

# Fysiikan laboraatiot

Paavo Rikkilä

5. maaliskuuta 2018

# Sisältö

1. Turvallisuusohjeet
2. Käytännön asioita laboratorio-osuudesta
3. Mittaaminen
4. Mittausvirhe
5. Virheen  $\Delta x$  ja tuloksen  $x$  ilmoittaminen
6. Virheen eteneminen laskutoimituksissa
7. Excelvinkkejä

# 1. Turvallisuusohjeet (JAMKin turvallisuusmääräyksistä)

- Jokaisen on ennen laboratoriotöiden aloittamista perehdyttävä näihin ohjeisiin ja määräyksiin ja laboratoriossa noudatettava valvovan henkilökunnan antamia ohjeita.
- Laboratoriossa on koko työskentelyn ajan henkilökuntaan kuuluva valvoja, joka joutuessaan poistumaan tilapäisestikin laboratoriosta katkaisee työpöydistä sähköt.
- KytKentöjä tehdessä on varmistuttava siitä, että laitteet ovat jänniteettömiä.
- Tee kytkennät niin, ettei kytkentään jää paljaita kosketeltavissa olevia jännitteellisiä osia.
- Jännitettä ei saa kytkeä ennen, kun valvova opettaja on tarkastanut kytkennän.
- Jännitteisestä kohteesta jännite voidaan mitata vain käyttämällä hyväksytyjä mittapäitä.

jatkuu...

- Koko työskentelyn ajan on jokaisen ryhmän jäsenen oltava selvillä, miten kytkentä tehdään jänniteettömäksi aiheuttamatta uusia vaaratilanteita.
- Mittalaitteita tulee kuljettaa huolellisesti. Mittalaitteet voivat rikkoutua pudotessaan. Rikkoutuneet mittalaitteet voivat aiheuttaa hengenvaaran. Kustannukset, jotka aiheutuvat huolimattomasta käsittelystä, voi opiskelija joutua itse korvaamaan.
- Älä ylitä mittarin mitta-aluetta ja katkaise kytkennästä aina jännite ennen kuin teet kytkentään muutoksia.
- Palauta mittausten jälkeen mittareiden kytkimet 0-asentoon.
- Jokaisen laboratoriossa on tiedettävä, miten sairaankuljetusauto voidaan tilata paikalle.

## Muista:

- Varo jännitteisiä osia!
- Varo pyöriviä akseleita!
- Laboratoriossa työskennellessään on jokainen vastuussa omasta ja toisten turvallisuudesta!

## 2. Käytännön asioita laboratorio-osuudesta

- Mittaukset 4–5 hengen ryhmissä
- Jokainen ryhmä käy mittaamassa 2 kertaa ilmoitettuna ajankohtina. Kummallakin kerralla mitataan 2 työtä.
- Kumpaankin kahteen mittaukseen tulee osallistua. Poissaoloista viestiä etukäteen.
- Jokainen opiskelija palauttaa yhden raportin (ks. aikataulusta oma rapottisi). Raportti palautetaan 2 viikon kuluttua mittausten suorittamisesta Optimaan palautuslaatikkoon. Jos esim. mittasit jonakin tiistaina, niin palautuksen takaraja 2 viikon päästä tiistaina klo 23:59 mennessä.
- Palautus **PDF-muodossa, mittauspöytäkirja samassa tiedostossa liitteenä.**
- Myöhästymisestä raportista pieni arvosanavähennys.
- Jos raportissa suuria puutteita, niin palautetaan korjattavaksi ja pieni arvosanavähennys.
- Raportit arvostellaan arvosanalla 0–5 puolen arvosanan välein (eli esim. mahdollista saada arvosanaksi 3,5).

### 3. Mittaaminen

Suure on se asia, jota mitataan.

- esim. pituus, lämpötila, varaus, ...

Mittayksikkö mahdollistaa mitattujen suureiden vertailun.

- esim. m, K, C, ...

Kansainvälinen yksikköjärjestelmä, eli SI-järjestelmä, mahdollistaa mittayksiköiden maailmanlaajuisen käytön (tosin esim. USA:ssa ja Iso-Britanniassa myös järjestelmän ulkopuolisia yksiköitä).

Kuten muutenkin fysiikan laskuissa, käytä myös labratöissä aina SI-yksiköitä!

## 4. Mittausvirhe

Mittausvirhe = mitatun tuloksen ja oikean arvon erotus.

Jokaiseen mittaukseen sisältyy aina mittausvirhettä! Mittausvirhe voidaan jakaa karkeisiin virheisiin, systemaattisiin virheisiin ja satunnaisvirheisiin. Karkeat virheet ovat esim. huolimattomuudesta johtuvia selkeästi poikkeavia tuloksia, jotka jätetään pois laskuista. Systemaattinen virhe on virhettä, joka pysyy samana tai muuttuu säännänmukaisella tavalla. Satunnaisvirhe taas aiheutuu useista, usein riippumattomista tekijöistä.

Mittausepävarmuus = virherajoilla ilmaistu mittaustulosten hajonnan mitta, eli arvio siitä, kuinka suuri mittausvirhe voi olla.

Mittausepävarmuus kuvaa siis mitatun suureen arvojen odotettua vaihtelua.

**Esimerkki mittausepävarmuuden ilmoittamisesta**

$$(4,57 \pm 0,01) \text{ m}$$

**Huom!**

Termien mittausvirhe, mittausepävarmuus ja mittausepätaarkkuus käyttö on suhteellisen sekavaa. Usein arkikielessä puhutaan vain virheestä.

Mittalaitteisiin liittyy aina epätarkkuutta ja/tai lukematarkkuutta. Esimerkiksi Precisa 510C -merkkiselle vaa'alle valmistaja on ilmoittanut epätarkkuudeksi  $\pm 0,005$  g, kun taas Acculab SVI-10A -vaa'an valmistaja on kirjannut epätarkkuuden  $\pm 1$  g.

- Kumpaa käyttäisit esim. A4-arkin massan selvittämiseen?

Mittalaitteiden epätarkkuus on joskus prosenttiluku lukemasta. Lisäksi epätarkkuuksissa voi esiintyä tunnus "dig", jolla viitataan vähiten merkitsevään numeroon mittalaitteessa (digit).

- Esim. jos virtamittarilla, jonka virhe on  $\pm(2\% \text{ lu} + 5 \text{ dig})$  saataisiin näytölle 15,06 A, olisi epätarkkuus 2 % saadusta tuloksesta  $+ 5 \cdot 0,01$ , eli  $\pm 0,3512$  A.

Mikäli laitteelle ei ole ilmoitettu epätarkkuutta, tulee se arvioida itse (esim. mittanauha, sekuntikello). Virheeksi arvioidaan usein mittalaitteen tarkkuus, esim. mittanauhalla 1 mm. Toisaalta välillä tarkkuus voi olla turhan optimistinen. Esim. sekuntikellossa tuloksen voi saada näytölle 0,01 s tarkkuudella, mutta jos ihminen käyttää kelloa, vaikuttaa reaktioaika jo paljon enemmän. Realistisempi arvio olisi esim. 0,1 tai 0,2 s.



## Virhearviointi

Virhearvioinnilla pyritään...

- arvioimaan virheen suuruutta
- pienentämään virheen suuruutta
- kertomaan mittauksen luotettavuudesta

## 5. Virheen $\Delta x$ ja tuloksen $x$ ilmoittaminen

Lopputulos ilmoitetaan aina muodossa

$$x \pm \Delta x$$

- $x$  on mitattu tulos
- $\Delta x$  on arvioitu virhe

### Pyöristämisestä

- Lopputulosten yhteydessä virhe pyöristetään yhden merkitsevän numeron tarkkuuteen, jonka jälkeen lopputulos pyöristetään virheen kanssa samaan tarkkuuteen (poikkeuksena 15-yksikön sääntö).
- Virhe pyöristetään aina ylöspäin.
- Välituloksia ei pyöristetä, vasta lopputulokset.
- Fysiikassa on käytössä myös ns. 15-yksikön sääntö, jolla pyritään lieventämään virheen pyöristymistä tietyissä tilanteissa. Tähän tutustutaan tarkemmin Fysiikan laboraatiot -kurssilla.

## Pyöristysesimerkkejä:

- 1) Lopputulokseksi on saatu lukuarvo 12,982... A (amperia) ja virheeksi 0,0738... A. Tällöin ensin virhe pyöristyy ylöspäin yhden merkitsevän tarkkuudelle arvoon 0,08 A ja sitten lopputulos samaan tarkkuuteen normaalisti pyöristäen, eli arvoon 12,98 A. Siis tulos virheineen  $(12,98 \pm 0,08)$  A.
- 2) Lopputulokseksi on saatu 12568 m ja virheeksi 44 m. Virhe pyöristyy arvoon 50 m (ylöspäin yhden merkitsevän tarkkuudelle) ja lopputulos arvoon 12570 m (sama tarkkuus virheen kanssa). Eli lopputulos virheineen  $(12570 \pm 50)$  m.

## 6. Virheen eteneminen laskutoimituksessa

Miten sitten saadun lopputuloksen virherajat saadaan laskettua, kun eri suureille, joilla tulos lasketaan, on arvioitu epätarkkuudet? Täytyy perehtyä siihen, miten virhe etenee laskutoimituksessa. Tällä kurssilla käytetään virhelaskuissa suhteellista virhelaskumenetelmää.

### Suhteellinen virhe

Suhteellinen virhe kertoo kuina monta prosenttia virhe/epätarkkuus on mittaustuloksesta. Jos esim. oltaisiin saatu jostakin mittauksesta lopputulokseksi virheineen  $(278 \pm 6)$  m, olisi suhteellinen virhe nyt

$$\frac{6}{278} = 0,021583 \approx 2\%$$

### Absoluuttinen virhe

Absoluuttisella virheellä tarkoitetaan virhettä mittayksiköinä. Edeltävässä esimerkissä absoluuttinen virhe on 6 metriä.

## Suhteellinen virhelaskumenetelmä

Jos on mitattu suureita  $x, y, z, \dots$  ja niille virheet ovat  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$  ja jokin laskennallinen suure  $f$  saadaan laskettua näistä, niin silloin  $f$ :n virhe  $\Delta f$  saadaan laskettua seuraavasti:

Jos  $f$  on suureiden  $x, y, z, \dots$  summa ja/tai erotus

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + \dots}$$

Jos  $f$  on suureiden  $x, y, z, \dots$  polynomifunktio tai juurilauseke (esim.  $f = x^a \cdot y^b \cdot z^c \cdot \dots$ )

$$\Delta f = f \cdot \left( \left| a \cdot \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| b \cdot \frac{\Delta y}{y} \right| + \left| c \cdot \frac{\Delta z}{z} \right| + \dots \right)$$

Jos suure  $x$  saadaan jotenkin monimutkaisemmin (esim. lausekkeessa on sekä summaa että osamäärää), tulee lasku suorittaa paloittain. Monimutkaisempien lausekkeiden virhelaskuissa hyödynnetään toisenlaisia virhelaskumenetelmiä, joita ei käsitellä tällä kurssilla.

## 7. Excelvinkkejä

Lopuksi vielä muutamia vinkkejä Excelin kanssa toimimiseen.

### Kuvaajan piirtäminen Excelillä

- 1 Kirjaa ne arvot, jotka haluat kuvaajaan kahdelle vierekkäiselle riville, vasemmalle x-arvot ja oikealle y-arvot.
- 2 Maalaa arvot ja valitse *Insert*-välilehdeltä *Scatter* ja siitä avautuvasta valikosta vasemman yläkulman kuvaaja (pelkkiä pisteitä ilman viivoja).
- 3 Voit muokata akseleita, asteikkojakoa, otsikkoa yms.

### Suoran sovittaminen kuvaajaan

- 1 Klikkaa hiiren oikealla jotakin kuvaajan datapistettä.
- 2 Valitse *Insert Trendline*.
- 3 Avautuvasta valikosta valitse malli (tässä tapauksessa lineaarinen) sekä klikkaa valintaa *Display Equation on Chart*, jolloin saat sovitettun suoran lausekkeen näkyviin.
- 4 Nyt kuvaajaan ilmestyy sovitettu suora sekä sen yhtälö (josta voi mm. lukea suoran kulmakertoimen).