Ovaj dokument nastao je u sklopu Erasmus+ projekta “Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab). Više informacija: [www.jyu.fi/digiphyslab](http://www.jyu.fi/digiphyslab)

Pametni telefon kao termometar?

 Verzija za nastavnike

6.2.2023.



# Creative Commons LicenseOvo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

# Pametni telefon kao termometar? – Verzija za nastavnike

## Pregled vježbe

* Tema: Termodinamika, temperatura, ograničenja eksperimenata.
* Ciljna skupina: Studenti fizike i nastavničkog smjera fizike. Primjerena za različite godine studija s različitom otvorenošću eksperimenta.
* Vremenski okvir: Vježba se može zadati na dva načina: kao kućni projekt za koji imaju vrijeme od na primjer tjedan dana ili kao vježba na nastavi. Ako se vježba provodi na nastavi, trebalo bi osigurati najmanje dva sata za planiranje, mjerenja i analizu.
* Rad pojedinačno, u parovima ili malim skupinama.

Ova vježba uključuje studente u istraživanje s prilično nekonvencionalnim stajalištem. Pokušaj mjerenja temperature pametnim telefonom je, iskreno rečeno, osuđen na neuspjeh. Međutim, ova vježba je primjer pronalaženja eksperimentalnog rješenja autentičnog problema, a nije uvijek lako uočiti ograničenja eksperimentalne ideje prije nego što se ona isproba. Mnoge metode mjerenja temperature pomoću senzora pametnih telefona na prvi pogled izgledaju razumno, ali sve zakažu kada ih se pobliže prouči, barem u određenoj mjeri.

Stoga je važno ne ulaziti u ovaj zadatak s očekivanjem dobivanja preciznih ili čak pouzdanih rezultata. To je izričito navedeno i u verziji vježbe za studente. U ovoj vježbi je najvažnije uočiti ograničenja eksperimenta i najveće izvore nepouzdanosti u eksperimentalnom postavu. Studenti sami dizajniraju eksperiment, tako da bi trebali znati obrazložiti svoje eksperimentalne izbore. Budući da ograničenja eksperimenta obično nisu suptilna u ovoj vježbi, pruža se dobra priliku za vježbanje prepoznavanja i raspravljanja o ograničavajućim čimbenicima u eksperimentu.

## Potrebna oprema

Pametni telefoni (s aplikacijom za mjerenje, na primjer *Phyphox* ili *Physics Toolbox Suite*). Studenti smiju koristiti bilo koju drugu opremu koju žele, osim vanjskih temperaturnih senzora.

Ako se vježba provodi na nastavi, možda ćete morati osigurati dodatnu opremu koju studenti mogu koristiti. Kako bi se vježba mogla provesti na više različitih načina, potrebno je osigurati vodu, led, spremnike koji se mogu zatvoriti, kao i neke cijevi ili epruvete različite duljine, boce i mjere trake.

## Mjerna aplikacija

U ovoj vježbi studenti obično trebaju mjeriti tlak (barometar), vrijeme (štoperica, akustična štoperica) ili frekvenciju zvuka (mikrofon). Podacima sa senzora pametnih telefona može se pristupiti putem besplatnih mobilnih aplikacija, kao što su *Phyphox* ili *Physics Toolbox Suite*. Te aplikacije su intuitivne i jednostavne za upotrebu. Mogu se koristiti svi alati koji su dostupni na pametnom telefonu.

## Komentari i prijedlozi za provođenje vježbe

Postoji više različitih načina provođenja ove vježbe. Dva glavna pravca između kojih studenti mogu birati su mjerenje tlaka u zatvorenom spremniku i povezivanje tlaka s temperaturom (plinski termometar), ili mjerenje brzine zvuka (postoji više načina mjerenja) i povezivanje s temperaturom.

#### Plinski termometar

**Sigurnosna obavijest:** Dolje opisana metoda uključuje izlaganje telefona niskoj temperaturi. Također ako poklopac spremnika nije adekvatan, telefon bi se mogao smočiti. Eksperimentiranje treba obaviti pažljivo i na vlastitu odgovornost.

Izrada plinskog termometra zahtijeva telefon koji ima barometar. iPhonei obično imaju barometre, dok kod Android telefona barometar često nedostaje. Za izradu je također potreban spremnik stalnog volumena koji se može zatvoriti, poput staklenke. Da bi se instrument kalibrirao, sustav telefona i staklenke može se potopiti u vodu s ledom kako bi se odredio tlak $p\_{0}$ na temperaturi $T\_{0}=“273.15 K”$ (Čemu navodnici? Pogledajte ograničenja navedena ispod). Nakon toga se može izmjeriti tlak $p$ na željenoj temperaturi $T$ i koristiti zakon o idealnom plinu kako bi se pronašla temperatura

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

Glavno ograničenje u ovoj metodi je toplina koju generira pametni telefon. Nemoguće je reći koliko topline pametni telefon predaje okolini, ali temperatura unutar staklene posude potopljene u vodu s ledom neće doseći 0 °C kada se telefon nalazi u posudi. Ova nemjerljiva nepouzdanost otežava procjenu pouzdanosti rezultata.

#### Određivanje temperature pomoću brzine zvuka

Vrijedi napomenuti i razgovarati sa studentima, da ideja mjerenja temperature pomoću mjerenja brzine zvuka zapravo ima neke ozbiljne primjene. Pogledajte primjere akustične termometrije <https://www.nist.gov/programs-projects/acoustic-thermometry> i oceanske akustične tomografije <https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acoustic_tomography>. Također se radi na tome da se ova ideja iskoristi u aplikaciji za pametne telefone <https://doi.org/10.1145/3384419.3430714>.

Postoji nekoliko načina za mjerenje brzine zvuka s pametnim telefonom kao eksperimentalnim alatom. Jedan od načina je mjerenje vremena potrebnog da se prijeđe određena udaljenost pomoću obične štoperice pametnih telefona ili pomoću alata *Acoustic stopwatch* koji se može pronaći u *PhyPhox* aplikaciji. Ovdje je varijabilnost između mjerenja obično velika, a studenti koji odaberu ovu metodu moraju procijeniti ograničenje koje preciznost štoperice postavlja na točnost dobivene temperature. Potpuno je nemoguće dobiti točno mjerenje ovom metodom, pa bi neki studenti mogli doći u iskušenje da napamet odaberu samo mali dio izmjerenih podataka za analizu i potpuno zanemare većinu mjerenja ili da upotrijebe neke druge upitne trikove kako bi dobili "Ispravan rezultat", pa je to nešto na što treba pripaziti.

Naprednija metoda uključuje korištenje neke vrste rezonantne pojave kako bi se odredila brzina zvuka. Mogu se izmjeriti frekvencije stojnih valova koji se formiraju u otvorenoj zatvorenoj cijevi

$$f = \frac{c\_{zrak}}{4L} ,$$

gdje je $c\_{zrak}$ brzina zvuka u zraku, a $L$ duljina zračnog stupa u cijevi. Također se može koristiti boca koja se može modelirati kao Helmholtz rezonator, a frekvencije dobivene prilikom puhanja preko vrha boce tada su povezane s brzinom zvuka kao

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

gdje je $A$ područje poprečnog presjeka otvora vrata boce, $L\_{vrat}$ duljina vrata boce i $V$ volumen zraka u šupljini boce (ne uključujući zrak u vratu).

Da bi se mjerenja poboljšala, možda će trebati (ili ćete željeti) uzeti u obzir efektivnu vrijednost duljine cijevi ili vrata boce tako da je

$$L\_{(vrat)}^{eff}=L\_{(vrat)}+ ar ,$$

gdje je $a$ bezdimenzionalni parametar, a $r$ radijus cijevi (ovdje vrata boce). Prikladne vrijednosti $a$ mogu se pronaći u literaturi za otvorenu zatvorenu cijev i Helmholtz rezonator.

Ograničenja ove metode uključuju mjerne nesigurnosti dimenzija cijevi ili boce i pogreške modeliranja koje proizlaze iz idealizacija napravljenih u modeliranju opreme kao uske cijevi ili idealnog Helmholtzovog rezonatora.

## Izvještaj

Predlažemo da se ova vježba evaluira kroz razgovor s nastavnikom. Rasprava se vodi sljedećim pitanjima:

* Opišite svoj eksperimentalni postav, posebno ako ste napravili neke promjene u svom početnom planu?
* Kako ste iz izmjerenih podataka odredili temperaturu okoline?
* Koliko ste točno i precizno uspjeli odrediti temperaturu?
* Koje ste odluke morali donijeti, a da one nisu bile optimalne? Kako se to odrazilo na Vaše rezultate?
* Koje ste nedostatke uočili u svom eksperimentu i u određivanju temperature pomoću senzora pametnih telefona općenito? Što bi bilo potrebno da prevladamo te nedostatke?

Zbog nekonvencionalnog stajališta vježbe, mislimo da je razgovor prirodan način evaluacije zadatka. Eksperimentalni cilj je gotovo nedostižan i najvjerojatnije će različite skupine studenata donositi različite odluke o eksperimentu i ima smisla dati im priliku da diskutiraju i objasne svoje odluke. Definicija uspjeha u ovom zadatku nije točnost i preciznost rezultata, već prepoznavanje i rasprava o ograničenjima i nepouzdanostima prisutnim u odabranoj eksperimentalnoj metodi.

## Moguće izmjene

* Ideja ove vježbe mogla bi se iskoristiti za kratku demonstraciju na predavanjima tako da se izmjeri brzina zvuka (ugrubo) i odredi sobna temperatura (loše). Može se voditi grupna diskusija o ograničenjima eksperimenta i o tome kako se eksperiment može poboljšati.
* Ova vježba može biti prikladna i za srednjoškolsku razinu ako se učenicima osigura oprema za upotrebu i ako su im dostupne neke upute i savjeti.
* Od studenata se može zatražiti da detaljnije predvide preciznost i točnost svog eksperimenta prije bilo kakvih mjerenja, a kasnije mogu razmišljati o tome jesu li njihova predviđanja bila točna ili jesu li poboljšali odabranu metodu tijekom eksperimentiranja.