinen syy on vaadittavaan suomenkieliseen kemian kurssiin tehty pieni korjaus. Jos tämä todella on ainoa selitys, on reagoinnin herkkyys yllättävä.

Osanottoprosentit pysyttelivät entisissä alhaisissa arvoissaan, fysiikassa 57 %. Tämä osoittaa selvästi valintojen valtakunnallisen koordinoinnin tarpeen, varsinkin, kun säännöllisesti lähes puolet (viime vuonna 43 %) hyväksytyistä jää saapumatta osastoon. Organisaation tyhjäkäynnistä riippumattakin olisi aiheellista harkita uudelleen koko valintakoejärjestelmän tarpeellisuutta. Järjestelyjen laajuuteen, kustannuksiin ja asianosaisille aiheutettuun työmäärään nähden kokeiden merkitys on pieni, sillä ne tuskin antavat uutta informaatiota ylioppilaskirjoitukset juuri suorittaneista pyrkijöistä.

Fysiikan kokeissa oli jälleen neljä tehtäväsarjaa, joissa tehtävien järjestys ja lukuarvot olivat erilaiset. A-sarjan tehtävät olivat seuraavat:

TEHTÄVÄT

1. Auto saavuttaa vaakasuoralla tiellä levosta lähtien tasaisesti kiihtyen 6,5 sekunnissa nopeuden 90 km/h. a) Mikä on auton kiihtyvyys? b) Kuinka pitkän matkan auto kulkee tämän kiihdytyksen aikana? c) Auton massa on 850 kg, sen akselien välinen etäisyys 2,5 m ja sen painopiste symmetrisesti akselien välissä 0,50 m:n korkeudella. Laske auton kumpaankin akseliin kohdistuvan tukivoiman suuruus kiihdytyksen aikana. Piirrä selvä kuva, johon on merkitty kaikki autoon vaikuttavat voimat (auto ja kuljettaja katsotaan yhdeksi kappaleeksi).

2. Keihäänheittokilpailussa käytetty teräsmitta lojui ennen kilpailua auringonpaisteessa ja sen lämpötila ensimmäisiä heittoja mitattaessa oli 45 °C. Kesken kilpailun tuli ukkossade, sää viileni, ja mitan lämpötila oli kilpailun loputtua enää 12 °C. a) Kuinka pitkäksi osoittautui kilpailun alussa mitattu 94,10 m:n maailmanennätysheitto kilpailun jälkeen suoritetussa tarkistusmittauksessa, kun teräksen lämpölaajenemiskerroin on $36 \cdot 10^{-6}$ 1/°C? h) Mikä oli heiton todellinen pituus, kun mitta näyttää oikein 20 °C:ssa?

3. a) Monokromaattisen valon heijastuessa kahden väliaineen välisestä rajapinnasta havaittiin heijastuskulmalla 51,6° täysin lineaarisesti polaroitunutta valoa. Mitä voidaan sanoa väliaineiden suhteellisesta taitekertoimesta? b) Miten heijastunut valo värähtelee? Piirrä kuvio. c) Koska taitekerroin riippuu valon aallonpituudesta, tämä päätettiin mitata hilaspektrometrillä. ensimmäisen kertaluvun spektrin taipumiskulmaksi mitattiin 32,2° Spektrometri kalibroitiin keltaisen Na-viivan λ = 5890 Å avulla, jolloin ensimmäisen kertaluvun spektrin taipumiskulma oli 31,0°. Mikä oli tuntemattoman säteilyn aallonpituus? (sin 31,0° = 0,5150, sin 51,6° = 0,7837, sin 32,2° = 0,5329)

4. Sähkölampun tehoksi ilmoitetaan 60 W 240 V:n jännitteellä. Oletetaan, että lampun vastus on virranvoimakkuudesta riippumaton. a) Mikä on tämän lampun teho 220 V:n jännitteellä? Kuinka suuren tehon kuluttaa kaksi tällaista lamppua kytkettynä 220 V:n jännitteeseen b) rinnan, c) sarjaan?

5. Positronin ja elektronin kohdatessa syntyy kaksi γ-kvanttia. Laske
a) kvantin energia b) γ-säteilyn aallonpituus. c) Millä tavalla hiukkasten liike-energia vaikut taa tuloksiin?

6. Ilmoita seuraavien suureiden yksiköt SI-järjestelmän perusyksiköiden (m, kg, s, A) avulla lausuttuna: a) Voima, b) gravitaatiovakio, c) teho, d) kapasitanssi, e) magneettivuon tiheys. Ilmaise myös lyhyesti, mistä olet päätellyt vastauksen.

g = 9,81 m/s^2, m_e = $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg, e = $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C
h = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js, c = $3{,}00 \cdot 10^8$ m/s

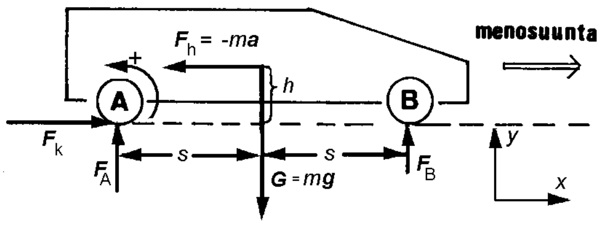
RATKAISUT:

Tehtävä 1. Auto on ajan t = 6,5 s tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, jonka alkunopeus on 0 ja loppunopeus v = 90 km/h = 25 m/s.

$$\text{a) Sen kiihtyvyys on siten} \quad a = \frac{v}{t} \approx \underline{3{,}85\ \mathrm{ms}^{-2}}$$

$$\text{b) ja se ehtii kulkea matkan} \quad s = \frac{at^2}{2} = \frac{vt}{2} \approx \underline{81\ \mathrm{m}.}$$

c) Siihen vaikuttavat voimat
– *painovoima* $\boldsymbol{G} = m\boldsymbol{g}$, G = (850 kg)·((9,81 m/s^2) ≈ 8340 N alaspäin (painopisteeseen),
– tien pinnan *tukivoimat* $\boldsymbol{F}_\mathrm{B}$ etu- ja $\boldsymbol{F}_\mathrm{A}$ taka-akseliin ylöspäin,
– autoa kiihdyttävä tien ja pyörien välinen *kitka* $\boldsymbol{F}_\mathrm{k}$ eteenpäin, pyörien kosketuskohdissa (takavetoisella autolla taka-, etuvetoisella etupyörien. Jakautuminen pyörien kesken ei kuitenkaan vaikuta ratkaisuun).
– ilmanvastus ja vierintävastus voidaan jättää tehtävässä huomiotta. (Ne vaikuttavat liikesuuntaa vastaa, ilman vastuksen vaikutuspiste on epämääräinen.)



Tehtävä voidaan käsitellä statiikan probleemana auton mukana kiihtyvässä koordinaatistossa, jos todellisten voimien lisäksi merkitään painopisteeseen vaikuttamaan *hitausvoima* $\boldsymbol{F}_\mathrm{h} = -m\boldsymbol{a}$. Etenemisen ja pyörimisen liikeyhtälöistä tulee tällöin tasapainoehdot $\sum \boldsymbol{F} = 0$, $\sum \boldsymbol{M}_\mathrm{A}$ eli komponenttimuodossa

$$\sum F_x = F_\mathrm{k} - ma = 0)\ ; \quad \sum F_y = F_1 + F_2 - mg = 0 \ ; \quad \sum M_\mathrm{A} = 2sF_\mathrm{B} - smg + hma = 0 \quad \Rightarrow$$

$$F_\mathrm{B} = \frac{mg}{2} - \frac{h}{2s}ma = 4170\ \mathrm{N} - \frac{0{,}5}{2{,}5}\cdot(850\ \mathrm{kg})\cdot(9{,}81\ \mathrm{m/s^2}) \approx \underline{3520\ \mathrm{N}}$$

$$F_\mathrm{A} = \frac{mg}{2} + \frac{h}{2s}ma = 4170\ \mathrm{N} + \frac{0{,}5}{2{,}5}\cdot(850\ \mathrm{kg})\cdot(9{,}81\ \mathrm{m/s^2}) \approx \underline{4820\ \mathrm{N}}\,,$$

Tehtävä 2. Mittanauhan metri 1 m' riippuu lämpötilasta:

Lämpötilassa t_0 = 20 °C mittanauha näyttä oikein eli 1 m' = 1 m.
Pituuden lämpötilakertoimen α määritelmän mukaan on lämpötilassa $t = t_0 + \Delta t$

$$1\ \mathrm{m'} = (1 + a\Delta t)\cdot(1\ \mathrm{m}).$$

Tehtävässä on annettu teräksen tilavuuden lämpötilakerroin β, josta pituuden lämpötilakertoimeksi saadaan $a = \beta/3 = 12\cdot10^{-6}$ 1/°C.

Heiton todelliselle pituudelle s saadaan mittanauhan lukemaksi

$$\mathrm{L} = \frac{s}{1\ \mathrm{m'}} = \frac{s}{(1+\alpha\Delta t)\cdot(1\ \mathrm{m})}.$$

Lämpötilassa t_0 = 20 °C on L = s/m = $\{s\}$[1]
Lämpötilassa t_1 = 45 °C on Δt = 25 °C, $a\Delta t$ = 0,00030 ja L = L$_1$ = 94,10.

[1] Standardin mukaan suureen A lukuarvo merkitään $\{A\}$, vrt. tehtävä 6.

Heiton todellinen pituus on siis $s = 1{,}00030 \cdot L_1$ m ≈ $\underline{94{,}13 \text{ m}}$ (b)

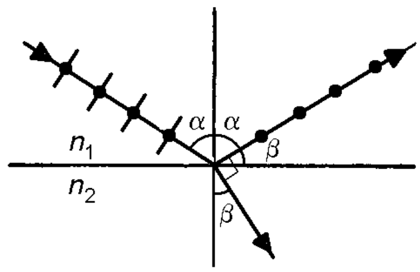
Lämpötilassa $t_2 = 12$ °C on $\Delta t = -8$ °C ja $a\Delta t = -0{,}000096$, joten tarkistusmittauksen tulos on

$$L_2 = \frac{\{s\}}{0{,}999904} = \frac{1{,}00030 \cdot L_1}{0{,}999904} \approx \underline{94{,}14} \text{ (a).}$$

Koska pituuden lämpötilakerroin on pieni, $a \ll 1$, voidaan pituuden 'perusarvona' käyttää yhtä hyvin ensimmäistä mittaustulosta, ja laskea sen avulla suoraan lukemien muutokset. (Tulosten suhteelliset virheet ovat suuruusluokkaa $(a\Delta t)^2$.)

Näin laskien havaitaan suoraan, että
ensimmäinen mittaustulos on määrän $\Delta s = 0{,}0003 \cdot (94{,}1 \text{ m}) \approx 3$ cm liian pieni,
ja tarkistusmittauksen tulos määrän $\Delta s = 0{,}000096 \cdot (94{,}1 \text{ m}) \approx 1$ cm liian suuri.

Tehtävä 3. a) Brewsterin lain mukaan heijastunut säde on täysin polarisoitunut, kun se on kohtisuorassa taittunutta sädettä vastaan. Koska heijastuskulma on yhtä suuri kuin tulokulma α, taittumiskulma on tällöin $\beta = 90° - \alpha$ ja $\sin\beta = \cos\alpha$. Taittumislaista $\sin\alpha/\sin\beta = n$, missä n on rajapinnan taitesuhde seuraa näin yhtälö $\tan\alpha = n$. (Tämän voi muistaessaan ottaa kokeessa lähtökohdaksikin.) Tästä saadaan taitesuhteeksi



$$n = \tan 51{,}6° \approx \underline{1{,}26}\,.$$

b) Polarisaatio on pinnan suuntainen, ks. kuva.

c) Kohtisuorasti hilaan tuleva valonsäde, jonka aallonpituus on λ, taipuu kulmille φ_n lain $d\sin\varphi_n = n\lambda$ mukaisesti, missä d on hilavakio ja $n = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ spektrin kertaluku.

Yhtälöistä $d\sin\varphi_{1\mathrm{Na}} = \lambda_{\mathrm{Na}}$ ja $d\sin\varphi_1 = \lambda$ saadaan käytetyn valon aallonpituudeksi

$$\lambda = \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_{\mathrm{Na}}} \cdot \lambda_{\mathrm{Na}} = \frac{\sin 32{,}2°}{\sin 31{,}0°} \cdot (5890\ \text{Å}) = \underline{6090\ \text{Å}}$$

Tehtävä 4. Jos lampun resistanssia R voidaan pitää vakiona[2], lampun teho on verrannollinen sen napojen välisen jännitteen U neliöön, $P \sim U^2$ $\left(P = \frac{U^2}{R}\right)$.

a) Lampun teho jännitteellä U_1 on siten

$$P_1 = \frac{U_1^2}{U_0^2} P_0 = \left(\frac{220}{240}\right)^2 \cdot (60 \text{ W}) \approx \underline{50{,}4 \text{ W.}}$$

b) Rinnan kytkennässä kummankin lampun jännite on sama U_1, joten kummankin teho on P_1. Yhteensä ne kuluttavat tehon

$P_r = = 2\,P_1 \approx 2 \cdot (50{,}4 \text{ W}) = \underline{100{,}8 \text{ W.}}$

[2] Tämä tehtävän asettelussa esitetty oletus on virheellinen. Metallilankaisen hehkulampun resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Tehtävän realistinen käsittely edellyttäisi lampun ominaiskäyrän $U = U(I)$ tuntemista.

c) Sarjaan kytkennässä kummankin lampun jännite on $U_2 = \frac{1}{2}U_1$ ja teho $P_2 = \frac{U_2^2}{U_1^2}P_1 = \frac{P_1}{4}$.

Kytkennän kuluttama teho on siis

$$P_s = 2\,P_2 = \tfrac{1}{2}P_1 = \underline{25{,}2\ \mathrm{W}.}$$

Tehtävä 5. Kysymyksessä on nk. parin annihilaatio $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$, jossa molempien hiukkasten aine muuttuu säteilyenergiaksi.

Positroni on elektronin antihiukkanen, ja sillä on sama massa $m_+ = m_- = m_e$, joten kummankin kvantin energia on sama kuin elektronin lepoenergia[3]

$$E_\gamma = m_e c^2 = (9{,}11\cdot10^{-31}\ \mathrm{kg})(3{,}00\cdot10^8\ \mathrm{m/s})^2 \approx \underline{8{,}20\cdot10^{-14}\ \mathrm{J}} \approx \underline{0{,}511\ \mathrm{MeV}}\ .$$

b) Kvantin energian lausekkeesta $E_\gamma = hf = hc/\lambda$, missä h ja f ovat Planckin vakio ja säteilyn taajuus, saadaan aallonpituus

$$\lambda = \frac{hc}{E_\gamma} = \frac{(6{,}63\cdot10^{-34}\ \mathrm{Js})(3{,}00\cdot10^8\ \mathrm{m/s})}{8{,}20\cdot10^{-14}\ \mathrm{J}} \approx 2{,}42\cdot10^{-12}\ \mathrm{m} = \underline{0{,}0242\ \text{Å}}\ .$$

c) Liike-energia lisää käytettävissä olevaa kokonaisenergiaa, joten saadut vastaukset ilmaisevat kvantin energian alarajan ja aallonpituuden ylärajan.

Tehtävä 6. a) dynamiikan peruslaki: $F = ma$ =>[4] $[F] = \underline{\mathrm{kgms^{-2}}}$

b) gravitaatiolaki: $F = G\dfrac{mM}{r^2} \Rightarrow [G] = \left[\dfrac{Fr^2}{m^2}\right] = \mathrm{kgms^{-2}\cdot m^2kg^{-2}} = \underline{\mathrm{kg^{-1}m^3s^{-2}}}$

c) tehon ja työn määritelmät $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{Fs}{t}$ => $[P] = \mathrm{kgms^{-2}\cdot m\,s^{-1}} = \underline{\mathrm{kgm^2s^{-3}}}$

d) kapasitanssin määritelmä ja Joulen laki: $Q = UC,\ P = UI$ =>

$$[C] = \left[\frac{QI}{P}\right] = \frac{\mathrm{As\cdot A}}{\mathrm{kgm^2s^{-3}}} = \underline{\mathrm{A^2kg^{-1}m^{-2}s^4}}$$

e) magneettisen voiman laki $F = qvB$ tai $F = IlB$ =>

$$[B] = \left[\frac{F}{Il}\right] = \frac{\mathrm{kgms^{-2}}}{\mathrm{Am}} = \underline{\mathrm{A^{-1}kgs^{-2}}}$$

* * *

[3] Kvanttien yhtäsuuruus pätee parin massakeskipisteen suhteen (0-liikemääräkoordinaatistossa, jossa se on välttämätön seuraus liikemäärän säilymislaista.

[4] Standardin mukaan suureen A dimensio merkitään $[A]$, vrt. tehtävä 2.

Tehtävät oli laadittu viimevuotista suoraviivaisemmiksi, ja tyhjien paperien tulva väitettiin tällä kerralla. Suorassa arvostelussa kokeen keskiarvo oli kuitenkin yhä vain 10,3/30. Pistemäärät annettiin sopivan asteikon mukaan, jolloin keskiarvo oli 5,1/10.

On selvää, että tällaisessa kokeessa pyritään kattamaan oppikirjoihin sisältyvä kurssi mahdollisimman monipuolisesti. Mekaniikan tehtävä sisälsi kokeen selvästi helpoimman (a, b) ja vaikeimman (c) osan. Tehtävä 2 oli tarkoitettu yksinkertaiseksi terveen järjen testiksi. Valitettavasti vain vajaalla 15 %:lla järki oli riittävän terve selvittämään, mihin suuntaan mittaustulos lämpötilan laskiessa muuttuu. Erityisesti on nk. modernille fysiikalle jatkuvasti uhrattu yksi tehtävä, vaikka alueen osuus kurssissa on pieni. Tällä on haluttu korostaa sen keskeistä merkitystä nykyajan tietämyksessä ja ajattelussa. Jatkuvasti on kuitenkin saatu todeta, että juuri tämä tehtävä on ylivoimaisesti vähiten käsitelty (tällä kertaa 55 % tyhjiä), vaikka se kurssin suppeuden huomioonottaen on ollut suhteellisesti hyvinkin helppo. Fysiikan kurssien uudistuminen merkitsee varmasti positiivista kehitystä tässä kohden niin, että moderni fysiikka saa vähitellen kouluopetuksessa merkitystään paremmin vastaavan aseman.

Terveen järjen hengissä pitäminen on fysiikan opettajien vaikea mutta vastuullinen tehtävä. Siihen olennaisesti kuuluu järkevien mittasuhteiden taju, joka esim. tällä kerralla olisi estänyt hyväksymästä saatuja auton kiihtyvyyksiä $10g – 100g$, kymmenien metrien lämpölaajenemia teräsmitalla, atomipommia tai jopa kokonaisten tähtijärjestelmien massaa vastaavia energioita viidennen tehtävän alkeisprosessissa jne. Terve järki on myös paras ase fysiikassa aina uhkaavaa formaalisuuden peikkoa vastaan, jonka parhaita tämänkertaisia saavutuksia oli eräissä papereissa esiintynyt ehdotelma: gammakvantin energia = mgh, missä h = Planckin vakio!