

Ohjeita opettajille

moduulista 7:

Diffraktio ja interferenssi

Diffraaktion avulla voidaan tehdä monia erilaisia näyttäviä demonstraatioita valon aalto-ominaisuudesta. Mutta ennen kaikkea se antaa oppilaille erityisen mahdollisuuden tehdä mittauksia nanometrien mittaluokassa – hyvin yksinkertaisilla menetelmillä.

Yhteenveto: Oppilaat tuottavat diffraktiokuvioita ja käyttävät niitä mittaamisessa.

Tämä moduuli rakentuu kolmesta luvusta:

- Diffraktio kaksoisraosta ja sen käyttäminen laserin aallonpituuden määrittämisessä.
- Kapean raon ja kapean palkin aiheuttamien diffraktiokuvioiden vertailu. Hiuksen paksuuden määrittäminen diffraktiokuvion avulla.
- Hilan aiheuttaman diffraktion demonstrointia CD-levyn avulla. Oman spektrometrin rakentaminen ja energiansäästölampan spektrin mittaaminen.

Suunniteltu: lukiolaisille (ikä noin 16–18)

Kesto: Ensimmäinen luku on suunniteltu 60 min kestoiseksi, toinen ja kolmas luku ovat kummatkin suunniteltu 40 min kestoiseksi

Mitä oppilaiden pitäisi tietää jo aiemmin:

- konstruktiivinen ja destruktiiivinen aaltojen interferenssi aaltoaltaan tai äänialtojen avulla havainnollistettuna
- valon käyttäytyminen aaltolina
- Huygensin periaate

Mitä oppilaat oppivat:

Tietoja

- Valon aallonpituuden määrittäminen kaksoirakokeen avulla
- Diffraktio yhdestä raosta ja Babinetin laki
- Hiuksen paksuuden mittaaminen diffraktiokuvion avulla
- Kuinka DNA:n diffraktiokuvio johti sen rakenteen löytämiseen
- Diffraktio valon heijastuessa ja läpäistessä hilan
- Spektrometrin toimintaperiaate
- Energiansäästölampan valon epäjatkuva spektri – verrattuna auringonvalon jatkuvaan spektriin.

Taitoja

- Laserin turvallinen käyttö (laserturvallisuus)
- Kokeiden suorittaminen ryhmissä
- Kokeellisen tutkimuksen suunnitteleminen tarkkoja mittauksia varten

Tämä moduuli sisältää:

- 3 työohjetta
- 3 tietosivua
- Laserturvallisuusohjeet

Luku 1 | Kaksoisraon diffraktio

Suosittelun kaksoisraon käsittelyn oppitunnin rakenne

Oppilaat rakentavat Youngin kokeen mukaisen koeasetelman ja tutkivat kaksoisraon diffraktiota. Oppilaat opiskelevat laserin turvallista käyttöä ja mittaavat diffraktiokuvion avulla laservalon aallonpituuden. Oppilaat muodostavat itse tarvittavat yhtälöt Huygensin periaatteen ja geometrian avulla.

Aika minuutteina	Toiminto	Materiaali
Ensimmäinen oppitunti (osa)		
0 – 15	Laserturvallisuus	Laserturvallisuusohjeet
15 – 30	”Valoaallot” -työohjeen ensimmäisen sivun mukainen ryhmätyö	WS07.1 laser rakolevy <i>Pakettiin sisältyvät:</i> paristoja lasereita varten, varjostin, pyykkipoika rakolevyn pitelyyn
Kotitehtävä	Kohta 4 työohjeesta ”Valoaallot”	WS07.1
Toinen oppitunti		
0 – 10	Ryhmätyön jatkamista ”Valoaallot” -työohjeen toisen sivun mukaisesti	WS07.1 laser rakolevy <i>Pakettiin sisältyvät:</i> paristoja lasereita varten, varjostin, viivoitin, pyykkipoika rakolevyn pitelyyn
30 – 39	Mittaustuloksista keskustelua	
39 – 40	Tietosivun jakaminen	FS07.1

Kuvaus suositellusta oppitunnista

Valmistelut

Muista testata lasereille varatut paristot ennen oppituntia.

Laserturvallisuus

Pyydä oppilaitasi lukemaan läpi laserturvallisuusohjeet. Keskustele oppilaiden kanssa ohjeiden tarpeellisuudesta. Lasereiden turvallinen käyttö on yksi moduulin tärkeistä oppimistavoitteista. Pyydä oppilaitasi allekirjoittamaan omat laserturvallisuusohjeensa. Vaikka tällä ei ole oikeudellista merkitystä se ilmaisee oppilaille, kuinka tärkeää heidän on itse huolehtia lasereiden turvallisesta käytöstä.

Johdanto

Saadaksesi mahdollisimman suuren hyödyn oppitunnista, oppilaiden tulisi tuntee entuudestaan aaltojen interferenssi. Muistuttaaksesi heitä, voit ottaa esimerkin rokkikonsertista, jossa bassoäänit vasemmalta ja oikealta interferoivat keskellä lavaa niin

että yhdessä kohdassa bassot ovat voimakkaampia kuin muutaman askeleen päässä vasemmalla tai oikealla (havainnollista tarvittaessa taululla). Tämä on tyypillistä aaltoliikkeelle ja voidaan havaita myös valolla. Älä kuitenkaan anna tähän liittyen liikaa tietoa sillä oppilaiden on tarkoitus havaita tämä ilmiö itse.

Työohje "Valoaallot"

Käykää oppilaiden kanssa läpi työohjeen (WS07.1) johdantokappale. Jos haluat, voit kertoa oppilaille, kuinka Young teki aikoinaan kokeensa (ks. kappale 'Taustatietoa'). Siirtykää ohjeessa kohtaan 'Valmistelut' ja anna oppilaille laserit. Jos jotkut oppilaista eivät käytä lasereita vastuullisesti, älä anna heidän käyttää lasereita lainkaan. Nämä oppilaat voivat silti osallistua aktiivisesti ryhmätyöskentelyyn koskematta lasereihin.

Jos sopivaa varjostinta ei ole tarjolla, voit käyttää siihen esimerkiksi muistilappuja. Leikkaa muistilapusta tarttuva alue irti ja liimaa se johonkin pystyssä seisovaan pintaan kuten pahvilaatikkoon. Tämä auttaa oppilaita, kun he voivat tehdä merkintöjä suoraan paperiin.

Kun jokainen on saanut sopivan varjostimen ja testannut laseria, anna heille rakolevyt. Tästä eteenpäin oppilaiden tulisi työskennellä itseksensä niin paljon kuin voivat. Kierrä ryhmästä toiseen ja auta heitä tarvittaessa. Älä ole yhden ryhmän luona liian kauan aikaa vaan yritä kiertää kaikkien luona. Kehu hyviä ideoita ja kysele oppilailta, miksi he ovat päätyneet kyseisiin ratkaisuihin esimerkiksi heidän koeasetelmassaan. Tarkkaile, että lasereita käytetään turvallisesti.

Kun näet, että suurin osa oppilaista on siirtynyt työskentelemään työohjeen kohtaan 3), keskustele oppilaiden kanssa heidän havainnoistaan. Anna heidän työskennelle vapaasti, jotta he voivat itse huomata kokeen kannalta tärkeät asiat.

Kotitehtävä

Valinnainen: Haluat ehkä antaa oppilaille listan diffraktiokuvion muotoon vaikuttavista tekijöistä esimerkiksi taululle. Anna oppilaiden kopioida tämä lista ja pyydä heitä kirjoittamaan kotitehtävänä lyhyet kommentit jokaisesta vaikuttavasta tekijästä, miten ja miksi ne vaikuttavat diffraktiokuvion muotoon. Luonnollisesti heillä ei ole vielä tässä vaiheessa kaikkiiin kohtiin vastausta, mutta he löytävät joitain vastauksia myöhemmin tässä luvussa. Tämä kotitehtävä on suositeltavaa antaa vapaaehtoisena tehtävänä.

Pyydä oppilaitasi vastaamaan työohjeen toisen sivun kohdan 4) kysymykseen säästääksesi aikaa seuraavan oppitunnin alusta. Tämän kautta heidän tulisi tutustua värähtelyn perusteoriaan, aaltoihin ja interferenssiin.

Toinen oppitunti

Aloita oppitunti lyhyellä keskustelulla työohjeen toisen sivun alussa olevasta tekstistä. Kyseinen teksti on tarkoitettu vain pelkäksi muistutukseksi – sinun tarvitsee varata tähän asiaan aikaa sen mukaan, kuinka paljon olet aiemmin selittänyt oppilaillesi interferenssistä. Tämän jälkeen keskustelkaa oppilaiden kanssa kotitehtävän vastauksista. Varmista, että kaikki oppilaat ymmärtävät vastauksen kysymykseen 4.

Auta oppilaitasi kohdan 5 yläpuolella olevan kuvan tulkitsemisessa. Jos Huygensin periaate ei ole oppilaillesi vielä tuttu, sinun täytyy tässä vaiheessa selittää heille se.

Nähdäksesi ymmärtävätkö oppilaasi ilmiön, pyydä heitä ennustamaan mitä tapahtuu, jos aallonpituutta muutetaan. Työohjeen oikean reunan kuviossa tämä vastaa puoliympyröiden (aaltorintamien) säteen muuttamista ja näin ollen diffraktiokulman muuttumista ja diffraktiokertalukujen paikan vaihtumista.

Anna oppilaiden työskennellä itsenäisesti kohdasta 5) lähtien. Kun oppilaat tekevät mittauksia kohdassa 6), varmista että he mittaavat pienten pisteiden välistä matkaa eivätkä verhoikäyrän maksimeita (ks. ”Mitä oppilaat saattavat kysyä”, kysymys 2).

Nopeille oppilaille

Jos kokeiden tekeminen on vielä joillakin oppilaillasi kesken, kun muut ovat saaneet ne valmiiksi, voit tarjota nopeimmille seuraavaa koetta: Anna heille alumiinifoliota (ei sisälly pakettiin). Ohjeista oppilaita tekemään pieni reikä folioon neulalla pahvia vasten. Kun he saavat reiän avulla aikaan diffraktiokuvion, voit kysyä heiltä: 1) Mikä aiheuttaa syntyvän kuvion, kun nyt on vain yksi reikä eikä kahta rakoa; 2) Kuinka he selittävät diffraktiokuvion muodon; ja 3) Miten diffraktiokuvion muoto muuttuisi, jos he muuttaisivat reiän kokoa tai muotoa (esim. ovaaliksi)? Anna heidän kokeilla.

Mittaustuloksista keskustelua

Kerää oppilaiden saamat mittaustulokset taululle. Pyydä oppilaita arvioimaan, kuinka tarkkoja heidän mittaustuloksensa ovat, esimerkiksi arvioimalla, montako nanometriä heidän tuloksensa saattaa erota oikeasta arvosta. Vertaa tuloksia oikeaan aallonpituuteen, noin 655 nm. Valmistusteknisistä syistä lasereiden aallonpituus saattaa vaihdella 3–4 nm.

Auttaaksesi oppilaita hahmottamaan suuruusluokkia vertaa sitä toimistopaperin paksuuteen (0,1 mm) kertomalla heidän mitanneen juuri jotain noin sata kertaa pienempää. Kysy heiltä, missä käytännön sovelluksissa voitaisiin tarvita niin tarkkaa mittaamista.

Kysy oppilailta, mitä he ovat tehneet mittauksensa tarkkuuden parantamiseksi. Mahdolliset vastaukset saattavat sisältää:

- ottamalla keskiarvon useista mittauksista;
- ensimmäisen ja nollannen kertaluvun välisen matkan (λ') mittaamisen sijaan mittaamalla kahden ensimmäisen kertaluokan (λ' ja λ'); ensimmäinen vasemmalta ja oikealta) välimatkan ja jakamalla sen kahdella;
- pidentämällä rakolevyn ja varjostimen välimatkaa;
- tekemällä pienen mustan pisteen varjostimelle, nollannen kertaluvun kohdalle, niin että muuta diffraktiokertaluvut ovat paremmin nähtävissä

jne.

Oppitunnin lopuksi jaa tietosivu FS07.1.

Taustatietoja

Youngin kaksoisrakokoe

Todistaakseen valon olevan aalto, Young raportoi kokeen, ”jonka voi helposti toistaa aina, kun aurinko paistaa ja käyttäen vain välineitä, jotka ovat kaikkien saatavilla.” Tämä on hyvä esimerkki siitä, kuinka yksinkertaisin keinoin tärkeitä tieteellisiä edistysaskelia voidaan saavuttaa.

Young kirjoittaa: ”Tein pienen reiän ikkunaverhoon ja peitin sen paksulla paperilla, johon tein pienen reiän ohuella neulalla.” Tämän jälkeen hän asetti pelikortin säteen keskelle jakaen sen kahteen osaan. Kortin muodostamassa varjossa hän näki interferenssikuvioita, jotka hävisivät, jos hän esti valon pääsyn kortin toiselta puolelta.

Young raportoi kokeensa vuonna 1803 lehdessä ”The philosophical transactions of the Royal Society of London,” sivut 1–16.

Koherenssi

Interferenssi ja koherenssi ovat suoraan toisiinsa liittyviä: Interferenssi on mahdollista vain koherenssin myötä; ja koherenssin aste mitataan interferenssikuvion kontrastiin perustuen. Teknisesti katsoen koherenssilla kuvataan kahden eri aallon fysikaalisen ominaisuuksien vastaavuutta.

Hieman tarkemmin: Valo koostuu värähtelevistä sähkö- ja magneettikentistä. Nämä kentät voivat läpäistä toisensa tyhjiössä vaikuttamatta toisiinsa – tämän takia valon säteiden mennessä tyhjiössä ristiin niille ei tapahdu mitään. Kuitenkin niiden risteyskohdassa – kuten myös kaikkialla muuallakin – paikalliset sähkö- ja magneettikentät ovat sen hetkisten sähkö- ja magneettikenttien summia. Esimerkiksi kaksi saman voimakkuuksista, mutta vastakkaisiin suuntiin etenevää, kenttää kumoavat toisensa poistuen kokonaan olemasta. Jos kuitenkin kaksi kenttää etenee täsmälleen samaan suuntaan, kentät vahvistavat toisiaan muodostaen voimakkuudeltaan kaksinkertaisen kentän. Valon tapauksessa sen intensiteetti olisi tällöin nelinkertainen (intensiteetti on suoraan verrannollinen sähkökentän neliöön).

Normaalisti kenttien summa vaihtelee niin nopeasti, että emme näe sitä. Vain, jos toistensa lävitse menevät kentät pysyvät samassa tahdissa tarpeeksi pitkän aikaa – mittaluokassa yksi kymmenesosasekunti – voimme nähdä ilmiön omin silmin. Tämä voi tapahtua silloin, kun valonsäteet ovat täsmälleen samanlaiset, esimerkiksi samasta lasersäteestä lähtöisin. Tavasta, jolla valo tuotetaan laserissa, johtuen lasersäteiden kentät värähtelevät samassa tahdissa, samaan suuntaan ja samalla taajuudella.

Toisaalta auringonvalo koostuu monista lyhyistä aallon pätkistä, jotka eivät ole mitenkään yhteydessä toisiinsa. Periaatteessa nämä pätkät interferoivat keskenään, mutta ne eivät voi muodostaa vakaata interferenssikuvioita. Auringonvaloa pidetään näin ollen epäkoherenttina, kun taas laserin valoa pidetään koherenttina valona (ks. myös ”Oppilaat voivat kysyä”, kysymys 3).

Oppilaat saattavat kysyä

1) Jos kaikkien alussa mainittujen tiedemiesten todistettiin myöhemmin olleen väärässä, miksi opiskelemme tätä?

Luonnontieteiden tarkoitus ei ole kertoa totuutta. Luonnontiede on prosessi, joka koostuu havainnoista ja mallien muodostamisesta, joilla pyritään kuvaamaan havaittu ilmiön käyttäytyminen mahdollisimman hyvin. Kun tiede kehittyy, olemassa olevat mallit voivat vanhentua tai ainakin muuttua tarkemmiksi. Tämän takia onkin paljon tärkeämpää ymmärtää tieteen luonnetta kuin muistaa kaikkia tämänhetkisiä tutkimustuloksia.

2) Mistä kaukokentässä näkyvä diffraktiokuvion kirkkausvaihtelu johtuu?

Jos suljet yhden raon kaksoisrakosysteemistä, kirkkausvaihtelut säilyvät vaikkakin pienemmät pisteet katoavat (anna oppilaidesi testata tätä raolla ②). Tämä vaihtelu johtuu siis yhdestä raosta tulevan valon muodostamasta interferenssistä. Pienet pisteet taas puolestaan johtuvat kahdesta raosta tulevan valon interferenssistä.

Seuraavassa kappaleessa yhden raon diffraktiota tarkastellaan hieman tarkemmin.

3) Miten Young pystyi suorittamaan kokeensa ilman laseria?

Vain koherentti valo voi muodostaa interferenssikuvioita. Lähes kaikissa tapauksissa laser tuottaa hyvin koherenttia valoa kun taas auringonvalolla on luonnostaan hyvin heikko koherenssi. Young vältti tämän ongelman tekemällä kokeen auringonvalolla, joka tuli hyvin pienen reiän läpi. Mitä suurempi etäisyys reiästä sitä koherentimpaa valosta tulee: valo vaikuttaa tulevan yhdestä pisteestä (ja olevan samenvaiheista) paremminkin kuin suuremmalta alueelta (jossa valo eri pisteissä voisi olla eri vaiheessa). Youngin kokeessa valo oli tästä johtuen paikkakoherenttia.

Auringonvalo sisältää paljon aallonpituuksia. Young näki värillisiä juovia kokeessaan sillä pidemmät aallonpituudet diffraktoituvat vahvemmin kuin lyhemmät aallonpituudet samasta kappaleesta.

Luku 2 | Yhden raon diffraktio (valinnainen)

Suosittelun oppitunnin rakenne yhden raon diffraktiolle

Oppilaat vertaavat kapean raon ja samanlevyisen kapean palkin aiheuttamia diffraktiokuvioita (komplementtikuvio, Babinetin periaate). Tämän jälkeen mitataan hiuksen paksuus sen aiheuttaman diffraktiokuvion avulla. Nopeimmat oppilaat tutustuvat myös siihen, kuinka DNA:n aiheuttaman diffraktiokuvion avulla on voitu päätellä sen rakenne.

Aika minuutteina	Toiminto	Materiaali
0 – 5	Johdanto	
5 – 30	Ryhmätyö työohjeesta ”Valo –nanomaailman mittanauha”	WS07.2 laser rakolevy <i>Pakettiin sisältyvät:</i> lasereiden paristot, varjostin, viivoitin, pidin rakolevylle, hius
30 – 40	Tietosivun jakaminen ja siitä keskustelu	FS07.2

Kuvaus suositellusta oppitunnista

Johdanto

Tämä oppitunti rakentuu edellisen kaksoisrakoa käsittelevän oppitunnin päälle, joten sitä voi käyttää luontevasti esimerkiksi kaksoistunnin jälkimmäisenä osana. On siis oletettavaa, että oppilaat ovat tutustuneet laserturvallisuusohjeisiin. Työohje on kuitenkin suunniteltu niin, että sitä voidaan käyttää myös itsenäisenä materiaalina. Tässä tapauksessa sinun tulee käydä oppilaiden kanssa lasereiden käyttöön liittyvät turvallisuusasiat ennen kokeiden aloittamista (ks. luku 1).

Jos oppilaat ovat edellisellä oppitunnilla tutkineet kaksoisrakoja, muistuta heitä siitä mitä ovat nähneet ja anna heidän keskustella keskenään havainnoistaan. Selitä, että interferenssi ei rajoitu vain kahdesta eri raosta tulevan valon synnyttämään ilmiöön, vaan myös yhdestä raosta tuleva valo voi interferoida raon toisesta kohdasta tulevan saman valon kanssa. Yksityiskohtaisempi selitys on tietosivussa, joka annetaan oppilaille oppitunnin lopuksi.

Työohje ”Diffraktio kapeasta raosta ja palkista”

Kerro oppilaille, että tämän työohjeen tavoitteena on demonstroida, kuinka interferenssikuvioita voidaan käyttää hyvin pienten asioiden analysointiin. Jos olette työskennelleet kaksoisrakoon liittyvät materiaalit, voit pyytää oppilaita katsomaan tarkemmin heillä mahdollisesti vielä olevien rakolevyjen kohtia ③ ja ④. Voit tällöin hypätä työohjeen johdannon ja mennä suoraan kohtaan 1).

Babinetin periaate (työohjeen kohdat 1 ja 2)

Työohjeen kohdissa 1) ja 2) oppilaiden on tarkoitus nähdä, että saman levyisen raon ja palkin aiheuttamat diffraktiokuviot ovat samanlaiset. Valmistusteknisistä syistä raon leveys vaihtelee 53–57 μm välillä, kun taas palkin leveys vaihtelee 57–61 μm välillä. Diffraktiokuviot eivät siis ole täsmälleen samanlaiset, mutta demonstraatiotarkoitusta varten kuitenkin tarpeeksi samanlaiset.

Hiuksen paksuuden määrittäminen

Työohjeen kohdassa 4) oppilaat käyttävät kohdassa 3) annettua kaavaa hiuksen paksuuden laskemiseen. Tässä tehtävässä oppilaat harjoittelevat erityisesti tarkan mittauksen suunnittelua ja suorittamista – tärkeää tieteellisen työn osaa. Pyydä siis oppilaitasi keskustelemaan ryhmissä, miten he voisivat parantaa mittauksen tarkkuutta.

Orientaationa: tyypillinen hiuksen paksuus on noin 60–80 μm . Kun kierrät ryhmästä toiseen, auta oppilaita hahmottamaan, mitä se tarkoittaa, esimerkiksi vertaamalla sitä yhteen millimetriin tai heidän käyttämän laserin aallonpituuteen.

DNA:n rakenteen löytyminen

Työohjeen loppuosa on tarkoitettu nopeimmille oppilaille, jotka ovat jo tehneet hiuksen paksuuden määrittäksen. Koe demonstroi, kuinka Franklin, Crick ja Watson kykenivät päättämään DNA:n kolmiulotteisen rakenteen diffraktiokuvion avulla.

Kohdassa 7) esitetään hyvin yksinkertainen kysymys. Se kuitenkin vaatii oppilailta diffraktion ymmärtämistä ja heidän suorittaman kokeen havaintojen hyödyntämistä päättelyssä.

Rosalind Franklin käytti kokeessaan huomattavasti lyhemmän aallonpituuden sähkömagneettista säteilyä. Käytettyä menetelmää kutsutaan 'röntgendiffraktioksi', ja hänen käyttämänsä säteilyn aallonpituus oli noin 0,1–5 nm.

Tietosivu

Kerättyäsi oppilaiden tutkimustulokset ylös, jaa ja selitä heille tietosivu FS07.2.

Tietosivun kuvioiden avulla sinun on helpompaa selittää työohjeen kohdassa 3 esitetty kaava. Yleisesti ottaen kyseessä on samanlainen yhdenmuotoisiin kolmioihin perustuva geometrinen päättely kuin kaksoisraon tapauksessa (ks. WS07.1).

On erittäin epätodennäköistä, että tosielämässä oppilaittesi tarvitsisi koskaan muistaa yhden raon diffraktion kaavaa ulkomuististaan. Mutta heidän tulisi muistaa, että diffraktion avulla voidaan kätevästi analysoida ja mitata hyvin pieniä asioita.

Taustatietoja

Babinetin periaate

Fysiikka ilmiön taustalla on vaikea selittää ja selityksen antaminen vaatii pidemmälle vietyä matematiikkaa. Haluamme oppilaiden muistavan että optisesti toisensa täydentävät (komplementit, joissa ovat toisiaan vastaavat läpinäkyvät ja läpinäkymättömät alueet ja päinvastoin) tuottavat saman diffraktiokuvion – kokonaisintensiteettiä ja diffraktiokuvion keskikohtaa lukuun ottamatta. Maskin läpäisyn jälkeen tulevan säteen kokonaisintensiteetti riippuu kuinka suuri osa tulevasta säteestä ei pääse rakenteen läpi.

Tarkemmin määritellyssä Babinetin periaatteessa maskin läpi menneen kentän summa komplementtisen maskin läpäisseen kentän kanssa tuottaisi alkuperäisen säteen, kuten maskia ei olisi koskaan ollutkaan. Tämä saattaa kuulostaa triviaalilta aluksi. Opiskelijat kuitenkin saattavat kysyä mitä valolle tapahtuu sen levitessä maskin jälkeen. Maskille ja sen käänteiselle vastakappaleelle kirkkaat alueet ovat samat. Intuitiivisesti voisi ajatella että näiden kahden summana ei voida saada yksittäistä pistettä jonka alkuperäinen säde tuottaa ilman maskia. Mikäli kuitenkin yhdistät nämä kentät niin kaikki keskikohdan ulkopuoliset alueet interferoivat destruktiivisesti ja nämä alueet näyttävät tummilta, kun taas keskiosan kirkas piste pysyy. Tästä voidaan päätellä että itseasiassa nämä kaksi diffraktiokenttää eivät ole identtisiä vaan niiden sähkökentät ovat vastakkaisia.

Luku 3 | Hilojen diffraktio ja optinen spektroskopia

Suosittelun rakenne hilojen diffraktiota käsittelevälle oppitunnille

Oppilaat tutustuvat kahteen erityyppiseen diffraktioon hilasta: hilasta heijastuvaan ja hilaan läpi menevään. Oppilaat käyttävät molempia hila-tyyppejä analysoidakseen energiansäästölamppun spektriä.

Aika minuutteina	Toiminto	Materiaali
0 – 5	Johdanto	CD-levyt
5 – 35	Ryhmätyö työohjesta ”Valkoisen värit”	WS07.3 hila <i>Pakettiin sisältyvät:</i> aurionvalo, energiansäästölamppu, läpinäkyvää teippiä, CD-levyjä, sakset
35 – 40	Jaa tietosivut ja keskustelua oppitunnin sisällöstä	FS07.3

Kuvaus suositellusta oppitunnista

Valmistelut

Huomioi että tulostusasetuksissa kaikki sivun sovittamisasetukset ovat poissa päältä tulostaessasi ohjeita. Tulosta työohjeen kolmas sivu paksulle paperille, jos mahdollista.

Valmistele muutamia energiansäästölamppuja ennen oppituntia. Parasta on, jos niissä ei ole varjostinta, ja lamppujen tulisi olla asetettavissa lähelle pöytäpintaa. Tämä tekee työohjeen viimeisen kokeen suorittamisesta huomattavasti helpompaa.

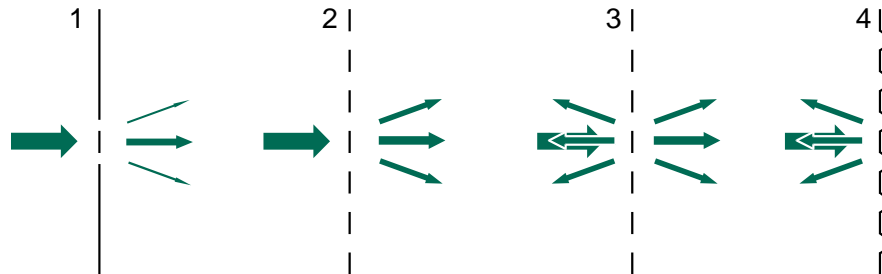
Johdanto

Käytä muutama ensimmäinen minuuttia siihen, että muistuttelet oppilaiden mieliin kaksoisrakokokeessa havaittuja asioita. Ohjaa kysymysten avulla oppilaat ymmärtämään, että diffraktiokulma riippuu aallonpituudesta, ja että tätä voidaan hyödyntää eri aallonpituuksien tunnistamisessa.

Jaa oppilaille CD-levyt ja anna heille pari minuuttia aikaa tutkia sen muodostamia värirenkaita. Kykenisvätköhän oppilaasi yhdistämään tämän ilmiön juuri kerrattuihin ilmiöihin kaksoisrakokokeessa?

Työohje ”Valkean värit”

Jaa oppilaille työohjeet WS07.3 ja keskustelkaa johdannosta oppilaiden kanssa. Voit sitten havainnollistaa heille kaksoisraosta ja CD-levystä tapahtuvan diffraktion välistä yhteyttä parilla nopealla piirustuksella:



- 1) Diffraktio kaksoisraon tapauksessa: Vain pieni määrä valoa läpäisee raot ja diffraktiokertaluvut ovat hyvin heikkoja;
- 2) Hilan diffraktio: Valoa pääsee hilan läpi enemmän, joten diffraktiokertaluvutkin ovat kirkkaammat;
- 3) Jos hilan pinta on heijastavaa materiaalia, diffraktiokertaluvut voidaan nähdä myös heijastuksesta; ja
- 4) CD-levyissä on pieniä kuoppia pitkällä spiraalimaisella uralla, niin että kierrosten väli on täsmälleen $1,6 \mu\text{m}$. Kuopat on suunniteltu niin, että laser-säteestä heijastuu niistä kohdista vähemmän valoa takaisin kuin muualta (tämä heijastuneen valon intensiteettivaihtelu sisältää digitaalisen informaation). Urien säännöllisyyden takia CD-levy käyttäytyy kuin ympyrämainen, heijastava hila.

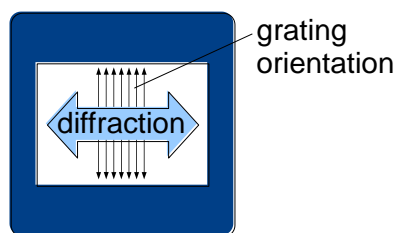
CD-levy spektrometrinä

Näytä oppilaille, kuinka CD-levyä voi käyttää valonlähteen spektrin laadulliseen määrittämiseen. Työohjeen kohdassa 2) oppilaiden tulisi huomata, että auringonvalon (ja hehkulampun, jos sinulla vielä sellainen on) spektri on jatkuva, kun taas energiansäästölampulla se on epäjatkua ja koostuu erillisistä kaistaleista. Värikaistaleiden määrä ja niiden keskiaallonpituudet riippuvat lampun mallista; yleisimmin värit ovat punainen, oranssi, vihreä, turkoosi ja tumman sininen.

Spektrometrin rakentaminen

Kohdassa 6) oleva kuvio havainnollistaa konstruktiivista interferenssiä ensimmäisen diffraktiokertaluvun tapauksessa. Vasemman puoleisen kuvan keskellä voit nähdä, kuinka aaltorintamaan muodostuu viivettä, kun se läpäisee hilan optisesti pidemmän osan. Oikeassa reunassa oleva kuva havainnollistaa samaa asiaa, mutta suuremmalla aallonpituudella, mikä aiheuttaa suuremman diffraktiokulman.

Kysymys kohdassa 7) on tarkoitettu pienen, mutta käytännöllisen tiedon muistutukseksi oppilaillesi: diffraktiokuvio muodostuu lineaariselle hilalle kohtisuorasti hilan uriin nähden. Soveltaakseen tätä tietoa CD-levyyn voit kysyä oppilailtasi, missä suunnassa CD-levyn koloja sisältävät urat ovat (kuin pitkänä spiraalina aivan kuin LP-levyissä, mutta pienempänä).



Työohjeen kolmannella sivulla oppilaasi saavat rakentaa omat spektrometrinsä. Tämä koe havainnollistaa spektrometrin toimintaperiaatteita ja antaa oppilaille mahdollisuuden soveltaa tietoja, joita he ovat oppineet kvantitatiivisista mittauksista. Koeasetelma – erityisesti sen geometria – on suunniteltu fysiikan ja matematiikan kannalta mahdollisimman yksinkertaiseksi ja selkeäksi kuin vain mahdollista. Tämän takia laitteiston mittaustarkkuus rajoitettu, ja jopa erittäin tarkasti suoritetuissa mittauksissa mittaustulos saattaa vaihdella oikeasta arvosta noin 10 nm.

Ihannetilanteessa energiansäästölamppu on vain muutaman senttimetrin pöytäpinnan yläpuolella. Pyydä oppilaitasi asettamaan heidän spektrometrinsä pöytäpinnalle lähelle pöydän reunaa. Jos leikatun kolmion takana ei olisi läpinäkyvää teippiä, siitä tulevan valon tulisi osua mitta-asteikolla 7 cm merkkiin.

Nopeimmille oppilaille

Nopeimmat oppilaasi voivat arvioida mittauksen tarkkuutta. Mikä siihen vaikuttaa? Mihin niistä voidaan ja mihin ei voida vaikuttaa ottamalla keskiarvo useasta mittauksesta? Osaavatko he määritellä tyypillistä mittausepävarmuutta prosentteina ja/tai nanometreinä?

Taustatietoa

Energiansäästölamppujen “valkea” valo

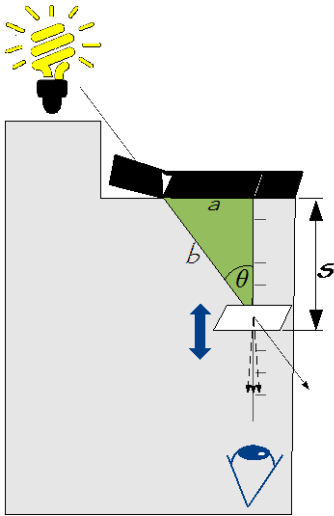
Energiansäästölamput tuottavat valoa kaasupurkauksen avulla: elektroneja kiihdytetään sähkökentän avulla ionisoidussa kaasussa. Kun kiihdytetyt elektronit törmäävät ionien kanssa, niiden liike-energia virittää ioneja, jotka palautuessaan perustilalle vapauttavat energiaa sähkömagneettisena säteilynä. Tämä säteily on kuitenkin ultraviolettivaloa (aallonpituus 254 nm). Se ei ole sopivaa huoneen valaisemiseksi ja lisäksi se on silmille haitallista. Ultraviolettisäteilyn absorboimiseksi putken sisäpinta on päällystetty fluoresoivalla fosforyhdisteellä, joka emittoi absorboituneen energian näkyvän valon aallonpituuksilla. Erilaiset fosforyhdisteet emittoivat eri aallonpituuksia, tarkemmin ottaen niitä, jotka oppilaasi havaitsivat kohdassa 6). Fosforyhdisteiden keskinäinen suhde määrittelee lampun lähettämän valon värin esimerkiksi ‘lämpimämmäksi’ (oransimmaksi) tai ‘kylmemmäksi’ (sinisemmäksi) valkoiseksi.

Jokaisella valmistajalla on oma ‘reseptinsä’ fosforyhdisteiden suhteelle, joka voi vaihdella eri tuotantolinjojen välillä. Tämän takia eri lamppujen spektrit eivät ole samanlaisia. Näin ollen alla esitettyä yhden lampun mittaustietoja voidaan käyttää vain karkeasti suuntaa antavina (mittaus on suoritettu ammattilaiskäyttöön tarkoitettulla spektrometrillä).

Väri	Keskiaallonpituus
punainen	612 nm
oranssi	useita heikkoja viivoja, n. 575 – 595 nm
vihreä	546 nm
turkoosi	487 nm
tumman sininen	436 nm

Aallonpituuden määrittäminen kohdassa 11) annetun kaavan avulla

Saatat pohtia, onko kohdassa 11) käytetty kaava vain approksimaatio erityisesti, koska valon tulokulma ei ole kohtisuora hilaan nähden. Kuten alla oleva selitys osoittaa, kaava tuottaa itse asiassa tarkan tuloksen.



Todella tarkka malli vaatisi vaativampaa matematiikkaa (Fresnel-Kirchhoff:n integraalin ratkaisemista). Kuitenkin useimmissa tilanteissa geometrinen malli – jota käytetään koulukirjoissa – antaa riittävän tarkan tuloksen. Tämän mallin mukaan hilayhtälö tulokulman funktiona diffraktiokuvion maksimeille on:

$$\sin(\alpha_m) = \sin(\theta) + m \frac{\lambda}{d}$$

missä d on hilajakso, λ aallonpituus, m diffraktiokertalukujen määrä ja α_m m :nen diffraktiokertaluvun kulma hilan normaaliin nähden. Tässä koeasetelmassa tarkastelemme vain ensimmäistä, normaalin suuntaista, diffraktiokertalukua niin, että $\sin \alpha_1 = 0$. Näin ollen kaava supistuu muotoon:

$$\frac{\lambda}{d} = \sin(\theta) = \frac{a}{b}$$

missä $\sin(\theta)$ on hypotenuusan vastaisen kulman suuruus (a : leikatun kolmion etäisyys mitta-asteikon viivasta; b : leikatun kolmion etäisyys mitta-asteikolla olevasta hilasta).