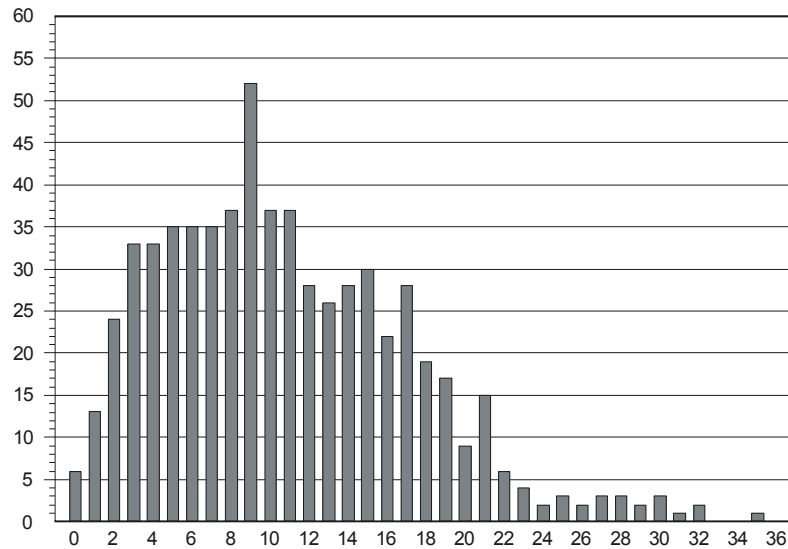


Fysiikan valintakoe Helsingin yliopistossa v. 1992¹

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

Kokeen yleiskuva

Matemaattisten aineiden koulutusohjelmiin pyrki vuonna 1992(1991) kaikkiaan 3064(2758) opiskelijaa, heistä 593(568) ensisijaisesti fysikaalisiin tieteisiin. Fysiikan valintakoe pidettiin 16.06. Siihen osallistui 631(516) pyrkijää. Valintojen pisterajoiksi /280 muodostuivat fysiikassa 192(170), kemiassa 199(182), matematiikassa 196(170) ja tietojenkäsittelyopissa 223(220). Hakijoista hyväksyttiin kaikkiaan 1843(2034), joista 484(484) sai opiskeluoikeuden fysikaalisten tieteiden koulutusohjelmaan.



Suoran arvostelun pistejakauma.

Kokeen keskiarvo oli 10,79/36. 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 5,9. Tällöin esimerkiksi tyydyttävään (7/10) suoritukseen riitti 12/36 ja kiitettävään (9/10) suoritukseen 18/36 pistettä suorassa arvostelussa.

Tehtäväkohtaiset pistejakaumat ja keskiarvot on esitetty oheisessa taulukossa.

Pisteiden prosenttiset jakaumat

Tehtävä	1	2	3	4	5	6
Pisteet						
-	3,8	1,9	28,4	17,9	12,8	48,5
0	7,6	21,9	33,0	20,3	1,6	21,7
1	28,2	26,0	10,8	10,8	16,8	8,3
2	24,9	20,8	10,8	2,1	18,1	12,2
3	16,2	13,3	7,4	3,6	22,7	3,0
4	8,7	10,1	4,1	17,6	15,7	4,6
5	6,3	4,1	2,8	3,0	8,5	0,6
6	4,3	1,9	2,7	24,7	3,8	1,1
Keskiarvo	2,19	1,80	1,02	2,60	2,49	0,70

¹ Report Series in Physics HU-P-A75, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Helsinki 1995.

Tehtävä 1.

Astronautti on avaruuskävelyllä etäännytynyt 100 m:n päähän aluksesta.

- Hän palaa kävelyllä vetämällä köydestä, jonka toinen pää on kiinni aluksessa. Vetääkö hän tällöin aluksen luokseen, itsensä aluksen luo, vai liikkuvatko molemmat? Jos molemmat liikkuvat, kuinka paljon kumpikin siirtyy?
- Köysi katkeaa. Millä keinoin astronautti voi palata aluksen luo omin neuvoin?
- Köyden katketessa astronautti jäi selin alukseen. Onko hänen mahdollista kääntyä ympäri, niin että hän jälleen näkisi aluksen, ja miten hänen on meneteltävä, jotta se onnistuisi?

Käsittely.

a) Liikemäärän säilymislain perusteella astronautin ja aluksen muodostaman systeemin massakeskipiste pysyy paikallaan. Astronautin vetäessä siis molemmat liikkuvat toisiaan kohti ja kohtaavat massakeskipisteessä, joka jakaa heidän välimatkansa massojen käänteisessä suhteessa. Astronautti liikkuu siis matkan $M/(m+M) \cdot (100 \text{ m})$ ja alus $m/(m+M) \cdot (100 \text{ m})$, missä m ja M ovat astronautin ja aluksen massa.

b) Liikemäärän säilymislain perusteella astronautti pääsee liikkumaan alusta kohti vain heittämällä jonkin esineen vastakkaiseen suuntaan.

c) Pyörimismäärän (liikemäärämomentin) säilymislain puitteissa astronautti pääsee kääntymään haluamansa akselin ympäri pyörittämällä jotakin esinettä, tai esimerkiksi kättään, vastakkaiseen suuntaan samansuuntaisen akselin ympäri.

Huomautuksia.

Tehtävä arvosteltiin epälineaaraisesti siten, että yhdestäkin oikein vastatusta kohdasta saattoi saada kolme pistettä.

a) Yli kolmannes vastanneista oli sitä mieltä, että molemmat liikkuvat 50 m. Koska liikkumista ja matkoja kysyttiin erikseen, tästä annettiin yksi piste erotukseksi vielä huonommista vastauksista, joissa ehdotettiin esimerkiksi, että astronautti pysyy paikallaan ja vetää aluksen luokseen. Vastauksista, joista ilmeni että molemmat liikkuvat ja astronautti liikkuu enemmän, sai kaksi pistettä. Vain harvat osasivat vastata kolmen pisteen arvoisesti.

b) Monissa vastauksissa tehtiin pitkälle meneviä oletuksia astronautin varustelutasosta, oletettiin mm., että hänellä on selässä raketimoottori. Pelkkä toteamus, että astronautti pääsee aluksen luo raketin avulla, ei avannut pisteitä. Jos sen sijaan raketimoottorin toimintaperiaate oli oikein selitetty liikemäärän säilymiseen nojautumalla, tästä saattoi saada kaksi pistettä. Vastauksesta, jossa astronauttia kehoitettiin tyyneästi odottamaan kunnes hänen ja aluksen välinen gravitaatio vetäisi heidät yhteen, annettiin piste.

c) Pelkkä "kyllä" ei tässä riittänyt. Epämääräinenkin viittaaminen esimerkiksi käsien heiluttelun vaikutukseen palkittiin yhdellä tai kahdella pisteellä. Kolmas piste edellytti vetoamista oikeaan fysikaaliseen lakiin, joka oli jäänyt lähes kaikille tuntemattomaksi. Suurin osa vastaajista jäi tässä kohdassa kokonaan pisteittä. Kääntymisen mahdollisuutta ei kai suomalaiselle kannata yrittääkään opettaa.

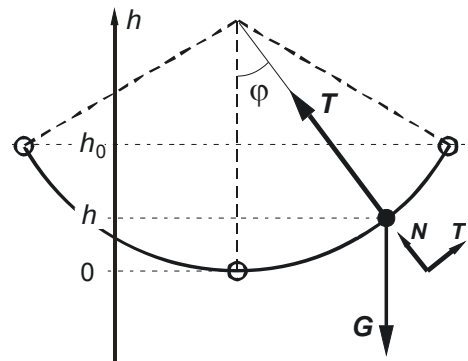
Tehtävä 2.

Keinun köydet ovat noin 2 m pitkät. Lapsen keinuessa heilahduksen suurin poikkeama tasapainoasemasta on 60° . Määritä lapsen nopeus ja kiihtyvyys a) ääriasemissa b) hänen sivuuttaessaan tasapainoaseman ja c) hetkenä, jona keinun köydet muodostavat kulman 30° tasapainoaseman kanssa. Piirrä myös kuva, josta nopeuksien ja kiihtyvyyksien suunnat ja suuruudet ilmenevät. Mitkä tekijät aiheuttavat epätarkkuutta tuloksiin, ja millä tavalla ne vaikuttavat?

Käsittely.

Lapsen vaikuttavat alaspäin suuntautuva painovoima $G = mg$, missä m on lapsen massa, ja köysien jännitysvoima T , joka suuntautuu kohti köysien ripustuskohtaa. Ilmanvastus voidaan jättää huomioon ottamatta. Köysien jännitysvoima ei tee työtä, koska se on aina kohtisuorassa lapsen liikettä vastaan. Keinuminen noudattaa tällöin energian säilymislakia

$$E_k + E_p = E_{p0} \text{ eli } \frac{1}{2}mv^2 + mgh = mgh_0,$$



missä $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ja $E_p = mgh$ sekä $E_{p0} = mgh_0$ ovat lapsen ja keinulaudan yhteinen liike-energia ja potentiaalienergia mielivaltaisella korkeudella h sekä potentiaalienergia ääriasemassa korkeudella h_0 . Tästä voidaan ratkaista lapsen nopeus korkeudella h

$$(1) \quad v(h) = \frac{1}{2}\sqrt{2g(h_0 - h)}$$

Kun liikkeen positiivinen suunta valitaan kuvan mukaisesti, nopeus liikkeessä vasemmalle on positiivinen, liikkeessä oikealle negatiivinen.

Lapsen kiihtyvyys on dynamiikan peruslain mukaan

$$\mathbf{a} = (\mathbf{G} + \mathbf{T})/m = \mathbf{a}_T + \mathbf{a}_N$$

Tälle saadaan luonteva esitys ratakoordinaatistossa, jonka positiiviset suunnat valitaan kuvan mukaisesti. Vain painolla on tangentialikomponentti, joten lapsen tangentialikihtyvyys mielivaltaisessa asemassa on

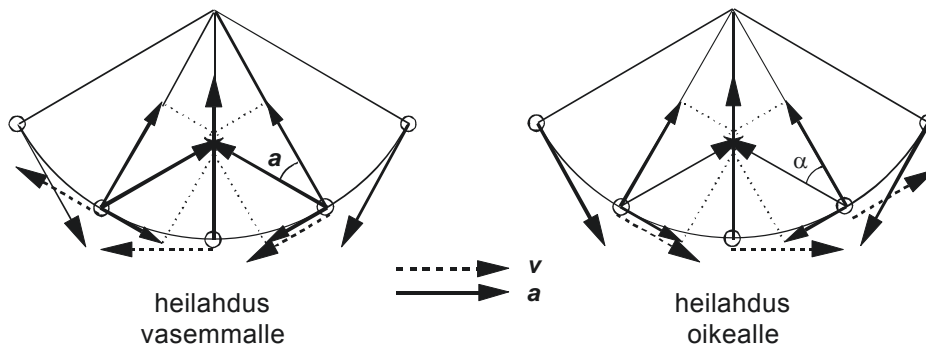
$$(2) \quad a_T = -g\sin\phi$$

joka on positiivinen tasapainoaseman vasemmalla puolella, negatiivinen sen oikealla puolella. Kappaleen normaalikihtyvyyden ilmaisee lauseke $a_N = v^2/r$, missä v on kappaleen nopeus ja r sen radan kaarevuussäde. Keinun normaalikihtyvyys korkeudella h on siten tuloksen (1) perusteella

$$(3) \quad a_N = 2g(h_0 - h)/R$$

missä R on keinun köysien pituus.

a) Ääriasemissa on $h = h_0$ ja $\phi = \pm 60^\circ$, joten nopeus (1) on $v = 0$, normaalikihtyvyys (3) $a_N = 0$ ja kiihtyvyydeksi saadaan pelkkä tangentialikihtyvyys (2) $a = a_T = \frac{\sqrt{3}}{2}g \approx \pm 8,5 \text{ m/s}^2$.



b) Tasapainoasemassa on $\phi = 0^\circ$ ja $h_0 - h = R(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}R$, joten nopeudeksi (1) saadaan $v = \frac{1}{2}\sqrt{gR} \approx \pm 4,4 \text{ m/s}$ ja kiihtyvyyden komponenteiksi (2) ja (3) $a_T = 0$ ja $a = a_N = g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

c) Kun keinun poikkeama tasapainoasemasta on $\phi = 30^\circ$, on

$$h_0 - h = R(\cos 30^\circ - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}R(\sqrt{3} - 1)$$

Nopeudeksi ((1)) saadaan tällöin

$$v = v(h) = \frac{1}{2}\sqrt{gR(\sqrt{3} - 1)} \approx \pm 3,8 \text{ m/s}$$

ja kiihtyvyyden komponenteiksi (2) ja (3)

$$a_T = \pm g\sin 30^\circ = \frac{1}{2}g \approx \pm 4,9 \text{ m/s}^2 \text{ ja } a_N = v^2/R \approx 7,2 \text{ m/s}^2$$

Kiihtyvyyden itseisarvo on siis

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_N^2} \approx 8,7 \text{ m/s}^2$$

ja sen suunta poikkeaa kulman $\alpha = 34^\circ$, ($\tan\alpha = a_T/a_N$) köyden suunnasta.

Käsittelyssä keinuva lapsi on idealisoitava matemaattiseksi heiluriksi, jonka pituus on sama kuin köysien pituus ja johon ei vaikuta muita voimia kuin painovoima ja köysien jännitysvoima.

Todellisuudessa lapsi ei ole massapiste eivätkä köydet ole massattomat. Systeemillä on sen tähden pyörimishitautta ja sen painopisteen etäisyys ripustuskohdasta on pienempi kuin köysien pituus. Kumpikin tekijä hidastaa heilumista. Samoin vaikuttaa erityisesti ilmanvastus, joka kuluttaa energiaa. Keinuva lapsi ei myöskään ole jäykkä kappale, mutta erityisesti lapsen oman liikehdinnän vaikutusta ei voi arvioida ilman lähempiä tietoja.

Huomautuksia.

Tehtävä on standarditehtävä, joka testaa energiaperiaatteen ja mekaniikan ensimmäisten peruskäsitteiden, nopeuden, voiman ja kiihtyvyyden tuntemusta.

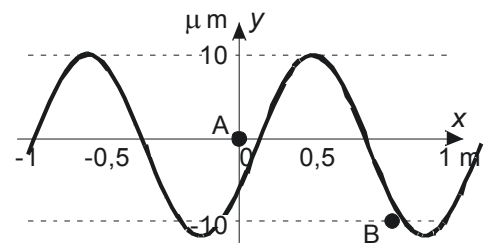
a) Nopeus kyllä tiedettiin nolaksi ääriasemissa, mutta puolet vastaajista väitti myös kiihtyvyyden olevan nolla. Tämä on tunnetusti muissakin yhteyksissä yleinen ajatusharha, jonka torjumiseen tulisi kiinnittää koulussa huomiota pohtimalla perusteellisemmin radan, nopeuden ja kiihtyvyyden välisiä relaatioita. Oikeasta vastauksesta sai kaksi pistettä.

b) Ilahduttavan moni käytti energiaperiaatetta oikein nopeuden laskemiseen. Tästä sai yhden pisteen. Toisen pisteen sai normaalikihtyvyydestä. Tässä kohdassa yleisin virhe oli korkeuseron laskeminen väärin.

c) Tästä kohdasta oli jaossa viisi pistettä: nopeudesta, normaalikihtyvyydestä, tangenttikihtyvyydestä, kiihtyvyyden itseisarvosta sekä kahden epätarkkuutta aiheuttavan tekijän toteamisesta, kustakin yksi. Nopeus yleensä hallittiin tässäkin kohdassa. Sen sijaan kiihtyvyyden laskeminen normaali- ja tangenttikihtyvyyden vektorisummasta onnistui vain harvoilta.

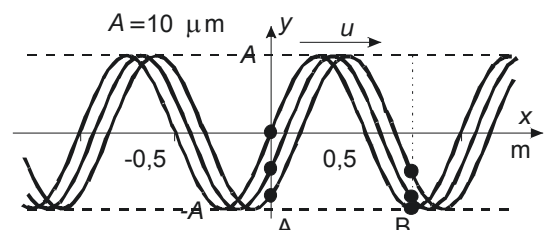
Tehtävä 3.

Poikittainen sinimuotoinen aaltoliike etenee kimmoisassa väliaineessa nopeudella 520 m/s x-akselin positiiviseen suuntaan. Oheinen kuva esittää x-akselin hiukkasten hetkellisiä poikkeamia tasapainoasemistaan nollassa hetkellä. Esitä graafisesti hiukkasten A ja B paikat, nopeudet ja kiihtyvyydet ajan funktioina. Kuvien ei tarvitse olla tarkasti piirrettyjä, kunhan akselien asteikot, kuvaajien olennaiset mitat ja sijoittuminen aika-akselille ilmenevät selvästi.

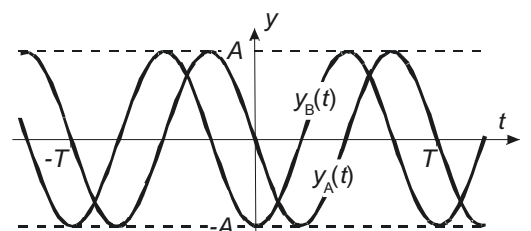


Käsittely.

Kuvaajan mukaan aallon amplitudi on $A = 10 \mu\text{m}$ ja aallonpituus $\lambda = 1,0 \text{ m}$ ja se etenee oikealle nopeudella $u = 520 \text{ m/s}$. Aikana $T = \lambda/u = 1/(520 \text{ s}) \approx 1,9 \text{ ms}$ se siirtyy yhden koko aallon verran, joten jokainen väliaineen hiukkanen suorittaa tänä aikana yhden edestakaisen heilahduksen. Niiden värähtelyjen jaksonaika on T ja taajuus $f = 1/T = 520 \text{ Hz}$.



Yksittäisten hiukkasten A ja B poikkeamat tasapainoasemistaan nähdään katsomalla, miten aallon muotoa esittävän käyrän y-koordinaatit näiden hiukkasten kohdalla, eli pisteissä $x_A = 0$ ja $x_B = 75 \text{ cm}$ muuttuvat käyrän edetessä.



Nollahetkellä A on tasapainoasemassaan liikkeellä negatiiviseen suuntaan ja B ääriasemassaan lähdössä positiiviseen suuntaan. Tällä perusteella niiden ratoja $y = y_A(t)$ ja $y = y_B(t)$ esittävät sinikäyrät on helppo muodostaa. Jaksonaika ja amplitudi määräävät akselien asteikot.

Radan kuvaajien perusteella on helppo edelleen määrittää nopeuden ja kiihtyvyyden kuvaajat. Molemmat ovat sinikäyriä. Koska nopeus on radan derivaatta $v = dy/dt$, sen kuvaajan nollakohdat ovat radan kuvaajan ääriarvojen kohdalla ja ääriarvot radan kuvaajan nollakohdissa. Se voidaan sen tähden piirtää suoraan samalle aika-akselille siirtämällä radan kuvaajaa vasemmalle aikavälin $T/4$ verran. Kiihtyvyys on vastaavasti nopeuden derivaatta $a = dv/dt$, joten sen kuvaaja saadaan samalla tavalla nopeuden kuvaajasta.

Tämän jälkeen vain v - ja a -akselien asteikot jäävät määritettäväksi laskemalla. Tähän riittää nopeuden ja kiihtyvyyden amplitudien laskeminen. Radan kuvaajan perusteella voidaan kirjoittaa esimerkiksi hiukkasen A radan yhtälö

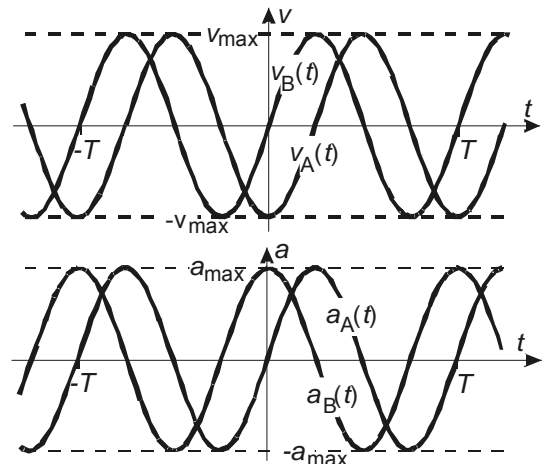
$$y_A = -A \sin 2\pi t/T \quad \text{eli} \quad y_A = -A \sin 2\pi f t.$$

josta saadaan derivoimalla nopeus ja kiihtyvyys

$$v_A = -2\pi f A \cos 2\pi f t \quad \text{ja} \quad a_A = 4\pi^2 f^2 A \sin 2\pi f t.$$

Nopeuden ja kiihtyvyyden amplitudit ovat siis

$$v_{\max} = 2\pi f A \approx 33 \text{ m/s} \quad \text{ja} \quad a_{\max} = 4\pi^2 f^2 A \approx 110 \text{ m/s}^2$$



Tehtävä voidaan luonnollisesti ratkaista algebran kautta kirjoittamalla annetun kuvaajan ja etenemisnopeuden perusteella aallon muotoa hetkellä t esittävä yhtälö $y = A \sin[2\pi(x/\lambda - ft)]$, sijoittamalla siihen $x = x_A = 0$ ja $x = x_B = 3\lambda/4$, derivoimalla näin saatuja A:n ja B:n ratojen yhtälöitä ja piirtämällä saatujen lausekkeiden kuvaajat. Näin ei tarvitse paljon ajatella, mutta joutuu vastaavasti alttiiksi pienille laskuvirheille, jotka tekevät tuloksista älyttömiä ja paljastavat näin ajattelemattomuuden.

Huomautuksia.

Arvostelussa annettiin kaksi pistettä jo värähtelyjen jaksonajan ja amplitudin selville saamisesta. Jos ratojen kuvaajat oli osattu piirtää, annettiin yksi piste lisää. Oikeat nopeuksien ja kiihtyvyyksien kuvaajat amplitudeineen toivat lisää pisteitä siten, että täydet pisteet sai, vaikka yksi kuvaajista oli väärin tai yksi amplitudi määrittämättä.

Näinkin arvostellen tehtävän keskiarvo jäi luvattoman alhaiseksi. Yli puolet vastaajista joko jätti tehtävän käsittelemättä tai käsitteli sitä ymmärtämättä edes, mitä väliaineessa etenevä aaltoliike merkitsee. Heistä useimmat luulivat annettua nopeutta hiukkasten etenemisnopeudeksi. Ratojen kuvaajiksi tarjottiin tx -koordinaatiston suoraa, joiden kulmakerroin oli $v = 520 \text{ m/s}$. Jotkut aavistelivat liikkeen jaksollisuutta ja piirsivät kaksi suoraa, joiden päällä luikerteli pieni sinikäyrä. Jotkut jatkoivat vielä tästäkin piirtäen nopeuden ja kiihtyvyyden kuvaajiksi erilaisia sahalaita- ja porraskäyriä.

Syntyi vaikutelma, että tämä aihepiiri sivuutetaan useissa kouluissa täysin. Tehtävä oli tosin kokonaisuudessaan osavallekin tarkkuutta vaativa, mutta puolet pisteistä olisi toki saanut jo osoittamalla ymmärtävänsä ilmiön oleelliset piirteet. Muutama hienokin vastaus löytyi. Niille, jotka ymmärsivät ilmiön luonteen, tuotti vaikeuksia lähinnä vain nopeuden ja kiihtyvyyden kuvaajien amplitudien määrittäminen. Hyvin yleinen virhe oli myös hiukkasen A radan kuvaajan piirtäminen oikean kuvaajan peilikuvaksi, siis samanmuotoiseksi kuin annettu aallon muodon kuvaaja.

Tehtävä 4.

Sinulla on 6 samanlaista kondensaattoria, joiden kapasitanssi on 200 nF ja läpilyöntikestävyys 500 V. Kytke ne yhteen systeemiksi, jonka läpilyöntikestävyys on 1000 V ja kapasitanssi 300 nF.

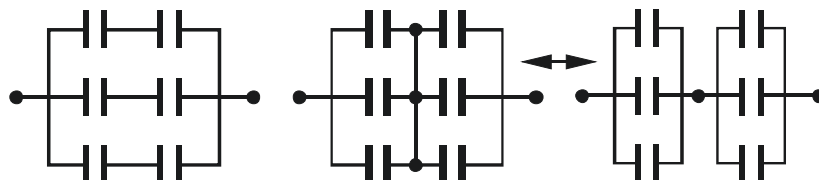
Käsittely.

Tehtävä on sähköopin käytännön probleeman yksinkertainen malli. Se edellyttää yksinkertaista päättelyä, joka nojautuu sähköstatiikan peruskäsitteiden, varauksen, jännitteen ja kapasitanssin tuntemukseen. On ymmärrettävä, että

– rinnan kytkennässä kondensaattoreissa on sama jännite, joten kokonaisvaraus jakautuu kondensaattoreihin näiden kapasitanssien suhteessa ja kapasitanssi on siten additiivinen.

- sarjaan kytkennässä kondensaattoreissa on sama varaus, joten kokonaisjännite jakautuu kondensaattoreihin näiden kapasitanssien käänteisarvojen suhteessa ja kapasitanssin käänteisarvo on siten additiivinen.
- läpilyöntikestävyys merkitsee kondensaattoriin tai systeemiin kytkettävien jännitteen ylärajaa.

Kondensaattorien samanlaisuus yksinkertaistaa päättelyä ja tekee laskemisen lähes tarpeettomaksi. Periaatteessa tehtävä ratkeaa kokeilemalla, mutta summittaisen kokeilun asemesta kannattaa pohtia asetettujen vaatimusten merkitystä. Tällöin huomataan, että vaadittu läpilyöntikestävyys saadaan aikaan kytkemällä kaksi kondensaattoria sarjaan, jolloin 1000 V:n kokonaisjännitteestä kummankin osalle tulee 500 V, jonka ne kestävät. Saadun systeemin kapasitanssi on puolet yhden kondensaattorin kapasitanssista eli 100 nF, joten tarvittava 300 nF:n kapasitanssi saadaan aikaan kytkemällä kolme tällaista sarjaan kytkettyä paria rinnan.



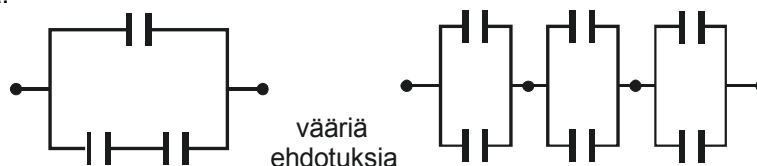
Koska kondensaattorit ovat samanlaisia, kaikissa kolmessa haarassa sisemmät levyt ovat samassa potentiaalissa, eikä niiden yhdistäminen toisiinsa vaikuta mitään. Näin saadaan vaihtoehtoinen ratkaisu, jossa kaksi kolmen rinnan kytketyn kondensaattorin systeemiä on kytketty sarjaan. Tähän ratkaisuun voidaan luonnollisesti päätyä myös suoraan.

Huomautuksia.

Täysiin pisteisiin riitti jompikumpi kytkentä järkevästi perusteltuna.

Jos läpilyöntikestävyys oli sivuutettu, vähennettiin 1 tai 2 pistettä laiminlyönnin asteesta riippuen. Perustelematon oikea kytkentä riitti vain yhteen pisteeseen. Eriasteiset hatarat perustelut paransivat tuloksen 2–4 pisteeseen.

Ratkaisuksi tarjottiin useassa paperissa kytköstä, jossa yksi kondensaattori oli kytketty rinnan kahden sarjaan kytketyn kondensaattorin kanssa. Näin saadaan oikea kapasitanssi, mutta systeemillä on vain sama läpilyöntikestävyys kuin yhdellä kondensaattorilla eli 500 V. Ehdotus palkittiin kuitenkin 3 tai 4 pisteellä riippuen perusteluista.



Yllättävän monessa vastauksessa jännitteen ja kapasitanssin additiivisuus oli käännetty pääläelleen. Koska tämä heijastaa täydellistä tietämättömyyttä peruskäsitteiden luonteesta, arvostelijalle ei jää tällöin vaihtoehtoja: 0 pistettä. Suositettu ehdotus, jossa kondensaattorit oli kytketty ensin pareittain rinnan ja näin saadut kolme systeemiä edelleen sarjaan, seuraa tästä perusväärinkäsityksestä. Sen tähden siitä ei annettu pisteitä, vaikka sen läpilyöntikestävyys tietenkin on riittävä.

Monet lähtivät alkuun kokeilemalla varsin summittaisesti erilaisia kytkentöjä päätyen kuitenkin lopulta oikeaan ratkaisuun. Vastauksista tuli näin kaikkiaan varsin hyviä, sillä niissä oli yleensä perusteltu, miksi yrittäjät eivät kelpaa.

Keskiarvojen perusteella tehtävä oli kokeen helpoin. Masentavaa oli, että noin viidennes vastanneista sai kuitenkin täyden nollan ja kuudennes jätti kokonaan vastaamatta.

Tehtävä 5.

Esittele lyhyesti johteiden ja eristeiden tärkeimmät erot. Miten erot ilmenevät kokeellisesti, ja miten ne voidaan ymmärtää aineen rakenteen perusteella. Tarkastele erikseen johde- ja eristekappaleiden käyttäytymistä sähkökentässä ja virtapiirin komponenttina.

Käsittely.

Tehtävä testaa vastaajan perustietoja aineen sähköisistä ominaisuuksista. Vastaus osoittaa, miten hyvin pyrkijälle on jäsentynyt sähköstaattisten ilmiöiden ja sähkövirran erilaisuus, miten hän on oppinut erottamaan havaittavat ilmiöt ja ominaisuudet niiden teoreettisista malleista. Hyvään vastaukseen kuuluu seuraavia toteamuksia:

- Aineen sähköstaattiset ominaisuudet ilmenevät siitä, miten ne käyttäytyvät sähkökentässä, ja mitä ne vaikuttavat sähkökenttään. Niitä voidaan tutkia varaamalla kappaleita ja asettamalla niitä sähkökenttään, esimerkiksi kondensaattorilevyjen väliin.
- Eristekappaleet polarisoituvat, mutta niihin ei muodostu makroskooppista varausta eikä niihin tuotu varaus pääse helposti siirtymään kappaleessa.
- Eristeen suhteellinen permittiivisyys, joka riippuu sen polarisoituvuudesta, ilmaisee eristeen vaikutuksen sähkökenttään. Sen voi mitata määrittämällä eristetäytteen vaikutuksen kondensaattorin kapasitanssiin.
- Riittävän voimakkaassa sähkökentässä eristeessä tapahtuu nk. läpilyönti.
- Johdekappaleen polarisoituessa tapahtuu varausten makroskooppista erottumista. Kappaleeseen tuotu varaus liikkuu siinä vapaasti. Johdekappaleen sisään ei voi muodostua sähkökenttää, ja potentiaali kaikkialla kappaleessa on sama.
- Aineen johtavuus eli resistiivisyys ilmaisee sen kyvyn johtaa sähkövirtaa.
- Johteet johtavat sähkövirtaa hyvin, eristeet huonosti. Johteiden resistiivisyys suurenee lämpötilan noustessa, puolijohteiden ja eristeiden pienenee.
- Eristeissä elektronit ovat sitoutuneet atomeihin tai molekyyliin. Sähkökentässä atomit ja molekyylit polarisoituvat, polaariset molekyylit suuntautuvat, kentän suuntaisesti.
- Johteissa on johde-elektroneja, jotka pääsevät vapaasti liikkumaan koko johdekappaleessa.
- Eristeiden ja puolijohteiden johtavuus perustuu atomeista vapautuviin elektroneihin ja nk. aukkoihin, joiden määrä kasvaa lämpötilan noustessa.
- Erityisesti elektrolyyteissä virtaa johtavat ionit.

Huomautuksia.

Vastauksesta sai täydet pisteet, jos siinä oli järkevästi käsitelty noin 80 %:a näistä kysymyksistä. Siten 5–6 pisteen vastaukset saattoivat olla varsin erilaisia.

Joko johteen tai eristeen selvä kuvaus riitti 3 pisteeseen. Toisaalta, jos vapaiden ja sidottujen elektronien välinen perusero oli hämärä, sakotettiin 3–5 pistettä.

Selkeä käsitys johteiden ja eristeiden käyttäytymisestä sähkökentässä tai toiminnasta piirien yhteydessä alkoi jo tuottaa 4–5 pisteen vastauksia. Jos vielä Ohmin tai Faradayn koe oli tiedossa, tuli piste lisää. Täydentävät tarkastelut, kuten puolijohteiden lähempi käsittely tai esimerkit komponenteista ja sovellutuksista, otettiin huomioon muualla vastauksessa esiintyvien puutteiden kompensointina.

Joukossa oli monia selkeitä ja kypsiä vastauksia. Suurella osalla oli selvästi jonkinlainen kokonaiskuva, jonka epämääräisyys paljastui ehkä heille itselleenkin vasta vaikeuksiin sen kirjallisessa esittämisessä. Tehtävän luonteesta johtuen pistejakautuma oli varsin tasapainoinen. Heikkoja vastauksia oli kuitenkin aivan liian paljon ottaen huomioon, että pyrkijät olivat ylioppilaita ja suurimmaksi osaksi fysiikan laajan oppimäärän suorittaneita.

Tehtävä 6.

Erään (yksiaineisen) kaasun läpi kulkeneessa "valkoisessa valossa" havaitaan absorptiospektri, jonka kolmella viivalla on aallonpituudet 770 nm, 464 nm ja 405 nm. Mitä aallonpituuksia odotat tällä perusteella esiintyvän emissiospektrissä, jota kaasu tällöin lähettää?

Käsittely.

Tehtävä edellyttää absorptio- ja emissiospektrien syntymekanismien ymmärtämistä. On tunnettava seuraavat modernin fysiikan perusasiat:

- Atomilla on lajiominaiset stationaariset tilat $\{n\}$, joilla on kullakin oma energiansa $\{E_n\}$,
- Atomi voi luovuttaa tai vastaanottaa energiaa vain kvanteissa, joiden energiat ovat erotuksia $E_{nm} = E_n - E_m$.
- Sähkömagneettinen säteily luovuttaa tai vastaanottaa energiaa kvanteissa, joiden energia ilmaisee säteilyn aallonpituuden, $E = hc/\lambda$, missä h on Planckin vakio ja c valonnopeus.

Absorptiospektrin aallonpituutta λ_{nm} vastaava viiva syntyy, kun "valkoinen valo" kohtaa energiatasolla E_m olevan atomin, joka absorboi kvantin hc/λ_{nm} ja siirtyy tasolle E_n . Koska viritystilat ovat hyvin lyhytikäisiä, suurin osa kaasun atomeista on perustilassa $n = 1$. Sen tähden absorptiospektrissä esiintyy vain aallonpituuksia λ_{n1} .

Absorptiospektrin havaittujen viivojen perusteella voidaan siis päätellä, että valo virittää kaasun atomeja kolmelle eri viritystilalle, joiden viritysenergiat ovat

$$E_2 - E_1 = hc/\lambda_{21} = 2,582 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,61 \text{ eV}$$

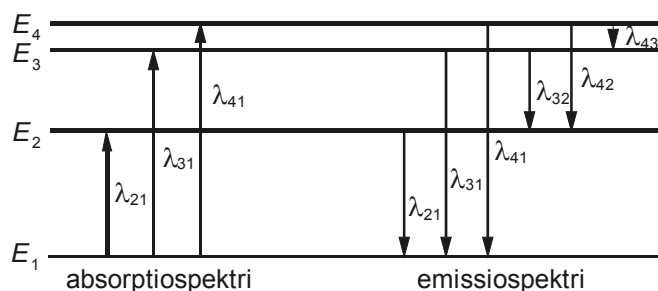
$$E_3 - E_1 = hc/\lambda_{31} = 4,284 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,67 \text{ eV}$$

$$E_4 - E_1 = hc/\lambda_{41} = 4,908 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,06 \text{ eV}.$$

Emissiospektri syntyy, kun virityneet atomit siirtyvät alempiin energiatioihin. Viritystilat voivat purkautua joko suoraan tai välitilojen kautta, joten vastaavassa emissiospektrissä on odotettavissa absorptiospektrin aallonpituuksien lisäksi myös aallonpituudet:

$$\lambda_{42} = hc/(E_4 - E_2) = 855 \text{ nm}, \lambda_{32} = hc/(E_3 - E_2) = 1168 \text{ nm}, \lambda_{43} = hc/(E_4 - E_3) = 3186 \text{ nm}.$$

Emissiospektrissä voidaan siis odottaa esiintyvän aallonpituuksia 405 nm, 464 nm, 770 nm, 885 nm, 1170 nm ja 3190 nm. Nk. valintasääntöjen johdosta kaikkien esiintyminen ei kuitenkaan ole varmaa.



Huomautuksia.

Tehtävässä tarkasteltavat ilmiöt olivat suurimmalle osalle kokeessa olleista täysin vieraita. Noin kaksi kolmasosaa joko jätti tehtävän kokonaan vastaamatta tai sepitti omia teorioitaan. Erään arvauksen mukaan "emissiospektrin aallonpituudet ovat absorptiospektrin aallonpituuksien käänteisarvoja". Annetuilla aallonpituuksilla ehdotettiin suoritettavaksi myös muita peruslaskutoimituksia. Melko usein esiintyi vastaus "emissiospektrissä ovat ne aallonpituudet, jotka absorptiospektristä puuttuvat", jossa häivähtää aavistus spektrien syntytaivoista projisioituna algebralliseksi ilmiöksi.

Tämän huomioon ottaen oli täysin perusteltua antaa piste jo siitä, että vastaukseksi annettiin pelkät absorptiospektrin aallonpituudet. Kaikki maininnat energiakvanteista ja muut spektrien syntymekanismiin liittyvät asialliset selvitykset toivat lisäpisteitä siten, että neljän pisteen saaliiseen saattoi päästä yrittämättäkään määrittää muita aallonpituuksia. Kuuden pisteen suoritus sai sisältää jonkin virheenkin, kunhan välitilojen kautta tapahtuvia siirtymisiä vastaavien aallonpituuksien esiintyminen oli ymmärretty ja niistä vähintään kaksi asiallisesti selvitetty.

Kelvollisia vastauksia (5–6 p.) oli vain noin 2 % koko joukosta. Vaikuttaa siltä, että moderniksi kutsuttu tämän vuosisadan alun fysiikka yhä sivuutetaan kokonaan enimmissä kouluissa.