

Valo ja sähkömagneettinen aaltoliike

Valon havaitseminen, lähteet, havaittavat ominaisuudet

Valon havaitseminen. Luonnollisesti ihmisen silmä havaitsee valoa, ja näköaistimuksesta syntyy aivoissa jäsentyneitä havaintoja. Silmän verkkokalvolla on valolle herkkiä sauva- ja tappisoluja. Kameran kuvakenno reagoi valoon ja tuottaa kuvan samaan tapaan kuin silmä. Valodiodin, valotransistorin ja valovastuksen kyky johtaa sähköä muuttuu valon kirkkauden mukaan. Valokenno tuottaa valossa sähköenergiaa, joten epäilemättä valoon liittyy jokin energian muoto.

Esine jonka voi nähdä, lähettää valoa. Valonlähde voi olla joko aktiivinen jolloin se itse tuottaa valoa (Aurinko, lamput...) tai passiivinen, jolloin lähde lähettää edelleen siihen osuvaa valoa.

Valon ominaisuuksien tarkastelun pitää alkaa näköaistilla havaittavista ominaisuuksista. Niitä ovat valon väri ja voimakkuus.

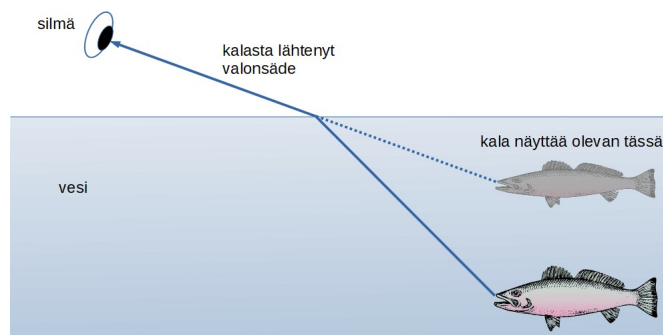
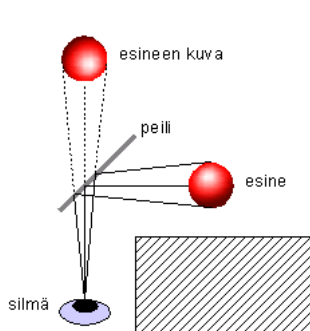
Valkoisella valolla valaistussa huoneessa voidaan nähdä paljon esineiden, kuvien tms. värejä. Laservalolla valaistussa huoneessa taas nähdään vain laserin väriä ja mustaa. Tästä voi päätellä, että valkoinen valo sisältää monen eri väristä valoa, laserin valo taas sisältää vain yhtä väriä jota passiivinen valonlähde ei pysty muuttamaan.

Valon suoraviivainen kulku, suunnan muuttuminen

Valo kulkee suoraviivaisesti homogeenisessa aineessa. Tämä voidaan havaita tarkastelemalla kapeita valojuovia (esim. laservalo), esineiden varjoja (pistemäinen valonlähde antaa terävän varjon), näköhavaintoja (tunnustelemalla suoraksi havaittu esine myös näyttää suoralta)... Jos valon reitillä on kahden aineen rajapinta, tai saman väliaineen ominaisuudet (esim. tiheys) muuttuvat, valon suunta voi muuttua.

Heijastuminen ja taittuminen ja kokonaisheijastus on paras näyttää ensin valonsäteellä, esimerkiksi sädeoptiikkasarjan avulla. Vasta sitten voi esitellä näköhavaintoja jotka selittyvät ko. ilmiöiden avulla (airon näennäinen taittuminen vedessä, kangastukset...).

Esine näkyy, kun siitä lähtenyt valo osuu katsojan silmään. Jos valon suunta muuttuu matkalla, esine tai sen osa nähdään eri suunnassa kuin missä se todellisuudessa on. Suunnan muutos tapahtuu vain jos valon reitillä olevan väliaineen ominaisuudet muuttuvat. Tämä voi tapahtua selkeässä rajapinnassa aineen muuttuessa toiseksi, tai vähitellen esim. aineen tiheyden muuttuessa.



Huomautus: usein esitetään klassikkokokeiden "[katoava kynä koeputkessa](#)" ja "[katoava kolikko](#)" selitykseksi kokonaisheijastusta. Kummassakin kokeessa tapahtuu kokonaisheijastus, mutta "katoamiset" eivät johdu siitä, vaan esineestä lähtevän valon taittumisesta niin, ettei valo osu katsojan silmään.

Valon aaltoluonne

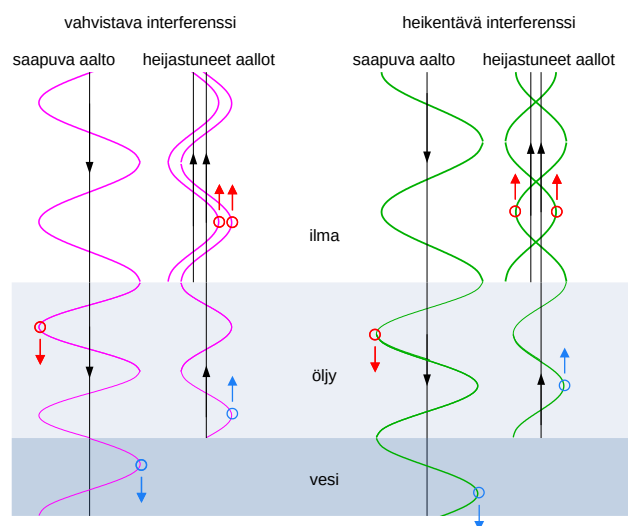
Tarkoituksena on havaita, että valolla esiintyy samoja ilmiöitä kuin esim. veden pinta-aalloilla. Näin osoitetaan valo aaltoliikkeeksi, vaikka havainto "aaltoilusta" puuttuu.

Diffraktio. Kokeita kaksoisraolla ja hilalla. Yksivärisellä valolla syntyy samanlainen diffraktio kuin vesiaalloilla. Valkoinen valo hajoaa värillisiksi valoiksi, jotka voidaan sylinterilinsillä koota takaisin valkoiseksi valoksi.

Johtopäätös: valo on aaltoliikettä, värillä on yhteys aallonpituuteen. Vesiaalloilla havaittiin että mitä pitempi aallonpituus sitä enemmän aallot taipuvat; tähän vedoten voidaan päätellä eri väristen valojen aallonpituusjärjestys (punaisella pisin aallonpituus, violetilla lyhin).

Interferenssi. Tilanteissa joissa valo heijastuu kahdesta lähellä toisiaan olevasta rajapinnasta, esiintyy väri-ilmiöitä: saippuakuplan värit, öljykalvo veden pinnalla, [Newtonin renkaat](#). Selitys: rajapinnoista heijastuneet valot interferoivat niin että tietyt aallonpituudet vahvistuvat ja toiset heikkenevät.

Dispersio. Suunnataan valkoista valoa prismaan, havaitaan valon taittuessaan hajoavan eri värisiksi valoiksi. Värit ovat samat kuin diffraktiossa syntyvät, joten ilmeisesti eri aallonpituudet taittuvat hieman eri määrän. Värien ovat käänteisessä järjestyksessä verrattuna diffraktioon, joten päätellään lyhytaaltoisen valon taittuvan voimakkaammin kuin pitkäaaltoisen.



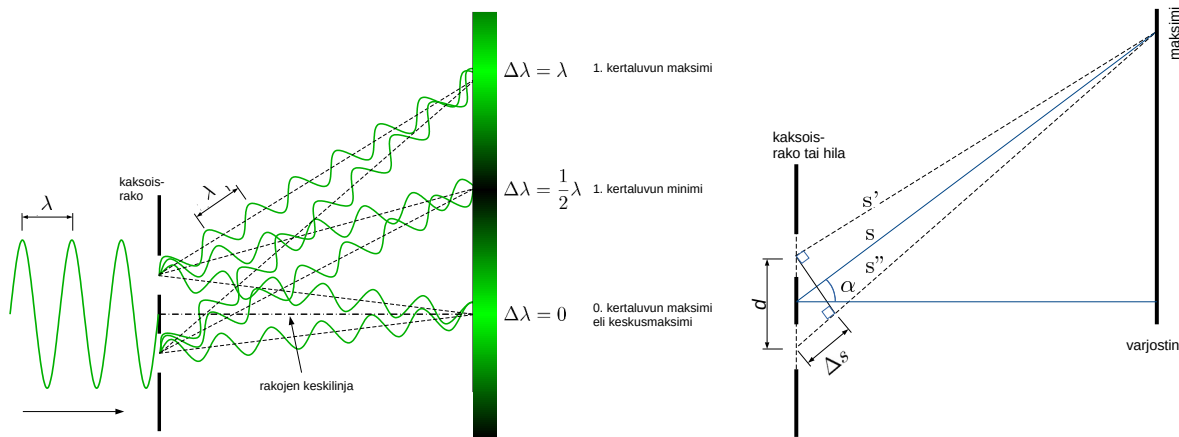
Polarisaatio. Luonnossa ei juuri esiinny ilmiöitä joissa polarisaation voisi havaita ilman teknisiä apuvälineitä, siksi tarkastelun voi aloittaa polarisaatiosuotimilla. Laitetaan suotimet peräkkäin eri kiertokulmilla, tarkastellaan siroannutta ja heijastunutta valoa polarisaatiosuotimen läpi. Havaitaan intensiteetin vaihtelu kun suodatinta kierretään. Koe osoittaa, että valolla on jokin ominaisuus joka liittyy etenemissuuntaan nähden kohtisuoraan suuntaan. Selittävä malli: valo on poikittaista aaltoliikettä ja kyseinen ominaisuus on aaltoliikkeen värähtelyn suunta – mikä valossa värähtelee, sitä emme vielä tiedä. Tavallisten valonlähteiden valo ilmeisesti värähtelee kaikkiin suuntiin, polarisaatiosuodin suodattaa siitä pois kaikki muut paitsi yhden värähtelysuunnan. Koska heijastunut ja siroannut valo ovat ainakin osittain polarisoituneita, näissä ilmiöissä tapahtuu jotain joka tuottaa enemmän tiettyyn suuntaan värähtelevää valoa.

Huom! Polarisaatiosuunta on periaatteessa sopimuksenvarainen asia siihen asti kunnes valo tunnistetaan sähkömagneettiseksi aaltoliikkeeksi. Jos on ihan pakko kiinnittää suunta tässä vaiheessa, niin voidaan sopia että eristeainepinnasta heijastunut valo on polarisoitunut suuntaan joka on kohtisuorassa sekä tulevan että heijastuneen säteen kanssa.

Kvantifiointi ja kvantitatiiviset kokeet

Yksivärisen valon aallonpituuden määrittäminen

Vesiaaltokokeiden pohjalta voidaan johtaa laki diffraktiomaksimien suunnille: $d \sin \alpha = n\lambda$ jossa d on hilavakio, θ on diffraktiokulma ja n on maksimin kertaluku.

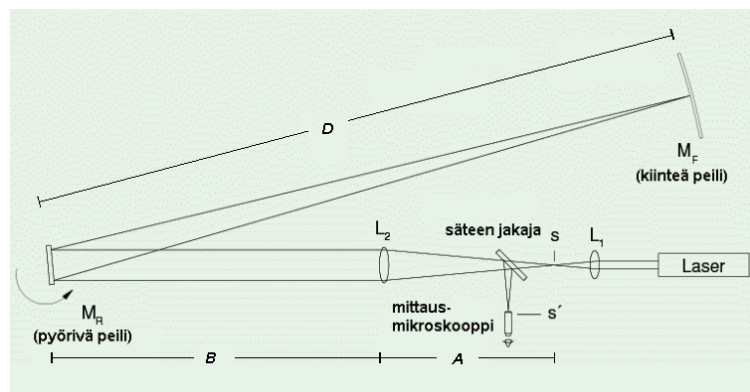


Varioidaan hilavakiota, piirretään tietyn värin 1. kertaluvun maksimeista kuvaaja $\left(\frac{1}{\sin \alpha}, d\right)$. Pisteet osuvat suoralle. Toistetaan koesarja muutamille eri väreille, saadaan myös suorat joilla on eri kulmakertoimet. Suoran kulmakerroin on aallonpituus.

Valon nopeuden mittaaminen Foucaultin menetelmällä

Valon nopeuden mittaamiseen on käytettävissä [laitteisto](#), joka perustuu Foucaultin pyörivän peilin menetelmään. Toimintaperiaate selviää tarkemmin [käyttöohjeesta](#).

Lasersäde heijastuu pyörivästä peilistä kiinteän peilin kautta takaisin pyörivään peiliin, joka ehtii kääntyä hieman sinä aikana kun valo kulkee peilien välillä. Tästä syystä pyörivästä peilistä mittausspektroskoopiin heijastuvan valon muodostama valoläikkä siirtyy, ja siirtymä on sitä suurempi mitä nopeammin peili pyörii.



Ohjeet laitteiston kokoamiseen ja mittausten suorittamiseen ovat [käyttöohjeessa](#). Valon nopeuden laskeminen mittaustuloksista kannattaa tehdä määrittämällä suhde $c = \frac{4AD^2\omega}{(D+B)\Delta s'}$ graafisesti.

Mittausten suorittamisesta on myös koululaisryhmille tarkoitettu [työohje](#).

Taitesuhde ja taitekerroin

Tutkitaan valonsäteen taittumista aineiden rajapinnassa. Esikvantifioiva havainto: suunnan muutoksen suuruus riippuu aineparista ja tulokulmasta. Etsitään suuretta, joka kuvaaisi aineparin valontaittamiskykyä.

Kvantifiointi: mitataan eri ainepareille tulo- ja taitekulmia. Käytännössä koe on helpointa tehdä niin, että yksi aine on ilma, muut aineet ovat läpinäkyviä nesteitä (vesi, parafiiniöljy...). Koe pitäisi tehdä ainakin kolmella aineella, joista saa kolme aineparia. Aineina ovat tällöin ilma, vesi ja

parafiiniöljy.

Tätä kirjoitettaessa kolmen aineparin tutkiminen ei kuitenkaan onnistu, välineet ovat menneet liian huonoon kuntoon. Täytyy tyytyä tekemään koe kahdella aineparilla: ilma ja akryyli sekä ilma ja vesi.

Tulo- ja taitekulman välistä riippuvuutta ei pystyne rehellisesti "keksimään" ilman taittumisilmiötä kuvaavan mallin antamaa ennustetta. Vesiaalloilla on havaittu, että kun aaltorintama kohtaa vinosti rajapinnan, jossa niiden nopeus muuttuu, myös aaltojen etenemissuunta muuttuu. Valon suunnanmuutoskin voisi siis johtua nopeuden muutoksesta rajapinnassa. Sille miten nopeuden muutos määrää suunnan muutoksen, saadaan ennuste soveltaen [Huygensin periaatetta](#), olettaen että aaltoliikkeen taajuus (jaksonaika) ei muutu taittumisessa. Etenevää aaltoa voidaan pitää jokaisesta aaltoliikkeen jo läpäisemästä väliaineen pisteestä lähteneiden alkeisaaltojen summana. Tarkastellaan rajapinnasta lähteneiden alkeisaaltojen interferenssiä kuvien mukaisesti.

Malli ennustaa, että $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_A}{v_B} = \text{vakio}$.

Testataan sinien suhteen vakioisuus sijoittamalla mittausarvot ($\sin \beta, \sin \alpha$) -koordinaatistoon, ja havaitaan pisteiden osuvan origon kautta kulkevalle suoralle. Havaitaan lain pätevän kaikille kokeiluille ainepareille, mutta suorien kulmakertoimet ovat erisuuria eri ainepareilla. Kulmakerroin edustaa siis aineparikohtaista ominaisuutta. Määritellään kulmakerroin

$$n_{AB} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \text{ uudeksi suureeksi nimeltä}$$

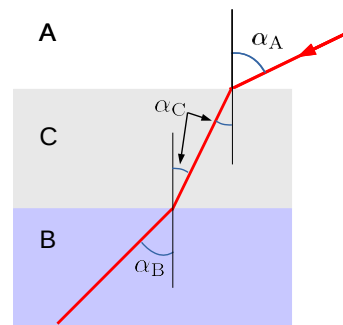
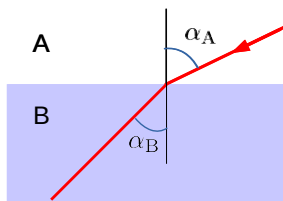
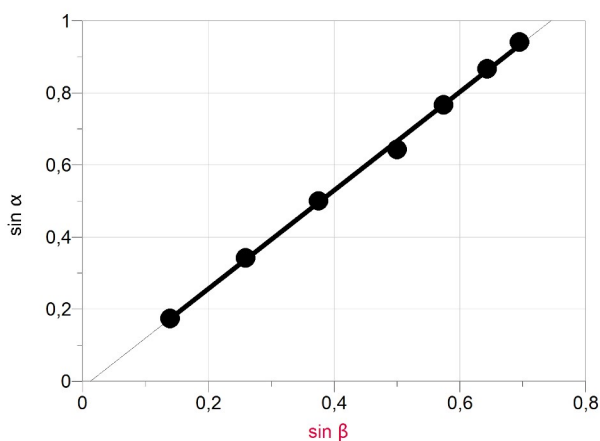
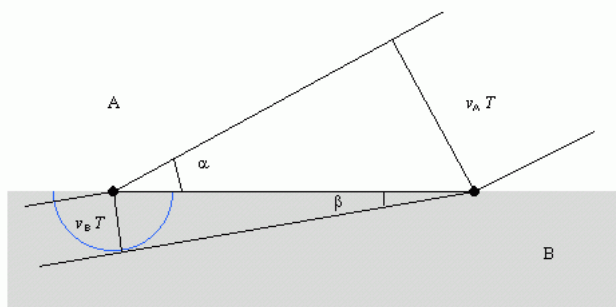
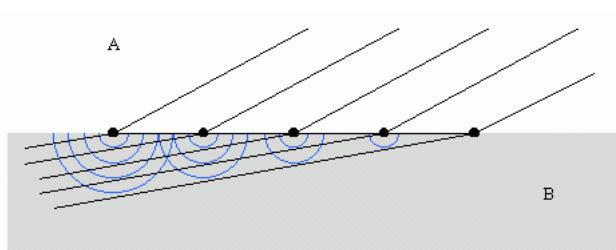
taitesuhde, joka kuvaa rajapinnan valontaittamiskykyä valon tullessa aineesta A aineeseen B.

Seuraavaksi tutkitaan, onko **aineparikohtaisen** suureen lisäksi olemassa myös **ainekohtainen** valontaittamiskykyä kuvaava suure.

Kokeillaan, mitä tapahtuu valon taittumiselle aineesta A aineeseen B, jos väliin laitetaan ainetta C niin että rajapinnat AC ja CB ovat yhdensuuntaiset.

Havaitaan, että taitekulma aineeseen B on sama riippumatta siitä onko välissä ainetta C vai ei. Koska $n_{AC} = \frac{\sin \alpha_A}{\sin \alpha_C}$

ja $n_{CB} = \frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B}$, niin $n_{AC} \cdot n_{CB} = \frac{\sin \alpha_A}{\sin \alpha_C} \cdot \frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B} = n_{AB}$. Jos edellä on määritetty kolmen aineparin taitekertoimet, voidaan niistä todeta että tämä laki pitää paikkansa.



Tulos tarkoittaa, että aineparin AB taitesuhteen selvittämiseksi ei tarvitse tehdä taittumiskoetta juuri tällä aineparilla. Jos on aikaisemmin määritetty aineiden A ja B taitesuhteet jonkin standardiaineen O kanssa (n_{OA} ja n_{OB}), niin $n_{AB} = n_{AO} \cdot n_{OB} = \frac{n_{OB}}{n_{OA}}$. Määritellään tyhjiö standardiaineeksi, kutsutaan aineen taitesuhdetta tyhjiön kanssa aineen taitekertoimeksi ja merkitään sitä $n_{OA} = n_A$, jolloin $n_{AB} = \frac{n_B}{n_A}$. Taittumislaki eli Snellin laki taitekertoimien avulla on $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_B}{n_A}$.

Sähkömagneettinen aaltoliike

Perushahmotuksessa luodaan mielikuva, että sähkökentän ja magneettikentän muutokset etenevät avaruudessa, ja samanlainen vastaanotin reagoi molempiin kentän muutoksiin. Saadaan empiirinen perusta mallille, että sähkökentän muutokseen liittyy aina myös magneettikentän muutos, ja päinvastoin. Näin voidaan myös perustella käsite sähkömagneettinen kenttä, jossa tapahtuvat muutokset ovat aina sekä sähkö- että magneettikentän muutoksia. Vain staattiset sähkö- ja magneettikenttä voivat esiintyä yksinään.

Vastaanottimena voi käyttää ns. jännitteen koetinta, joka on alunperin tarkoitettu tunnistamaan johtimessa vallitseva vaihtojännite eristeen päältä. Laite havaitsee verkkosähköön kytketyn johtimen varaustilan muuttumisen aiheuttamat sähkömagneettisen kentän muutokset koettimen kärjessä muovikuoren sisällä olevalla antennilla. Kun antenni on muuttuvassa sähkömagneettisessä kentässä, antennin päiden välille indusoituu jännite. Se johdetaan vahvistinpiiriin, joka sytyttää merkkivalon ja antaa äänimerkin.

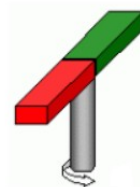
antenni



Toimivan influenssikoneen lähelle tuotu jännitteen koetin ilmaisee muuttuvan kentän jopa metrin etäisyydeltä. Pyörivän tankomagneetin lähellä ilmaisu tapahtuu muutaman senttimetrin päästä.



Jännitteen koetin ja influenssikone



Jännitteen koetin ja pyörivä magneetti



Näin karkeilla välineillä ei pystytä havainnollistamaan sähkömagneettisen kentän avaruudessa etenevien muutosten aaltoluonnetta, koska muutosten taajuus on pieni ja siten aallonpituus on hyvin suuri. Kokeisiin tarvitaan suurella taajuudella tuotettua vaihtosähköä, sillä aikaan saatuja kentän muutoksia säteilevä antenni sekä toinen antenni, joka reagoi kentän muutoksiin. Siis lähetin ja vastaanotin.

Mikroaallot, rinnastus valon kanssa

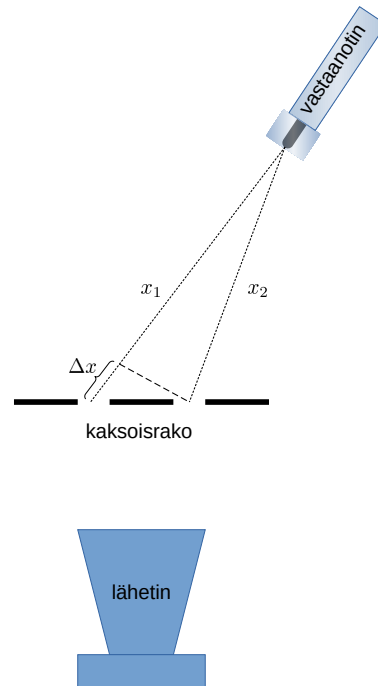
Opetuskäytössä sähkömagneettisia aaltoja tutkitaan mikroaaltolaitteilla. Mikroaaltolähtetimestä on sähköinen värähtelypiiri ja antenni, mikroaaltovastaanottimessa on vastaanottoantenni ja ilmaisin. Mikroaallot ovat siis sähkömagneettista aaltoliikettä.

Kansainvälisillä sopimuksilla ja lainsäädännöllä opetuskäyttöön varattu lähetystaajuus on 9,4 GHz. Muita aallonpituuksia ei ole käytettävissä. Opetuskäyttöön tarkoitettujen mikroaaltolaitteiden säteily ole elävälle kudokselle vaarallista, koska teho on monta kertaluokkaa pienempi kuin esimerkiksi mikroaaltouunissa.

Havaitaan, että mikroaalloilla saadaan näkyviin samat aaltoliikkeelle ominaiset ilmiöt kuin valollakin: diffraktio kaksoisraossa ja hilassa, heijastuminen, taittuminen parafiiniprismassa ja fokusoituminen kuperassa parafiinilinssissä. Mikroaallot ovat myös polarisoituneita. Mikroaallot ja valo eivät läpäise ohuttakaan metallikerrosta.

Mikroaaltojen aallonpituus voidaan määrittää antamalla niiden heijastua metallilevystä, jolloin muodostuu seisova aalto kupuineen ja solmuineen. Laitteiston valmistaja ilmoittaa aaltojen lähetystaajuuden. Näistä voidaan laskea mikroaaltojen nopeus. Se on sama kuin valolle mitattu nopeus.

Valon ja mikroaaltojen yhteisistä piirteistä voidaan päätellä, että valokin on sähkömagneettista aaltoliikettä.



Diffraktio mikroaalloilla.

Jos $\Delta x = n\lambda$, havaitaan maksimi.

Jos $\Delta x = (n - \frac{1}{2})\lambda$, havaitaan minimi.

Kun toinen rako peitetään, diffraktio häviää.