

Didaktisen fysiikan kokeellisuus

Aihekokonaisuuksien keskeiset kokeet

1.1 Dynamiikan perusteet

Perushahmottavat kokeet ja esimerkit:

- esimerkkejä etenevästä liikkeestä, pyörimisliikkeestä ja yhdistetystä liikkeestä
- liikkeen muutos, liikkeen muutoksen suuruus
- kosketusvuorovaikutukset ja etävuorovaikutukset
- vuorovaikutuksella on aina kaksi osapuolta
- vuorovaikutuksella on suunta, liike muuttuu vuorovaikutuksen suuntaan
- vuorovaikutuksen voimakkuudet kvalitatiivisesti: impulssi ja voima
- impulssi ja voima ovat molemmille osapuolille yhtä suuret
- kappaleen hitaus

Suureiden kvantifoinnit

- nopeuden esikvantifiointi ja kvantifiointi
- hitaan massan esikvantifiointi ja kvantifiointi

1.2 Dynamiikan peruslaki

Tasainen vuorovaikutus: miksi tarpeen, mitkä vuorovaikutukset ovat tasaisia, mikä valitaan ja miksi.

Yhden kappaleen mekaniikka: näkökulman muutos dynamiikkaan.

Kiihtyvyys: kvantifiointi.

Heittoliike: kvalitatiivinen koe jolla todetaan vaaka- ja pystysuuntaisten liikkeiden riippumattomuus. Heittoliikkeen analysointi videolla, vaaka- ja pystysuuntaisen liikkeen kuvaajat ja tulosten merkitys.

Voiman kvantifiointi muodossa $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

Vapaa putoamisliike, painon laki $G = mg$.

Jonkin voiman lain tutkimus.

Dynamiikan peruslain testaaminen: vähintään yksi ennuste ja sitä testaava koe sekä etenevästä liikkeestä että ympyräliikkeestä (keskeisvoima / keskeiskiihtyvyys). Voidaan olettaa tunnetuiksi mekaanisen energian säilymlaki ja normaalikiihtyvyyden laki tasaisessa ympyräliikkeessä.

1.3 Lämpötila ja lämpöenergia

Tilamuuttujien perushahmotus: paineen perushahmotus, ilmapaineen perushahmotus. Esimerkkejä ja kokeita, joilla havainnollistetaan miten tilanmuuttujat vaikuttavat toisiinsa.

Tilanmuuttujien kvantifiointi: paineen kvantifiointi, ilmanpaineen mittaaminen, lämpötilan kvantifiointi. Kaasulämpömittarin toteuttaminen ja testaaminen.

Kaasulait, tilanyhtälöt: vähintään kahden kaasulain kvantifiointi. Absoluuttinen lämpötila-asteikko, yleinen kaasun tilanyhtälö.

Lämpöenergian perushahmotus: säilyminen, siirtyminen muuntuminen. Esimerkkejä ja kokeita.

Siirtyvä lämpöenergia, ominaislämpökapasiteetti. Perushahmotus: aineen lämmönvarauskyky riippuu massasta ja itse aineesta. Kvantifioivat kokeet.

Kokonaisuuden käsitteenmuodostusta kuvaava käsitekartta.

1.4 Työ, mekaaninen energia, värähdysliike

Työn perushahmotus: mekaanisissa ilmiöissä syntyy lämpöä.

Työn kvantifiointi Joulen kokeella.

Mekaanisen energian perushahmotus: lämpöä häviää ja liikettä syntyy.

Liike-energia: suure-ennuste ja kvantifiointi.

Potentiaalienergia: suure-ennuste painon potentiaalienergialle. Potentiaalienergian muutos ei riipu reitistä.

Muuttuvan voiman tekemä työ: osoitetaan kokeella että $W = \int F \, ds$.

Vuorovaikutuksen tekemä työ: kaksi vaunua ja niiden välillä laukaistava jousi. Osoitetaan että kun jousi laukaistaan samalla tavalla, vaunuparin yhteensä saama liike-energia pysyy vakiona vaikka vaunujen massoja muutetaan.

Värähdysliikkeen perushahmotus: kahden ja yhden kappaleen värähtelijä. Esimerkkejä värähdysliikkeistä luonnosta ja teknologisesta ympäristöstä, osapuolet ja tasapainoon palauttava vuorovaikutus. Energian perushahmotus värähdysliikkeessä. Värähdysliikkeen vaimeneminen ja voimistuminen, nämä ilmiöt aiheuttava vuorovaikutus.

Kvantitatiiviset kokeet: värähtelyä kuvaavat suureet. Dynamiikan peruslaki ja jousivoiman laki värähtelijälle. Mekaanisen energian säilyminen / kuluminen kvantitatiivisesti.

Ominaisvärähtelyt: kolmen kappaleen värähtelijä, ominaisvärähtelyt erikseen ja yhdistettynä. Värähtelyn Fourier-analyysi.

1.5 Aaltoliike

Perushahmotus

Systeemi, jossa on hitauden omaavia osia ja niiden välinen liikkeen välittävä ja tasapainoon palauttava vuorovaikutus.

Aaltoliikkeen tyypit (pitkittäinen, poikittainen, kierto).

Tarkoituksenmukaisilla välineillä havainnollistetaan aaltoliikkeen käyttäytyminen:

- Heijastuminen rajapinnassa
- Tahtuminen
- Summautuminen
- Interferenssi
- Seisova aaltoliike

Kvantitatiivinen esitys

Osoitetaan, että aaltoliikkeen perusyhtälö $v = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$ pitää paikkansa.

Aaltoliikkeen käyttäytymistä kuvaavia lakeja

Aallon nopeuden riippuvuus taajuudesta vesiaalloille ja kielelle.

Tahtumislaki:

osoitetaan että tulo- ja taitekulmalle sekä aaltojen nopeuksille pätee laki $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_a}{v_b}$.

Koe yhdellä tulokulmalla riittää.

Taipuminen:

tutkitaan kahden ympyräaallon diffraktiota.

Esikvantifiointi: miten diffraktiominimien ja -maksimien suunnat riippuvat lähteiden etäisyydestä ja aallonpituudesta.

Osoitetaan että esim. yhden minimikäyrän pisteille niiden lähteistä mitattujen etäisyyksien erotus on pariton määrä aallonpituuden puolikkaita.

Aaltoliikkeen nopeus jännitetyssä kielessä:

Osoitetaan että aaltoliikkeen nopeus kielessä on verrannollinen jännitysvoiman neliöjuureen:
 $v \propto \sqrt{F}$.

1.6 Ääni

Perushahmotus: ominaisuudet, käyttäytyminen

Esimerkkejä, joilla osoitetaan että äänen syntyyn vaaditaan värähtely tai paineen vaihtelu.

Äänen vastaanottaminen

Ääni on paineen vaihtelua: mikrofoni reagoi ääneen ja paineeseen

Äänen havaittavien ominaisuuksien erottelu: voimakkuus, korkeus, sävy

Äänne käyttäytyminen kvalitatiivisesti: eteneminen rajallisella nopeudella, heijastuminen, taittuminen, Dopplerin ilmiö.

Kvantitatiivinen esitys

Taajuus, aaltomuoto ja spektri erilaisille äänille

Sävelasteikon ja taajuuksien yhteys: taajuussuhteet joillekin intervalleille

Aallonpituuden riippuvuus jaksonajasta seisovan aallon avulla, verrannollisuuskertoimen nopeus

Äänen nopeuden määrittäminen heijastusten avulla ilmassa ja tetrafluorietaanissa

Desibeliasteikko: osoitetaan äänen intensiteetin ja desibeleinä ilmaistun äänenvoimakkuuden yhteys.

Huojuntataajuus: osoitetaan että $f_h = |f_1 - f_2|$.

Dopplerin ilmiö: osoitetaan että pienillä nopeuksilla dopplersiirtymä on verrannollinen äänilähteen nopeuteen, $\Delta f \propto v$.

2.1 Sähkömagnetismi I: kolme ilmiömaailmaa

Sähkövaraus ja sähkökenttä

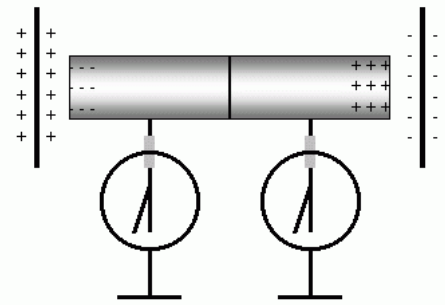
Varautuminen, varauksen lajit. Osoitetaan vuorovaikutuksen suunnan säännönmukaisuudet ja se, että sähkövarausta on täsmälleen kahta lajia.

Varauksen säilyminen, siirtyminen, summautuminen ja kumoutuminen. Kokeita joilla osoitetaan että varaus säilyy kappaleessa; tai jos ei säily, silloin varaus johtuu pois kappaleesta. Varauksen siirtyminen johdetta pitkin kappaleesta toiseen; eristeet.

Kappaleen varauksen käyttäytyminen kun siihen siirretään annoksittain i) samanlaista sähköä ii) vuorotellen lasi- ja lakkasähköä.

Sähkökenttä. Sähkökentän havainnollistaminen mannaryyneillä ja risiinöljyllä.

Sähköinen influenssi. Kuvan koe tai vastaava, jolla osoitetaan varauksen jakautuminen sähkökentässä olevassa johdekappaleessa, ja havaintojen selitys johteen sisältämien liikkuvien varausten avulla.



Magnetismi

Magneettiset perusilmiöt. Pysyvästi magnetoituvat, magneetin lähellä magnetoituvat ja ”ei-magneettiset” aineet.

Magneetikentän havainnollistaminen rautaviilajauheella tms.

Magneettisen vuorovaikutuksen suunnan säännönmukaisuudet. Magneettinapoja on kahta lajia. Perustelu nimityksille pohjois- ja etelänapa.

Sähkövirta

Sähkön tuottaminen kemiallisesti, paristo, suljettu virtapiiri. Sitruuna- peruna- tms. paristo. Sähkövirran fysiologinen vaikutus sitruunaparistolla ja kaupallisella paristolla.

Sähkövirran aikaansaamat ilmiöt. Lämpö, valo, magneettinen vuorovaikutus (myös sitruunaparistolla), kemiallinen vaikutus.

Sähkövirran ominaisuudet ja käyttäytyminen; jännite, resistanssi. Kokeita joilla osoitetaan:

- sähkövirralla ja jännitteellä on molemmilla suuruus ja suunta
- sähkövirta ei kulu
- sähkövirta syntyy ja häviää yhtä aikaa kaikkialla haarautumattomassa virtapiirissä
- sähkövirta voi jakautua ja yhdistyä
- resistanssi ominaisuutena; lamput yms. komponentit vastustavat sähkövirran kulkua
- sarjaan ja rinnankytkentöjen vaikutus resistanssiin

Induktio

Koe jolla mahdollisimman yksinkertaisilla välineillä havainnollistetaan sähkömagneettinen induktio. Kokeessa pitää osoittaa että ilmiön saa aikaan käämin läpäisemän magneettikentän muuttuminen millä tahansa tavalla (magneetti liikkuu, käämi liikkuu, toisen käämin magneettikenttä muuttuu.)

2.2 Sähkömagnetismi II: sähkövirta, jännite, varaus, magneettimomentti

Sähkövirran kvantifiointi

Osoiteta että sähkövirta on verrannollinen sähkövirran aikaansaamaan magneettisen voimaan tai momenttiin.

Jännite

Paristojen kytkennät, jännitteen summautuminen. Kokeet joilla osoitetaan että sarjaan kytkettyjen paristojen jännitteet summautuvat kuin etumerkilliset luvut

Jänniteominaisuuden yleistys, porrasmalli. Osoitetaan että jännite on virtapiirin minkä tahansa kahden pisteen ominaisuus. Sarjaankytkennän ilmiöt selittävä porrasmalli ja sen testaus.

Jännitteen kvantifiointi. Osoitetaan että homogeenisen vastuslangan pään ja langalla olevan pisteen välinen jännite on verrannollinen näiden pisteiden etäisyyteen. Jännitteen mittaaminen vastuslankamenetelmällä. Jännitemittarin käyttöönotto.

Varauksen kvantifiointi

Osoitetaan että sähkövaraus on verrannollinen sähköstaattiseen voimaan.

Magneettimomentin kvantifiointi

Osoita että magneettisen olion voimakkuus (magneettimomentti) on verrannollinen magneettisen vääntövuorovaikutuksen momenttiin.

1.3 Sähkömagnetismi III

Resistanssi

Esikvantifiointi. Mistä tekijöistä metalilangan kyky vastustaa sähkövirtaa riippuu. Osoitetaan että resistanssin on komponentin ominaisuus, joka ei riipu muusta virtapiiristä. Osoitetaan että yhtä suurella sähkövirralla suurempi resistanssi aiheuttaa suuremman jännitehäviön.

Kvantifiointi. Metallilangalle $\frac{U}{I}$ on vakio.

Komponentteja joille Ohmin laki ei ole voimassa. Hehkulampun (I,U) -kuvaaja. Diodin käyttäytyminen ja (I,U) -kuvaaja.

Sähköteho

Sähkötehon esikvantifiointi ja kvantifiointi.

Kondensaattori

Leidenin pullo: kipinäkoe influenssikoneella.

Jännite on sähköisten tilojen tasoero. Erikokoisten metallipallojen sähköiset tasot.

Kondensaattorin lataaminen sähköstaattisesti ja paristolla.

Siirtyvän varauksen ja sähkövirran yhteys

Esikvantifiointi. Tasainen varauksen tuotto saa aikaan vakioisen sähkövirran.

Kvantifiointi. Lain $Q \propto \int I dt$ kvantifiointikoe.

Kapasitanssi

Esikvantifiointi. Havainnot jotka johtavat ennusteeseen että kondensaattorille Q/U on vakio.

Kvantifiointi. Osoitetaan kokeella että kondensaattorille $\frac{Q}{U}$ on vakio, joka riippuu kondensaattorin kyvystä varastoida varausta.

Kondensaattorikytkennät. Valitse jokin kondensaattorikytkentä, ennusta sen kapasitanssi ja testaa ennuste.

1.4 Sähkömagnetismi IV: induktio

Induktio vuorovaikutuksena

Kokeita joissa havaitaan vuorovaikutus kestopagneetin ja ei-ferromagneettisen metallin välillä, kun ne liikkuvat toisiinsa nähden. Vuorovaikutusta ei havaita magneetin ja eristeen välillä. Malli: mistä vuorovaikutus aiheutuu. Oletetaan kokonaisuudessa SMG I esitelty induktioilmiö tunnetuksi.

Induktiojännite, magneettivuo ominaisuutena

Koesarja jossa havainnoidaan käämiin indusoituvaa jännitettä, kun magneettikentän muutos saadaan aikaan kestopagneetilla ja toisella käämillä. Milloin induktiojännite syntyy, milloin ei.

Magneettivuon perushahmotus.

Virtajohtimeen / virtasilmukkaan indusoituva jännite.

Induktiolaki

Faradayn induktiolain täydellinen kvantifiointi.

Käämi pyörivässä magneettikentässä: ennustetaan käämiin indusoituvan jännitteen muoto ja huippuarvo, kun tunnetaan käämin ominaisuudet sekä magneettivuon tiheys ja kentän kulmanopeus käämin kohdalla. Testataan kokeella.

Itseinduktio, induktanssi

Havainnollistetaan kvalitatiivisesti itseinduktioilmiö: kun käämin sähkövirta katkaistaan ilmenee jännitepiikki; kun käämiin kytketään jännite sähkövirta nousee viiveellä huippuarvoonsa. Selittävä malli.

Käämi vastustaa vaihtovirran kulkua sitä voimakkaammin, mitä suurempi taajuus on eli mitä nopeammin sähkövirta muuttuu. Havaitaan että ominaisuus on erilainen eri käämeillä.

Induktanssin kvantifiointi: määritetään kahdelle käämille itseinduktiojännite sähkövirran muutosnopeuden funktiona. Havaitaan $U \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$, määritellään $L = \frac{U}{\Delta I / \Delta t}$, yleistys

$$L = \frac{U}{dI/dt}.$$

1.5 Valo ja sähkömagneettinen säteily

Valon havaitseminen, lähteet, havaittavat ominaisuudet

Sähköisiä komponentteja, jotka havaitsevat valoa.

Valon väri: havainnollistetaan että valkoisessa valossa voi nähdä passiivisilla valonlähteillä olevan eri värejä, yksivärisessä valossa voi nähdä vain valonlähteen värin ja mustaa.

Valon suoraviivainen kulku, suunnan muuttuminen

Kokeita valonsäteillä ja esimerkkejä näköhavainnoista, joissa ilmenee:

- valon eteneminen suoraviivaisesti homogeenisessä aineessa
- valon heijastuminen rajapinnasta
- valon taittuminen rajapinnassa
- kokonaisheijastus

Valon aaltoluonne

Diffraktio. Kokeita kaksoisraolla ja hilalla, yksivärisellä ja valkoisella valolla. Osoitetaan valo aaltoliikkeeksi, ja värin yhteys aallonpituuteen.

Interferenssi. Väri-ilmiöt valon heijastuessa lähekkäin olevista pinnoista. Selitys.

Dispersio. Valkoisen valon hajaantuminen väreihin prismassa.

Polarisaatio. Valon polarisaatio suodattimissa, heijastumisessa ja sironnassa. Johtopäätös valon luonteesta.

Kvantifiointi ja kvantitatiiviset kokeet

Yksivärisen valon aallonpituuden määrittäminen. Kuten luentomateriaalissa, määritetään hilojen avulla kahden eri värisen valon aallonpituudet.

Valon nopeuden mittaaminen. Mitataan valon nopeus Foucaultin menetelmällä kuten luentomateriaalissa ja työohjeissa esitetään.

Taitesuhde ja taitekerroin. Määritetään akryylin ja ilman taitesuhde. Osoitetaan että valon taitekulma ilmasta veteen ei muutu, vaikka väliin laitetaan tasapaksu akryylipala. Johtopäätös tästä, taitekertoimen määrittely.

Sähkömagneettinen aaltoliike: mikroaallot, rinnastus valon kanssa

Todetaan mikroaallojen käyttäytyvän kuten valo: heijastuminen metallista, taottuminen parafiinissa, polarisaatio.

Määritetään mikroaallojen nopeus seisovan aallon avulla. Päättely, jolla todetaan valon olevan sähkömagneettista aaltoliikettä.

1.6 Modernin fysiikan perusteet

Valitse seuraavista töistä kolme, toteuta ne ja raportoi. Käsitekartaa ei tarvitse laatia.

Thomsonin koe

Nykyisin tämän kokeen merkitykseksi ajatellaan usein suhteen e/m määrittäminen. Mikä oli kokeen merkitys silloin kun se ensimmäisen kerran tehtiin?

Kuvaile Thomsonin kokeen laitteisto.

Oletetaan että emme tiedä mitään elektroneista. Kestomagneetin havaitaan vaikuttavan putken sisällä näkyvään juovaan. Mitä tämä kertoo?

Kun putken sisällä on homogeeninen magneettikenttä, juova taipuu selkeäksi koossa pysyväksi ympyräksi. Mitä tämä kertoo?

Määritä elektronin ominaisvaraus uudemmalla laitteella siten kuin se neuvotaan [työohjeessa](#).

Millikanin koe

Kuvaile Millikanin kokeen laitteisto ja mittauksen periaate.

F2k-laboratoriossa Millikanin koe tehdään useimmiten kvalitatiivisena versiona, jolloin kokeen merkitys on varauksen kvantittumisen toteaminen. Millikanin alkuperäisellä kvantitatiivisella kokeella oli tärkeä merkitys atomifysiikan kehityksessä. Mikä?

Millikan käytti pisaroiden ionisoimiseen röntgensäteilyä, joka vaikuttaa samoin kuin F2k-kokeessa käytetty alfasäteily. Millaisen ”kvanttifysikaalisen vinkin” tämä havainto antaa?

Laita laitteisto käyttökuntoon ja tee kvalitatiivinen koe niin kuin [työohjeessa](#) neuvotaan. Kameran kuvan saa näkymään tietokoneessa ohjelmalla Muikku (komentoriviltä: Cheese). Videoanalyysia yms. kvantitatiivista koetta ei tarvitse tehdä. Havaitsitko jonkin pisanan muuttavan varaustaan?

Mustan kappaleen säteily

Kuvaile kokeen laitteisto ja mittauksen periaate.

Alkuperäisessä mustan kappaleen säteilyn kokeessa tutkitaan termisessä tasapainossa olevaa sähkömagneettista säteilyä. Millä oleellisella tavalla F2k-koe eroaa tästä, ja mitä siitä seuraa?

Mitä F2k-kokeessa saatavat tulokset kytkeytyvät hehkulampun valon värin muuttumiseen lämpötilan vaikutuksesta, ja mitä tulokset kertovat hehkulampun tehokkuudesta valonlähteenä?

Tee mittaus [työohjeen](#) mukaan muutamalla eri hehkulampun jännitteellä, liitä kuvaajat raporttiin.

Valosähköinen ilmiö

Tutustu koululaisryhmille tarkoitettuun [työohjeeseen](#).

Tee ohjeessa kuvattu kvalitatiivinen koe alumiinitölkillä, taskulampulla ja UV-lampulla. Mitä kokeessa havaitaan?

Kuvaile kvantitatiivisen kokeen laitteisto ja mittauksen periaate. Tee koesarja erivärisillä ledeillä.

Millä tavalla kokeiden tulokset ovat ristiriidassa sähkömagneettisen säteilyn ja aineen vuorovaikutuksesta klassisessa fysiikassa vallinneen mielikuvan kanssa?

Kokeessa saadaan elektronien energian ja valon taajuuden välille lineaarinen riippuvuus. Mitkä ovat riippuvuusoran kulmakertoimen ja vakiotermin fysikaaliset merkitykset? Vertaa tuloksiasi taulukkoarvoihin.

Spektritutkimus

Tutustu koululaisryhmille laadittuun [työohjeeseen](#). Kuvaile, miten käsispektroskoopilla ja tietokoneeseen kytketyllä spektrometrillä voi tutkia tai havainnollistaa seuraavia asioita, ja toteuta kokeet.

- Hehkuvien kiinteiden ja kaasumaisten aineiden spektrien vertailu. Mitä valonlähteitä käytät?
- Joidenkin seuraavien valonlähteiden spektrien vertailu: päivänvalo / Aurinko, liekki, hehkulamppu, energiansäästölamppu / loisteputki, värillinen merkkivalo-led, valkoinen led-lamppu, laserosoitin. Mitä spektrit kertovat valon syntymekanismeista näissä valonlähteissä?
- Alkuaineiden tunnistaminen spektrin avulla.

Liitä tietokoneella mittaamasi spektrit raporttiin.