

Fysiikka 1

Fysiikka
luonnontieteenä

Fysiikka luonnontieteenä

- Fysiikassa tutkitaan kappaleiden ja ilmiöiden mitattavissa olevia ominaisuuksia ja ominaisuuksien muutoksia.
- Tavoitteena löytää luonnonlait ilmiöiden takaa
 - Matemaattinen mallintaminen
 - Mallien vastattava kokeellisia tutkimustuloksia
 - Tutkimusten tulee olla toistettavia
 - objektiivisuus
- Fysiikan tutkimusalueet ulottuvat alkeishiukkasten maailmasta koko maailmankaikkeuden rakenteeseen.
 - Jako klassiseen ja moderniin fysiikkaan

Mittaaminen ja mittaustarkkuus

Perussuureet ja
johdannaissuureet

Mittaaminen kehittyi

- Ruumiinosien käyttö mittayksiköinä
 - Jalka, Kyynärä, Poron kusema...
- Kalenterin kehittyminen
 - Niilin tulvat ja Sirius-tähti → Vuoden pituudeksi 365,25 vrk
- 1790-luvulla Ranskassa metrin käyttöönotto → SI-järjestelmän kehittyminen alkoi
 - 1960 SI-järjestelmää täydennettiin
 - 1975 Otettiin käyttöön Suomessa
- Suhteellisuusteoria apuna paikan mittauksissa

Käsitteitä

- Suure = Mitattavissa oleva ominaisuus
- Yksikkö = Mitta, johon verrataan
- Suureen arvo =
Suureen lukuarvo · yksikkö
- Esim: Aika 57,3 sekuntia, voidaan ilmaista: $t = 57,3 \cdot 1 \text{ s} = 57,3 \text{ s}$.

SI – järjestelmän perussuureet

s. 66
taulukkokirja

Suure	Tunnus	Yksikkö	Yksikön tunnus
pituus	l tai s	metri	m
massa	m	kilogramma	kg
aika	t	sekunti	s
sähkövirta	I	ampeeri	A
lämpötila	T	Kelvin	K
ainemäärä	n	mooli	mol
valovoima	I	kandela	cd

SI-järjestelmän kerrannaisyksiköt

- Apuna hyvin suurten ja pienten lukuarvojen käsittelyssä
- Ohessa muutamia yleisimmin käytettyjä

Nimi	Tunnus	kerroin
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	K	10^3
milli	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

Esimerkkejä

- $0,00041 \text{ m} = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,41 \text{ mm}$
- $0,00000041 \text{ m} = 4,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 4,1 \text{ } \mu\text{m}$
- $4100 \text{ m} = 4,1 \cdot 10^3 \text{ m} = 4,1 \text{ km}$
- $4100000 \text{ m} = 4,1 \cdot 10^6 \text{ m} = 4,1 \text{ Mm}$

Käytä kymmenen potensseja ja kerrannaisyksiköitä

- $1500 \text{ m} = 1,5 \text{ km}$
- $15\,000\,000 \text{ W} = 15 \text{ MW}$
- $3\,400\,000\,000 \text{ Hz} = 3,4 \text{ GHz}$
- $0,0035 \text{ m} = 3,5 \text{ mm}$
- $0,000\,002\,6 \text{ m} = 2,6 \text{ }\mu\text{m}$

Johdannaissuureet

- Kaikki muut suureet voidaan johtaa seitsemästä perussuureesta
- Esim. Nopeus on johdannaissuure, jonka perusyksikkö on m/s.
- Osalla johdannaisyksiköistä on oma erityisnimensä.
- Esim. $\text{Kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$ (newton)

Esimerkkejä

Suure	Tunnus	Yksikön tunnus
nopeus	v	m/s
tilavuus	V	m^3
pinta-ala	A	m^2
tiheys	ρ	kg/m^3
kiihtyvyys	a	m/s^2
voima	F	$Kg \cdot m/s^2 = N$

Yksikön johtaminen kaavasta

- Esim. Johda voiman yksikkö $\text{Kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ voiman laskukaavan $F=ma$ ja kiihtyvyyden kaavan $a=v/t$ avulla.
- Ratk.

$$[F] = [m] \cdot [a] = [m] \cdot \frac{[v]}{[t]} = [m] \cdot \frac{\frac{[s]}{[t]}}{[t]} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

SI-Järjestelmästä

- Tavoitteena, että kaikki käyttäisivät samoja mittayksiköitä.
- Toteutuuko?
- Mitä poikkeuksia tiedät?
- Onko mahdollista toteutua?
 - Mikä estää?

Lisäyksiköt

- Käytännön elämässä käytetään usein myös muita kuin SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä.
- Esimerkiksi tilavuuden yksikköä litra (l), nopeuden yksikköä (km/h), tehon yksikköä hevosvoima (hv) ja matkan yksikköä maili.

Muunna

- $170 \text{ mi} = 273,588 \text{ km} = 273\,588 \text{ m}$
- $5 \text{ ka} = 5 \cdot 0,2 \text{ g} = 1 \text{ g}$
- $50 \text{ solmua} = 50 \cdot 0,5144 \text{ m/s} = 25,75 \text{ m/s}$
- $2000 \text{ kcal} = 8\,373\,600 \text{ J}$
- $500 \text{ hv} = 367\,750 \text{ W}$
- $6 \text{ dl} = 0,6 \text{ l} = 0,6 \text{ dm}^3 = 0,0006 \text{ m}^3$

Tehtäviä

1. Luettele 4 ominaisuutta,
 - a) jotka voidaan mitata Matka, Aika, Pituus, Voima
 - b) joita ei voida mitata. Kauneus, nälkä, ahkeruus,...
2. Mittaustulos on 4,2 s.
 - a) Mikä on mitattu suure? Aika
 - b) Mikä on lukuarvo? 4,2
 - c) Mitä yksikköä mittauksissa on käytetty? sekunti

MERKITSEVIEN NUMEROIDEN MÄÄRÄ

- VASTAUKSESSA YHTÄ MONTA MERKITSEVÄÄ NUMEROA KUIN EPÄTARKIMASSA LÄHTÖARVOSSA!

- Esim.

Luku	Merkitsevien numeroiden lkm.
157 km	3
1500 m	2
1500,0 m	5
0,15 cm	2
0,015	2
0,150	3

Mittaustarkkuus

- Mikään fysikaalinen mittaustulos ei voi olla ehdottoman tarkka. Tulokset ovat **likiarvoja**.
- Tuloksen tarkkuutta rajoittavat esimerkiksi mittavälineiden tarkkuus.
- **Esim.** Viivoittimen mittatarkkuus on 1mm, joten jos viivoittimella mitataan oppikirjan paksuudeksi 2,3 cm, voidaan mitattu paksuus ilmoittaa muodossa:
 $2,3 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$.

Tarkkuuden ilmoittaminen

- Mitattu suure x voidaan yleisesti antaa muodossa:

$$x = x_m \pm \Delta x,$$

jossa

x_m = mittaustulos

Δx = absoluuttinen virhe.

- **Absoluuttinen virhe** on virheen suuruus mittayksiköissä.
- Esim. Sormuksen halkaisija:
 $d = 16,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}.$

Suhteellinen virhe

- **Suhteellinen virhe** tarkoittaa virheen suuruutta suhteutettuna mittauksen tulokseen.
- **Esim.** Sormuksen halkaisijan suhteellinen virhe:

$$\frac{0,1mm}{16,5mm} \approx 0,006 = 0,6\%$$

Tehtävä

Kokki punnitsi tarkasti 100,0 g jauhoja vaa'alla, jonka tarkkuus oli 0,1 g. Ilmoita tuloksen absoluuttinen virhe ja suhteellinen virhe.

Ratk. Absoluuttinen virhe 0,1 g

Suhteellinen virhe $0,1\text{g}/100\text{g} = 0,001 = 0,1\%$

Tulos: $m = 100,0\text{g} \pm 0,1\text{g} = 100,0\text{g} \pm 0,1\%$

Mittausvirheet

- Absoluuttisen tarkkoja mittauksia mahdoton tehdä.
- Niiden osuutta voidaan pienentää suunnittelemalla työ hyvin, työskentelemällä huolellisesti ja toistamalla mittaus useita kertoja.
- Lopullinen mittaustulos saadaan tehtyjen mittausten keskiarvona.

Mikä aiheuttaa virheitä?

- Mittauksen kohde
 - Tähten halkaisija
- Mittausvälineet ja –menetelmät
 - Mittalaitteet kuluvat ja likaantuvat
- Mittaustapahtuma
 - Lämpömittari muuttaa tutkittavan kohteen lämpötilaa
- Työskentelytavat
 - Laitetta luetaan/käytetään väärin (venytetään esimerkiksi mittanauhaa/jousta liikaa)

Miten mittausvirhe arvioidaan

Mittausvirhe voidaan arvioida:

1. Mittausten keskihajontana (laskimella)
2. Mittausten keskipoikkeamana
3. $(\text{suurin arvo} - \text{pienin arvo}) / 2$
4. Päättelemällä mittalaitteiden tarkkuudesta

Helpoin tapa on 3, siis jaetaan suurimman ja pienimmän arvon erotus kahdella. Tulos hieman liioittelee virheen suuruutta.

Satunnaiset ja systemaattiset virheet

- **Satunnaiset virheet** johtuvat epätarkkuuksista mittauksissa.
 - usein mahdotonta mitata tarkasti
 - toistetaan mittaus useita kertoja ja lasketaan keskiarvo mittauksista
- **Systemaattiset virheet:**
 - luetaan esimerkiksi mittalaitetta väärin
 - toistuvat jokaisella mittauksella
 - voidaan eliminoida työskentelemällä huolellisesti ja valitsemalla oikeat, kalibroidut mittavälineet.

Mittaustulosten määrittäminen virherajoihin

- **Esim.** Oppilas oli mitannut työpöytänsä pituudeksi $60 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ ja leveydeksi $40 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$. Mikä oli pöydän pinta-ala?

Ratk. *Vähintään:* $59 \text{ cm} \cdot 39 \text{ cm} \approx 2300 \text{ cm}^2$
 Enintään: $61 \text{ cm} \cdot 41 \text{ cm} \approx 2500 \text{ cm}^2$
 Ala: $60 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} = 2400 \text{ cm}^2$
 Absoluuttinen virhe: $\Delta x = \pm 100 \text{ cm}^2$
 Suhteellinen virhe: $\frac{100 \text{ cm}^2}{2400 \text{ cm}^2} \approx 0,042 = 4,2\%$

Vastaus: $A = 2400 \text{ cm}^2 \pm 100 \text{ cm}^2$ tai
 $A = 2400 \text{ cm}^2 \pm 4,2 \%$

Mittaustulosten määrittäminen virherajoihin

- **Esim.** Heilurin heilahdusajan määrittämiseksi mitattiin 10 heilahdukseen kuluva aika. Mittaus toistettiin 5 kertaa ja tulokset taulukoitiin:

Mittaus	10 heilahduksen aika (s)	1 heilahduksen aika (s)
1	21,5	2,15
2	18,5	1,85
3	19,0	1,90
4	21,1	2,11
5	20,5	2,05
ka	20,12	2,012

• 1 heilahdukseen kuluva aika:

$$t \approx 2,01s$$

- minimiaika 1,85
- maksimiaika 2,15
- absoluuttinen virhe:
 $(2,15 - 1,85) / 2 = 0,15s$

Vastaus: $t = 2,01s \pm 0,15s$

Heilurin heilahdusaika virherajoihin (tapa 2)

- Lasketaan mittaustuloksen poikkeama keskiarvosta.
 - Otetaan tämän itseisarvo (Miksi?).
 - Lasketaan näiden poikkeamien keskiarvo = absoluuttinen virhe
- Vast.** $2,01\text{s} \pm 0,11\text{s}$

Mittaus	t (s)	$ \Delta t $ (s)
1	2,15	0,138
2	1,85	0,162
3	1,90	0,112
4	2,11	0,098
5	2,05	0,038
ka	2,012	0,1096

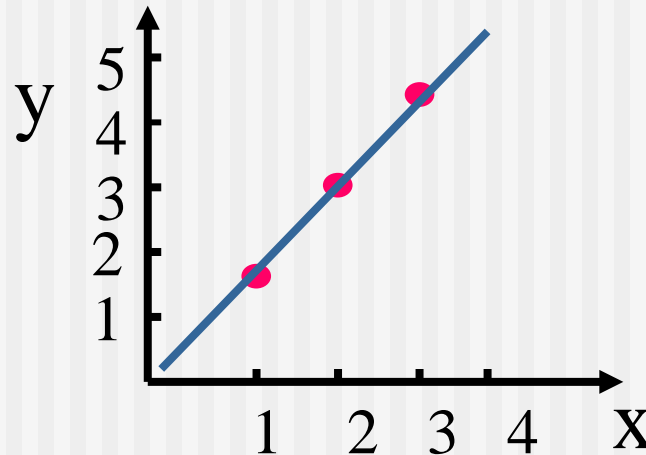
Taulukointi ja graafinen esitys

- Mittauksissa saadaan yleensä paljon mittaustuloksia, joten ne on selkeintä esittää taulukon avulla.
- Usein suureiden välinen riippuvuus on helpompi havaita koordinaatistosta kuin taulukosta → mittaustuloksista piirretään **graafinen esitys**

Taulukointi ja graafinen esitys

- **Riippuva** muuttuja (yleensä tutkittava asia) pannaan **y**-akselille (pystyakseli)
- **Riippumaton** muuttuja (se josta toinen riippuu) pannaan **x**-akselille (vaaka-akseli)
- Lukuparit **taulukkoon**, x vasemmalle, y oikealle yksikkö otsikossa

x (s)	y (m)
1,0	1,5
2,0	3,0
3,0	4,5



Tehtäviä

1. Viisi oppilasta mittasi tangon pituuden jolloin saatiin tulokset 1,6 cm, 1,7 cm, 1,4 cm, 1,5 cm, 1,8 cm.
a) Mikä on tällä perusteella tangon pituus? b) Mitä virhemahdollisuuksia mittaukseen liittyy? c) Mikä on mittauksen suhteellinen virhe?

Ratk. a)
$$\bar{x} = \frac{1,6\text{cm} + 1,7\text{cm} + 1,4\text{cm} + 1,5\text{cm} + 1,8\text{cm}}{5} = 1,6\text{cm}$$

b) Mittanauhaa voidaan esimerkiksi lukea väärin.

c) Absoluuttinen virhe: $(1,8\text{cm} - 1,4\text{cm})/2 = 0,2\text{cm}$

Suhteellinen: $0,2\text{cm}/1,6\text{cm} = 0,125 = \underline{12,5\%}$

Tehtäviä

2. a) Mitkä tekijät vaikuttavat mittaustarkkuuteen? b) Mikä on suhteellinen virhe? c) Mitä on kalibrointi? d) Mistä syystä käsi- ja sähköajanoton tulokset eroavat toisistaan?

Ratk. a) Esimerkiksi mittalaitteiden tarkkuus ja että ne on oikein kalibroitu
b) Virheen suuruus prosentteina mittaustuloksesta (keskiarvosta)
c) Säädetään mittalaite jonkin tunnetun yksikön avulla näyttämään oikein.
d) Käsiajanotossa reaktioaika aiheuttaa virhettä.

Tehtäviä

3. Urheilukentän juoksuradan pituus mitattiin seitsemän kertaa ja saatiin tulokset: 400,4 m, 399,8 m, 400,8 m, 390,8 m, 400,2 m, 399,8 m ja 400,2 m. a) Mikä on tällä perusteella juoksuradan pituus? b) Mitä virhemahdollisuuksia mittaukseen liittyy? c) Mikä on mittauksen suhteellinen virhe, jos absoluuttiseksi virheeksi arvioidaan 0,2 m?

Ratk. a)
$$x = \frac{400,4m + 399,8m + 390,8m + 400,2m + 399,8m + 400,2m}{6} = 398,5m$$

b) Luetaanko juoksuradan pituus radan sisä- vai ulkoreunasta? Luultavasti tulos 390,8m on väärä, koska se poikkeaa niin paljon muista tuloksista. Jos se jätetään huomioimatta, saadaan keskiarvoksi 400,2m

c) Suhteellinen virhe: $0,2m/400,2m \approx 0,05 \%$

Tehtäviä

4. Jokaisella valtiolla on omat metrin ja kilogramman prototyyppinsä, jotka on mitattu mahdollisimman tarkasti. Suomen metrin pituus on 1,000 002 43 m ja kilogramman massa 1,000 0001 kg. Määritä niiden absoluuttinen ja suhteellinen poikkeaminen standardista.

Ratk. $\Delta l = 0,000\,002\,43\text{ m} = 2,43\text{ }\mu\text{m} \approx 0,000\,243\text{ }\%$ (pituus)

$\Delta m = 0,000\,000\,1\text{ kg} = 0,1\text{ mg} \approx 0,000\,01\text{ }\%$ (pituus)

Tehtäviä

5. Miten voit viivaimen avulla mitata kirjan sivun paksuuden? Mikä oletamus ratkaisuun sisältyy?

Ratk. Mitataan koko kirjan paksuus viivoittimella ja jaetaan saatu mitta sivujen lukumäärällä. Tällöin oletetaan, että kaikki kirjan sivut ovat yhtä paksuja.

Tehtäviä

6. Tee tavallisesta kuminauhasta vaaka ja kalibroi se. Mitä virhelähteitä tähän liittyy?

Ratk. Kuminauha laitetaan roikkumaan esimerkiksi seinän viereen. Laitetaan kuminauhan päähän punnus, jonka massa tiedetään. Laitetaan viiva merkiksi kuminauhan alaosan kohdalla. Toistetaan toisella tunnetulla punnuksella ja määritellään saatujen pisteiden avulla asteikko.

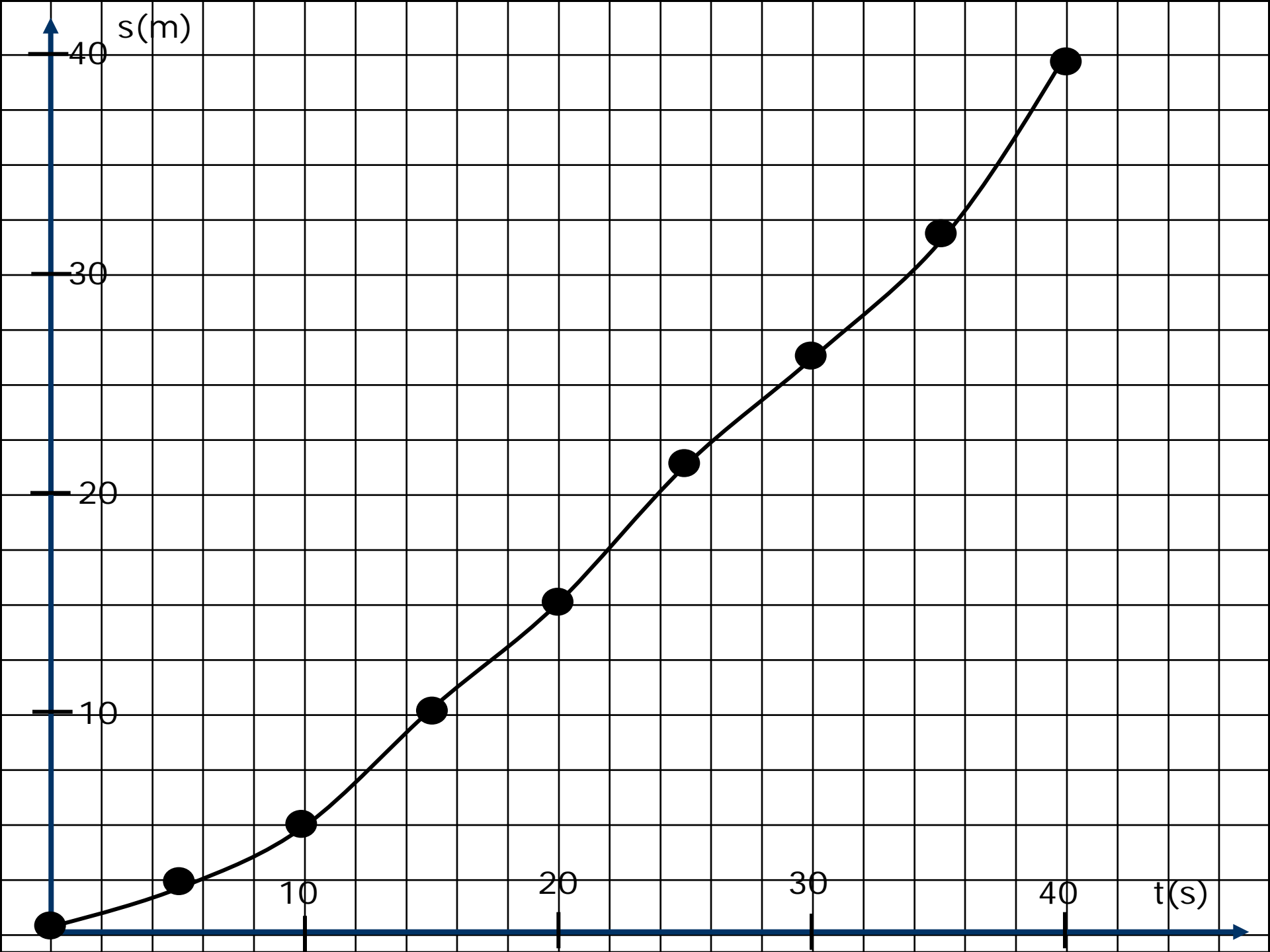
Toimiiko kuminauha lineaarisesti koko venymäalueellaan? Löystyykö kuminauha vanhetessaan? Reagoiko kuminauha lämpötilan muutoksiin?

Tehtäviä

7. Kun kilpauimarin paikkaa mitattiin ajan funktiona 50 metrin uimakilpailussa, saatiin oheisen taulukon mukaiset tulokset:

s (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
t (s)	0	2,1	5,1	10,5	15,5	21,7	26,4	31,9	39,6

Merkitse mittauspisteet (t,s) -koordinaatistoon ja piirrä uimarin paikka ajan funktiona.

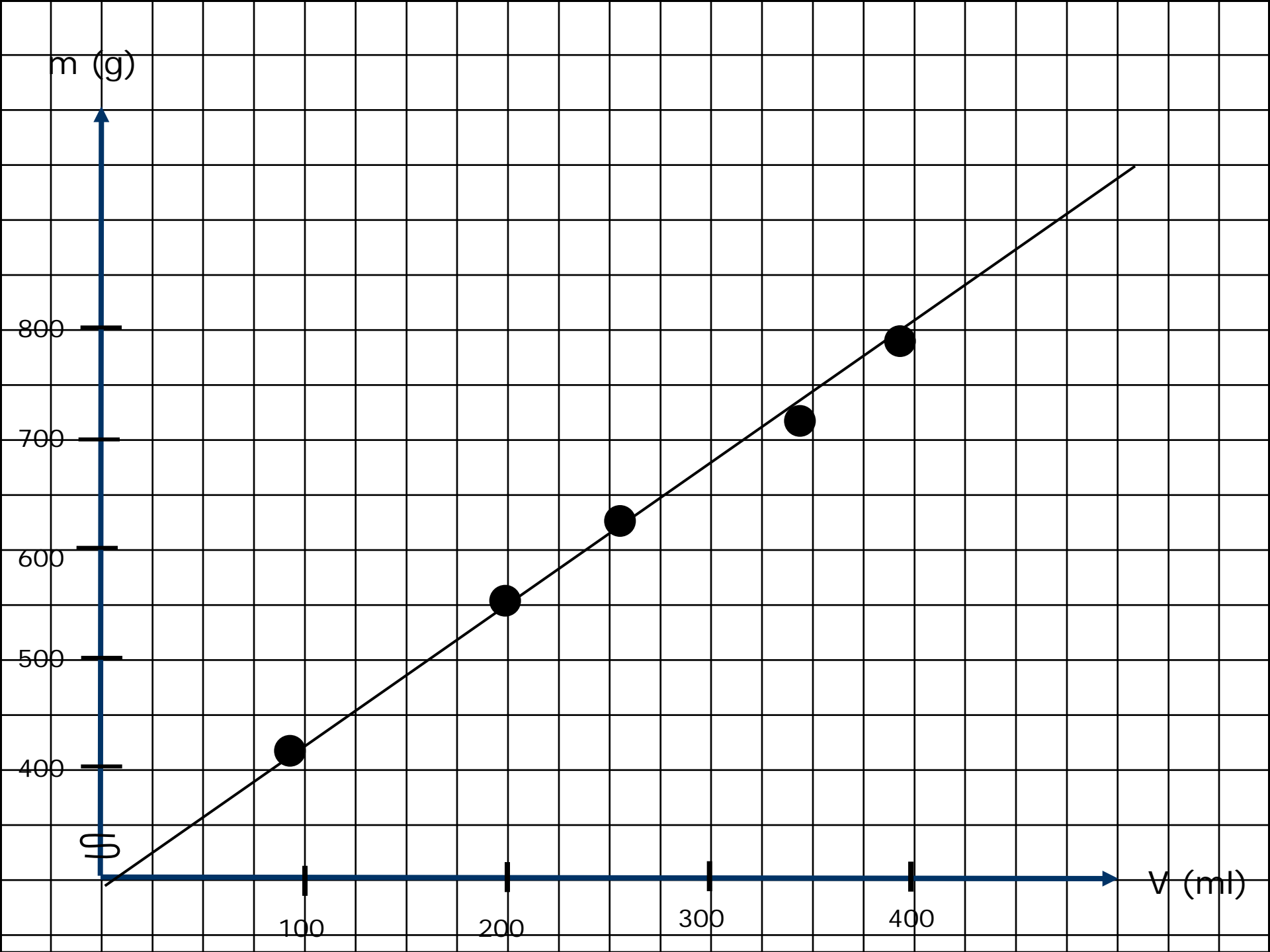


Tehtäviä

8. Opiskelijat tutkivat suolaliuoksen tiheyttä. Punnitessaan mittalasissa olevan suolaliuoksen he saivat taulukon mukaiset mittaustulokset.

Massa (g)	433	553	624	718	787
Tilavuus (ml)	91	196	258	344	405

- a) Piirrä mittaustulosten perusteella kuvaaja sopivaan koordinaatistoon. Miksi kuvaaja ei kulje origon kautta?
- b) Määritä suolaliuoksen tiheys ja punnitusastian massa
- c) Virherajat?



Vastaus

Suolaliuoksen tiheys saadaan suoran kulmakertoimen avulla: $\rho \approx 1,2 \text{ g/ml} = 1,2 \text{ g/cm}^3 = 1200 \text{ kg/m}^3$.

Suora ei kulje origon kautta, koska massoissa on mukana mitta-astian massa.

Mitta-astian massa saadaan suoran ja y-akselin leikkauspisteestä, kun kuvaaja piirretään ilman y-akselin sovitusta. Tällöin $m \approx 320 \text{ g}$.

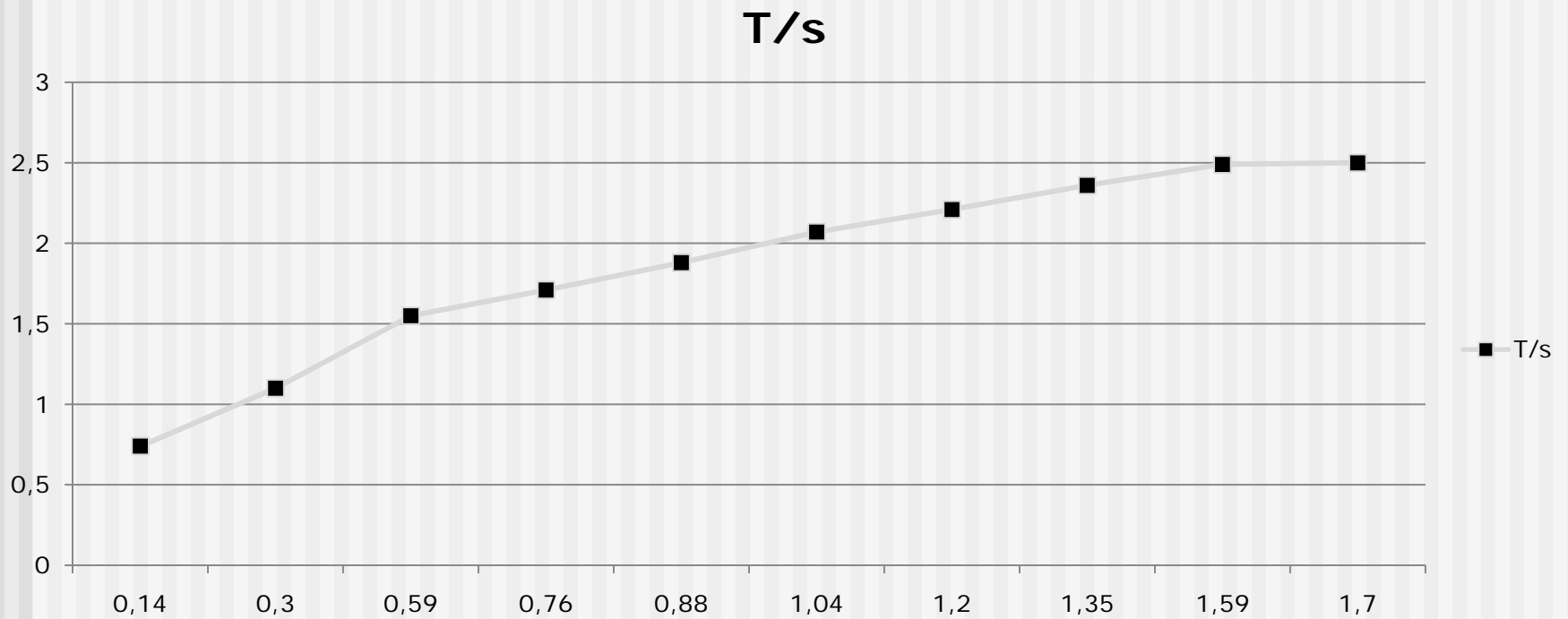
Virherajat mittaukselle voidaan määrittää, joko arvioimalla mittalaitteiden tarkkuuden perusteella (esim. yhtä monta merkitsevää, kuin epätarkimmassa mittauksessa) tai laskemalla kulmakerroin suoralle useasta eri kohdasta ja vertaamalla näitä keskenään.

Tehtäviä

9. Työkurssilla tutkittiin heilurin pituuden vaikutusta heilurin heilahdusaikaan. Tulokset merkittiin taulukkoon. Esitä tulokset (l, T) ja (l, T^2) koordinaatistoissa.

l/m	T/s
0,14	0,74
0,30	1,10
0,59	1,55
0,76	1,71
0,88	1,88
1,04	2,07
1,20	2,21
1,35	2,36
1,59	2,49
1,70	2,50

Kuvaajat



T2

