

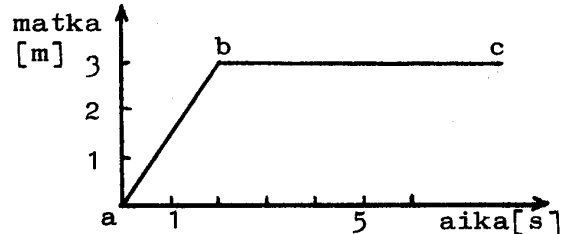
Prof. KAARLE KURKI-SUONIO
Dosentti SEPPO MANNINEN
Helsingin yliopisto

FYSIIKAN VALINTAKOE

Helsingin yliopistossa 19.6.1979

TEHTÄVÄT

- a) Selitä, mitä tarkoittaa yhtälö $F = ma$.
b) Mikä ehto on kappaleeseen vaikuttavien voimien toteutettava, jotta kappale (i) ei liikkuisi, (ii) liikkuisi vakionopeudella, (iii) liikkuisi vakiokiihtyvyydellä?
c) Millaista on oheisen kuvaajan esittämä kappaleen liike (i) välillä a–b, (ii) välillä b–c?



- Pieni varattu pallo, jonka massa on 3,5 g, riippuu painottoman langan varassa kahden Yhdensuuntaisen pystysuoran metallilevyn välissä. Levyjen välimatka on 4,0 cm. Kun niiden välille kytketään jännite 35 V, asettuu ripustuslanka 21° :n kulmaan pystysuoran suunnan kanssa. Mikä on pallon sähkövaraus?
- Kalorimetriin, jossa on 87 g vettä lämpötilassa 295 K, tuodaan 27 g sulamispisteessä olevaa jäätä. Veden ominaislämpökapasiteetti (ent. ominaislämpö) on 4,2 J/gK ja jään sulamislämpö 334 J/g. Määritä lopputilanne kalorimetrissä. Kalorimetrin lämpökapasiteetti on hyvin pieni.
- Yksivärinen homogeeninen valo osuu kohtisuorasti metallipintaan, jonka pinta-ala on 10 cm². Valon aallonpituus on 590 nm ja intensiteetti 1,5 kW/m². Kuinka
 - paljon energiaa voi levyyn korkeintaan absorboitua
 - monta fotonia osuu levyn pintaan
 - monta fotoelektronia säteily voi enintään irrottaa metallipinnasta 5 s:n aikana, kun elektronien irrotustyö metallista on 2,5 eV?
- Jousen lepopituus on 25,0 cm. Kun se on puristettu kokoon 20,0 cm:n pituiseksi, se pystyy laulettessaan sinkoamaan kappaleen, jonka massa on 0,10 kg, 50 cm:n korkeuteen. Miten korkealle se voi singota tämän kappaleen, jos se on puristettu 15,0 cm:n pituiseksi? Kappaleen nousukorkeus mitataan sen alkuasemasta puristetun jousen päässä. Jousen massa on hyvin pieni.
- Selosta syklotronin toimintaperiaate. Piirrä kaavakuva ja johda lauseke, joka ilmaisee, miten kiihdytettävien hiukkasten maksiminopeus riippuu laitteesta ja hiukkasista.

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}, e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ As}, c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

RATKAISUT

Tehtävä 1. a) Tämä yhtälö esittää dynamiikan peruslakia: Kappaleeseen, jonka massa on m , vaikuttava voima F antaa kappaleelle kiihtyvyyden a siten, että $F = ma$. Se toimii myös voiman empiirisen määrittelyn perustana: "Jos kappaleella, jonka massa on m , on kiihtyvyys a , kappaleeseen vaikuttava voima on $F = ma$. Yleistettynä se koskee mekaanista systeemiä, jolloin F on systeemiin vaikuttavien ulkoisten voimien vektorisumma, m systeemin kokonaismassa ja a systeemin massakeskipisteen kiihtyvyys."

b) Kappale pysyy levossa (i) tai jatkaa liiketilaansa (ii), jos siihen vaikuttavien voimien summa on nolla. Kappaleen kiihtyvyys on vakio (iii), jos siihen vaikuttavien voimien summa on vakio.

c) (i) Välillä a–b kappale liikkuu tasaisella nopeudella, jonka ilmaisee kuvaajan fysikaalinen kul-

makerroin $v = \Delta s / \Delta t = (3 \text{ m}) / (2 \text{ s}) = 1,5 \text{ m/s}$. (ii) Välillä b–c on $v = \Delta s / \Delta t = 0$ eli kappale on levossa.

Tehtävä 2. Levyjen välille kytketty jännite U synnyttää vaakasuoran sähkökentän, jonka sähkökentän voimakkuus on $E = U/d$

Kenttä vaikuttaa palloon, jonka varaus on q voiman $F_E = qE$. Sen lisäksi palloon vaikuttavat langan jännitysvoima T ja pallon paino mg . Tasapainossa voimien summa on 0

$$T + F_E + mg = 0 \text{ eli } \begin{cases} T \cos \alpha = mg \\ T \sin \alpha = qE \end{cases}$$

joista voidaan ratkaista pallon varaus

$$q = \frac{mg \tan \alpha}{E} = \frac{mgd \tan \alpha}{U} = \frac{(3,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}) \cdot \tan 21^\circ}{35 \text{ V}} \approx 15 \mu\text{C}.$$

Tehtävä 3. Jään sulamispisteeseen jäähtyessään vesi luovuttaa lämpömäärän

$$Q_v = c_v m_v \Delta T = (4,2 \text{ J/gK}) \cdot (87 \text{ g}) \cdot (295 - 273) \text{ K} = 8040 \text{ J}.$$

Sulaakseen kokonaan jää tarvitsee lämpömäärän

$$Q_s = s_j m_j = (334 \text{ J/g}) \cdot (27 \text{ g}) = 9020 \text{ J}.$$

Jäästä siis sulaa vain osa

$$\frac{Q_v}{Q_s} m = \frac{8040}{9020} \cdot (27 \text{ g}) \approx 24 \text{ g}.$$

Sulamatta jää $(27 - 24) \text{ g} = 3 \text{ g}$.

Lopputilanteessa kalorimetrissa siis on vettä $(87 + 24) \text{ g} = 111 \text{ g}$ ja jäätä 3 g lämpötilassa 273 K .

Tehtävä 4. a) Intensiteetin I määritelmän mukaisesti levyyn; jonka pinta-ala on A osuu aikana Δt kaikkiaan energia

$$W = IA \Delta t = (1,5 \cdot 10^3 \text{ Js/m}^2) \cdot (10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2) \cdot (5 \text{ s}) = \underline{7,5 \text{ J}}.$$

Tämä on samalla periaatteessa suurin määrä energiaa, joka voi absorboitua levyyn.

b) Kun Planckin lain mukaisesti monokromaattisessa säteilyssä kaikilla fotoneilla on sama energia

$$W_f = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-19} \text{ Js}) \cdot (3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{590 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,4 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

levyyn osuneiden fotonien lukumäärä on

$$N = \frac{W}{W_f} = \frac{7,5 \text{ J}}{3,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = \underline{2,2 \cdot 10^{19}}.$$

c) Fotonin energia

$$W_f = \frac{3,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 2,1 \text{ eV}$$

ei riitä tarvittavaan $2,5 \text{ eV}$:n irrotustyöhön, joten fotoneja ei irtoa lainkaan.

Tehtävä 5. Kokoon puristetun jousen potentiaalienergia on $E_p = \frac{1}{2} kx^2$, missä x on jousen puristuma lepopituudesta, eli

$$x_1 = (25,0 - 20,0) \text{ cm} = 5,0 \text{ cm} \text{ ja } x_2 = (25,0 - 15,0) \text{ cm} = 10,0 \text{ cm}.$$

Kummassakin laukaisussa (1, 2) kokonaisenergia säilyy, $E_k + E_p = E = \text{vakio}$. Laukaisun alkutilanteessa kaikki energia on jousen potentiaalienergiana:

$$E_1 = E_{p1} = \frac{1}{2}kx_1^2 \text{ ja } E_2 = E_{p2} = \frac{1}{2}kx_2^2$$

ja lopputilanteessa kappaleen painon potentiaalienergiana

$$E_1 = mg\Delta h_1 \text{ ja } E_2 = mg\Delta h_2, \text{ missä } \Delta h \text{ on kappaleen nousukorkeus.}$$

Kahden laukaisun kokonaisenergioiden suhde on siis

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{x_2^2}{x_1^2} = \frac{h_2}{h_1},$$

josta saadaan jälkimmäisen laukaisun nousukorkeus

$$h_2 = \frac{x_2^2}{x_1^2} h_1 = \left(\frac{10,0 \text{ cm}}{5,0 \text{ cm}} \right)^2 \cdot (50 \text{ cm}) = \underline{200 \text{ cm}}.$$

Tehtävä 6. Katso oppikirjat.

TULOKSET JA ARVOSTELU

Kokeeseen osallistui 855 pyrkijää ilmoittautuneiden lukumäärän ollessa 1055. Kustakin tehtävästä annettiin pisteitä 1–6, jolloin keskiarvoksi saatiin 14,9/ 36. Epälineaarista asteikkoa käyttäen keskiarvo normitettiin vaadittuun arvoon 6,0/10, jotta eri valintakokeet olisivat vertailukelpoiset. Tehtävien pistejakautumat prosentteina on esitetty oheisessa taulukossa, jossa on annettu myös tehtävän vaikeusaste (v.a. = pistemäärien keskiarvo/maksimipistemäärä).

Taulukko

tehtävä	1	2	3	4	5	6
0	4,4	49,7	53,1	29,1	29,5	38,1
1	7,3	6,1	1,7	17,1	8,5	14,6
2	10,3	3,0	12,8	15,4	4,8	12,6
3	24,1	11,2	2,2	13,5	6,6	8,5
4	21,2	4,9	0,8	20,3	8,8	11,1
5	26,0	2,2	4,3	2,0	4,3	6,9
6	6,7	22,9	25,1	2,6	37,5	8,2
v.a.	0,59	0,36	0,35	0,33	0,53	0,32

Tehtävien laadinnassa ja arvostelussa pääpaino on asetettu fysikaalisten periaatteiden ja käsitteiden hallinnalle. Tehtäviä pyrittiin myös entisestä helpottamaan. Tulosten perusteella tässä myös jossain määrin onnistuttiin.

Ensimmäinen tehtävä edellytti mekaniikan pääperiaatteen tuntemista ja graafisen esityksen lukutaitoa. Sen a-kohdassa ei ollut tarkoitus syventyä dynamiikan peruslain luonteen filosofiseen mietiskelyyn, voiman ja massan määritelmään eikä luonnonlakien olemukseen. "Filosofisilta perusteiltaan" eri tyyppiset vastaukset luonnollisesti hyväksyttiin. Sen sijaan vaadittiin symbolien selkeää määrittelyä. Vastaus: "voima = massa kertaa kiihtyvyys" jättää sisältämänsä käsitteet täysin avoimiksi eikä vielä avannut pistetiliä. Ei mikä tahansa voima ole mikä tahansa massa kertaa mikä tahansa kiihtyvyys. Tehtävän b-kohdassa tavallisimpia virheitä oli odotetusti aristoteelinen näkemys, jonka mukaan vakionopeus edellyttää vakiovoimaa.

Tehtävä oli selvästi helpoin. Nollavastauksia oli ylivoimaisesti vähiten. Pistejakautuman selittää tehtävän monivaiheisuus. Täysien pisteiden vähyys paljastaa lähinnä sen, ettei käsitteitä osata määrittellä asianmukaisesti.

Fysiikan opiskelijoilla on – kaikilla tasoilla – taipumus ajatella, että käsitteiden selvä määrittely: "kappaleen massa", "saman kappaleen kiihtyvyys" ja "tähän kappaleeseen vaikuttava voima", on itsestään selvää, jopa vähän lapsellista. Kuitenkin suureiden selvän määrittelyn puutteeseen palau-

tuvat kaikki kaavojen sisällön ymmärtämiseen ja oikeaan käyttöön liittyvät ongelmat. Kysymys on formalismin sitomisesta todellisuuteen, joka on fysiikan filosofian perusongelma. Ellei fysiikan lakeja ja määritelmiä edustavia kaavoja alusta alkaen, pala kerrallaan, huolellisesti sidota fysikaaliseen sisältönsä, levitöi ennen pitkää koko opittu kaavaryteikkö tukevasti ilmassa. Jälkeenpäin on lähes mahdotonta löytää sellaisia ankkureita, joilla sen kiinnittäisi maahan.

Toisessa tehtävässä tarvittiin kykyä yhdistellä asioita fysiikan oppimäärän eri kohdista. Juuri tämä ilmeisesti aiheutti sen, että tehtävä muodostui kokonaisuutena vaikeaksi, vaikka sen kolme peruskomponenttia, sähkökentän ja potentiaalın yhteys, kentän varaukseen aiheuttama voima ja mekaaninen tasapaino, ovatkin kukin erikseen mahdollisimman yksinkertaisessa muodossa.

Kolmas tehtävä on yksinkertainen lämpöopillinen energiaperiaatteen sovellus. Tilanne oli vain siten määritelty, että pelkkä ajatukseton laskenta johtaa mahdottomaan tulokseen. Näin luonnollisesti haluttiin korostaa ymmärtämisen osuutta tehtävän suorituksessa. Niinpä suuri osa pyrkijöistä nielikin kakistelematta "alijäähtyneen" tuloksen ja jäädytti pistepörssinsä. Pelkkä tuloksen mahdottomuuden huomaaminen toi jo kaksi pistettä.

Neljännän tehtävän a-kohdassa tarvittiin vain säteilyyn liittyvien peruskäsitteiden tuntemusta, b-kohdassa oli lisäksi tunnettava fotonı. Tähän asti pisteet jakautuivatkin tasaisesti. Käsitteissä energia, teho ja intensiteetti esiintyi sekaannusta. Kohdassa c edellytettiin fotosähköisen ilmiön ymmärtämistä, ei laskutaitoa. Jos tunsı ilmiön, tiesi, että kysymykseen on vain kaksi mahdollista vastausta: b-kohdan vastaus tai nolla. Oikea selvisi vertaamalla irrotustyötä b-kohdassa laskettuun fotonin energiaan. Hetken ajattelun vaatiminen oli jälleen kerran liikaa, kuten pistetilasto näyttää.

Viidennen tehtävän tulos vahvistaa sen, että mekaniikka yhä on parhaiten opittua aluetta. Useimmin esiintyvä virhe oli yhtälön $E = Fx(!) = mgh$ perusteella laskettu nousukorkeus. Tosin saadaan sattumalta oikea tulos sijoittamalla yhtälöön harmonisen voiman $F = kx$ lauseke. Jotkut yrittivät selvittää tehtävästä käsittelemällä liikkeen rataa; kukaan ei kuitenkaan tässä onnistunut. Tehtävän sanamuoto oli harkittu siten, ettei erilaisista ja epätarkoituksenmukaisista origonvalinnoista aiheutuisi sekaannusta ja laskennan tarpeetonta monimutkaisuutta rinnastettaessa tehtävän kahta eri tilannetta. Tottumattomuus täsmällisiin määrittelyihin aiheuttaa usein – ilmiö on tuttu myös yliopiston fysiikan opiskelussa –, että tilanteen tarkka kiinnittäminen koetaankin hämääväksi. Ajatus ehkä yllättäen herää uusiin näkökohtiin, jotka ilman täsmennystä olisi sivuutettu huomaamatta. Tehtävä olisi osattukin ratkaista mekaanisesti arvaamalla oikeat kaavat, mutta täsmennys häiritsi luottavaista arvailua. Vain ne, jotka käyttävät kaavoja lähtien niiden fysikaalisesta sisällöstä, ymmärtävät tilanteen määrittelyn merkityksen ja sen tarpeellisuuden. Tämä paistoi yllättävän selvästi läpi vastauksista.

Syklotronitehtävästä saadut pisteet jakautuivat ymmärrettävän tasaisesti yli arvosana-asteikon, poikkeuksena 0 pistettä saaneet. Tämän nollajoukon suuruus on tunnettu ilmiö monista valintakoikeista, joihin osallistuminen kelpaa perusteluksi asevelvollisen lomapäivälle. Pistejakautuman tarkastelussa, esim. tehtävien sopivuuden arvostelemiseksi, se merkitsee erikseen huomioonotettavaa häiriötekijää.