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)

 Kompassineulojen kytketyt värähtelyt

Ohjaajan versio

25.2.2023



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

Kompassineulojen kytketyt värähtelyt – Ohjaajan versio

Työn yleiskuva

* Aiheet: magnetismi, magneettinen momentti, kytketyt värähtelijät, efektiivinen kytkentätekijä
* Kohderyhmä: Fysiikan opiskelijat ja fysiikan opettajaopiskelijat (ensimmäisen vuoden jälkeen)
* Aikataulu: > 4 tuntia kokeiden suorittamiseen, datan analysointiin ja raportin kirjoittamiseen. Kokeiden suorittamiseen ja aineiston analysointiin tarvittavaa aikaa on vaikea arvioida, sillä ne riippuvat opiskelijan kokeellisista taidoista.
* Työ voidaan suorittaa laboratoriokurssilla, mutta opiskelijoille tulisi antaa aikaa datan analysoimisen ja raportin kirjoittamiseen kotona.
* On suositeltavaa, että opiskelijat suorittavat työn itsenäisesti kotona ja sen jälkeen palauttavat raporttinsa opettajalle (joko kirjoitettuna tai suullisesti). Jos vaikeuksia esiintyy, opiskelijat voivat saada tukea ohjaajalta sähköpostitse tai videotapaamisen kautta.
* Jos oppilailla on tarpeeksi aikaa, työtä voi muokata / laajentaa lisäanalyysillä joka kuvataan tämän dokumentin lopussa.

Tässä työssä opiskelijat tutkivat kytkettyjen värähtelijöiden ilmiötä kahden magneettisen dipolin (kahden magneettisen neulan) kytketyn värähtelyn kautta. Opiskelijoiden tulisi määrittää neulan magneettinen momentti ja hitausmomentti, tutkia kuinka neulojen välinen etäisyys vaikuttaa niiden efektiiviseen kytkentätekijään ja määrittää huojunnan taajuus jollekin neulojen väliselle etäisyydelle. Työ ei ole tarkkaan ohjattu ja opiskelijoilla ei ole etukäteen tiedossa mitään tiettyä vastausta, joka heidän tulisi työstä saada.

Tarvittavat välineet

* Älypuhelin
* Tietokone ja videoanalyysiohjelma (esim. *Tracker*) ja datan analyysiohjelma (Esim. *Excel* ja *SciDAVis*
* Kaksi samanlaista magneettista neulaa jalustoilla
* Paperinen 360° astemitta

On tärkeää, että magneettisten neulojen ja jalustojen välinen kitka on mahdollisimman pieni. Kitkan tulisi olla niin pieni, että magneettinen neula voi värähdellä ainakin 5 tai 6 kertaa sen jälkeen, kun se on poikkeutettu tasapainoasemastaan.



Kuva 1. Esimerkki koejärjestelystä. Kaksi samanlaista magneettista neulaa ovat asetettuja samanlaisille jalustoille. Paperiset astemitat ovat asetettu jalustojen päälle, jotta opiskelijat voivat määrittää värähtelyn alkukohdan.

Työmme pilottien aikana opiskelijat käyttivät *Trackeria* videoanalyysiin ja *Exceliä* sekä *SciDAVisia* datan analysoimiseksi. Ohjeet näiden kolmen ohjelman käyttöön löytyvät verkkosivuiltamme.

Ennakkotehtävä

Työn aikana opiskelijoiden tulee määrittää erilaisten värähtelyjen taajuus. He videoivat värähtelyjä puhelimillaan ja määrittävät jaksonajan sekä taajuuden videoanalyysin kautta. Jos opiskelijat eivät osaa käyttää mitään videoanalyysiohjelmaa, heidän kannattaa tehdä pieni ennakkotehtävä ennen tämän työn suorittamista. Ennakkotehtävä sisältää ohjeet *Trackerin* käyttöä varten. Myös muut videoanalyysiohjelmat soveltuvat tähän työhön.

Kommentteja ja suosituksia työn suorittamiseksi

Idea on se, että opiskelijat saavat työohjeet ja tarpeelliset välineet (kaksi magneettista neulaa jalustoineen sekä kaksi paperista astemittaa) ja itsenäisesti suorittavat kokeen sekä datan analyysin kotonaan.

1. Magneettisen neulan magneettisen momentin määrittäminen

Työn tässä osassa neulan magneettisen momentin määrittämiseksi opiskelijoiden täytyy määrittää neulan värähtelyn perustaajuus ja neulan hitausmomentti sekä määrittää Maan magneettikentän horisontaalisen komponentin arvo kokeen suorituspaikassa.

* Naulan lähellä ei pitäisi olla mitään magneettisia esineitä.
* On parempi mitata useaan värähtelyyn kuluva aika ja laskea siitä jaksonaika kuin käyttää vain yhden jakson pituista mittausta.
* Hitausmomentin laskemiseksi neulaa mallinnetaan ohuena suorakulmaisena levynä. Koska neuloilla ei ole kaikkialla sama leveys, täytyy laskuissa käytettävä leveys arvioida. Opiskelijoiden tulisi käyttää keskimääräistä leveyttä suurempaa arvoa, sillä suurin osa neulan massasta on lähellä pyörimisakselia.
1. Efektiivisen kytkentätekijän riippuvuus magneettisten neulojen välisestä etäisyydestä

Työn tässä osassa opiskelijoiden tulisi saada neulat värähtelemään samanvaiheisesti ja erivaiheisesti erilaisilla neulojen välisillä etäisyyksillä. Värähtelyjen taajuuksista he voivat laskea efektiivisen kytkentätekijän jokaiselle etäisyydelle ja tätä kautta määrittää efektiivisen kytkentätekijän riippuvuus magneettisten neulojen välisestä etäisyydestä

Datan kerääminen ja analyysi

Opiskelijoiden tulee asemoida neulat siten, että ne ovat toisiaan vasten tasapainotilassaan. Samanvaiheista värähtelyä varten he poikkeuttavat molempia neuloja pois tasapainotilasta yhtä monta astetta samaan suuntaan ja erivaiheista värähtelyä varten he poikkeuttavat neuloja yhtä monta astetta eri suuntiin. Poikkeutuskulman pitäisi olla alle 30°. Työn johdannon avulla opiskelijoiden tulisi päätellä kummankin mittauksen alkuehdot. Opiskelijat käyttävät *Trackeria* saman- ja erivaiheisen värähtelyn taajuuden määrittämiseen tietyllä neulojen välisellä etäisyydellä. Sitten he laskevat tälle etäisyydelle efektiivisen kytkentätekijän käyttäen selvittämiään taajuuksia ja hitausmomenttia. Mittaukset täytyy toistaa ainakin 6 eri etäisyydelle.

Kuva 2. Esimerkkikuvaaja efektiivisen kytkentätekijän ja magneettisten neulojen välisen etäisyyden riippuvuudesta.

Oletetaan, että tätä riippuuvutta kuvataan yhtälöllä

,

jossa on efektiivinen kytkentäkerroin, on magneettien välinen etäisyys, ja sekä ovat vapaita muuttujia. Logaritmoinnin kautta saadaan lineaarinen yhtälö:

.

Kuva 3. Esimerkkikuvaaja efektiivisen kytkentätekijän ja magneettisten neulojen välisen etäisyyden riippuvuudesta esitettynä logaritmisella asteikolla.

Efektiivinen kytkentätekijä on kääntäen verrannollinen magneettien välisen etäisyyden kolmanteen potenssiin. Kuva 3 näyttää esimerkin kokeellisista tuloksista, jotka ovat lähellä teoreettista arvoa. Erivaiheisen värähtelyn taajuus on suurempi kuin samanvaiheisen värähtelyn. Kun magneettisten neulojen välistä etäisyyttä kasvatetaan eli efektiivistä kytkentätekijää pienennetään, lähestyvät saman- ja erivaiheisten värähtelyjen taajuudet toisiaan. Toisin sanoen ne lähestyvät värähtelyn perustaajuutta.

1. Huojunnan taajuus

Työn viimeisessä vaiheessa opiskelijoiden tulee analysoida magneettisten neulojen huojuntaa. Huojunnan aikana neulan värähtelyn amplitudi laskee maksimiarvostaan, kunnes se saavuttaa nollan, minkä jälkeen amplitudi jälleen kasvaa maksimiarvoonsa ja taas laskee kohti nollaa. Tämä käytös toistuu, kunnes kitkavoima pysäyttää liikkeen. Opiskelijat arvioivat huojuntataajuuden videoanalyysin kautta. Huojunnan jaksonaika on se aika, joka kuluu koko edellä kuvattuun sykliin. Tämän työn pilotissa opiskelijat arvioivat huojunnan jaksonajaksi sen ajan, joka kuluu kahden neulanpysähdyksen välillä, joka on oikeasti aika . Tämä johti eroon mitatun ja teoreettisen arvon välillä. Huojuntataajuuden teoreettinen arvo lasketaan yhtälöstä

Tämä yhtälö pitäisi lisätä opiskelijoiden versioon työstä lyhyen huojuntaan liittyvän selostuksen kanssa. Opiskelijoiden tulee verrata mitattua arvoa teoreettiseen arvoon ja keskustella mahdollisten erojen syistä.

Työn mahdollinen muokkaus / laajennus

Työn viimeistä osaa voi muokata siten, että opiskelijat laskevat huojuntataajuuden sen sijaan, että he vain arvioisivat sen. He määrittävät huojuntataajuuden käyttäen hyväksi neulan poikkeamaa ajan funktiona. Opiskelijoiden tulee piirtää kuvaaja yhden neulan poikkeutuskulmasta ajan funktiona silloin kun se huojuu. Sen jälkeen he sovittavat kuvaajaan funktion

,

jossa on amplitudi, vaimenemiskerroin, värähtelytaajuus, huojuntataajuus, ja sekä kahden neulan vaihekulmat. Tämä funktio ottaa huomioon kitkaan liittyvän amplitudin heikkenemisen. Tämän sovituksen avulla opiskelijat voivat määrittää muut tuntemattomat muuttujat kuten vaimenemiskertoimen huojuntataajuuden ohella.

Dataa neulan kulmariippuvuudesta ajan suhteen saadaan *Trackerin* avulla. Opiskelijat voivat seurata magneettisen neulan liikettä ajan myötä käyttäen *Autotracking* -valintaa. *Trackerin* käyttöohjeet, jossa tämä seuranta on selitetty askel askeleelta, löytyvät työn ”Sliding smartphone” liitteinä verkkosivuiltamme.

Ohjelmassa opiskelijoiden tulisi valita tietty osa toisesta neulasta, jota he haluavat seurata ja sitten ohjelma voi seurata tätä osaa milloin vain. Seurannan jälkeen data poikkeutuskulmasta ajan suhteen löytyy *Trackerista*. Data voidaan kopioida ja analysoida missä vain data-analyysiohjelmassa.

Huojuntaa videoitaessa opiskelijoiden tulee huolehtia erityisen tarkasti siitä, että puhelin ei liiku sillä liike voi vaikuttaa videolta havaittavaan poikkeutuskulmaan.

Videota analysoitaessa koordinaattijärjestelmä tulisi sijoittaa siten, että magneettisen neulan keskipiste on origossa ja x-akseli on levossa olevan neulan kanssa saman suuntainen.

Jos opiskelijat eivät osaa käyttää mitään sovitukseen soveltuvaa ohjelmaa, *SciDAVisin* käyttöön on saatavilla ohjeet ”Elevator oscillations” -työn yhteydessä verkkosivuillamme.





Kuva 4. Annetun sinifunktion esimerkkisovitus kuvaajaan kulmasta ajan funktiona tämän työn piloteista. Kaikki tuntemattomat muuttujat ovat listattuna kuvaajan alla. A on amplitudi, g on vaimenemiskerroin, w on värähtelyn taajuus, o on huojuntataajuus ja f1 sekä f2 ovat kahden neulan vaihekulmia.