

Tämä tiedosto on luotu osana Erasmus+ -projektia ”Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab).

Lisää tietoa: www.jyu.fi/digiphyslab

Kokeellista työskentelyä akustiikan parissa

Ohjaajan versio

24.2.2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

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

Kokeellista työskentelyä akustiikan parissa – Ohjaajan versio

Työn yleiskuva

- Aihe: Akustiikka, interferenssi, taajuusspektri, Doppler-ilmiö
- Kohderyhmä: Fysiikan opettajaopiskelijat sekä fysiikan sivuaineopiskelijat, esim. lääketieteen opiskelijat.
- Ajankäyttö: 2,5 h työn suorittamiseen ja raportin kirjoittamiseen.
- Suositellaan parityöskentelyä.

Tämän kokeen tarkoitus on tutustuttaa opiskelijat useisiin akustiikan ilmiöihin ja antaa heille ajatuksia siitä, miten niitä voidaan demonstroida kokeellisesti. Koe on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa opiskelijat tutkivat ääniaaltojen interferenssiä, toisessa osassa erilaisten äänien taajuusspektriä ja kolmannessa osassa Doppler-ilmiötä.

Välinelista

- Kaksi älypuhelinta, joissa on asennettuna *PhyPhox*-sovellus (saatavilla sekä *Android*- että *Apple*-laitteille)
- Tietokone, jossa on datan analysointiohjelma (esim. *Excel*)
- Kimmoisa jousi, jolla on pieni jousivakio
- Alusta tai pidike jouselle
- Muutama erilainen äänilähde, esim. äänihaarukoita, soittimia tms. (tai vaihtoehtoisesti vaikkapa Youtube-videoita näistä)

Kimmoisan jousen pituuden tulisi olla riittävä, jotta jouseen kiinnitetty puhelin voi värähdellä useilla eri amplitudeilla. Ei ole suositeltavaa käyttää sellaisia jousia, joilla on suuri jousivakio, koska silloin opiskelijoiden puhelimet voivat vahingoittua. Varmista, että opiskelijat ovat suojanneet puhelimensa ennen kokeen suorittamista. Omassa laboratoriossamme osa opiskelijoista käytti puhelimen suojaakuressa olevaa laturille tarkoitettua reikää jousen kiinnittämiseen, osa puolestaan sitoi jousen narulla puhelimeensa.

Koe voidaan helposti mukauttaa etäopetukseen sopivaksi. Opiskelijat voivat käyttää jousen sijaan jonkinlaista kuminauhaa.

Ennakkotehtävä

Opiskelijoiden tulisi asentaa *PhyPhox* ja käyttää sitä erilaisten äänien tallentamiseen ennen työosastolle saapumista. Opiskelijoita hyödyttää, jos he tutkivat sovelluksesta saatavia erityyppisiä datatietoja.

Osa 1 – Äänen interferenssi

Opiskelijat voivat etsiä lokaalien minimien sijainteja joko kuuntelemalla tai käyttämällä *PhyPhoxia*. Suosittelemme tekemään etsinnän ensin kuuntelemalla, jolloin opiskelijat voivat sen jälkeen verrata havaintojaan sovelluksesta saatuun dataan.

Kokeen aikana voit ohjata opiskelijoita seuraavien kysymysten avulla:

1. Mikä ohjasi sinua valitessasi olosuhteita (lähteen sijainti, äänen voimakkuus, taajuus) kokeen suorittamista varten?
2. Missä kokeilemissasi olosuhteissa interferenssien minimien kuuleminen oli helpointa? Yritä selittää miksi.

Jos opiskelijat ovat fysiikan opettajaopiskelijoita, voit kysyä heiltä, miten he tekisivät kokeen luokahuoneessa omien opiskelijoidensa kanssa.

Oma työosastomme

Opiskelijat sijoittivat äänilähteet korviensa korkeudelle ja generoivat kaksi samaa säveltä. Korkeammille taajuuksille (yli 2 000 Hz) oli helpompaa huomata minimi. Löysimme tälle selityksen, sillä ihmiskorva on herkin suurin piirtein taajuusalueelle 2 000 Hz - 5 000 Hz. Opiskelijat keskustelivat myös siitä, miten todella korkeataajuuksiset sävelet eivät sovi luokahuoneessa tehtäviin kokeisiin, koska niiden kuunteleminen ärsyttää varsinkin pidemmän ajan kuluessa.

Osa 2 – Erilaisten äänien taajuusspektri

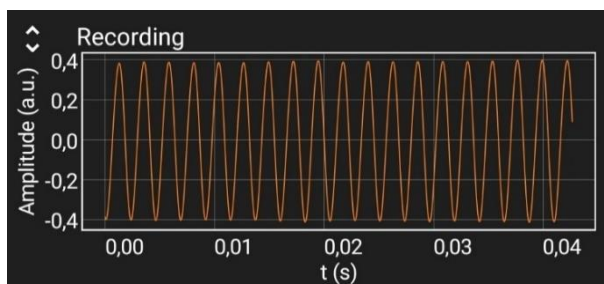
Tässä kokeen osassa opiskelijoiden tulee taltioida *PhyPhoxilla* äänihaarukasta saatavaa ääntä, jotain tiettyä nuottia soittavan soittimen säveltä, samaa säveltä jostain toisesta soittimesta ja lopuksi paperin rypistämisen ääntä. Koska opiskelijoilla ei luultavasti ole soittimia käytössään, heitä voidaan ohjata etsimään YouTube-videoita soitetuista nuoteista. Tämän jälkeen tallennetut äänet analysoidaan *PhyPhoxilla* ja *Excelillä* (tai jollain muulla datan analysointiohjelmalla).

Kokeen aikana voit ohjata opiskelijoita seuraavien kysymysten avulla:

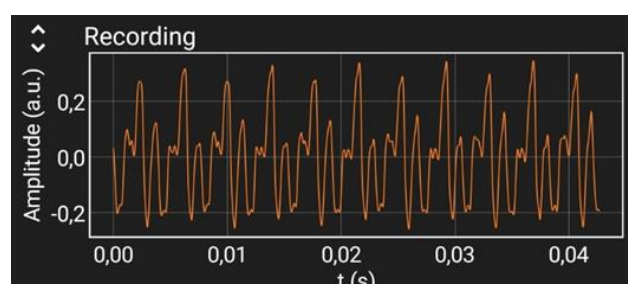
1. Mitä eroavaisuuksia ja samankaltaisuuksia olet löytänyt eri äänien $A - t$ -kuvaajien (amplitudi ajan funktiona) välillä?
2. Mitä osaa taajuusspektristä aiot käyttää analysoinnissasi?
3. Mille äänille pystyit määrittämään perustaajuuden ja korkeampia harmonisia yläsäveliä?
4. Miten selvitit perustaajuuden ja korkeampien harmonisten yläsävelten välisen suhteen?
5. Mitä eroavaisuuksia ja samanlaisuuksia olet huomannut eri soittimilla soitettujen samojen sävelten välillä?
6. Miten selittäisit sen, miksi eri soittimilla soitettu sama sävel ei kuulosta samalta?

Datan kerääminen ja analysointi

PhyPhoxin Audio Spectrum -tila kerää kaiken datan, jota opiskelijat tarvitsevat kokeen tämän osan tekemisessä. Kuvaajia amplitudista ajan funktiona voidaan analysoida suoraan sovelluksessa.

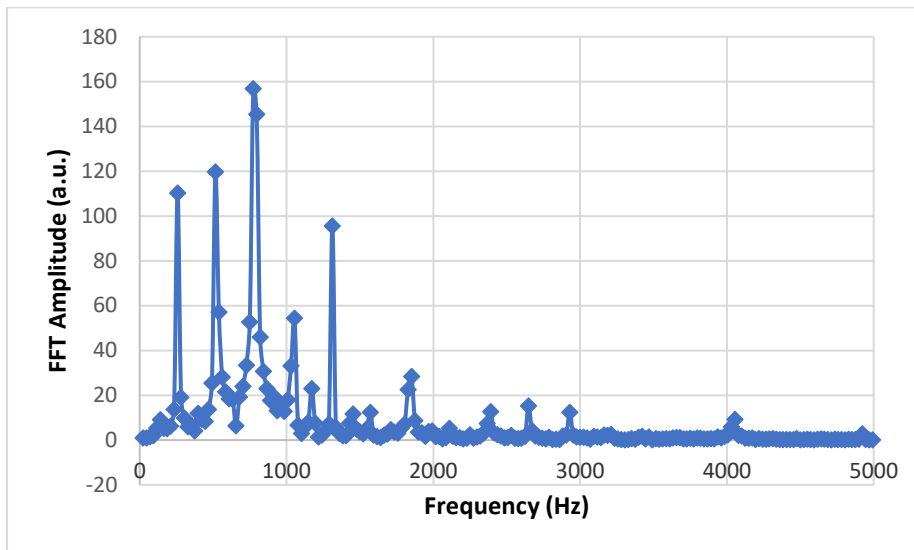


Kuva 1. $A - t$ -kuvaaja; äänihaarukka – sinimuotoinen funktio

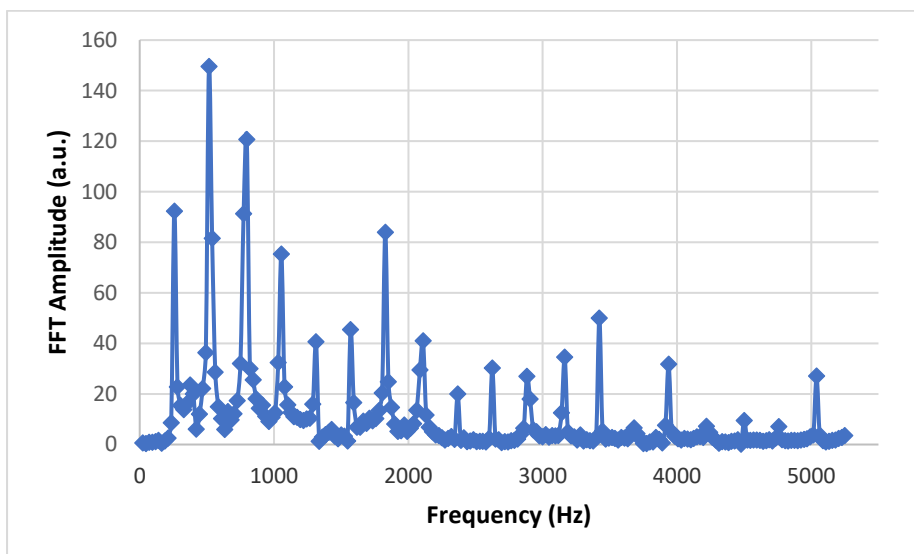


Kuva 2. $A - t$ -kuvaaja; kitaran sävel C4 – jaksollinen funktio

Opiskelijoiden tulisi viedä taajuusspektrin data tietokoneelle ja analysoida se Excelissä (tai jossain muussa datan analysointisovelluksessa), koska sovelluksessa kvantitatiivista analyysiä on mahdoton tehdä. Opiskelijat voivat piirtää taajuusspektrikuvaajat eri äänille seuraamalla työohjeita.



Kuva 3. Pianolla soitetun C4-sävelen taajuusspektri.



Kuva 4. Kitaralla soitetun C4-sävelen taajuusspektri.

Oma työosastomme

Opiskelijat sopivat äänitysjärjestyksestä niin, että yhden ryhmän äänet eivät häiritse toisen ryhmän ääniä. Opiskelijoiden tulisi itse muistaa yrittää vähentää taustamelua, mutta tarpeen mukaan heitä tulisi varoittaa siitä.

Osalla opiskelijoista oli vaikeuksia määrittää, mikä osa spektristä tulisi poistaa analysointia varten. Kaikkien mahdollisten taajuuksien esittäminen kuvaajassa johtaa kokeen huonoon visualisointiin, joten oppilaita kehoitetaan poistamaan analyysin kannalta merkityksettömät taajuudet. Osa opiskelijoista on kuitenkin poistanut spektristä myös osan, jossa esiintyy korkeampia harmonisia yläsäveliä. Keskustele oppilaiden kanssa siitä, miten he ovat määritelleet analysoinnista poistettavan spektrin osan. Kokeen arvioimisen aikana monet oppilaat huomauttivat, että he eivät tiesseet, miksi

eri soittimilla soitetut samat sävelet kuulostavat erilaisilta ja että tämä analyysi kiinnosti heitä erityisen paljon.

Osalla opiskelijoista oli vaikeuksia arvioida perustaaajuuden epävarmuutta. Vaikka ohjeet selittävät menettelyn yksityiskohtaisesti, useat oppilaat arvioivat epävarmuuden olevan puolet maksimin korkeudesta eikä puolet maksimin leveydestä.

Opiskelijoilla oli hauskaa äänittäessään itsensä ja opiskelutoverinsa sanomassa kahta erilaista vokaalia. Tämän kokeen aikana voi mainita, että puheterapeutit käyttävät joskus visualisointia ihmisen puheen ääniaalloista auttaakseen ihmisiä näkemään kehityksensä ääntämisessä.

Osa 3 – Doppler-ilmiö

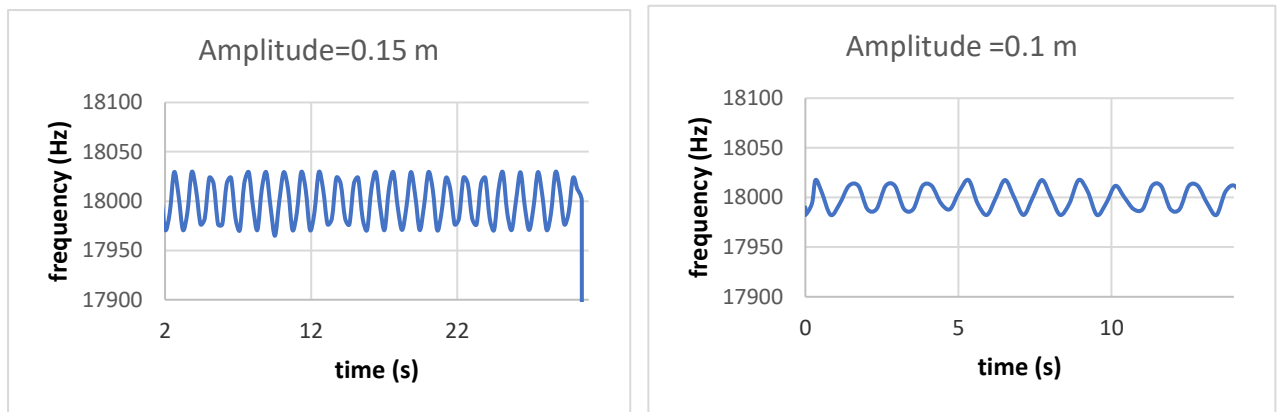
Tässä kokeen osassa opiskelijat lähettävät puhelimesta harmonisesti värähtelevän korkeataajuuksisen äänen ja keräävät toisella paikallaan olevalla puhelimella tietoa havaittavasta taajuudesta. Kokeessa käytetään ultraäänitaajuutta, koska Doppler-ilmiön siirtymä on suoraan verrannollinen lähetetyn taajuuden arvoon. Kun lähetetty taajuus on korkea, lähetetyn ja vastaanotetun taajuuden ero on huomattava, vaikka äänilähde liikkuisikin hitaasti. Lisäksi opiskelijat eivät kuule lähetettyjä ääniä, jotka voisivat olla inhottavia kuunnella, erityisesti usean opiskelijaryhmän tehdessä koetta samaan aikaan. Toisaalta ei ole suositeltavaa käyttää yli 20 kHz taajuuksia, koska puhelimet eivät pysty kunnolla lähettämään niin korkeita taajuuksia.

Kokeen aikana voit ohjata opiskelijoita seuraavien kysymysten avulla:

1. Miten sijoitit puhelimesi tässä kokeessa? Miksi?
2. Miltä oletat $f - t$ -kuvaajan näyttävän havaituille taajuuksille? Miksi?
3. Miten valitsit kuvaajassa näytettävän taajuusalueen? Miltä taajuusalueelta oletat löytäväsi havaitut taajuudet?
4. Missä asennossa lähteenä toiminut puhelin on havaitun taajuuden ollessa maksimi ja missä asennossa sen ollessa minimi? Missä asennossa puhelin on silloin, kun lähetettyjen ja vastaanotettujen taajuuksien välillä ei ole eroa?
5. Miten voit käyttää Doppler-ilmiötä tasapainoasemassa olevan puhelimesi nopeuden määrittämiseksi?
6. Mikä voisi olla syynä, jos kaikki havaitun taajuuden lokaalit minimi/maksimit eivät ole yhtä suuria?
7. Mitkä ovat tämän kokeen rajoitukset?

Datan kerääminen ja analysointi

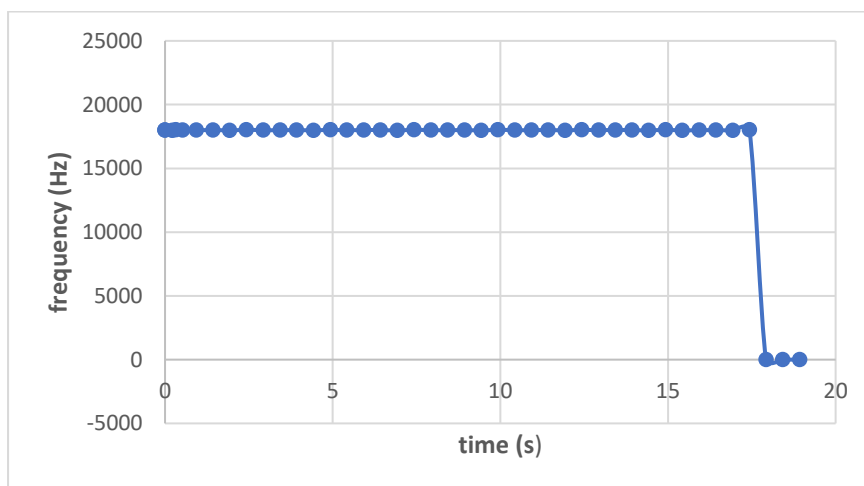
Opiskelijoiden tulisi asettaa puhelimensa niin, että kummankin puhelimen kaiuttimet ja mikrofonit ovat toisiaan vastakkain. Puhelimen värähtelyjen tulisi olla mahdollisimman yksiulotteista. *PhyPhox* kerää Audio Spectrum -tilassa kaiken opiskelijoiden tarvitseman datan tämän kokeen osan tekemiseen. Ennen kuin opiskelijat aloittavat mittaukset, heidän on tärkeää valita *PhyPhoxissa* kokeen ohjeiden mukainen datanprosessointimenetelmä. Mittausohjeet on selitetty yksityiskohtaisesti, ja on tärkeää, että opiskelijat lukevat ne huolellisesti ennen kokeen aloittamista.



Kuva 5. Esimerkkikuvaajat havaitusta taajuudesta ajan funktiona kahdelle puhelimen eri värähtelyamplitudille.

Oma työosastomme

Opiskelijat ennustivat onnistuneesti $f - t$ -kuvaajan, mutta heillä oli jälleen ongelmia kerätyn datan esittämisessä kuvaajana. PhyPhox (ollessaan ohjeissa kuvatussa tilassa) kerää aina vain korkeimman intensiteetin taajuuden, jonka tässä kokeessa tulisi olla lähteenä toimivan puhelimen lähettämä taajuus. Useimmat opiskelijat keräsivät mittauksissaan kuitenkin myös joitakin paljon matalampia taustamelun taajuuksia. Tässä tapauksessa jos opiskelijat laittavat kuvaajaan kaiken keräämänsä datan, kuvaaja visualisoi huonosti kokeen tapahtumia (esimerkki, kuva 6). Tällaisesta kuvaajasta opiskelijat päättelivät joko tehneensä kokeen väärin, tai että koejärjestely ei toiminut. Matalempien taajuuksien kerääminen tapahtui useimmiten mittauksen alussa tai lopussa, mutta se on kuitenkin mahdollista missä tahansa mittauksen vaiheessa.



Kuva 6. Esimerkki $f - t$ -kuvaajasta, josta ei ole poistettu matalia taajuuksia.

Oli välttämätöntä keskustella opiskelijoiden kanssa siitä, miltä taajuusalueelta vastaanotettavia taajuuksia on realistista odottaa, miksi paljon matalampia taajuuksia kerätään ja miksi ne tulee poistaa dataa analysoitaessa. Vaikka nämä hankaluudet voidaan välttää taustamelua vähentämällä, meidän mielestämme on kuitenkin hyödyllistä keskustella opiskelijoiden kanssa siitä, milloin ja miksi datan analysoinnista voidaan poistaa osa datasta.

Opiskelijat itse keskustelivat siitä, millä tavalla värähtelyt useammassa kuin yhdessä ulottuvuudessa voivat vaikuttaa tasapainoasemassa olevan puhelimen nopeuteen. He päättelivät, että johtuen tästä

ja puhelimen rajoituksista mittauslaitteena kaikki havaitut paikalliset minimi- ja maksimit eivät olleet yhtä suuria.

Merkittävä osa opiskelijoista ei lukenut mittausohjeita huolellisesti ennen kokeen tekemistä, joten heidän datankerauksensa onnistui vasta toisella tai kolmannella yrityksellä. Ohjeista opiskelijoita lukemaan ohjeet huolellisesti.

Raportointi

Opiskelijat kirjoittivat vastauksensa suoraan työohjetiedostoon ja lähettivät sen Word- tai PDF-tiedostona ohjaajalle. Opiskelijoita täytyy muistuttaa liittämään mukaan kaikki tulokset ja kuvaajat, ja kirjoittamaan ylös kaikki havaintonsa, selityksensä ja johtopäätöksensä siinä kohtaa, kun niin pyydetään tekemään.