Tämä tiedosto on luotu osana Erasmus+ -projektia ”Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab). Lisää tietoa: [www.jyu.fi/digiphyslab](http://www.jyu.fi/digiphyslab)

Älypuhelin lämpömittarina?

Ohjaajan versio

6.2.2023



# Creative Commons LicenseTämä työ on julkaistu lisenssillä [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

# Älypuhelin lämpömittarina? – Ohjaajan versio

## Työn yleiskuva

* Aihe: Termodynamiikka, lämpötila, kokeellisen työskentelyn rajoitteet.
* Kohderyhmä: Fysiikan opiskelijat ja fysiikan opettajaopiskelijat. Työn avoimuutta voi muuttaa, joten työ soveltuu opintojen kaikkiin vaiheisiin.
* Ajankäyttö: Työ voidaan tehdä paikan päällä (vähintään 2 h suunnitteluun, mittauksiin ja analysointiin) tai kotona (esim. noin viikon mittainen projekti).
* Tehdään yksin, pareittain tai pienissä ryhmissä.

Tämän kokeellisen työn kautta opiskelijat pääsevät tekemään tutkimusta hieman epätavallisesta näkökulmasta. Lämpötilan mittaaminen älypuhelimella on suoraan sanottuna tuomittu epäonnistumaan. Tämä työ on kuitenkin esimerkki siitä, miten aitoon ongelmaan voidaan periaatteessa keksiä sopiva mittausmenetelmä ja -proseduuri, mutta ei aina ole helppoa huomata niiden rajoitteita ennen menetelmän ja proseduurin kokeilemista käytännössä. Monet menetelmät, joita voidaan käyttää lämpötilan mittaamiseen älypuhelimen sensoreilla, näyttävät ensisilmäyksellä järkeviltä. Ne kaikki kuitenkin ainakin jossain määrin rakoilevat liitoksistaan lähemmin tarkasteltaessa.

On siis tärkeää, ettei tätä työtä aloiteta olettaen, että saadaan täsmällisiä tai edes järkeviä tuloksia. Tämä on mainittu suoraan myös työn opiskelijaversiossa. Työn tärkein asia on huomata koejärjestelyn rajoitukset ja epävarmuustekijöiden suuri määrä. Opiskelijat suunnittelevat työn toteutuksen itse, joten he tietävät kokeeseensa liittyvien valintojen perustelut. Koska kokeellisen työskentelyn rajoitukset eivät tavallisesti ole tässä työssä hiuksenhienoja, työssä tarjoutuu hyvä mahdollisuus harjoitella kokeen rajojen tunnistamista ja niistä viestimistä.

## Välinelista

Älypuhelimet (mittaussovelluksella, esim. phyphox tai Physics Toolbox Suite). Opiskelijat voivat hyödyntää myös mitä tahansa muita tarvikkeita, paitsi ulkoisia lämpötilasensoreita.

Jos työ tehdään paikan päällä, voi olla tarpeen tarjota valikoima saatavilla olevia tarvikkeita opiskelijoiden käyttöön. Jotta työ voidaan tehdä eri tavoilla, tulee tarjota jäätä, vettä ja tiiviisti suljettavia astioita sekä eri mittaisia putkia/letkuja/koeputkia, pulloja ja mittanauhoja.

## Mittaussovellus

Tässä työssä opiskelijoiden tulee tavallisesti mitata painetta (barometri), aikaa (sekuntikello, Acoustic Stopwatch) tai äänen taajuutta (mikrofoni). Älypuhelimen sensoreiden keräämää dataa voidaan lukea ilmaisilla sovelluksilla, kuten phyphoxilla tai Physics Toolbox Suitella. Nämä sovellukset ovat selkeitä ja helppokäyttöisiä. Mitä tahansa älypuhelimessa olevia työkaluja voi käyttää vapaasti.

## Esimerkki kokeellisen työskentelyn kulusta sisältäen kommentteja ja ehdotuksia

Työ voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Kaksi opiskelijoiden valittavissa olevaa päähaaraa ovat paineen mittaaminen tiiviisti suljetussa astiassa ja sen yhteyden selvittäminen lämpötilaan (kaasulämpömittari) tai äänen nopeuden mittaaminen (tämän tekemiseen löytyy monia eri tapoja) ja sen yhdistäminen lämpötilaan.

#### Kaasulämpömittari

**Turvallisuushuomautus:** Alapuolella kuvailtuun menetelmään sisältyy puhelimen altistaminen matalalle lämpötilalle. Jos astian kansi ei ole riittävän tiivis, puhelin voi kastua. Työskentely tehdään varovaisesti ja omalla vastuulla.

Kaasulämpömittarin tekeminen vaatii sen, että puhelimessa on barometri. Yleensä se löytyy iPhoneista, mutta harvemmin Android-laitteista. Lisäksi tarvitaan tiiviisti suljettava astia, kuten lasipurkki, jonka tilavuus ei muutu. Puhelin-astia-systeemin voi lämpömittarin kalibroimiseksi upottaa jääveteen ja siten määrittää paineen $p\_{0}$ lämpötilassa $T\_{0}=“273,15 K”$ (Miksi lainausmerkit? Katso rajoitukset alapuolelta). Sitten voidaan mitata paine $p$ halutussa lämpötilassa $T$ ja käyttää ideaalikaasun tilanyhtälöä, jotta saadaan selvitettyä lämpötila

$T=\frac{p}{p\_{0}}T\_{0}$.

Tämän menetelmän suuri rajoittava tekijä on puhelimen tuottama lämpö. On melko mahdotonta sanoa, kuinka paljon puhelin tuottaa lämpöä. Lasipurkin sisällä oleva lämpötila ei kuitenkaan tule saavuttamaan 0 °C purkin ollessa upotettuna jääveteen. Tämä ei-laskettavissa oleva epävarmuus tekee tuloksen järkevyyden arvioinnista vaikeaa.

#### Lämpötila äänen nopeuden kautta

On huomion arvoista, että lämpötilan määrittämiseen äänen nopeuden kautta on oikeastikin olemassa joitain kunnollisia sovelluksia. Näistä kannattaa myös keskustella opiskelijoiden kanssa. Katso esimerkit akustisesta lämpötilan mittaamisesta [https://www.nist.gov/programs-projects/acoustic-thermometry](https://www.nist.gov/programs-projects/acoustic-thermometry%20) ja valtameren akustisesta kerroskuvauksesta <https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acoustic_tomography>. Ideaa äänen nopeuden hyödyntämisestä lämpötilan mittaamiseen on yritetty käyttää myös älypuhelinsovelluksessa <https://doi.org/10.1145/3384419.3430714>.

Äänen nopeuden mittaamiseen älypuhelinta hyödyntäen löytyy ainakin muutamia erilaisia tapoja. Yksi tapa on tehdä tavallinen kulkuaikamittaus käyttämällä puhelimen tavallista sekuntikelloa tai phyphoxin Acoustic Stopwatch- työkalua. Tavallisesti näin tehdyt mittaukset eroavat suuresti toisistaan, ja tämän menetelmän valinneiden opiskelijoiden täytyykin arvioida rajoitukset, joita sekuntikellon tarkkuus aiheuttaa saadun lämpötilan paikkansapitävyyteen. On suorastaan mahdotonta saada tällä menetelmällä tarkka mittaus. Voi tulla houkutus tehdä kyseenalaisia ratkaisuja, kuten poimia datasta parhaat mittauspisteet tai kikkailla datankäsittelyssä muilla keinoilla, jotta saataisiin ”Se Oikea Tulos”. Tätä on siis syytä pitää silmällä.

Jalostuneempi menetelmä voisi olla jonkinlaisen resonanssi-ilmiön hyödyntäminen äänen nopeuden määrittämiseksi. Voidaan mitata vaikkapa puoliavoimessa putkessa syntyvien seisovien aaltojen taajuuksia

$$f = \frac{c\_{ilma}}{4L} ,$$

jossa $c\_{ilma}$ on äänen nopeus ilmassa ja $L$ on putkessa olevan ilmapatsaan korkeus. Voidaan myös käyttää pulloa, jota voidaan mallintaa Helmholtzin resonaattorina. Tällöin pulloon puhaltamalla saadut taajuudet riippuvat äänen nopeudesta siten, että

$$f\_{H}=\frac{c\_{ilma}}{2π}\sqrt{\frac{A}{VL\_{kaula}}} ,$$

jossa $A$ on pullon suun poikkileikkauksen pinta-ala, $L\_{kaula}$ on pullon kaulan pituus ja $V$ on pullon vatsassa olevan ilman tilavuus (ilman pullon kaulassa olevaa ilmaa).

Mittausten kehittämiseksi voi olla tarpeen käyttää putken tai pullon kaulan pituuden efektiivistä arvoa, jolloin

$$L\_{kaula}^{eff}=L\_{kaula}+ ar ,$$

jossa $a$ on yksikötön parametri ja $r$ on putken (tässä pullon kaulan) säde. Sopivat$a$:n arvot puoliavoimelle putkelle ja Helmholtzin resonaattorille voidaan etsiä kirjallisuudesta.

Tämän menetelmän rajoituksiin sisältyvät putken tai pullon mittojen mittausepätarkkuudet sekä mallinnusten virheet, jotka johtuvat tarvikkeiden yksinkertaistamisesta kapeana putkena tai ideaalisena Helmholtzin resonaattorina.

## Arviointi

Tämä työn arviointi on ehdotettu tehtäväksi keskusteluna ohjaajan kanssa. Keskustelu käydään seuraavien kysymysten pohjalta:

* Millainen koejärjestelysi oli, erityisesti jos teit muutoksia alkuperäiseen suunnitelmaasi?
* Miten sait selvitettyä ympäristön lämpötilan mittausdatastasi?
* Kuinka täsmällisesti ja tarkasti pystyit määrittämään lämpötilan?
* Mitä sellaisia valintoja sinun täytyi tehdä, jotka eivät olleet optimaalisia? Miten tämä näkyy tuloksissasi?
* Mitä puutteita tunnistat kokeessasi ja yleisesti lämpötilan määrittämisessä älypuhelimen sensoreilla? Mitä vaadittaisiin niiden voittamiseksi?

Työn epätavallisen näkökulman takia ajattelimme keskustelun olevan luonnollinen tapa työn arvioimiseksi. Työn kokeellinen tavoite on käytännössä saavuttamaton, ja todennäköisesti eri ryhmät tekevät erilaisia päätöksiä kokeilujensa aikana. On siis järkevää, että opiskelijat pystyvät perustelemaan ja keskustelemaan näistä päätöksistä henkilökohtaisesti. Onnistuminen tässä työssä ei tarkoita tulosten täsmällisyyttä ja tarkkuutta, vaan valitun menetelmän rajoitusten ja siinä esiintyvien epävarmuuksien tunnistamista ja niistä keskustelemista.

## Mahdollisia muunnelmia

* Työn ideaa voidaan käyttää nopeana luentodemonstraationa mittaamalla äänen nopeutta (karkeasti) ja määrittämällä huoneen lämpötilan (huonosti). Ryhmäkeskusteluja voidaan käydä kokeen rajoituksista ja sen kehittämisestä.
* Tämä työ soveltuu myös lukiotasolle, jos opiskelijoille on tarjolla valikoima tarvikkeita sekä vihjeitä ja ohjeita helposti saatavilla.
* Opiskelijoita voidaan pyytää tekemään yksityiskohtaisempi ennuste kokeen täsmällisyydestä ja tarkkuudesta ennen mittauksia. He voivat myöhemmin reflektoida, oliko heidän ennustensa oikea vai tehtiinkö menetelmään parannuksia työskentelyn aikana.