

## **Viikon 2, maanantain esitehtävä:**

**Miten sironta käytännössä aiheuttaa aaltoilmiöitä kvanttitasolla? Itselleni termi on lähinnä tullut vastaan esim. Comptonin sironnasta sekä röntgen- ja hiukkasdiffraktion yhteydessä. Comptonin sironnassa lukion selitys on kimmoisa törmäys fotonin ja elektronin välillä, jossa elektroni saa osan fotonin liike-energiasta ja fotonille jää osa. Muistaakseni entinen fysiikan opettajani kuitenkin sanoi ilmiössä alkuperäisen fotonin absorboituvan ja kiihtyvässä liikkeessä olevan elektronin emittoivan uuden fotonin. Onko näin, ja miten tällainen malli pystyy selittämään säännöllisyyden sironneiden fotonien suunnassa (vai selittykö tämä pelkästään interferenssin kautta)?**

Röntgendiffraktiossa emittoituneiden fotonien suunta tulee nimenomaan interferenssi-ilmiönä monen atomin emittoidessa samanlaisen fotonin. Mutta jos valon aallonpituus on suurempi kuin atomien välinen etäisyys, niin tällainen 'erillisten atomien' kuva (kuten Science Asylum videolla esitettiin) ei itse asiassa toimi, vaan fotonin emissio pitää kyllä ymmärtää kollektiivisena monen atomin efektinä. Mutta jos aallonpituus on riittävän lyhyt (kuten röntgendiffraktiossa) niin silloin tuo emissiokuva toimii ihan hyvin.

**Tulipahan polarisaatiosta mieleen, että miten polarisaatiosuodattimet oikeastaan toimivat? Miten voidaan suodattaa tietyssä tasossa(?) värähtelevää osaa aallosta pois?**

Hyvä kysymys. Useimmat molekyylit vuorovaikuttavat valon kanssa eri tavoin riippuen siitä miten päin sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttä on suunnattu (suhteessa molekyylin asentoon). Polarisaatiosuotimissa molekyylit ovat jollakin tavoin kaikki 'samoin päin', jolloin saadaan valon polarisaatiosta riippuva efekti. Sen enempää en tiedä käytännön suotimista.

**esim. fosforesenssin tapauksessa, mitä tapahtuu aineen sisällä?**

Fosforesenssissä aineen atomit absorboivat ensin saapuvaa valoa, jolloin atomien (uloimmat) elektronit virittyvät jollekin viritystilalle (lisää atomirakenteesta myöhemmin kurssilla!). Kun viritystila purkautuu, lähettää atomi valoa.

Tuo viritystila saattaa olla kuitenkin hyvinkin pitkäikäinen, eli sen purkautumisessa saattaa kestää pidempi aika. Monesti se myös purkautuu useamman vähempienergisemmän viritystilan kautta, jolloin atomin lähettämä valo on energialtaan vähäisempää, eli sen aallonpituus on pidempää. Viritystilan 'elinaikaan' vaikuttaa moni asia, mutta yksi tärkeä tekijä on eri tilojen 'samankaltaisuus', eli kuinka samanlaisia tilojen (orbitaalien) aaltofunktiot ovat.

Erityisesti fosforesenssissä ulkoisen valon virittämä atomi nousee jollekin viritystilalle. Tuo tila on pääsääntöisesti lyhytikäinen (muutoin atomi ei sinne virittyisi), mutta se lähettää fotonin ja laskeutuu toiselle mutta pidempi-ikäiselle viritystilalle. Koska tuo viritystila on pitkä-ikäinen, vapauttaa aine valoa hitaasti. Tämä ilmiö on fosforesenssi.

**Aiheesta ei tullut kysymystä, mutta minua mietitytti hieman että tulisiko tässä kohtaa panostaa erityisesti siihen että oppii näitä asioita englanniksi vai jatkuuko opetus suomenkielisenä fysiikan kursseilla myös ensivuonna?**

Hyvä kysymys. Fysiikan opetus jatkuu toisena vuonna suomeksi, mutta kuten tähänkin asti, ovat kurssikirjat ja muut opetusmateriaalit suurimmaksi osaksi englanniksi. Olen aika varma että terminologia tulee näin ollen tutuksi sekä suomeksi että englanniksi.

**Eräs asia, joka on pitkään kiinnostanut minua: mistä atomitasolla jonkin väliaineen tietynlainen taitekerroin johtuu?**

Hyvä kysymys! Käsitellään aihetta vähän luennolla. Mutta lyhyesti kyse on aineen sähköisistä ominaisuuksista: kaikki aine koostuu varatuista hiukkasista. Aineen elektronit vuorovaikuttavat ulkoa tulevan sähkömagneettisen säteilyn kanssa, mikä aiheuttaa jonkinlaisia varausjakauman muutosta aineessa. Tämä varausjakauman muutos synnyttää sähkökentän, joka yhdistettynä tuon saapuvan sähkömagneettisen säteilykentän sähkökentän kanssa muodostaa tavallaan 'hitaammin etenevän sähkökentän'. Vastaavat efektit myös magneettikentälle. Ja taitekerroin on vain mitta tuolle kentän etenemisnopeudelle.

**Se, mitä en Science Asylumin videolla täysin ymmärtänyt, on että miksi suurin osa valosta menee sinne, missä  $m=0$ , eli pätee  $d \cdot n_1 \cdot \sin(\theta_1) = d \cdot n_2 \cdot \sin(\theta_2)$**

Hyvä! Luulen että Nick Lucid yksinkertaisti asioita hieman liikaa :) Ei hän varsinaisesti väärässä ole, sillä sirontateoria on yksi tapa käsitellä nimenomaan valon vuorovaikutusta materian kanssa. Ongelmana hänen sirontakuvassaan on se, että atomien etäisyys toisistaan kiinteässä aineessa on monta suuruusluokkaa pienempi kuin valon aallonpituus. Lisäksi esimerkiksi nesteissä (vesi?) molekyylit eivät muodosta säännöllistä hilaa, jolloin tuollainen vierekkäisten molekyylien lähettämän aallon interferenssikuvio on hieman harhaanjohtava malli. Videon malli on kuitenkin oikein jos tarkastellaan vain yhden atomin paksuista säännöllistä rakennetta. Kyseessä on silloin diffraktiohila, joka nimenomaan muodostaa kaikki nuo sivumaksimit. Mutta silloin säteily joka etenee 'hilan takana', eli se ei enää kuljekaakaan tuossa toisessa väliaineessa (koska se oli vain yhden atomin paksuinen kerros!). Ihan en ole varma miten Nickin sirontamalli saataisiin luontevasti korjattua. Veikkaisin kuitenkin että meidän pitäisi ottaa huomioon sironnat myös syvemmillä olevista atomikerroksista. Nuo lisäsironnat kenties kadottaa nuo 'sivumaksimit'. Mutta ehkä on vain parempi tehdä toisenlainen malli :)

**Kuinka ohut rako tai kappale pitäisi olla, että ei huomaisi diffraktioilmiötä, eli valo ei taittuisi kun se törmää kappaleeseen (vai onko se edes mahdollista)?**

Mitä ohuempi rako, sitä vähemmän sen läpi pääsee valoa, joten alarajan raon ohuudelle asettaa valoerotuskykyysi. Mutta diffraktioilmiön kannalta oleellista on että rako ei ole liian leveä. Mitä leveämpi rako, sitä heikompi tuo diffraktio on. Oleellinen suuruusluokka tässä valon

aallonpituus, joten raon pitää olla suuruusluokaltaan aallonpituuden luokkaa jotta ilmiön voi nähdä (auttaa myös jos valo on monokromaattista). Esteen kanssa on sama juttu, mutta nyt koitat havaita esteen heittämää varjoa. Este on tavallaan käännteinen rako.

**Kysymykseksi ehkä jäi hieman typerämpi kysymys, mutta onko viimeisen videon demossa käytettävässä vesiastiassa erityisempiä ominaisuuksia vai voisiko kuka tahansa tehdä saman demon millä tahansa astialla, jossa on tarpeeksi pienet reiät ja tarpeeksi hyvä tiivistys?**

Ei kai tuohon mitään erityistä tarvita. Voisin itse asiassa tehdä siitä demon ensi vuoden kurssilla, kun se on aika suoraviivainen. Ainoa tarvittava asia mitä videosta ei ehkä heti huomaa on punaiset ledit sangon pohjaan mutta ne eivät ole itse kokeen kannalta mitenkään tärkeitä.

**Kysymys aiheesta. Vaikka videolla All optics is scattering väitetään, että kaikki optiikka perustuu sirontaan, niin on mielestäni tavallisella taittumisella ja esimerkiksi fosforesensilla iso ero. Huomattavin ero on ehkä, että taipumisella valon suunta on lähes yksisuuntainen kun taas fosforesenssi vapauttaa valoa kaikkiin suuntiin. Myös valon taajuus muuttuu fosforesenssissa, mitä ei tapahdu taitumisessa. Kysymys kuuluukin, että miksi videolla väitetään ilmiöiden olevan samat, vai onko siinä jätetty mainitsematta jotain oleellista, mikä toisi nämä ilmiöt lähemmäs toisiaan?**

Science asylum tarkoittaa sitä, että kaikki nuo optiset ilmiöt voidaan käsittää sironnan kautta. Sironta on yksi tapa tarkastella hyvin laajaa ilmiöjoukkoa ja se tosiaan sopii kaikkeen optiikkaan ja itse asiassa kaikenlaiseen kappaleiden väliseen vuorovaikutukseen. Heijastuminen, taittuminen ja taipuminen ovat seurausta monesta kohteesta tapahtuvan sironnan interferenssi-ilmiönä. Mutta sironta sisältää myös prosesseja joissa sirottava kohde muuttaa sisäistä tilaansa (näitä kutsutaan yleisesti epäelastiseksi sironnaksi). Toki se menee vähän sirontakuvan ulkopuolelle että miten tuo kohde sitten lopulta tuon ylimääräisen energiansa vapauttaa, mutta ei tuo fosforesenssi kovin suurta yleistystä sirontaongelmaan edellytä. Mutta myönnettäköön että Science asylum ehkä vähän kärjisti ajatusta, kuten heillä tapana onkin.

**Miksi Laser-säde/pulssi näkyy sivulle päin, jos se kulkee suoraan. Eihän silloin pitäisi tulla valoa sivustakatsojan silmään. Onko tämä vain elokuvatehoste?**

Se ei ole elokuvatehoste, vaikka on mahdollista että videolla on ilmiötä vähän voimistettu. Laser valoa ei tosiaan näe sivulle ellei jokin sirota sitä valoa. Ihan ilman molekyyliäkin jo tuota valoa sirottavat, mutta ilma on sen verran harvaa että sitä ei yleensä huomaa. Vesi näyttäisi videon perusteella sirottavan punaista valoa tarpeeksi että sen näkee sivustapäin. Voi kuitenkin olla että he ovat vähän boostanneet tuota vettä sekoittamalla siihen pienen määrän esimerkiksi maitoa. Maidon molekyylit toimivat tuossa vedessä sitten epäpuhtauksina jotka sirottavat tuota valoa.

**Kysymys ei nyt varsinaisesti liity tähän, mutta videoilla mainittiin, että värit syntyvät, kun esineen elektronit ottavat vastaan fotoneja ja luovuttavat ne melkein heti. Kun elektronien energiatasot sekä fotonien energia ovat kvantittuneet, tarkoittaako tämä (jotta energia säilyy) yksi foton voi "heijastua" aineesta kahtena pidemmän aallonpituuden fotonina? (joiden energioiden summa  $\leq$  vastaanotetun fotonin energia)**

Tarkoitat kysymykselläsi ehkä sitä, että jos valaiset kappaletta 'väärän värisellä' valolla, niin absorboiko elektroni tuon valon säteilykvantteja ja sitten lähettää 'oikean värisen' valokvantin, edellyttäen toki että energian säilyminen jotenkin toteutettua (esimerkiksi juurikin emittoimalla toinenkin säteilykvantti). Pääsääntöisesti näin ei tapahdu. Jos valaiset kappaletta väärän värisellä valolla, niin periaatteessa tuon valon pitäisi mennä aineesta läpi, eli aine olisi läpinäkyvää. Tämä onkin jossakin määrin tilanne kaasujen tapauksessa, jossa molekyyileillä on aika selkeät energiatasot. Molekyyleilläkin tosin nuo energiatasot ovat aika 'leveät', mikä tarkoittaa että ne eivät ole niin kovin kranttuja tuon energian suuruuden kanssa. Nesteissä ja kiinteissä aineissa sen sijaan atomit ovat niin voimakkaasti kytköksissä kavereihinsa, että ne voivat absorboida miltei mitä aallonpituutta tahansa. Siksi meillä on niin paljon läpinäkyvää aineita. Toki jotkin energiatasosiirtymät ovat voimakkaampia kuin toiset, ja näin kappaleilla on jokin tietty väri. Mutta jos valaiset punaista kappaletta vihreällä valolla, niin kappale ei näytä punaiselta eikä oikeastaan vihreältäkään vaan lähinnä harmaalta tai jopa mustalta. Punainen valo tuskin siitä kuitenkaan läpi menee (ellei se nyt satu olemaan juuri läpinäkyvä kappale) vaan todennäköisesti absorboituu.

**Mietin tuolla viimeisellä videolla, miksi laser ei läpäise vesipulloa alussa tai lopussa? Mikä pysäyttää/heijastaa laserin silloin?**

Ah, mainio kysymys! Sehän nimittäin läpäisee pullon niin alussa kuin lopussakin. Mutta koska laservalo on hyvin tarkasti suunnattua, niin jos ei ole mitään mikä valoa sirottaa niin me emme näe laservalon 'sädettä' muualla kuin sitten sen päätepisteessä (seinässä, mitä ei näytetty). Ei itse asiassa ole ihan selvää miksi tuo pullossa oleva vesi sirottaa tuota valoa, eli miksi näemme tuon lasersäteen pullon sisällä olevassa vedessä ja tietenkin siinä suihkuavassa vesipatsaassa. Vesi on tietenkin paljon ilmaa tiheämpää, joten se varmasti sirottaa tuota laservaloa enemmän. Voi myös olla että vesi sirottaa punaista valoa erityisen hyvin (en tiedä). Tai sitten on myös mahdollista että veteen on sekoitettu ihan hieman esimerkiksi maitoa, jonka molekyylit toimivat vedessä valoa sirottavina epäpuhtauksina.

**Yksi kysymys tuli mieleen liittyen interferenssiin. Otetaan esimerkki: meillä on lamppu joka säteilee jos jonkin sortista säteilyä, monella aallonpituudella ja monessa vaiheessa. Sitten tuodaan toinen samanlainen lamppu ensimmäisen lampun viereen. Kysymys kuuluukin: miksi nämä kaksi lamppua oikeastaan ovat yhdessä kirkkaammat kuin yksi? Eikö kaiken kaikkiaan pitäisi tulla yhtä paljon konstruktivista ja destruktivista interferenssiä?**

Hyvä kysymys. Interferenssi ei ole tässä tapauksessa oleellista. Koska kyseessä on kaksi erillistä toisistaan riippumatonta valonlähdettä, niin niiden lähettämien sähkömagneettisten kenttien (valon) välinen vaihe-ero ei ole hyvin määritelty vaan se on käytännössä satunnainen. Toki yksittäiset säteilykvantit saattavat olla välillä vastakkaisessa vaiheessa ja välillä samassa vaiheessa, mutta kokonaissäteilyteho määräytyy jonkinlaisesta keskimääräisestä vaihe-erosta. Mutta ehkä vastaus kysymykseesi on helpompi nähdä jos oletammekin että valonlähteet ovat koherentit, jolloin saamme oikeasti jonkinlaisen interferenssikuvion aikaiseksi. Kysymys kuuluu nyt, että onko tämän interferenssikuvion yli keskiarvoistettu teho kaksi kertaa suurempi kuin yhden valonlähteen teho vai onko energiaa kadonnut jonnekin. Tämä pitäisi toki laskea, mutta näin karkeasti jos oletamme että puolet interferenssikuvioista on sellaista missä säteilykenttien sähkökentät kumoavat toisensa ja toinen puoli sellaista missä säteilykentät tuplaavat toisensa. Nyt energiatiheys on sähkökentän neliö, mikä tarkoittaa että tuossa puolikkaassa interferenssikuviossa jossa sähkökenttä on kaksinkertainen on energiatiheys nelinkertainen ( $2^2=4$ ). Jos integroidaan yli interferenssikuvion (vain puolessa näkyy valoa), saadaan kokonaisenergiaksi kaksi kertaa yhden säteilylähteen energia. Tämä ehkä myös nyt selventää mitä energialle tapahtuu silloin kun valonlähteet eivät ole koherentit (kuten ehdottamassasi skenaariossa).

### **Liittyykö viimeinen video jotenkin valokuitukaapelin toimintaperiaatteeseen?**

Ehdottomasti! Valokuitukaapelissakin valosignaali etenee häviöttä juuri siksi, että valo kokonaisuudessaan kaapelin reunoista. Tässä on erinomainen AT&T:n video vuodelta 1978 aiheeseen liittyen. Tuolloin valokaapelitekniikkaa vasta kehitettiin Bell labsissa.  
<https://www.youtube.com/watch?v=gf2J3HTYUHE>

### **Viikon 2, keskiviikon esitehtävä:**

**Viimeinen video oli mielestäni todella hieno ja tuli mieleen, että voiko levyille syntyviä kuvioita, jotenkin ennustaa taajuuden ja levyn materiaalin perusteella?**

Voi. Kyseessä on levyn ominaisvärähtelytaajuus. Olette jo ratkoneet näitä ominaisvärähtelyongelmia yhdessä ulottuvuudessa kun viikolla 1 tarkastelitte kitaran kielen värähtelyä. Saamanne seisovien aaltojen värähtelytaajuudet olivat kitaran kielen ominaisvärähtelytaajuuksia. Chladnilevyissä on kyse ihan samasta asiasta ja ne itse asiassa ratkotaankin pitkälti samaan tapaan, mutta erona on nyt se että tilanne on kaksiulotteinen.

### **Miten yhden raon diffraktiokuvio oikeastaan syntyy?**

Hyvä kysymys! Käsitellään sitä hieman luennolla mutta lisäksi teillä on tästä laskuharjoitustehtävä, joten uskon yhden raon diffraktion tulevan ihan tutuksi. Ja kannattaa lukea kirjaa, se on ihan hyvin esitetty siellä.

**Huygensin periaatteen mukaan jokainen aaltorintaman piste on uuden aaltorintaman alkupiste. Mutta eikö sama päde myös tälle uudelle aaltorintamalle? Ja tämän aaltorintaman aiheuttaman aaltorintaman aiheuttamalle aaltorintamalle.. jne? :D Tuleeko tästä aaltorintamien sekamelska, vai kumoavatko ne toisensa jotenkin nästisti pois?**

Pätee juu. Periaatteessa ne varmaankin kumoavat toisensa. Käytännössä emme kuitenkaan käytä Huygensin periaatetta laskennallisena työkaluna vaan intuition tukena, joten emme varsinaisesti jää pohtimaan näitä mallin mahdollisia ongelmia.

**Miten tarkalleen ottaen viimeisessä videossa esiintyneet kuviot muodostuivat? Miten läheisillä taajuuksilla muodostuneet kuviot kuitenkin erosivat toisistaan niin paljon?**

Chladnilevyjen kuviot aiheutuvat levyn ominaisvärähtelyistä. Eli levyllä on muodosta, materiaalista ja kiinnityspisteestä riippuvia erilaisia ominaisvärähtelytaajuuksia, jotka vastaavat aina tietynmuotoisia kaksiulotteisia seisovia aaltoja. Karkeasti ottaen ominaisvärähtelytaajuus nousee aina kun aaltoon lisätään uusi noodi, eli nollakohta. Mutta kahdessa ulottuvuudessa tuon noodin voi lisätä hyvin monella tavalla, mikä tarkoittaa että ensinnäkin noita värähtelytaajuuksia on paljon ja ne voivat olla hyvinkin erinäköisiä vaikka taajuuden suuruus ei paljoa kasva. Kyse on ihan vain siitä, että kahdessa ulottuvuudessa 'vapausasteita' on selkeästi enemmän kuin yhdessä ulottuvuudessa, niin kuin esimerkiksi kitaran kielen värähtelyssä.

**Olen itseasiassa miettinyt onko Huygensin periaatteen takana joku syvällisempi syy miksi aallot käyttäytyvät tällä tavoin? Onko tällainen käyttäytyminen teoriansikin kannalta välttämätöntä, vai perustuuko tuo pelkästään empiirisiin havaintoihin? Joissakin tapauksissa, kuten ääniaaltojen osalta (paineen vaihtelu) tällainen käyttäytyminen tuntuu aika intuitiiviselta, mutta jostain syystä valon kohdalla se ei tunnu läheskään niin selvältä. Mielestäni on myös hämmentävää, että fotonilla voidaan ajatella olevan jokin tietty määrä energiaa, mutta samaan aikaan se voi käyttäytyä aaltona joka etenee joka suuntaan palloaallon tavoin. Vai onko niin ettei vastaavia ilmiöitä voida havaita yksittäisen fotonin tapauksessa? En siis tiedä onko edes käytännössä mahdollista testata yhden fotonin lähettämistä raon läpi, mutta jos näin tehtäisiin niin havaittaisiinko vastaava diffraktiokuva ja mitä fotonin energialle tapahtuisi jos vastaava kuvio voitaisiin havaita? :D**

:D Mainiota! Huygensin periaatteen voi ymmärtääkseni jotenkin 'johtaa' aaltoyhtälöstä. Mycoursesissa on viikko 2 sivulla jokin artikkelikin, jossa tätä matemaattista yhteyttä on jotenkin koitettu rakentaa, joskin minusta Huygensin periaate on kyllä ihan vain intuition tukena oleva malli eikä tuo matemaattinen koneisto ole minusta tärkeä.

Diffraktiokuva syntyy myös yksittäisen fotonin tapauksessa, joskin tilastollisessa mielessä, eli fotoni päätyy aina vain yhteen paikkaan mutta kun riittävän monen yksittäisen fotonin paikka määritetään saadaan jakaumaksi sama diffraktiokuva. Ja sama pätee myös (yksittäisiin) elektroneihin, neutroneihin, atomeihin, molekyyliin, jne. Lisää tästä kurssin kolmannella viikolla!

**Viimeisestä videosta tuli mieleen, onko mahdollista että levy värähtelee ylös alas siten, että kaikki tason pisteet ovat samassa vaiheessa. Millaisia kuvioita sitten syntyisi, kun seisovan aallon värähtelyn nollakohtia ei ole?**

Periaatteessa olisi kai mahdollista että levy kokonaisuudessaan hyppisi ylös alas, mutta se edellyttää että sen kiinnitys olisi jotenkin erilainen. Videon tapauksessahan kiinnitys on levyn keskikohdassa ja levyä täritytetään tuosta kiinnityspisteestä. Tämä tietyllä tavalla rikkoo symmetrian, koska esimerkiksi levyn reunoille tuo värinä siirtyy itse levyn kautta, eli keskiruuvi nimenomaan synnyttää levyyn jonkinlaisia eteneviä ääniaaltoja. Mutta voisi sitä varmaan keksiä jonkinlaisen viritelmän jolla tuo kiinnitys saadaan koko levynlaajuiseksi. Tällöin ei minusta siihen pitäisi syntyä mitään kiinnostavia kuvioita.