

ALOITTELEVAN SELOSTUKSENKIRJOITTAJAN OPAS

| | |
|---|----|
| ALKUSANAT | 3 |
| 1 PIKAOPAS SELOSTUKSEN TEKOON..... | 4 |
| 2 MALLISELOSTUS | 6 |
| Kansilehti | 7 |
| 1 Johdanto | 9 |
| 2 Teoreettiset lähtökohdat..... | 9 |
| 2.1 Linssintekijän yhtälö | 9 |
| 2.2 Sferometri | 11 |
| 2.3 Polttopisteen määrittäminen | 15 |
| 3 Mittauslaitteisto ja kokeelliset menetelmät..... | 17 |
| 4 Havainnot ja laskut..... | 17 |
| 5 Johtopäätökset | 21 |
| Liitteet | 25 |
| Liite 1: Mittauspöytäkirja | 27 |
| Liite 2: Malliselostuksen virhelasku virheen yleisen etenemislain avulla laskettuna | 29 |
| Luku ”Teoreettiset lähtökohdat”: Lausekkeiden johtaminen..... | 29 |
| Luku ”Havainnot ja laskut”: Lausekkeiden soveltaminen | 29 |
| Liite 3: Pari sanaa kuvien ja kuvaajien käyttämisestä | 32 |

Versio 1.5.(2017-8-19)

Alkusanat

Työselostus on oleellinen osa laboratoriotyötä. Selostuksen laatiminen kannattaa oikeastaan henkisesti aloittaa jo työhön valmistautuessa, jolloin on hyvä selvittää itselleen, mitä kaikkea pitääkään mitata ja miten. Työohjeet auttavat tässä päähkäilyssä.

Etukäteissuunnittelun tärkeys korostuu varsinkin ns. avoimissa töissä, kuten esimerkiksi ”Vieriminen” ja ”Linssit”. Näissä töissä työohje ei anna vinkkejä työn suorituksesta, vaan mittaussuunnitelma on tehtävä itse.

Työselostuksilla on tietynlainen määrämuoto. Tämä ei johdu siitä, että moukkamaiset fyysikot halusivat rajoittaa taiteellista ilmaisuvapautta, vaan siitä, että työselostuksien esikuvina toimivat kansainväliset tutkimusraportit. Tämän kirjasen selkärankana on malliselostus. Siitä aloitteleva työselostuksen kirjoittaja näkee, millaista lopputulosta selostuksen tulisi noudattaa. Annettua mallia ei täysin orjallisesti tarvitse jäljitellä, mutta kappalenimistä ainakin ”Johdanto”, ”Lähteet” ja ”Liitteet” on syytä pitää malliselostuksen muodossa.

Tämän kirjasen tarkoitus on opastaa aloittelevaa kirjoittajaa ensimmäisten työselostustensa kanssa. Tässä oppaassa oletetaan, että selostus kirjoitetaan Microsoft Word -ohjelmaa käyttäen. Työosaston verkkosivuilta löytyy [ohje](#) Wordin käytöstä. Jos fysiikan opiskelua tulee jatkettua pidemmälle, jossain vaiheessa kannattaa tutustua ihan virallisiin ”tekstinkäsittelyohjelmiin”, esimerkiksi Latexiin. Allekirjoittanut tietää kuitenkin ainakin yhden henkilön, joka on tehnyt väitöskirjansa Wordilla, joten täysin absoluuttista välttämättömyyttä ei Latexin käyttöön ole.

1 Pikaopas selostuksen tekoon

Selostuksen tyyli:

Työselostus kirjoitetaan asiattyliä käyttäen. Asiattylisten tekstien tavoitteena on tiedon välittäminen tarkoituksenmukaisesti, yksiselitteisesti ja tehokkaasti. Tämän vuoksi asiatekstien kieli on neutraalia, tiivistä, täsmällistä ja ymmärrettävää. Asiatekstit vetoavat järkeen ja loogiseen päättelyyn, perustuvat tosiasioihin ja pyrkivät kuvaamaan ja erittelemään todellisuutta. Hyvä asiattyli on kielellisesti virheetöntä. Huomiota kiinnitetään erityisesti välimerkkien käyttöön, yhdyssanoihin, sanajärjestyksiin ja verbien aikamuotoihin. Pitkiä virkkeitä tulee välttää. Yli kymmenen sanan virkkeet eivät aukene kertavilkaisulla. Siksi niitä ei saisi olla paljon. Apua tyyliongelmiin löytyy muun muassa seuraavista lähteistä:

- Sirkka Hirsjärvi, Pirkko Remes, Paula Sajavaara, *Tutki ja kirjoita*, Tammi, 2005
- Kielikello 2/2006, Stellatum Oy

Tieteellisissä teksteissä on perinteisesti käytetty verbien passiivimuotoja. Nykyään tieteellisessäkin tekstissä voi käyttää yksikön ensimmäistä persoonaa ainakin silloin, kun kuvaillaan asioita, jotka kirjoittaja on itse tehnyt tai päätellyt. Tiivistelmässä käytetään passiivin imperfektiä. Kun johdannossa ja teoriaosuudessa esitetään yleispäteviä teorioita tai kuvaillaan asioita, jotka ovat yleisesti tunnettuja, on luontevinta kirjoittaa teksti käyttäen passiivin preesensia.

Kenelle selostus kirjoitetaan:

Työselostus, samoin kuin muutkin tieteelliset artikkelit, kirjoitetaan vertaisryhmälle; työselostuksen tapauksessa tänä vertaisryhmänä toimivat muut samaa kurssia käyvät opiskelijat. Näin ollen kirjoittaja voi siis aivan huoletta olettaa lukijan hallitsevan tarpeelliset perustiedot; ihan kaikkea ei siis tarvitse kädestä pitäen selittää. Hyvä nyrkkisääntö on se, että voi olettaa lukijan tuntevan asiaa täsmälleen yhtä paljon kuin itse tunti ennen työhön ryhtymistä. Tällöin selostuksessa tulee luonnostaan selitettyä hyvin asiat, joita ei itse osannut ennen mittausta. Surkein tulos seuraa yleensä silloin, kun kirjoittaja suuntaa kirjoituksensa työselostuksen tarkastajalle. Tästä seuraa se, että vaikeissa kohdissa kirjoittaja syöllistyy luottamaan siihen, että ”kyllä assistentti tajuaa mitä tässä tapahtuu”. Vastuu tajuamisesta on kuitenkin kirjoittajalla: Selostuksen tarkastaja nimittäin tekeytyy raporttia lukiessaan vielä tyhmemmäksi kuin onkaan.

Yleiset neuvot ja ohjeet

- Selostus suositellaan kirjoitettavan tietokoneella. Sen voi kirjoittaa myös käsin kuulakärkikynällä (musta tai sininen). Lyijykynällä tehtyjä EI HYVÄKSYTÄ. Myös mittauspöytäkirjan pitää olla tehty kuulakärkikynällä.

- Työselostuksessa on sopiva palstan leveys noin 15 cm, riviväli 1.5 ja fonttikoko 12. Käsini kirjoitettaessa suositellaan 7 millin ruutuihin joka toiselle riville tekstiä. 10 millin ruutuihin saa laittaa tekstiä joka riville.
- Piirrä kuvat itse tai skannaat kuvat osaksi selostusta. Jos et omista skanneria, ota haluamastasi kuvasta valokopio. Leikkaa vain tarvittava osa saksilla irti valokopiosta ja liimaa/teippaa se tulostettuun selostukseen oikealle kohdalleen. Kuvan lähde on mainittava kuvatekstissä. (Poikkeuksena tähän ovat työohjeesta kopioidut kuvat, niistä ei laiteta lähdeviitteitä.) Selostuksen välissä olevia suoraan valokopioituja sivuja EI HYVÄKSYTÄ. Excel-taulukot eivät myöskään kuulu työselostukseen.
- Jos osa analyysistä tapahtuu jo mittauksen aikana Capstonella, esim. suoran sovitus pistejoukkoon, liitä tästäkin esimerkkikuva (tai -kuvia) selostukseesi.
- Kaksipuolista tulostusta saa käyttää. Tosin kansilehden takapuolen pitää olla tyhjä.
- Työselostuksessa ei tarvita sisällysluetteloa. Sisällysluettelo alkaa olla merkittävä vasta laajemmissa teksteissä: kandidoissa ja pro graduissa.

Usein ihmetellään, paljonko aikaa selostukseen tulisi käyttää: vastaus on, että jokaisessa kurssissa on yksi opintopiste varattu laboratoriotöille. Näin ollen siis selostustyön tekoaika laskennallisesti on likimain 20 h eli mittausvuoro ja kaksi kahdeksan tunnin täyttä työpäivää.

2 Malliselostus

Tämän oppaan ydin on mallityöselostus. Mallityöselostukselle on huomattu olevan tarvetta, koska uudet opiskelijat eivät saa mistään mallia työselostukselleen. Työseloston verkkosivuilta on löytynyt ainoastaan ohjeita siitä, mitä selostuksessa tulee olla, jolloin opiskelijoille on jäänyt hämärän peittoon se, mitä selostus näyttää ja mitä se ihan oikeasti ON. Malliselostuksen otsikko on ”Linssin polttovälin määrittäminen sferometrillä”. Sferometriä käytettiin ennen eräässä oppilastyössä, mutta nykyään sen tehtävä on pölyttää hyllyllä.

Malliselostuksen rakenne on sellainen, että vasemmalla on aina selostuksen sivu, ja oikealla puolella on juuri kyseiseen sivuun liittyviä huomautuksia ja kommentteja. Huomautukset ja kommentit on tärkeä lukea, sillä niistä saat usein tärkeitä pikkuvinkkejä selostukseksi eri osa-alueiden parantamiseksi.

Sami Leevi-Eerikki Jokunensaleejo@pollomail.com

311286-

Kansilehti

FYSB001/1 LINSSIN POLTTOVÄLIN MÄÄRITYS SFEROMETRILLA

Työ mitattu: 6.6.2006

Ohjaava assistentti: Erkki-Vieno Assari

Työ jätetty tarkastettavaksi:

Abstract:

Focal lengths of two lenses were determined by using a spherometer, an instrument which is used for measuring the curvature of a surface. Results were $f_{A1} = (0.354 \pm 0.015) \text{ m}$ for the $f_{A1\text{valm}} = 0.35 \text{ m}$ and $f_{A2} = (0.166 \pm 0.007) \text{ m}$ for $f_{A2\text{valm}} = 0.15 \text{ m}$ lenses. Most likely the differences between the measured values and those announced by the manufacturer are due to the assumed value of 1,51 for the refraction index.

Kansilehti

Kansilehdellä on tietty **määrämuoto** työn käsittelyyn liittyvän byrokratiapuolen helpottamiseksi.

Vasemmalle ylös tekijän tai tekijöiden nimet kokonaisuudessaan kutsumanimi alleviivattuna, ja oikeaan reunaan nimen perään sähköpostiosoite. Syntymäaika on tarpeen, mikäli tekijän nimi on kovin yleinen. Sosiaaliturvatunnuksen loppuosaa **EI** pidä laittaa näkyviin!

Otsikossa on oltava sekä kurssin tunnus (esim. FYSP1081) ja sen jälkeen kauttaviivalla erotettuna työn numero, joka löytyy työohjeesta.

Kanteen tulee merkitä mittauspäivämäärä, jonka alle laitetaan työtä ohjanneen assistentin nimi. Tekstin 'Työ jätetty tarkastettavaksi:' jälkeen tulee osastolta päivänmääräleima.

Abstrakti eli tiivistelmä kirjoitetaan englanniksi. Ei kannata pelätä oman kielitaidon huonoutta. Huomaa, että englannin kielessä käytetään desimaalipistettä. Abstraktin pituus saa olla maksimissaan sata sanaa. Tieteellisissä raporteissa tiivistelmällä on tärkeä tehtävä: tieteellisten raporttien lukijat lukevat raportista pääsääntöisesti vain tiivistelmän ja päättävät sen perusteella, onko loppuosa raportista tutustumisen arvoinen. Raportteja julkaistaan vuosittain niin käsittämätön määrä, että edes kaikkien oman alan raporttien lukemiseen ei kenelläkään olisi aikaa.

Tiivistelmän tulee sisältää seuraavat asiat:

- työn tavoite: mitä ja miksi mitattiin
- työn pääasiallinen tulos/tulokset virhearvioineen
- johtopäätöksiä & lyhyt tulosten arviointi

Tiivistelmään **EI SAA** liittää missään olosuhteissa taulukkoa tai kuvaa!

1 Johdanto

Kappaleen kaarevuussäde voidaan määrittää sferometriksi kutsutun laitteen avulla. Tyypillinen sferometri on esitetty kuvassa 1.a). Sferometri on tavallisesti kolmijalkainen mikrometriruuvi. On olemassa myös kaksijalkaisia sferometrejä, mutta niiden käyttöön ja teoriaan ei tässä tutkimuksessa mennä.

Sferometriä käytetään määrittäessä erilaisten linssien ja peilien kaarevuussäteitä. Sferomerin avulla voidaan muun muassa määrittää suurten optisissa teleskoopeissa käytettävien linssien polttovälit. Sitä käyttävät työssään toistuvasti esimerkiksi optikot selvittäessään asiakkaidensa linssien vahvuuksia.

Linssin polttovälin suuruus riippuu linssin pintojen kaarevuussäteestä ja linssilasin taitekertoimesta. Tässä työssä tutustuin sferometrin käyttöön linssin kaarevuussäteiden mittaamisessa ja määritin sen avulla kahden kuperan linssin polttovälit. Tässä määrittäessä käytin hyväksi linssintekijän yhtälöä, jonka otin johdettuna kirjallisuudesta. Sferometrin toimintaa sen sijaan tarkastelen jonkin verran syvemältä ja johdan yhtälön kaarevuussäteiden määrittämiseksi sen avulla.

2 Teoreettiset lähtökohdat

2.1 Linssintekijän yhtälö

Kun tiedetään sekä linssin taitekerroin että sen kaarevuussäteet, on ns. linssintekijän yhtälöstä [1, s. 1306-1308]

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

mahdollista selvittää linssin polttoväli. Yhtälössä (1) f on polttoväli, n linssimateriaalin taitekerroin, ja R_1 ja R_2 linssin sisä- ja ulkopinnan kaarevuussäteet. Tässä tutkimuksessa otin taulukkokirjasta taitekertoimen lasille ja käytän sitä virhetarkastelun kannalta

Johdanto

Johdantokappaleessa kuvataan lyhyesti mitattava fysikaalinen ilmiö. Pari kolme kappaletta on useimmiten varsin riittävä. Ilmiön historiasta voi halutessaan kirjoittaa muutamalla lauseella, mutta välttämättä niin ei tarvitse tehdä.

Samalla pyritään perustelevaan, mikä oli työn tekemisen motivaatio, ja miten se liittyy muuhun fysiikkaan. Kovin laajoissa ja mutkikkaissa työselostuksissa johdantokappaleessa voidaan kertoa selostuksen rakenne. Tyypillisesti näissä perus- ja ainepintojen selostuksissa moinen ei ole tarpeen.

← Viittaukset käytettyyn lähteeseen sijoitetaan tekstin joukkoon siihen kohtaan, jossa kyseisestä lähteestä otettua tietoa käytetään. Lähdeviitteen merkitsemisestä tekstiin on useita käytäntöjä. Työselostuksessa suositellaan viitteet numeroitavaksi juoksevasti (1,2,3...) siinä järjestyksessä kuin ne ensimmäisen kerran esiintyvät tekstissä. Viitenumero merkitään **hakasuluissa** asianomaiseen kohtaan. Tätä järjestelmää kutsutaan **numeroviittausjärjestelmäksi**. Viitteet laitetaan lähdeluetteloon numerojärjestyksessä. Tässä viitenumeron perään on merkitty myös sivunumero, mikä lisää viittauksen informatiivisuutta. Sivunumero ei ole välttämätön. Lähteeseen, joka mainitaan lähdeluettelossa, **ON VIITATTAVA** tekstissä. Toisin sanoin: lähdeluettelossa ei saa olla sellaisia lähteitä, joihin ei tekstissä viitata lainkaan. Työohjeeseen ei viitata lainkaan.

← Kaavaeditorin käyttöä neuvotaan [Word-oppaassa](#). Se löytyy Wordin kohdasta **Insert** → **Object** → **Microsoft Equation 3.0** (*Lisää* → *Objekti* → *Microsoft Kaava 3.0*). Huomaa, että kaavaeditori *kursivoi* kirjoitetut lausekkeet, joten pienenä hienona yksityiskohtana *kursivoi* myös leipätekstistä lausekkeissa esiintyvät kirjaimet ja symbolit, jotta ne näyttävät samalta kuin lausekkeet.

← Käytettävät lausekkeet ja yhtälöt numeroidaan. Jokaista lauseketta ei tarvitse numeroida, mutta ainakin ne numeroidaan, joihin viitataan myöhemmin selostuksessa. Tällöin voidaan viitata niihin suoraan numerolla. Viisaiden viittausten tekemistä neuvotaan Word-oppaassa, mutta jos et ole juurikaan käyttänyt tietokoneita, kannattaa sen luvun ohjeita alkaa käyttää vasta, kun selostuksen teko muuten sujuu.

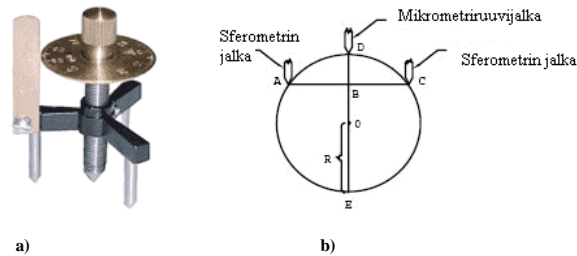
← Muista selittää lausekkeissasi esiintyvät symbolit ja kirjaimet niiden esiintyessä ensi kertaa. Koska samoja kirjaimia ja symboleja käytetään useammassakin paikassa (p on sekä paine että liikemäärä), lukijan ei pitäisi joutua arvailemaan, mitä mikin merkki tällä kertaa tarkoittaa. Matemaattiset perusoperaattorit (nablat, derivaatat tms.) oletetaan tunnetuiksi.

virheettömänä arvona.

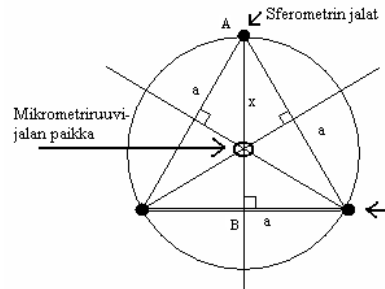
2.2 Sferometri

Sferometri asetetaan seisomaan kolmella jalallaan linssin pinnalle, minkä jälkeen myös sen neljäntenä jalkana toimiva mikrometriruuvi pyöritetään koskettamaan linssin pintaa.

Skemaattinen esitys tästä tilanteesta sivultapäin on kuvassa 1.b).



Kuva 1: a) Tyypillinen sferometri, b) Sferometrin toiminnallinen kaavakuva sivultapäin. Alkuperäiset kuvat ovat Miniscience.comin Internet-sivustolta [2], yllä suomennettuna.



Kuva 2: Sferometri linssin pinnalla ylhäältäpäin kuvattuna

Teoreettiset lähtökohdat

Tässä osassa kerrotaan teoriaa niin paljon, kuin on tarpeen työn ymmärtämiseksi. Jos näyttää siltä, että johdantokappaleesta tulee aivan liian lyhyt, voi teoreettiset lähtökohdat -luku olla vallan mainiosti osa johdantoa. Tällöin älä kuitenkaan nimeä lukua ”Johdanto ja teoreettiset lähtökohdat”. Kyseisessä tapauksessa pelkkä ”Johdanto” kelpaa vallan hyvin.

Tutkittava ilmiö kuvataan matemaattisilla lausekkeilla, joita ei yleensä tarvitse johtaa, ellei työohjeessa toisin käsketä. Lausekkeiden johtaminen, vaikka sitä ei olisi pyydetty, lisää työn arvoa. Viereisessä malliselostuksessa oletetaan, että työohjeessa on pyydetty johtamaan sferometrin toiminnalle lauseke. Lausekkeita ei kuitenkaan kannata heittää mukaan vain sellaisenaan, vaan niihin on hyvä viitata asianmukaisella viitteellä, kuten aiemmin jo neuvottiin.

← Kuvien numerointi ja nimeäminen: jokaisen kuvan **alla** tulee olla sekä kuvan järjestysnumero (monesko kuva tässä selostuksessa) että selite siitä, mitä kuvassa on. Jos selostuksessa on yksi ainut kuva, se merkitään silloin kuvaksi 1. Kuvien numeroinnissa käytetään normaaleja (arabialaisia) numeroita. Kun tekstissä siihen viitataan kuvaan, voidaan viitata esimerkiksi ”kuvaan 2”. Kuvatekstin tulee selittää kuvan sisältö.

← Kuvia voi oikein hyvin tuottaa itsekkin varsin helposti. Simppeli Windowsin Paint on varsin käyttökelpoinen ohjelma. Viereinen alin kuva on sillä tuotettu. Kaaviokuvien tulisi olla **viivapiirustuksia**. Harmaasävykuvat hyväksytään vain erityistapauksissa. Paintin käyttöön opastusta löytyy erillisestä [Paint-oppaasta](#). Ohjeita kuvien/kuvaajien käytöstä löytyy tämän ohjeen lopusta.

Tarkastellaan ensiksi linssin päälle seisomaan asetettua sferometriä ylhäältäpäin. Kuvassa 2 on mustin pallon merkitty sferometrin jalat, jotka muodostavat kuvioon tasasivuisen kolmion. Tämän kolmion sivun pituus a on kahden jalan välinen välimatka. Kuvassa on piirretty kaksoisviivalla malliksi näistä yksi. Kaarevuussäteen laskemiseen tarvitaan kalotin pohjan (kuvassa näkyvän ympyrän) säde, jota on merkitty symbolilla x .

Koska tasasivuisen kolmion kärjistä vastakkaisten sivujen normaaleiksi piirretyt suorat leikkaavat kolmion keskipisteessä, nuo samat normaalit jakavat kolmion kuudeksi yhdenmuotoiseksi suorakulmaiseksi kolmioksi. Lisäksi geometriasta seuraa, että kolmion keskipiste jakaa nämä normaalit pituussuhteessa 2:1. Näin ollen voidaan selvittää x :n suuruus, kunhan ratkaistaan ensin Pythagoraan lauseella kolmion korkeus H (pisteiden A ja B etäisyys kuvassa 2):

$$H = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} a. \quad (2)$$

Koska H jakaantuu osiin suhteessa 2:1 keskipisteen jakamana, ratkeaa tästä x yksinkertaisesti

$$x = \frac{2}{3} \cdot H = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} a = \frac{a}{\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Sivuttaiskuva sferometristä linssin pinnalla on esitetty kuvassa 3. Sferometri kertoo ainoastaan korkeuseron h ”keskimmäisen jalkansa” ja toisten jalkojen välillä. Pythagoraan lauseesta seuraa

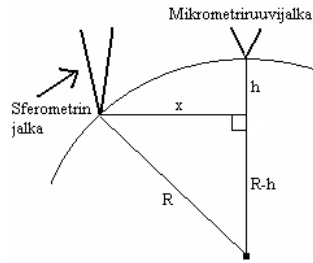
$$(R-h)^2 + \underbrace{\left(\frac{a}{\sqrt{3}}\right)^2}_x = R^2, \quad (4)$$

josta ratkaistaan kaarevuussäde R :

$$R = \frac{a^2 + 3h^2}{6h}. \quad (5)$$

← Kannattaa laittaa tarpeeksi ilmaa tekstin sekaan, että lopputulos on miellyttävämpi lukea. Jos lausekkeet ja teksti ovat yhdessä pötkössä ilman minkäänlaisia välejä toisiinsa nähden, lopputulos näyttää huomattavasti sekavammalta kuin välien kanssa. Kappaleen pitäisi olla kuitenkin ainakin kolme virkettä pitkä, joten älä jaa tekstiä liian pieniin kappaleisiin.

← Lausekkeet ja yhtälötkin ovat osa lauseita ja virkkeitä. Niiden perään kuuluvat normaalit välimerkit kuten pisteet ja pilkut. Kielitoimisto suosittelee välttämään ilmaisua ”kaava”, koska se tarkoittaa periaatteessa vain kemiallisia kaavoja eikä fysiikan lausekkeita/yhtälöitä.



Kuva 3: Kaarevuussäteen R ratkaiseminen

2.3 Polttopisteen määrittäminen

Työssä käytetään linsejä, joiden toinen pinta on kaareva ja toinen taso. Näin ollen toinen kaarevuussäteistä on käytännössä äärettömän suuri. Lisäksi oletetaan, että valo tulee linssiin nimenomaan linssin kaarevalta puolelta, jolloin yhtälö (1) sievenny muotoon

$$\frac{1}{f} = (n-1) \frac{1}{R_1} \quad (6)$$

Kun tähän sijoitetaan kaarevuussäteen lauseke (5) ja sievennetään, on tuloksena relaatio

$$\frac{1}{f} = \frac{6h(n-1)}{a^2 + 3h^2}, \quad (7)$$

josta selviää polttoväli f :

$$f = \frac{a^2 + 3h^2}{6h(n-1)}. \quad (8)$$

← Kuvat suositellaan sijoitettavaksi joko sivujen ala- tai ylälaitoihin. Kuvien kummallakaan sivulla ei saa olla tekstiä, vaan yksinkertaisesti teksti katkaistaan kuvan ajaksi ja jatketaan jälleen kuvan jälkeen.

← Käytä tarpeeksi väliotsikkoja isompien kappaleiden sisällä. Teksti jäsentyy kokonaisuudeltaan paremmin niiden kanssa. Yli kolmen tason käyttöä (esim. 2.3.1.1) ei suositella.

← Huomaa, että jokainen lauseke on numeroitu. Esimerkkisijoituksia ei numeroida.

3 Mittauslaitteisto ja kokeelliset menetelmät

Mittauslaitteisto koostui tutkittavista linseistä (2 kpl) ja sferometrillä, joka on samanlainen kuin kuvassa 1 esitetty sferometri.

Mittasin sferometrillä kuperien linssien A1 ja A2 kaarevuussäteet. Mittaustoimenpide on yksinkertaisuudessaan seuraavanlainen: asetin sferometrin seisomaan linssin pinnalle, ja ruuvasin mikrometriruuvijalan juuri ja juuri koskettamaan linssin pintaa. Tässä vaiheessa luin sferometrin asteikolta korkeuden h virheineen. Systemaattisen virheen huomioon ottamiseksi katsoin myös, mitä sferometri ilmoittaa korkeudeksi täysin tasaisella pöytäpinnalla.

4 Havainnot ja laskut

Linssille A1 mittasin (mittauspöytäkirja, LIITE 1) sferometrillä korkeudeksi $h_1 = (3,326 \pm 0,002)$ mm. Koska laite näytti tasaiselle pinnalle asetettuna lukemaa $h_{\text{kal}} = (1,001 \pm 0,001)$ mm, oli ensimmäiseksi selvítettävä oikea korkeuslukema. Tämä saatiin tietenkin vähentämällä kalibraatiokorkeus mitatusta korkeudesta

$$h_{A1} = (3,326 - 1,001) \text{ mm} = 2,325 \text{ mm.}$$

Selvitin seuraavaksi korkeuden virheen maksimi–minimi-keinolla [3,4]:

$$h_{A1\text{max}} = h_{1\text{max}} - h_{\text{kal min}} = (3,328 - 1,000) \text{ mm} = 2,328 \text{ mm}$$

$$h_{A1\text{min}} = h_{1\text{min}} - h_{\text{kal max}} = (3,324 - 1,002) \text{ mm} = 2,322 \text{ mm}$$

$$\delta(h_1 - h_{\text{kal}}) = \max\{h_{A1\text{max}} - h_1, h_1 - h_{A1\text{min}}\} = 0,003 \text{ mm.}$$

Mittauslaitteisto ja kokeelliset menetelmät

Tässä kappaleessa kuvataan käytetty laitteisto ja suoritettavat mittaukset **niin yksityiskohtaisesti**, että mittausten toistaminen kuvausten perusteella olisi periaatteessa mahdollista. Muista mainita käyttämäsi mittareiden merkki ja malli, sekä lisäksi myös mittariin kirjoitettu tunnistus, esim. FYS-010, tai sarjanumero. Käytetyistä kytkentäkaavioista on hyvä olla mukana kuva. Nimeä mittalaitteet niiden oikeilla nimillä. Kaaviokuva käytetystä laitteistosta parantaa aina esitystä (tässä selostuksessa tuo kuva on jo poikkeuksellisesti teoriaosuuden yhteydessä).

Havainnot ja laskut

Tässä osassa lasketaan mittausten tulokset virheineen. Tulosten esittämisessä taulukot ja kuvaajat ovat varsin suositeltavia, mikäli sellaisia vain mittauksesta kykenee saamaan aikaan. Tieteellisissä raporteissa hyvin usein käy niin, että henkilö, joka yhteenvedon luettuaan päätyy tarkastelemaan artikkelia tarkemmin, lukee artikkelista vain kuvat ja kuvatestit. Näihin on siis syytä panostaa jo ihan ”mainosarvon” vuoksi, eikä vähiten siksi, että hyvä kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa.

Yleinen rakennevirhe tälle kappaleelle on se, että tekstistä katoaa kiinteys ja lopputulos on pelkkä sijoitus-kaava-tulos-sijoitus-kaava-tulos. Tekstin pitää yhä pysyä luettavana: käytetään kokonaisia lauseita ja virkkeitä, jotta lukijalle on selvä, mitä sijoitetaan ja minne. Tarkoituksena on kertoa se, mistä lähdettiin liikkeelle, mihin mennään ja miten se tapahtuu.

← Mittauspöytäkirjojen arvojen taulukointi ei aina ole tarpeen, koska aina voi viitata mittauspöytäkirjaan. Kuitenkin oleellisten mittaustulosten taulukointi näkyviin on usein järkevää: mieti, mikä on lukijan kannalta paras vaihtoehto.

← Samoin kuin käytettyyn lähteeseen on aina viitattava aina, on myös liitteisiin viitattava.

← Esimerkkisijoitusten esittäminen ei ole pakollista. Tässä malliselostuksessa niin on kuitenkin tehty. Esimerkkisijoitusten (yksi esimerkki kustakin laskutoimituksesta) esittämisestä annetaan yksi bonuspiste. Jos esimerkkisijoitukset esitetään, ne voi upottaa osaksi selostustekstiä, kuten tässä on tehty, tai esittää ne liitteessä. Tämän mallisijoitusmenettelyn on havaittu vähentävän virheiden määrää, ja toisaalta virheiden paikallistaminen helpottuu. Jos samaa lauseketta käytetään uudestaan sijoitukseen, voidaan yksinkertaisesti ilmoittaa pelkkä tulos kuten linssille A2. Erilaisten analyysiohjelmien tulosteilla (esim. Excel-taulukko) ei voi korvata mallisijoituksia, eikä näitä tulosteita työselostuksessa tarvita.

Näin ollen korkeus h on virheineen

$$h_{A1} = (2,325 \pm 0,003) \text{ mm.}$$

Samalla menetelmällä sain A2-linssille korkeudeksi

$$h_{A2} = (5,083 \pm 0,003) \text{ mm.}$$

Kun nyt korkeudet olivat selvillä, sovelsin lauseketta (8) kummallekin linssille.

Kruunulasin taitekertoimelle käytin arvoa 1,51 [5]. Linssin A1 polttoväliksi sain täten

$$f_{A1} = \frac{a^2 + 3h^2}{6h(n-1)} = \frac{(0,050 \text{ m})^2 + 3 \cdot (2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{6 \cdot 2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1,51 - 1)}$$

$$\approx 0,353674 \text{ m.}$$

Selvittääkseni tälle virheen käytin taas maksimi–minimi-keinoa:

$$f_{A1\max} = \frac{a_{\max}^2 + 3h_{A1\min}^2}{6h_{A1\min}(n-1)} = \frac{(0,051 \text{ m})^2 + 3 \cdot (2,322 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{6 \cdot 2,322 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1,51 - 1)} = 0,368340 \text{ m}$$

$$f_{A1\min} = \frac{a_{\min}^2 + 3h_{A1\max}^2}{6h_{A1\max}(n-1)} = \frac{(0,049 \text{ m})^2 + 3 \cdot (2,328 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{6 \cdot 2,328 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1,51 - 1)} = 0,339327 \text{ m}$$

$$\delta f_{A1} = \max\{(f_{A1\max} - f_{A1}), (f_{A1} - f_{A1\min})\} = \max\{0,01467 \text{ m}; 0,01435 \text{ m}\}$$

$$= 0,01467 \text{ m.}$$

Linssin A1 polttoväli virheineen viidentoista yksikön säännöllä ilmaistuna on siten

$$f_{A1} = (0,354 \pm 0,015) \text{ m.}$$

Laskin samalla tapaa tuloksen ja virheen myös linssin A2 polttovälille, ja tulos on

$$f_{A2} = (0,166 \pm 0,007) \text{ m.}$$

← Välitulokseen on syytä ottaa tarpeeksi desimaaleja näkyviin, jotta näitä välituloksia voi käyttää arvojen laskemiseen. Samoin virheeseen voi ottaa näkyviin tarpeeksi desimaaleja, kunhan lopulliseen tulokseen pyöristää virheen oikein viidentoista yksikön säännöllä.

← Suomen kielessä on käytössä desimaalipilkku, ei piste.

← Virhearviossa tässä käytetty maksimi–minimi-keino on eräs tapa (se alkeellisin) arvioida virhettä. Jos on vähänkään epäselvää, kuinka suureen maksimi- tai minimiarvo saadaan, kannattaa tarkistaa asia taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen. Parempi tapa mittausepävarmuuden arvioimiseen on ns. virheen yleinen etenemislaki [3], josta on esimerkki liitteessä 2. Fysiikan pitäisi pystyä perustelemaan, miksi jokin tietty menetelmä on valittu. Joskus tämä on erittäin oleellista (esim. keskiarvo vai painotettu keskiarvo, tavallinen PNS vai painotettu PNS).

← Virhelausekkeet ovat usein monimutkaisia, ja sekä kirjoitus- että näppäilyvirheet ovat hyvin tyypillisiä. Muista olla huolellinen ja tarkista tuloksesi: saat paremmat pisteet selostuksestasi, ja lisäksi tarkastavan assistentin hermot säästyvät.

← Lopputulokset ilmoitetaan **aina** 15-yksikön sääntöä noudattaen. Tarkista ehdottomasti virheen pyöristyssäännöt kurssin ”Johdatus laboratoriotöihin” -luentomateriaalista.

5 Johtopäätökset

Saamani mittaustulokset on esitetty taulukossa I. Linssin A1 kohdalla mittaustulokseni on sopusoinnussa valmistajan ilmoittaman polttovälin arvon kanssa. Linssille A2 valmistajan ilmoittama polttovälin arvo ei osu mittaustulokseni virherajojen sisälle. Tulosten vertaamista vaikeuttaa se, että linssien valmistajat eivät ole ilmoittaneet virherajoja linssien polttovälien suuruuksille. Työohjeessa mainittiin linssien olevan kruunulasia. Laskuissani olen käyttänyt kruunulasin taitekertoimen arvoa 1,51 tarkkana arvona. Taitekertoimen arvo riippuu valon aallonpituudesta. Toisissa lähteissä kruunulasin taitekertoimen arvon mainitaan olevan välillä 1,52 - 1,62, katso esimerkiksi [6]. Kun arvoa 1,56 käytetään lasin taitekertoimenä, pienenee linssin A2 taitekerroin arvoon 0,151 m. Täten ero valmistajan ilmoittaman polttovälin ja tässä työssä lasketun arvon välillä saattaa hyvinkin johtua oletetusta lasin taitekertoimen arvosta. Toinen virhelähde tässä työssä on itse sferometri, joka on tähän päivään mennessä nähnyt ehkä liian pitkään elämää.

Työtä tehdessäni ensimmäinen takapakki oli se huomaamani tosiasia, että kalibroidessani laitteen tasaiselle pinnalle se ei näyttänyt nollaa vaan noin yhtä milliiä. Tämän lisäksi mikrometrikiristin on ajan myötä muuttunut liian tiukaksi eikä enää toiminut kuten sen piti; mikrometrin tarkennus oli huomattavan vaikeaa tällaisenaan. Tästä johtuen tulin ehkä ottaneeksi virherajat turhan tiukaksi käyttämällä pelkkää lukutarkkuuttani virheen suuruutena.

Taulukko I: Linssien polttovälit

| Laskettu polttoväli | Valmistajan ilmoittama polttoväli |
|--|--------------------------------------|
| $f_{A1} = (0,354 \pm 0,015) \text{ m}$ | $f_{A1\text{valm}} = 0,35 \text{ m}$ |
| $f_{A2} = (0,166 \pm 0,007) \text{ m}$ | $f_{A2\text{valm}} = 0,15 \text{ m}$ |

Johtopäätökset

Tämä on vaikein ja tärkein kappale, ja hyvin yleinen syy selostuksen palautumiseen korjattavaksi. Tässä osiossa on tarkoitus arvioida saatuja tuloksia ja vähintään verrata niitä teoreettisiin tai taulukkoarvoihin. Johtopäätöksen on tarkoitus olla johdonmukaisia ja niiden on tarkoitus seurata loogisesti mittauksista.

Tässä vaiheessa on hyvä kertoa tai pohdiskella, mistä eroavaisuudet taulukkoarvoihin johtuvat, ja miettiä systemaattisten tai satunnaisten virheiden osuutta asioihin. Mikäli ei ole olemassa taulukkoarvoja, joihin verrata, saatujen tuloksien suuruusluokkaa olisi kuitenkin jollain tavalla analysoitava ja sen järkevyyttä pähkäiltävä. Fyysikon tärkein ominaisuus on nähdä tekemiensä mittausten nojalla laskettujen tulosten järkevyyttä.

Sen sijaan tekosyyttelyä (olisi pitänyt mitata sitä tai tätä, jotain olisi pitänyt mitata tarkemmin) ei hyväksytä, sillä mittauksia saa käydä myöhemmin parantamassa ja uusimassa. Jos käy tekemässä vain osan työstä uusiksi, ei tarvitse välttämättä varata osastovuorolle työaikaa, kunhan varmistaa sen, että laitteisto on vapaana.

← Luonnollisesti taulukoihin, kuviin ja kaikkiin muihinkin viitteisiin pitää tekstissä viitata asianmukaisesti. Vieressä esimerkki tästä on kappaleen 5 ensimmäinen lause. Ei siis pidä viitata "taulukkoon alla" tai "edelliseen lausekkeeseen", vaan "taulukkoon I" tai "lausekkeeseen (8)".

← Siinä, missä kuvat nimikoidaan ja numeroidaan alapuolelta, taulukot nimikoidaan yläpuolelta. Taulukoissa saa käyttää numeroinnissa myös roomalaisia numeroita, mutta arabialaisillakin pärjää. Taulukoiden sijoittelussa pätee sama kuin kuvien sijoittelussa: suositus on sijoittaa ne joko sivun ala- tai yläreunaan. Kun mittaustuloksia on vain 2, pärjäisi tässä hyvin ilman taulukkoakin. Taulukko on mukana esimerkin vuoksi.

6 Muita huomioita

Sferometriä voisi yrittää korjata tai esimerkiksi sitä mikrometrikiristintä yrittää löystyttää takaisin laitteen alkuperäiseen kuntoon. Samalla voisi, mikäli mahdollista, yrittää korjata myös laitteen kalibraation kuntoon. Olkoonkin, että systemaattisen virheen korjaamiseen joutuminen on hyvää harjoitusta tämäntyyppisen virheiden käsittelyyn.

Muita huomioita

Tämä kappale ei ole välttämätön, mutta se on hyvä kanava esimerkiksi palautteelle työtä kohtaan. Lisäksi, jos jotakin on jäänyt hampaankoloon, kirjoita asia tähän. Työt eivät missään nimessä ole ”valmiita”, ja parannusehdotukset otetaan mielihyvin vastaan.

Mikäli tässä kohdassa on huomautettu jotain **todella** hienoa tai uutta, on jopa mahdollisuus saada selostuksestaan muutama bonuspiste. Pääsääntöisesti hyvästäkään selostuksesta tällaisia pisteitä ei kuitenkaan saa.

Lähteet

- [1] H. D. Young and R. A. Freedman, *University Physics with modern physics, 11th edition*, Addison Wesley Longman, 2003
- [2] Miniscience.com, Spherometer
<http://catalog.miniscience.com/catalog/physics/Spherometer.html>,
 viittauspäivä: 19.5.2015
- [3] John. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis – 2nd Edition*, University Science Books, Sausalito, CA, USA, 1997
- [4] FYSP101A Laboratoriotöiden perusteet, moniste
- [5] Maol, *Maol-taulukot*, Otavan kirjapaino Oy, Keuruu 2001
- [6] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/indrf.html>, viittauspäivä 19.5.2015

Liitteet

Liite 1: Mittauspöytäkirja

Liite 2: Malliselostuksen virhelasku virheen yleisen etenemislain avulla laskettuna

Liite 3: Pari sanaa kuvien ja kuvaajien käyttämisestä

Lähteet

← Tietojen tulee olla niin täydellisiä kuin mahdollista, että mahdolliset halukkaat pystyvät löytämään kirjan/lehden, josta tietoa selostukseen lainattiin. Jopa ihan tiettyyn sivunumeroon saa viitata. Vierellä on esimerkkeinä sekä kirjoihin että nettiartikkeleihin viittaamiset. Kirja on parempi tietolähde kuin www. Internet-sivuilta löytyviin tietoihin on syytä suhtautua varauksella.

Jos viitataan lehtiartikkeliin, viittauksen pitää sisältää tekijän tai tekijöiden nimi, lehden nimi, lehden volyyymi (yleensä tieteellisissä lehdissä eri asia kuin vuosikerta) ja raportin alkusivun numero. Esimerkkiviittaus lehteen voisi näyttää vaikka tältä:

C.N. Davids, *Physical Review C* **55**, 22 (1997) (tässä 55 on volyyymi ja 22 raportin alkusivun numero).

Käyttämästämme viittausjärjestelmästä käytetään ainakin nimityksiä numeroviittausjärjestelmä ja tekninen perinne, englanninkielessä numeric system, number system ja citation-order system.

Liitteet

← Liitteiden joukossa on AINA oltava alkuperäinen, assistentin leimaama mittauspöytäkirja, mikään kotona puhtaaksikirjoitettu versio ei kelpaa.

Raportin tekstissä viitataan liitteisiin ja liitteet numeroidaan (liite 1, liite 2, jne.) viittausjärjestykseen sekä otsikoidaan. Samassa liitteessä voi olla useita kuvia tai taulukoita. Yleiset kuviin ja taulukoihin liittyvät ohjeet koskevat myös liitteiden kuvia ja taulukoita.

Myös hyvin isot kuvat ja taulukot on mahdollista laittaa liitteiksi. Sama pätee pitkiin kaavojen johtamisiin, jotka on vaikea sisällyttää osaksi tekstiä. Pitkät kaavat on hyvä pilkkoa pienempiin osiin ja laskea välituloksia. Työselostuksissa on harvoin tarvetta sijoittaa kuvia tai taulukoita liitteisiin.

Liite 1: Mittauspöytäkirja

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

FYSB001 / 1 ~~SFER~~ LINSSIN POLTTOVALIN MÄÄRITYS
SFEROMETRILLA

LEEVI JOKUNEN

6.6.2006

ASSISTENTTI:

ERKKI-VIENO ASSARI

0-6 06 2006 Erkki Assari
Mittaukseen valmistautuminen
noin 2/2 p.

MITTAUSLAITEISTO:

- LINSSIT A1 JA A2 (KUPERIA)
- SFEROMETRI (TUNNUS OBLA-2)

MITTAUKSET:

12.00. SFEROMETRIIN TUTUSTUMISTA.

HUOMAA, ETÄ LAITTEEN NOLLATASO ON SIIRTÄNYT
NOIN MILLIN YLÖSPÄIN. SYSTEMAATTISEN VIRHEEN
HUOMIOLON OTTAMISEKSI: SFEROMETRIIN NÄYTTÄMÄ
TASAISALLE PINNALLE NOLLATUNA ON

$$h_{\text{KALIB.}} = 1,001 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$$

12.10. MITTAAAN ~~KISSALLA~~ VIIVOTTIMELLA SFEROMETRIIN
JALKOJEN ETÄISYYDEN TOISIJAAN:

$$a = (5,00 \pm 0,05 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\text{VIIVOTTIMESTA LUKEMISEN VIRHE (TÄRKKYYS)}}$
 $\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\text{VIIVOTTIMEN ASENNON / PAIKAN VIRHE}}$

$$\underline{\text{MÄÄRITÄMÄ}} (5,0 \pm 0,1) \text{ cm}$$

12.25. SFEROMETRIIN LUKEMA LINSSISTÄ A1

$$h_{A1} = (3,326 \pm 0,002) \text{ mm}$$

12.40. SFEROMETRIIN LUKEMA LINSSISTÄ A2

$$h_{A2} = (6,084 \pm 0,002) \text{ mm}$$

Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjan tarkoitus on auttaa muistamaan, mitä mittauksessa tuli tehtyä. Siksi kaikkien mittaukseen vaikuttavien asioiden tarkka ja huolellinen kirjaaminen on välttämätöntä. Muistiinpanot on syytä tehdä sitä mukaa kun mittaus etenee: kukaan ei muista kymmenen minuuttia kytkennän purkamisen jälkeen, kumpaa yleismittaria käytettiin virran, kumpaa jännitteen mittaukseen – saati sitten seuraavana päivänä. Mittauspöytäkirjassa ei voi olla liikaa merkintöjä, ja mitatut arvot tulee merkitä mittauspöytäkirjaan sellaisenaan niin kuin ne kustakin mittarista luettiin (toisin sanoen tekemättä niille ensin minkäänlaisia laskutoimituksia). Oikeoppiseen mittauspöytäkirjaan kuuluu myös päiväys ja kellonaika.

Mittauspöytäkirjaan on merkittävä ainakin seuraavat asiat:

- Tekijän/tekijöiden nimi, työn tunnus ja nimi, päivämäärä sekä ohjaavan assistentin KOKO NIMI. Nimikirjaimet eivät riitä. Päivämäärä kannattaa merkitä kaikkiin muihinkin papereihin. Mittauspöytäkirjaa EI SAA kirjoittaa lyijykynällä.
- Käytettyjen mittalaitteiden nimet tyyppineen ja käyttöasetuksineen. Mittarin yksilöivä merkintä on myös hyvä olla (oppilaslaboratoriossa mittarit on usein yksilöity tarranauhatuskella, esim. "FYS-115")
- Mittaukset ja havainnot VIRHEARVIOINEEN. Muista arvioida sekä lukemavirhettä että mittaus tapahtumasta aiheutunutta virhettä. Myös mittalaitteiden sisäiset virheet on merkittävä näkyviin. Nämä tiedot löytyvät monisteesta, jonka saa ohjaavalta assistentilta kysyttäessä. Samat tiedot löytyvät myös työosaston verkkosivulta.
- Mittauksissa käytettävät kytkennät on hyvä piirtää näkyviin mittauspöytäkirjaan.
- Jos mittauksessa käytetään tietokonetta ja työstä talletetaan dataa tiedostoina, tulee tiedostojen nimet merkitä mittauspöytäkirjaan.

Jos mittauspöytäkirjaan tulee kirjoitusvirhe, kuten vierellä on tapahtunut, pitää tämä kyseinen virhe vetää kevyesti viivalla ylitse siten, että alkuperäinen teksti on vielä luettavissa: suttauksia ei sallita eikä suvaita.

Liite 2: Malliselostuksen virhelasku virheen yleisen etenemislain avulla laskettuna

Malliselostuksessa käytin maksimi–minimi-keinoa, koska se on peruskurskien opiskelijoille vielä sallittu keino. Kuitenkin niiden, jotka jatkavat fysiikan opiskelua pidemmälle kuin vain perusopintoihin asti, tulee jossain vaiheessa opetella myös virheen yleisen etenemislain mukainen virhekäsittely. Tässä luvussa näytetään, miten tämänkaltainen virhetarkastelu toteutetaan.

3.1 Luku ”Teoreettiset lähtökohdat”: Lausekkeiden johtaminen

Yhtälölle (8) johdan virhelausekkeen virheen yleisellä etenemislailalla [4]: jos q on useiden muuttujien x_i funktio, on q :n virhe:

$$\delta q = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial q}{\partial x_i} \delta x_i \right)^2}. \quad (9)$$

Koska taitekerrointa n käsitelän virheettömänä taulukkoarvona, yhtälössä (8) on muuttujina vain a ja h . Näiden suureiden virheet ovat toisistaan riippumattomia. Tällöin virheen etenemislakia soveltaen sain lausekkeelle (8) virhelausekkeen

$$\delta f = \sqrt{\left(\frac{2a}{6h(n-1)} \delta a \right)^2 + \left(\frac{3h^2 - a^2}{6h^2(n-1)} \delta h \right)^2}. \quad (10)$$

3.2 Luku ”Havainnot ja laskut”: Lausekkeiden soveltaminen

Koska kyseessä on yhteenlasku, voidaan käyttää neliöllisen yhdistämisen virhesääntöä [4].

$$h_{A1} = (3,326 - 1,001) \text{ mm} = 2,325 \text{ mm},$$

jonka virhe on

$$\delta h_{A1} = \sqrt{\sum_i (\delta x_i)^2} = \sqrt{(\delta h_{\text{kal}})^2 + (\delta h)^2} = \sqrt{(0,001 \text{ mm})^2 + (0,002 \text{ mm})^2} \\ \approx 0,002236068 \text{ mm}$$

Eli

$$h_{A1} = (2,325 \pm 0,003) \text{ mm}$$

Samalla menetelmällä sain $A2$ -linssille vastaavaksi arvoksi

$$h_{A2} = (5,083 \pm 0,003) \text{ mm}.$$

Kun nyt korkeudet ovat selvillä, sovellan lausekkeitä (8) ja (10) kummallekin linssille.

Kruunulasille löytyy kirjallisuudesta [4] taitekerroin 1,51.

$$f_{A1} = \frac{a^2 + 3h^2}{6h(n-1)} = \frac{(0,050 \text{ m})^2 + 3 \cdot (2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{6 \cdot 2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1,51 - 1)}$$

$$\approx 0,35367445 \text{ m},$$

jonka virhe selviää siis lausekkeesta (10):

$$\delta f_{A1} = \sqrt{\left(\frac{2a}{6h(n-1)} \delta a \right)^2 + \left(\frac{3h^2 - a^2}{6h^2(n-1)} \delta h \right)^2} \\ = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 0,050 \text{ m} \cdot 0,001 \text{ m}}{6 \cdot 2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1,51 - 1)} \right)^2 + \left(\frac{3 \cdot (2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 - (0,0500 \text{ m})^2}{6 \cdot (2,325 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot (1,51 - 1)} \cdot 0,002236068 \cdot 10^{-3} \text{ m} \right)^2} \\ \approx 0,014059811 \text{ m}.$$

Näin ollen linssin $A1$ polttoväli on

$$f_{A1} = (0,354 \pm 0,015) \text{ m}$$

Samoin laskin polttovälin linssille A2, ja tuloksena on

$$f_{A2} = (0,166 \pm 0,007) \text{ m}$$

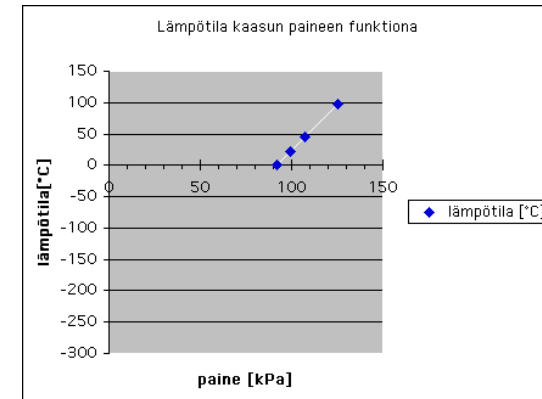
Liite 3: Pari sanaa kuvien ja kuvaajien käyttämisestä

Kun nyt sattui käymään niin, että malliselostus ei ole varsinaista kuvaajien riemujuhlaa, annetaan tässä luvussa ohjeita kuvaajien ja kuvien käytöstä.

Kuvat numeroidaan ja jokaisessa kuvassa tulee olla kuvateksti. Kuvaajat on lisäksi syytä tehdä helppolukuisiksi. Se tarkoittaa, että kuvat ovat riittävän suuria, kuvaajien akselit on nimetty, akselien nimet on tulostettu riittävän suurella, piirrossymbolit ovat selkeitä, virherajat on merkitty symboleihin. Kuvaajissa saa ja pitää olla selventävää tekstiä.

Kuvat upotetaan yleensä selostuksen tekstiin. Joskus harvoin, kun kuvan lukemisen vuoksi on tarpeen varata kokonainen sivu kuvaa varten, sen voi laittaa työselostuksen liitteeksi (tai liitteiksi), etenkin jos niitä on useita. Liitteelle annetaan nimi (eli otsikko), ja siinä olevissa kuvissa tulee olla kuvateksti. Liitteen otsikko voi olla esim. ”Työhön se ja se liittyvät kuvaajat”. Kunkin liitteen kuvat numeroidaan 1, 2, jne.

Eri ohjelmilla tehtyjä kuvaajia on esitetty kuvissa 1-3. Esimerkit liittyvät kurssin Fysiikka III työhön kaasulämpömittari. Työssä ollaan kiinnostuneita lämpötilan absoluuttisesta nolapisteestä, siksi lämpötila-alue kuvissa ylittää -300 °C asti, vaikka mitatut lämpötilat ovat väliltä 0 – 100 °C. Kuvan 1 esimerkki näyttää, millaista jälkeä syntyy perin suositulla Excelillä, kun käytetään ohjelman oletusasetuksia. Kannattaa huomata, että Excelissä piirrosten oletusasetukset eivät ole luonnontieteilijää varten. Kuvan harmaasävyinen tausta on täysin turha ja kuva täyttää turhan ”Legend”-laatikon vuoksi vain osan sille varatusta tilasta. Kuvasta puuttuu pistejoukkoon sovitettu suora, sen sijaan kuvassa pisteet on aivan turhaan yhdistetty viivalla.

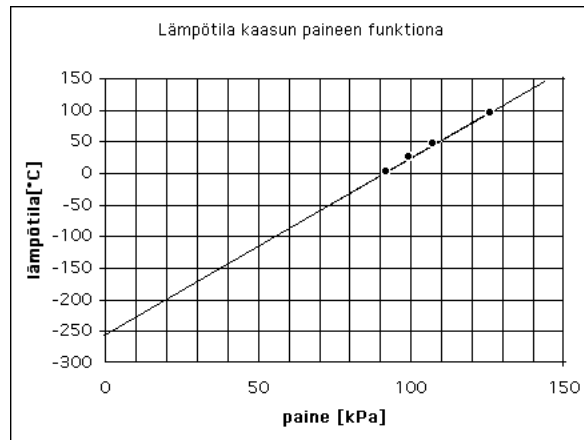


Kuva 1: Excelillä tehty HUONO kuva

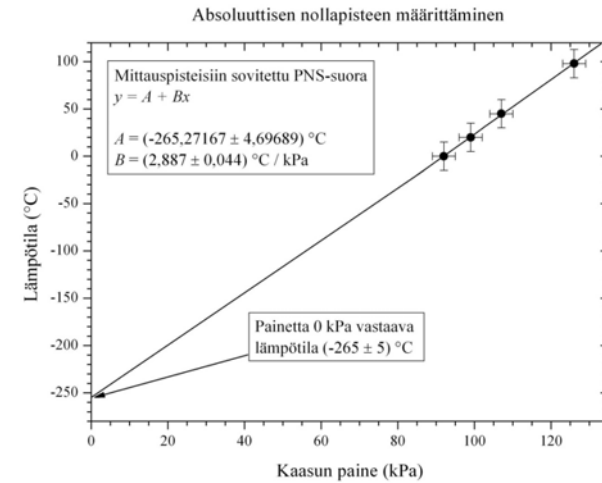
Jonkinmoisella ponnistelulla Excelillä pääsee kohtuulliseen lopputulokseen, kuten kuvasta 2 ilmenee. Kuvaan on piirretty PNS-suora. Excelissä pystyy kuvaan liittämään myös virherajat mittauspisteille sekä virhesuorat.

Mikroluokan koneista löytyvät Origin ja Gnuplot tuottavat pienehköllä vaivalla siistejä kuvia ja sisältävät kohtalaisen hyvät sovituskirjastot. Nämä ohjelmat on nimenomaan tarkoitettu julkaisukelpoisten kuvien tekemiseen. Kuvassa 3 on esimerkki Originilla tehdystä kuvasta. Harmillista kyllä, mihinkään kurssiin ei tällä hetkellä (helmikuussa 2006) tietääksemme liity opetusta erilaisten sovitusohjelmien käytöstä. Late χ -ohjelman ja Gnuplotin käyttöön on oma kurssinsa, jota pidetään satunnaisesti (FYS056). Tilastotieteen sovitusohjelmistot (esim. SPSS), joiden käytön kurseja tilastotieteen laitos tarjoaa, taas liittyvät varsin toisen tyyppisen datan käsittelyn tarpeeseen.

Mikroluokan koneissa on lisäksi DataStudio -ohjelma, joka on lisensoitu Fysiikan laitokselle. Ohjelman oppilaitoslisenssi kattaa ohjelmasta tehtävät kopiot kaikkiin laitoksen koneisiin ja lisäksi kaikkien kirjoilla olevien opiskelijoiden omiin koneisiin. Ohjelmaa käytetään monissa töissä mittaustieteen tallettamiseen, mutta se soveltuu myös pienimuotoiseen analyysiin ja kuvien piirtoon.



Kuva 2: Excelillä tehty edellistä parempi kuva



Kuva 3: Originilla tehty kuvaaja, joka kelpaa mallisuorituksesta

Kaikkiin yllä mainittuihin ohjelmiin löytyy tietokoneiluokasta [käyttöohjeet](#), joiden avulla kuvien piirto onnistuu hetken opetteluun jälkeen jopa niiltä, jotka ovat aloittelijoita tietokoneiden käytössä. Kaaviokuvien piirto onnistuu ihan hyvin Paint-ohjelmalla.