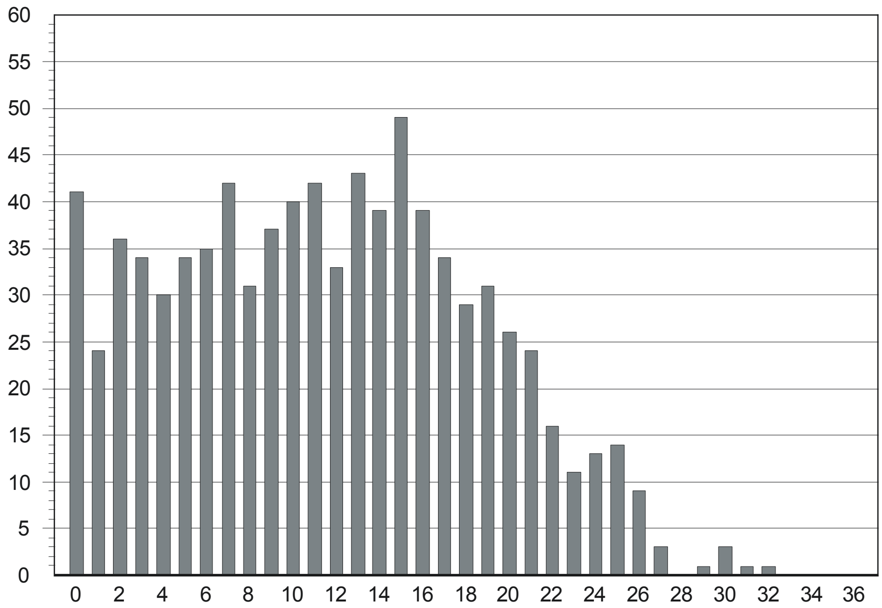
Report Series in Physics HU-P-A76, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Helsinki 1995.

Fysiikan valintakoe Helsingin yliopistossa v. 1993

Mikael Björnberg, Sisko Eskola, Kaarle Kurki-Suonio ja Folke Stenman
Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos

Kokeen yleiskuva

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin pyrki vuonna 1993(1992) kaikkiaan 3162(3064) opiskelijaa, heistä 578(593) ensisijaisesti fysikaalisiin tieteisiin. Fysiikan valintakoe pidettiin 22.06. Siihen osallistui 845(631) pyrkijää. Valintojen pisterajoiksi /280 muodostuivat fysiikassa 202(192), kemiassa 228(199), matematiikassa 200(196) ja tietojenkäsittelyopissa 220(223). Hakijoista hyväksyttiin kaikkiaan 1862(1843), joista 488(484) sai opiskeluoikeuden fysikaalisten tieteiden koulutusohjelmaan.



Suoran arvostelun pistejakauma.

Kokeen keskiarvo oli 11,56/36. Oheinen kuva esittää kokeen pistejakaumaa nk. suorassa arvostelussa. Valintalautakunnan päätöksen mukaan valintakokeen keskiarvon tuli olla noin 6/10. Arvostelupisteet muunnettiin sen tähden valintapisteiksi 0...10 epälineaarisesti siten, että keskiarvoksi saatiin 5,7. Tällöin esimerkiksi tyydyttävään (7/10) suoritukseen riitti 13/36 ja kiitettävään (9/10) suoritukseen 20/36 pistettä suorassa arvostelussa.

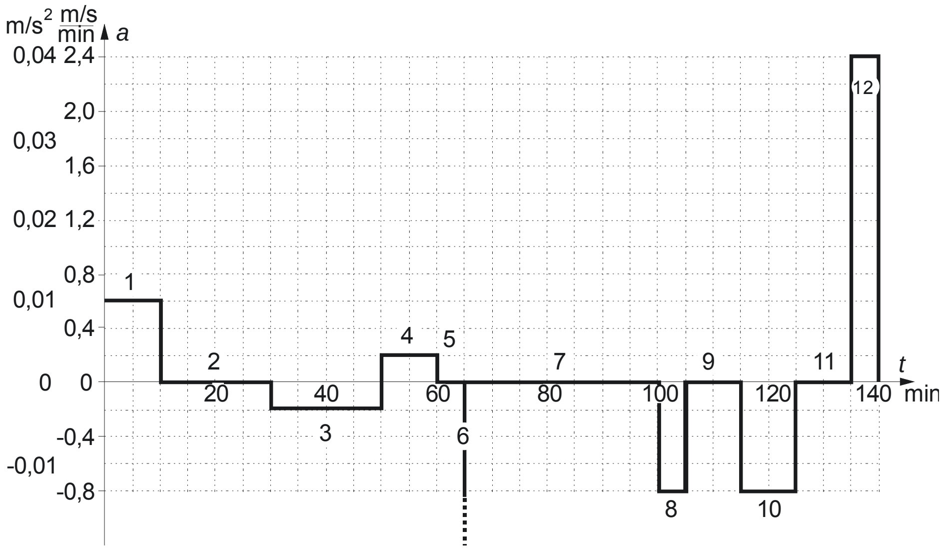
Tehtäväkohtaiset pistejakaumat ja keskiarvot on esitetty oheisessa taulukossa.

Pisteiden prosenttiset jakaumat

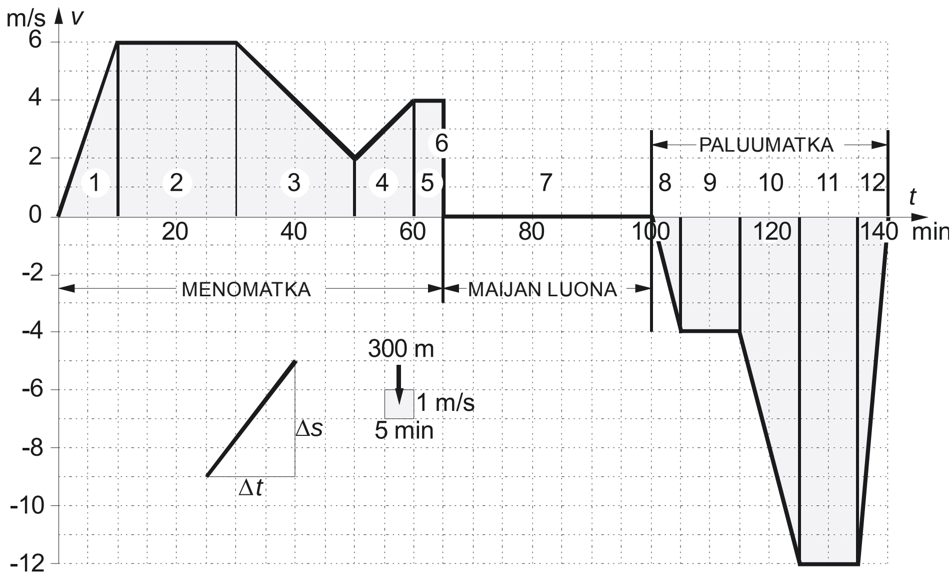
Tehtävä	1	2	3	4	5	6
Pisteet						
–	4,8	18,7	25,4	25,8	63,7	36,9
0	5,4	15,4	15,6	10,5	11,7	4,4
1	10,7	22,8	11,1	10,4	11,7	2,6
2	18,6	17,4	22,6	20,0	5,6	2,6
3	15,6	15,3	22,1	8,9	3,4	2,3
4	15,3	7,1	1,1	8,4	1,5	8,0
5	13,6	2,9	0,3	6,8	2,0	7,9
6	16,0	0,4	1,8	9,2	0,4	35,3
Keskiarvo	3,20	1,29	1,39	2,00	0,52	2,99

Tehtävä 1.

Matti käy pyörällä Maijan luona. Oheinen kuvaaja esittää hänen nopeuttaan ajan funktiona.
a) Piirrä kuvaajat, jotka esittävät Matin kiihtyvyyttä ja paikkaa ajan funktiona. (Vastauspaperin ruudutuksen tarkkuus riittää.)
b) Tulkitse matkan vaiheet kuvaajien perusteella. Kuinka pitkä matka Matilla on Maijan luo? Milloin hän oli puolimatkassa? Missä kohdassa tiessä on mäki, ja kuinka pitkä se on? Kumpi asuu korkeammalla?

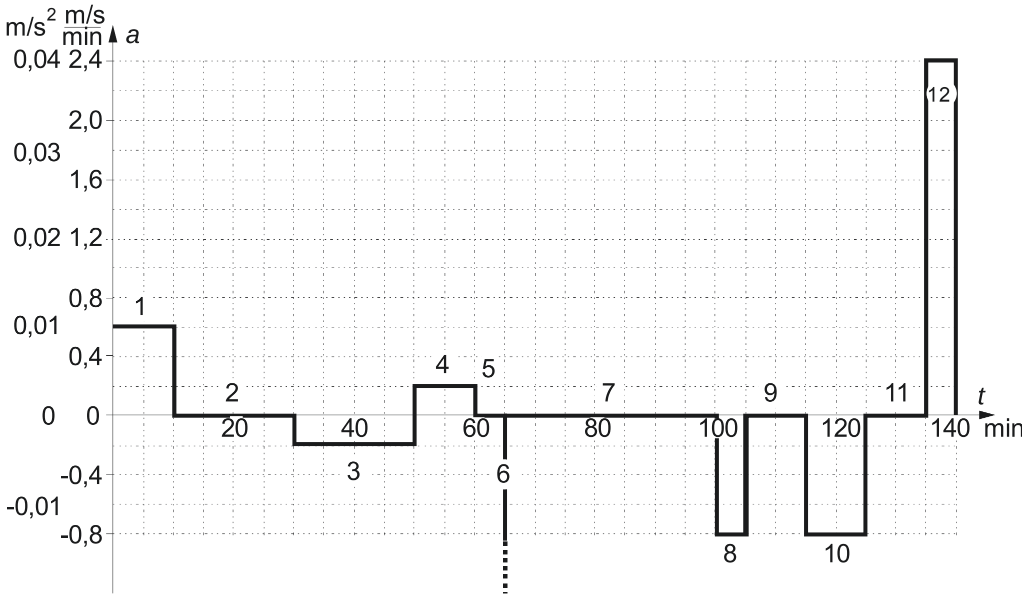


Käsittely.
Nopeuden kuvaajan perusteella Matin matka Maijan luo voidaan jakaa 12 vaiheeseen, joita kutakin esittää kuvaajan suora osa. Menomatka, vaiheet 1...5, jolloin nopeus on positiivinen, päättyy pysähtymiseen, vaihe 6, hetkellä 65 min. Hän viipyy perillä 35 min, vaihe 7, jolloin nopeus on 0 m/s. Hän lähtee takaisin hetkellä 100 min. Ajo takaisin päin, vaiheet 8...12, jolloin nopeus on negatiivinen, kestää 40 min. Vaiheissa 1, 4, 8 ja 10 Matin vauhti kiihtyy, vaiheissa 3, 6 ja 12 hän jarruttaa. Vaiheissa 2, 5, 9 ja 11 Matti polkee tasaisesti.



Kiihtyvyys on nopeuden kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin. Kuvaajan tarkkuudella se on matkan kussakin vaiheessa vakio $a = \Delta v/\Delta t$. Kuvan asteikon mukaista ruudutusta käyttämällä kiihtyvyys saadaan yksiköissä

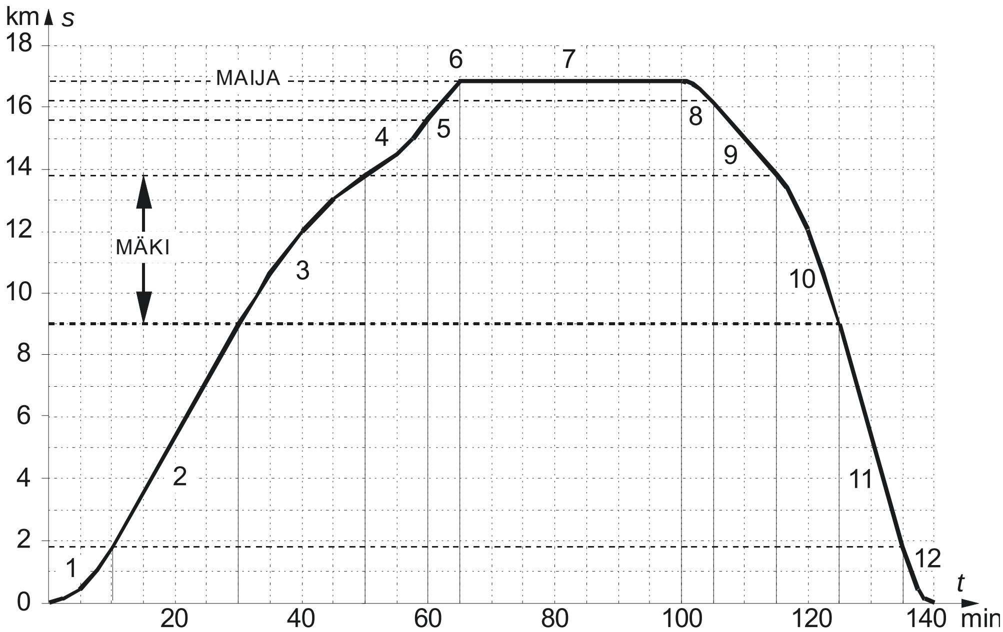
$$1\ \text{m/(s·min)} = (1/60)\ \text{m/s}^2 \approx 0{,}0167\ \text{m/s}^2$$



Pysähtymisen kesto, vaihe 6, on niin lyhyt, ettei se näy kuvassa Aika-asteikon perusteella voidaan päätellä, että se on enintään noin (1/20)·5 min = 15 s, joten pysähtymisen ei kuitenkaan tarvitse olla kovin äkkinäinen – kiihtyvyyden itseisarvo siinä on vain suurempi kuin (4/15) $m/s^2 \approx 0{,}3\ m/s^2$.

Nopeuden kuvaajan ja aika-akselin rajoittaman alueen fysikaalinen pinta-ala ilmaisee siirtymän kunakin aikavälinä. Ruudun pinta-ala on (5 min)·(1 m/s) = 300 m. Matin radan kuvaaja voidaan siten piirtää vaiheittain.

Paluumatkan siirtymät ovat negatiivisia. Vaiheissa 1, 3, 4, 8, 10 ja 12 liike on tasaisesti kiihtyvää (tai hidastuvaa). Nopeuden kuvaajan nousevia osia vastaavat radan kuvaajan osat ovat ylöspäin aukeavan laskevia vastaavat osat alaspäin aukeavan paraabelin kaaria. Vaiheissa 2, 5, 9 ja 11 Matin liike on tasaista. Vastaavat radan kuvaajan osat ovat suoria. Perillä Matti on paikallaan, ja vaihetta 7 vastaava radan kuvaajan osa on vaakasuora. Piirrettäessä on hyvä huomata, että radan kuvaajan tangentin suunta muuttuu jatkuvasti (lukuun ottamatta hetkeä 65 min) ja tangentti on vaakasuorassa alussa ja lopussa.



Radan kuvaajasta nähdään, että Matilla on matkaa Maijan luo 16,8 km ja että hän palaa takaisin kotiin. Puolimatkassa, 8,4 km:n päässä, hän on menomatkalla hetkellä 28 min 20 s ja palatessaan hetkellä 125 min 50 s. Välin 1,8 km...9 km hän ajaa kumpaankin suuntaan tasaisesti. Välillä 9 km...13,8 km hänen vauhtinsa hidastuu mennessä ja kiihtyy palatessa. Tämä antaa aiheen ajatella, että tämä väli on mäkeä. Se on 4,8 km pitkä, mennessä ylämäki, palatessa alamäki, joten Maija asuu korkeammalla.

Huomautuksia.
Kuvaajista annettiin kolme pistettä, tulkinnoista toiset kolme. Melko suurpiirteiset kuvaajat riittivät, esimerkiksi oikeanlaisia paraabelin kaaria ei edellytetty. Myös b-kohdassa annettiin anteeksi, jos johonkin kysymyksistä oli vastattu väärin tai puutteellisesti.

Tätä tehtävää ratkoivat nekin, jotka eivät muita osanneet tai viitsineet. Useimmat tekivät sen työläästi tarpeetonta algebraa vääntäen ja runsaasti aikaa ja paperia kuluttaen. Graafisen esityksen hyväksikäyttö osoittautui jälleen useimmille vieraaksi.

Yllättävän yleinen virhe oli, ettei vakiokiihtyvyyden kuvaajaa osattu piirtää oikein. Runsaasti esiintyi sahalaitakuvioita, joiden kärjet olivat kiihtyvyyden lukuarvon kohdalla! Myös negatiivisten nopeuden arvojen mieltäminen paluumatkaa tarkoittaviksi oli ihmeellisen vaikeaa.

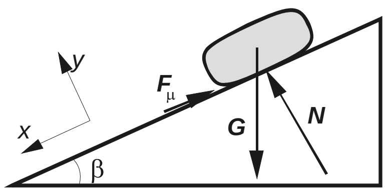
Esiintyi myös kummallista sokeutta tulosten järkevyyden suhteen. Vastauksiksi tarjottiin mm., että "Matilla on matkaa Maijan luo 7,2 metriä", ja "matkaa on 600 m, puolimatkassa Matti on ajettuaan 17 100 m".

Tehtävä tuotti kokeen korkeimman keskiarvon, joka tehtävän helppouteen nähden oli kuitenkin aivan liian alhainen. Graafisen esityksen käyttö on koulussa opittu huonosti.

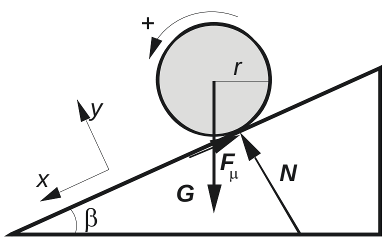
Tehtävä 2.

a) Kappale voidaan asettaa kaltevalle tasolle siten, että sen liike on i) etenemistä liukuen, ii) vierimistä eli samanaikaista etenemistä ja pyörimistä liukumatta, iii) etenemistä ja pyörimistä samalla liukuen. Mikä näistä on nopein tapa liikkua tasoa alas? Miten eri liikkumistapojen syntyminen ja nopeusjärjestys riippuvat kappaleen ja alustan välisestä liuku- tai lepokitkasta? Perustele vastauksesi fysikaalisesti.
b) Kaksi jääkiekkoa asetetaan ilman alkunopeutta kaltevalle tasolle, jonka kaltevuuskulma on 30°. Toinen liukuu lappeellaan, toinen vierii. Kuinka suuri on alustan ja liukuvan kiekon välisen kitkakertoimen oltava, jotta kiekot tulisivat tasoa alas yhtä nopeasti, kun vierimisvastus on mitätön?

Käsittely.
a) Kappaleeseen vaikuttavat sen paino $\boldsymbol{G} = m\boldsymbol{g}$ alaspäin, pinnan tukivoima $\boldsymbol{N}$ tasoa vastaan kohtisuoraan ja kitka $\boldsymbol{F}_\mu$ tason suuntaan ylämäkeen. Vierimisvastus ja ilmanvastus voidaan tarkastelussa jättää huomioon ottamatta. Tällöin kitka on ainoa kappaleen etenemistä jarruttava voima. Paino ja tukivoima eivät riipu kappaleen liikkumistavasta. Nopeuserot voivat siten aiheutua vain kitkan eroista.



TILANNE 1



TILANNE 2

Tilanne 1: Jos kappale ei pääse pyörimään, se vain liukuu tasoa alas. Kitka hidastaa sen etenemistä sitä vähemmän, mitä pienempi on kappaleen ja tason välinen liukukitkakerroin. Jos lepokitkakerroin on riittävän suuri kappale pysyy paikallaan.

Tilanne 2: Jos kappale on pyöreä ja se asetetaan tasolle "vierimisasentoon", kitka jarruttaa sen etenemistä ja kiihdyttää sen pyörimistä. Jos lepokitkakerroin on riittävän suuri, kappale vierii. Jos lepokitka ei riitä ylläpitämään vierimistä, kappale kyllä pyörii mutta hitaammin. Kappale voi edetä pyörimättä vain, jos taso on kitkaton. Kappaleen liike on hitainta, kun kitka on suurin eli kun kappale vierii, ja nopeinta, kun kitkaa ei ole eli kun kappale liukuu pyörimättä.

Kappale liikkuu yhtä nopeasti tilanteissa 1 ja 2, jos niissä esiintyvät kitkavoimat ovat yhtä suuret. Tämä toteutuu aina, kun kappale liukuu molemmissa tapauksissa. Kun liukukitka tilanteessa 1 on yhtä suuri kuin lepokitka kappaleen vieriessä, eli kun liukukitkakerroin on yhtä suuri kuin pienin lepokitkakerroin, joka riittää pitämään liikkeen vierimisenä, kappale etenee liukuen yhtä nopeasti kuin se vierii. Jos liukukitkakerroin on tätä suurempi, liukuminen tilanteessa 1 on hitaampaa kuin vieriminen.

Vierimistä ja kitkatonta liukumista voidaan verrata myös suoraan energiaperiaatteen avulla. Kummassakaan tapauksessa kitka ei kuluta energiaa, joten kaikki potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi. Liukuminen on tällöin nopeampaa, koska vierivän kappaleen liike-energiasta tietty osa on pyörimisenergiaa.

b) Vastaus sisältyy a-kohtaan: Liukukitkakertoimen on oltava yhtä suuri kuin pienin lepokitkakerroin, joka riittää pitämään liikkeen vierimisenä. Lukuarvon laskemiseen tarvitaan liikeyhtälöitä.

Dynamiikan peruslain mukaisesti etenemisliikkeen liikeyhtälö on kummassakin tilanteessa

$$m\mathbf{a} = m\mathbf{g} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_\mu \iff$$

$$(x):\; mg\sin\beta - F_\mu = ma$$
$$(y):\; N - mg\cos\beta = 0 \iff N = mg\cos\beta$$

missä a on kappaleen kiihtyvyys ja β tason kaltevuuskulma. Tilanteessa 2 on lisäksi voimassa pyörimisen liikeyhtälö

$$rF_\mu = J\alpha$$

missä r on kappaleen (vierimis)säde, J kappaleen hitausmomentti "vierimisakselin" suhteen ja α sen kulmakiihtyvyys.

Kappaleen vieriessä lepokitka kytkee yhteen etenemisen ja pyörimisen siten, että vierimisen ylläpitoehto $a = r\alpha$ toteutuu. Etenemisen liikeyhtälön x-komponenttia ja pyörimisen liikeyhtälöä käyttäen voidaan nyt ratkaista kitkavoima vierimistilanteessa:

$$ma = mg\sin\beta - F_\mu,\quad Ja = r^2F_\mu \iff F_\mu = mg\sin\beta/(1 + mr^2/J).$$

Lappeellaan liukuvalla kiekolla on sama kiihtyvyys, jos liukukitka on tämän suuruinen. Liukukitkan lain ja etenemisen liikeyhtälön y-komponentin mukaan on

$$F_\mu = \mu N = \mu mg\cos\beta \quad \text{eli} \quad mg\sin\beta/(1 + mr^2/J) = \mu mg\cos\beta,$$

josta saadaan liukukitkakertoimeksi

$$\mu = \tan\beta/(1 + mr^2/J)\,.$$

Kun tähän sijoitetaan kaltevuuskulma $\beta = 30°$ ja lieriön hitausmomentin lauseke $J = \tfrac{1}{2}mr^2$, saadaan tulokseksi

$$\mu = \tan\beta/3 = 1/(3\sqrt{3}) \approx 0{,}19.$$

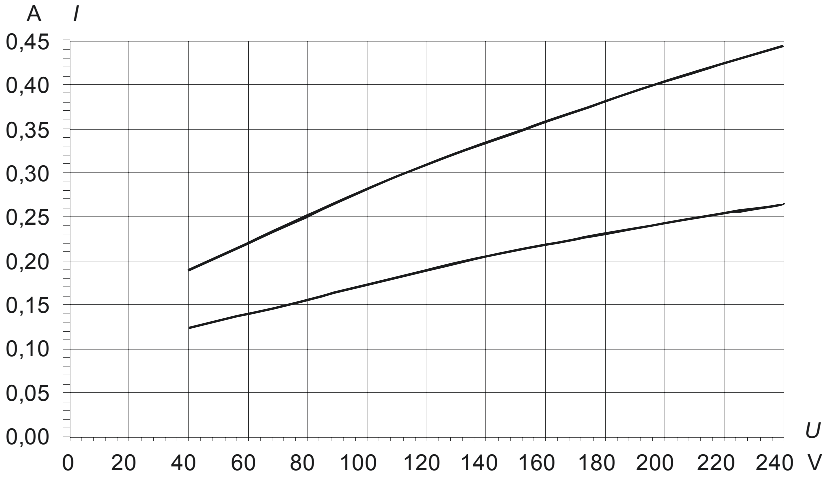
Huomautuksia.
Kummastakin kohdasta annettiin pisteitä nollasta kolmeen. Tehtävän alkuosa, jossa tarvittiin vain mekaniikan yksinkertaisen perustilanteen fysiikan ymmärtämistä, osoittautui pyrkijöille aivan liian vaikeaksi. Erityisesti lepokitkan osuutta vierimisessä ei ymmärretty.

Jälkimmäisestä osasta suoriuduttiin huomattavasti paremmin, ainakin sekalaisia kaavoja osattiin kirjoittaa ja suorittaa algebrallisia toimituksia. Energiatarkasteluja suoritettiin kohtalaisen hyvinkin. Jotkut jättivät kitkan vaikutuksen kokonaan tarkastelematta ja kirjoittivat kappaleen muotoon liittyviä triviaaleja toteamuksia, kuten "kuutio ei voi vieriä".

Liikeyhtälöitä kirjoittaessaan monet – taas kerran – kirjoittivat suoraan kitkavoimalle ulkoa opitun, yleensä väärän, lausekkeen $F_\mu = \mu mg$. Energiaperiaatteen käyttäjistä osa ei erottanut pyörimisenergiaa hitausmomentista. Mukaan mahtui kuitenkin joitakin hyviäkin algebrallisia ratkaisuja. Kehnosti osatun alkuosan vuoksi keskiarvo jäi surkeaksi.

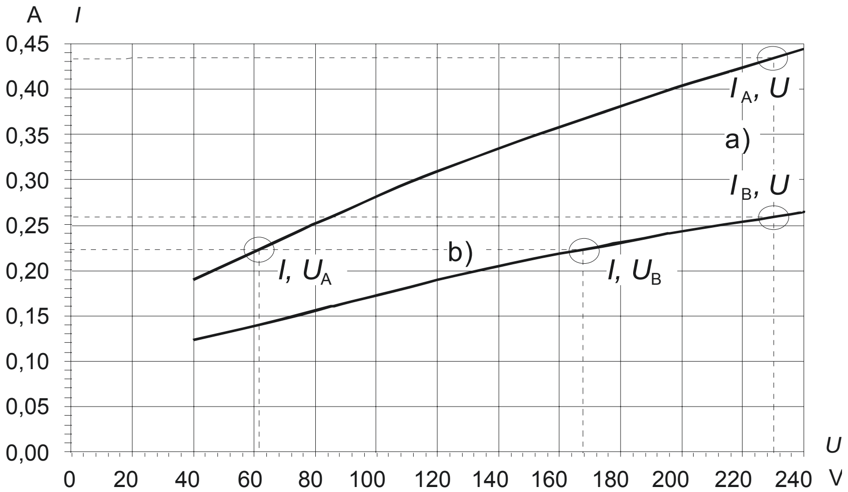
Tehtävä 3.

Oheiset kuvaajat esittävät kahdessa sähkölampussa A ja B kulkevaa virtaa jännitteen funktiona. Määritä lamppujen tehot, kun ne on kytketty 230 V:n jännitelähteeseen a) rinnan b) sarjaan.



Käsittely.
a) Rinnan kytkettyjen lamppujen napojen välillä on sama jännite $U = 230$ V. Kuvaajien perusteella lampussa A kulkee tällöin virta $I_A = 0{,}43$ A ja lampussa B virta $I_B = 0{,}26$ A. Lamppujen tehot ovat siis

$P_A = UI_A = (230\text{ V})\cdot(0{,}43\text{ A}) = 99\text{ W}$ ja $P_B = UI_B = (230\text{ V})\cdot(0{,}26\text{ A}) = 60\text{ W}$



b) Sarjaan kytketyissä lampuissa kulkee sama virta I ja niiden napojen välisten jännitteiden summa on $U_A + U_B = 230$ V. Kuvaajien perusteella havaitaan, että tämä toteutuu, kun virta on $I = 0{,}22$ A, jolloin jännitteet ovat $U_A = 64$ V ja $U_B = 166$ V. Lamppujen tehoiksi saadaan siis

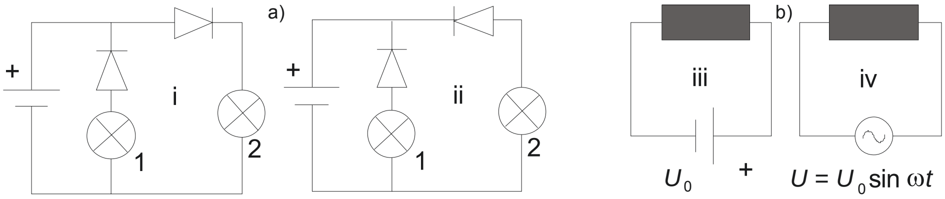
$$P_A = U_A I = (64\text{ V})\cdot(0{,}22\text{ A}) = 14\text{ W} \quad \text{ja}$$
$$P_B = U_B I = (166\text{ V})\cdot(0{,}22\text{ A}) = 37\text{ W}.$$

Huomautuksia.
Kohdan a) oikeasta ratkaisusta sai 2 pistettä ja kohdasta b) 4 pistettä. Yli puolet vastanneista osasi laskea a-kohdan mutta b-kohdan oikein ratkaisseita oli vain 15. Ylivoimaisesti yleisin virhe b-kohdan ratkaisuissa oli että käytettiin Ohmin lakia kuvaajien asemesta. Laskettiin a-kohdan tulosten perusteella lamppujen resistanssit ja käytettiin niitä. Tällaisesta ratkaisusta sai kuitenkin yhden pisteen, edellyttäen että se oli "muuten oikein".

Taas siis koneellinen algebra voitti ymmärryksen. Kuvaajathan nimenomaan osoittavat, ettei Ohmin laki päde ja että muodollisesti lasketut resistanssit $R_A = U_A/I_A$ ja $R_B = U_B/I_B$ riippuvat voimakkaasti sähkövirrasta, mikä pitäisi muutenkin tietää hehkulampuista.

Tehtävä 4.

a) Kaksi lamppua ja kaksi diodia on kytketty tasavirtalähteeseen oheisten kaavioiden mukaan. Mitkä lamput palavat? Perustele!
b) Korvaa musta laatikko kummassakin piirissä α) kondensaattorilla, β) vastuksella, γ) diodilla ja vastuksella sarjassa. Millainen virta piirissä kulkee kussakin tapauksessa? Esitä jännite ja virta graafisesti yhteisellä aika-akselilla.



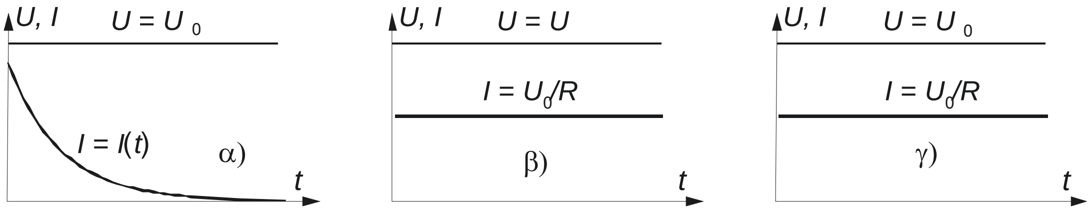
Käsittely. a) Diodin läpäisysuunta ilmenee sen tunnuksesta. Kytköksessä (i) virta siis läpäisee lampun 2 kanssa sarjaan kytketyn diodin mutta ei toista. Siis vain lamppu 2 palaa. Kytköksessä (ii) virta ei pääse kummankaan diodin läpi, joten kumpikaan lamppu ei pala.

b) iii Kytkös on tasavirtapiiri.

(α) Jos musta laatikko on kondensaattori, virta ei kulje ollenkaan – lukuun ottamatta lyhytaikaista latausvirtaa ja heikkoa vuotovirtaa.

(β) Jos musta laatikko on vastus, piirissä kulkee Ohmin lain mukainen tasavirta $I = U/R$, missä R on vastuksen resistanssi ja U pariston jännite.

(γ) Jos diodi on kytketty oikein päin, sähkövirta on sama kuin (β)-kohdassa, jos se on toisin päin, virta ei kulje.

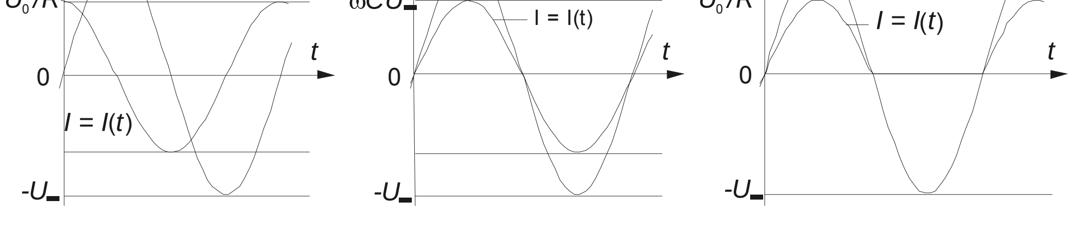


iv Kytkös on vaihtovirtapiiri, jonka sinimuotoisen jännitteen taajuus on $f = \omega/2\pi$.

(α) Kondensaattorin läpi kulkee samantaajuinen vaihtovirta, jonka amplitudi on $I_0 = \omega C U_0$, missä C on kondensaattorin kapasitanssi. Virta on vaihe-eron $\pi/2$ jännitteen edellä, ts. virta on suurin, kun jännite on 0 ja kasvamassa. Tulokset seuraavat kondensaattorin varauksen ja jännitteen sekä varauksen ja (lataus)virran välisistä yhteyksistä $Q = CU$ ja $= dQ/dt$.

(β) Vastuksen läpi kulkee Ohmin lain mukainen virta. Se on samantaajuinen vaihtovirta, sen amplitudi on $I_0 = U_0/R$, missä R on vastuksen resistanssi, ja se on samassa vaiheessa kuin jännite.

(γ) Diodista virta pääsee läpi vain toiseen suuntaan. Virta saadaan siten (β)-kohdan virrasta leikkaamalla joko positiiviset tai negatiiviset arvot pois, riippuen siitä, miten päin diodi on kytketty.



Huomautuksia.
Jokainen oikea vastaus oli pisteen arvoinen. Siten tästä tehtävästä oli jaossa kaikkiaan 8 pistettä, a-kohdasta 2, b-kohdasta 6.

a) Perustellut oikeat vastaukset tuottivat kumpikin pisteen. Perustelujen puuttuminen pudotti toisen pisteen pois. Tavallinen virhe kohdassa (i) oli keksintö, jonka mukaan lampun 2 läpi kulkeva virta jakautuu kahteen osaan; toinen jatkaa jännitelähteelle ja toinen kulkee lampun 1 kautta ja jää siten kiertämään kehää. Näin saatiin myös lamppu 1 palamaan. Tällainen virhe paljastaa, että mielikuva jännitteen merkityksestä on selkiytymätön.

b) Vaihtovirta tuotti odotetusti enemmän vaikeuksia kuin tasavirta.

Kaikkiaan diodi oli monille täysin outo komponentti. Elektroniikan ensimmäisetkin alkeet olivat siis jääneet oppimatta.

Tehtävä 5.

Kryptonlaserin valo, jonka aallonpituus on 6471 Å, siroaa jodinäytteestä. Sironneen valon spektrissä esiintyy kolme lähekkäistä viivaa, joiden aallonpituudet ovat 6560 Å, 6471 Å ja 6384 Å. Aallonpituuden muutokset sirontaprosessissa aiheutuvat valon vuorovaikutuksesta kaksiatomisen jodimolekyylin värähtelyjen kanssa. Miten havaitut kolme spektriviivaa voidaan ymmärtää valon fotonimallin avulla, ja mitä niiden mitattujen aallonpituuksien perusteella voidaan päätellä jodimolekyylin värähtelytilojen energioista? Esitä fysikaalisesti perusteltu tulkinta.

Käsittely.
Valon fotonimallin mukaan sironta voidaan tulkita fotonien törmäyksiksi jodimolekyyleihin. Kimmoisassa törmäyksessä fotonien energia $E = hc/\lambda$ ei muutu. Sironneella säteilyllä on tällöin sama aallonpituus λ_0 = 6471 Å kuin tulevalla.

Törmäyksessä fotoni voi kuitenkin myös luovuttaa tai vastaanottaa energiaa, jolloin säteilyn aallonpituus sironnassa suurenee tai pienenee. Aallonpituuden muutokset $\Delta\lambda$ ilmaisevat fotonien energian muutokset

$$\Delta E = hc(1/\lambda - 1/\lambda_0) \approx -(hc/\lambda_0^2)\Delta\lambda = -(hc/\lambda_0)/(\Delta\lambda/\lambda_0) = (\Delta\lambda/\lambda_0)\cdot(3{,}07\cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}) = (\Delta\lambda/\lambda_0)\cdot(1{,}92\ \mathrm{eV})\,.$$

Havaitut aallonpituuden muutokset +89 Å eli +1,38 % ja –87 Å eli –1,34 % vastaavat siten fotonin energian muutoksia 26,4 meV ja –25,8 meV ja jodimolekyylin värähtelyenergian muutoksia –26,4 meV ja 25,8 meV. Jodimolekyylin värähtelyenergia on siis siten kvantittunut, että energiatasojen väli on noin 26 meV.

Huomautuksia.
Tehtävä testaa modernin fysiikan peruskäsitteiden tuntemusta.

Tyypillisesti hyvissä vastauksissa (4...6 pistettä)
– laskettiin fotonien energiat ja todettiin, että annetut aallonpituudet vastaavat fotoneja, joiden energia pienenee, pysyy samana tai kasvaa,
– yhdistettiin fotonien energian pieneneminen jodimolekyylin värähtelyenergian yhtä suureen kasvuun ja päinvastoin.

Vastauksesta annettiin 3...4 pistettä, jos fotonin ja jodimolekyylin energianvaihto oli ymmärretty periaatteessa oikein. Parhaat vastaukset (5...6 pistettä) sisälsivät lisäksi opittua tai koetilanteessa ideoitua mallintamista. Mallin lopullista tarkkuutta ei katsottu kovin kriittisesti, vaan rohkea ajattelu palkittiin. Ajatus jodimolekyylin virittymisestä korkeammalle energiatasolle tuotti 1...2 pistettä. Oikein lasketuista fotonien energioista annettiin jo 1 piste. Toistuvaa energian muutosten laskemista suoraan aallonpituuden muutoksesta ei sen sijaan katsottu suopein silmin.

Tehtävä sinänsä oli varsin helppo. Vaikka Ramanin sirontaa ei koulussa olekaan käsitelty, ei sen tulkitseminen tehtävässä pyydetyllä tavalla edellytä muuta kuin modernin fysiikan perustietoja. Kvantittumisen ja dualismin ilmiömaailma oli jäänyt useimmille kuitenkin täysin vieraaksi. Havaitun ilmiön selitystä etsittiin mm. Braggin laista, Comptonin ilmiöstä, valosähköisestä ilmiöstä ja interferenssistä. Jotkut yrittivät hyödyntää Balmerin kaavaa. Vastauksissa esiintyi muutenkin edustava valikoima taulukoista hätäisesti kopioituja, etäisesti asiaan liittyviä tai täysin asiaankuulumattomia kaavoja!

Aikaisemmat kokemukset modernin fysiikan tehtävistä antoivat aiheen odottaa huonoa tulosta. Keskiarvo jäi kyllä odotettuakin alhaisemmaksi, kun peräti 63,7 % pyrkijöistä ei edes yrittänyt vastata tehtävään. Tietämättömyyden ohella taisi vaivata myös uskalluksen puute. Pelättiin esittää omia ajatuksia ja malleja ilmiölle, joka ei mahdu ahtaan kaavakokoelman piiriin.

Tehtävä 6.

Kuinka paljon energiaa vapautuu uraaniatomin fissioreaktiossa $^{235}U \; => \; ^{145}La + {}^{90}Br + 3n$? Reaktiossa esiintyvien isotooppien atomimassat ovat 238,050785 u, 144,921643 u, 89,931015 u sekä 1,086645 u.

Käsittely.
Energian vapautuminen on ydinvuorovaikutusten potentiaalienergian muuttumista reaktiotuotteiden liike-energiaksi. Isotooppimassat ovat hiukkasten lepomassoja. Vapautuvan energian määrä ilmenee Einsteinin lain mukaisesti lähtö- ja tuloshiukkasten massojen erotuksena

$$E \;=\; (m_U - m_{La} - m_{Br} - 3m_n)c^2 \;=\; (0{,}172134\text{ u})c^2 \;=\; 160{,}343\text{ MeV} \;=\; 2{,}56899 \cdot 10^{-11}\text{ J}$$

Huomautuksia.
Tehtävä on äärimmäisen yksinkertainen Einsteinin ekvivalenssilain sovellus, jonka ratkaisemiseen riittää jo Aku Ankasta opittu kaava $E = mc^2$ ilman sen kummempaa ajattelua, jos vain tietää, mitä annettu reaktioyhtälö merkitsee, ja pystyy suorittamaan peruslaskutoimituksia laskimella. Tehtäväpaperissa oli annettu yksikkö u kilogrammoina, joten edes sen merkitystä ei tarvinnut tietää tai hakea taulukkokirjasta. Valonnopeus tosin oli annettu ilman tunnusta, mutta sen käyttö kaavan c-kirjaimen paikalla selviää helposti taulukosta. Useimmat annetuista vastauksista olivatkin aivan tai lähes oikeita.

Jos vastauksessa oli vain yhtälö ja lopputulos oli ilman perusteluja, sakotettiin 1...2 pistettä. Älyttömistä laskentatarkkuuksista veloitettiin 1 piste. Pienet laskuvirheet annettiin anteeksi, vain ilmeisen vääriin tuloksiin johtavista sakotettiin 1 piste. Monet ottivat tuloshiukkasten massaan mukaan vain yhden neutronin unohtaen kaksi muuta. Tämä arvioitiin laskuvirhettä raskaammaksi, 2 pisteen rikkeeksi.

Energian muutoksen väärästä etumerkistä sakotettiin tilanteen mukaan joko 2 tai 3 pistettä. Yksikkö- ja dimensiosekoilut rangaistiin 1 tai 2 pisteen menetyksellä asian vakavuudesta riippuen. Esimerkiksi energian ilmaiseminen massan yksikäissä katsottiin 2 pisteen virheeksi.

Eräät vastaajat huomauttivat erikseen, että varaus säilyy reaktiossa. Tämän tarkistaminen on sinänsä tällaisessa tehtävässä aina tärkeä varmistustoimenpide. Se edellyttää hiukkasten varauslukujen (järjestyslukujen) tietämistä tai niiden etsimistä taulukosta. Sen puuttumisesta ei kuitenkaan sakotettu.

Tehtävä oli selvästi helpoin kaikista. Siksi oli hälyttävää, että peräti 37 % pyrkijöistä jätti sen kokonaan käsittelemättä. Eikä koulussa opeteta edes modernin fysiikan keskeisimpiä yleissivistyksen perusteita? Eivätkö lapset enää lue edes Aku Ankkaa?

Huolimatta alhaisesta vastaamisprosentista tehtävä tuotti kohtuullisen pistesadon. Sen keskiarvo oli kokeen toiseksi korkein ja jäi vain vähän pienemmäksi kuin Matin pyöräretken keskiarvo.