

TTY	72041 Fysiikan työt I	27.10.2009
JP	4.3 Diffraktio	194621 Laura Metsänen TiTe 181509 Olli Pietikäinen TiTe

# **Sisältö**

<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2 Teoria</b>	<b>1</b>
<b>3 Työn suoritus</b>	<b>3</b>
<b>4 Mittaustulokset ja havainnot</b>	<b>4</b>
<b>5 Tulosten laskenta</b>	<b>5</b>
<b>6 Virhearvio</b>	<b>5</b>
<b>7 Yhteenveto</b>	<b>7</b>
<b>Viitteet</b>	<b>10</b>
<b>Liitteet</b>	<b>11</b>

# 1 Johdanto

Tässä työssä mitattiin yhden ja kahden raon diffraktiokuviot ja määritettiin käytettyjen kahden laserin aallonpituudet.

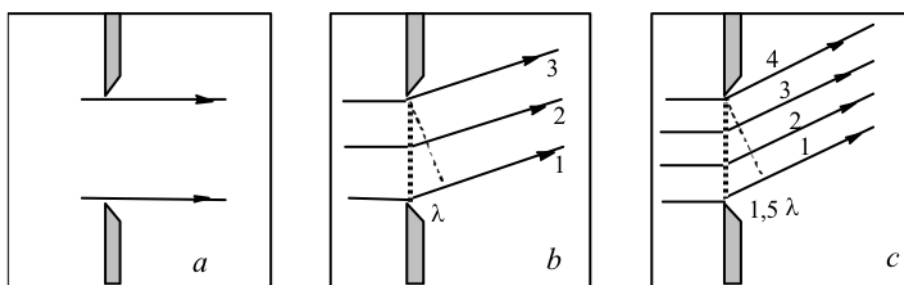
## 2 Teoria

Valo on aaltoliikettä, jolla on mm. amplitudi eli voimakkuus ja vaihe. Monokromaattisessa valossa on vain yhtä aallonpituutta. Superpositio tarkoittaa osa-aaltojen aiheuttamaa häiriötä, joka on osa-aaltojen summa niiden vaiheet huomioiden. Interferenssi on usean aallon superpositioperiaatteen mukaista yhteisvaikutusta. Diffraktiolla tarkoitetaan superpositioilmiötä, joka saadaan näkyviin, kun valo kulkee raon läpi. [1]

Valon kulkiessa kapean raon läpi, valon kulkusuunta taittuu riippuen valon vaiheesta. Samassa vaiheessa olevat aallot taittuvat samaan suuntaan. [1]

Huygensin periaate käsittää jokaisen aaltorintaman pisteen uutena palloaallon keskuksena ja uudet aaltorintamat näiden palloaaltojen verhokäyrinä. Huygensin periaatteen mukaan rakoon osuvan valon aallot voivat taittua mihin tahansa suuntaan. [1]

Kuvassa 1 tarkastellaan diffraktiokuvion syntymistä, kun yksisuuntainen, monokromaattinen valo osuu rakoon. Tapauksessa a) suoraan jatkavien aaltojen vaihe säilyy ja ne vaikuttavat toisiinsa kuten ennen rakoa. [1]



Kuva 1: Valon diffraktioituminen yhden raon tapauksessa. [1]

Tapauksessa b) reunimmaisten aaltojen 1 ja 3 ero on tasan yksi aallonpituus. Täl-

lön aaltojen 1 ja 2 vaihe-ero on tasan puoli aallonpituutta, jolloin ne superpositioperiaatteen mukaisesti ovat yhteisvaikutukseltaan 0. Samoin kaikki kaistoilla 1-2 ja 2-3 olevat aallot sammuttavat toisensa aalto aallolta siirryttäessä aalloista 1 ja 2 kohti aaltoa 3. Nämä kaksi vierekkäistä kaistaa siis sammuttavat toisensa eli tähän suuntaan ei pääse valoa. [1]

Tapauksessa c) reunimmaisten aaltojen 1 ja 4 ero on 1,5 aallonpituutta. Tällöin valo jakaantuu kolmeen kaistaan, jotta niiden reuna-aaltojen vaihe vaihtelee puolella aallonpituudella. Jälleen kaksi vierekkäistä kaistaa sammuttavat toisensa, mutta kolmannen kaistan aallot jatkavat taittumissuuntaansa eli tähän suuntaan pääsee valoa. [1]

Kuvan esimerkit voidaan yleistää kaavoiksi. Valominimit, joista valoa ei pääse läpi, löytyvät kohdista, joissa reunimmaisten aaltojen ero on tasa-aallonpituuksia eli joiden suuntakulma  $\alpha_m$  toteuttaa ehdon

$$b \sin \alpha_m = m\lambda, m = \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (1)$$

missä  $b$  on raon leveys,  $\lambda$  valon aallonpituus ja  $m$  diffraktion kertalukuja valomaksimit, joista valoa pääsee läpi suurin mahdollinen määrä, kohdista, joissa reunimmaisten aaltojen erossa on puolikas aallonpituus eli joiden suuntakulma toteuttaa ehdon

$$b \sin \alpha_m = \left(m \pm \frac{1}{2}\right) \lambda, m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

[1]

Valon intensiteetti vaihtelee melko tasaisesti minimien ja maksimien välillä. Intensiteetille pätee

$$I = I_0 \left[ \frac{\sin((\pi b \sin \alpha) / \lambda)}{\pi b \sin \alpha / \lambda} \right]^2 = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad (3)$$

jossa  $I_0$  on suoraan läpi menneen valon intensiteetti ja  $\beta$  suhteellinen koordinaatti varjostimella

$$\beta = \pi b (\sin \alpha) / \lambda. \quad (4)$$

[1]

Kahden raon systeemissä raon leveyden sijaan vaikuttaa rakojen välinen etäisyys. Suhteelliset maksimit osuvat kohtiin, joiden suuntakulma toteuttaa ehdon

$$d \sin \alpha_m = m\lambda, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (5)$$

jossa  $d$  on rakojen välinen etäisyys, ja suhteelliset minimiit kohtiin, joiden suuntakulma toteuttaa ehdon

$$d \sin \alpha_m = \left(m \pm \frac{1}{2}\right) \lambda, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6)$$

Kaksoisrakotapauksessa intensiteetti esitetään kaavalla

$$I(\alpha) = I_0 \left(\frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}\right) \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right) \quad (7)$$

[1]

### 3 Työn suoritus

Työn mittaus suoritettiin fysiikan oppilaslaboratoriossa DataStudio-ohjelmalla Science Workshop Interface -laitetta käyttäen. Tässä ei selosteta ohjelman käytön yksityiskohtia vaan ne on luettavissa työn työohjeesta.

Työ käsitti yhteensä seitsemän eri mittausta, kolme yhdellä raolla ja neljä kaksoisraolla.

Mittaus aloitettiin yhden raon mittauksilla. Käytetyt mittaustapaukset on listattu taulukossa 1. Mittauksissa käytettiin valonanturin rakoja 6, anturin vahvistimen asetusta 100 ja näytteenottotaajuutta 200 Hz. Yksittäisraot tunnistettiin merkinnästä "Single slit set". Valittu rako esitetään taulukon sarakkeessa b. Rako asetettiin noin 3 cm päähän valonlähteestä ja raon ja valoanturin välinen etäisyys  $L$  mitattiin. Mittaaminen käynnistettiin tietokoneen mittausohjelmasta ja toinen työparin jäsen liikutti valoanturia hitaasti ja mahdollisimman tasaisesti diffraktiokuvion yli. Tämän jälkeen odotimme, että tietokone oli ehtinyt piirtää riittävästi kuvaajaa ennen kuin pysäytimme mittauksen, tulostimme kuvaajan ja kirjoitimme minimien ja maksimien arvot siihen.

Taulukko 1: Yhden raon mittaustapaukset

Tunnus	Laser	b (mm)	L
Y1	Punainen	0,08	L1
Y2	Punainen	0,16	L1
Y3	Vihreä	0,16	L2

Kaksoisrakomittaukset suoritettiin vastaavasti, mutta näytteenottotaajuutena käytettiin 500 Hz:iä. Kokeilemalla valoanturin raoksi valittiin 5, jolloin kuvaajaan saatiin näkyviin riittävästi erottuvia huippuja. Kaksoisraot tunnistettiin merkinnästä "Double slit". Muuten mittaus tapahtui kuten yhden raon tapauksissa. Mittaustapaukset on lisätty taulukossa 2.

Taulukko 2: Mittaustapaukset

Tunnus	Laser	b (mm)	d (mm)	L
K4	Punainen	0,08	0,25	L3
K5	Punainen	0,04	0,25	L3
K6	Punainen	0,04	0,50	L3
K7	Vihreä	0,04	0,25	L3

## 4 Mittaustulokset ja havainnot

Raon ja valoanturin väliset etäisyydet on esitetty taulukossa 3. Mittausohjelman tuottamat kuvaajat valomaksimeineen ja -minimeineen ovat liitteenä.

Taulukko 3: Raon ja valoanturin väliset etäisyydet

Tunniste	L (m)	$\Delta L$ (m)
L1	1,021	0,001
L2	1,005	0,001
L3	1,000	0,001

## 5 Tulosten laskenta

Useissa kaavoissa tarvittiin aaltojen taittumiskulman sini-funktiota  $\sin \alpha_m$ . Tämä taittumiskulma laskettiin valoanturin ja raon etäisyydestä  $L$  arvosta ja  $m$ :nnen valomaksimin sijainnin  $x_m$  ja 0:n valomaksimin sijainnin  $x_0$  erosta  $\Delta x = x_0 - x_m$  kaavalla

$$\sin \alpha_m = \frac{\Delta x}{\sqrt{(\Delta x)^2 + L^2}}.$$

Yhden raon diffraktiokuvion tapauksessa lasereiden aallonpituudet ratkaistiin kaavasta 2. Käytimme aallonpituuden määrittämiseen maksimeja, koska ne oli ollut helpompi määrittää kuvaajasta ja olimme varmempia niiden oikeellisuudesta. Tulokset on esitetty taulukossa 4 ja kunkin mittaussarjan kullekin kertaluokalle on laskettu tulosten keskiarvo.

Kahden raon diffraktiokuvion tapauksessa lasereiden aallonpituudet ratkaistiin kaavasta 5. Käytimme kolmea suurinta mitattua kertaluokkaa. Tulokset on esitetty taulukossa 5. Kullekin mittaussarjalle on laskettu myös tulosten keskiarvo.

Lopuksi laskettiin keskiarvo määritetyistä aallonpituuksista (avg  $\lambda$  -sarakeet taulukoissa 4 ja 5). Punaisen laserin keskimääräiseksi aallonpituudeksi saatiin mitaustapauksista Y1, Y2, K4, K5 ja K6 671 nm ja vihreän laserin keskimääräiseksi aallonpituudeksi mitaustapauksista Y3 ja K7 526 nm.

## 6 Virhearvio

Lasketaan virhearvio mittaussarjalle K4. Lasketaan virhe kaavan 5 kokonaisdifferen tiaalilla, mutta arvioidaan vain etäisyydellä  $L$  ja poikittaisella matkalla  $\Delta x$  (merkitään kaavassa pelkkä  $x$ ) olevan virhettä, jolloin virheen kaava on:

Taulukko 4: Laserien aallonpituudet yhden raon diffraktiokuvion perusteella määrittäen

m	L (m)	x0 (m)	xm (m)	b (m)	$\lambda$ (nm)	avg $\lambda$ (nm)
Y1						
-1	1,021	0,086	0,074	0,00008	626,79	679,02
1	1,021	0,086	0,099	0,00008	679,02	
-2	1,021	0,086	0,064	0,00008	689,36	689,36
2	1,021	0,086	0,108	0,00008	689,36	
Y2						
-1	1,021	0,088	0,082	0,00016	626,83	626,83
1	1,021	0,088	0,094	0,00016	626,83	
-2	1,021	0,088	0,078	0,00016	626,81	689,48
2	1,021	0,088	0,099	0,00016	689,48	
Y3						
-1	1,005	0,087	0,083	0,00016	424,54	530,67
1	1,005	0,087	0,092	0,00016	530,67	
-2	1,005	0,087	0,079	0,00016	509,44	573,11
2	1,005	0,087	0,096	0,00016	573,11	

$$\Delta\lambda = \left| \frac{-dxL}{m(\sqrt{x^2 + L^2})^3} \Delta L + \left| \frac{d}{m\sqrt{x^2 + L^2}} \left( 1 - \frac{x^2}{x^2 + L^2} \right) \right| \Delta x \right. \quad (8)$$

Tulokset pyöristettynä 15-säännön mukaan on esitetty taulukossa 6. Kullekin laskennassa käytetyille maksimille on laskettu oma virheensä ja tämän jälkeen laskettu tarkoista virhearvoista niiden keskiarvo.

Yksöisrakointensiteettijakautuma mittaussarjalle Y1 laskettiin kaavalla 3.  $I_0$ :lle luettiin diffraktiokuvaajasta arvo 67,3 %. Kuvaaja on liitteessä 9.

Kaksoisrakokuvaajan intensiteettijakauma mittaussarjalle K3 laskettiin kaavalla 7.  $I_0$ :lle luettiin diffraktiokuvaajasta arvo 36,4 %. Kuvaaja on liitteessä 10.

## 7 Yhteenveto

Punaisen valon aallonpituus vaihtelee välillä 630-700 nm ja vihreän valon aallonpituus välillä 490-560 nm [2, s. 84]. Mittaussarjojen aallonpituudet listattiin taulukoissa 4 ja 5. Kirjallisuusarvoihin lasketuista keskiarvoista osuivat Y1:n molempien kertaluokkien keskiarvot, Y2:n molempien kertaluokkien keskiarvot, Y3:n toisen kertaluokan keskiarvo, K4:n keskiarvo, K6:n keskiarvo ja K7:n keskiarvo. Y3:n ensimmäisen kertaluokan keskiarvo oli n. 10 nm kirjallisuusarvon alarajaa pienempi, joka todennäköisesti mahtuisi arvон virherajojen sisälle. K5:n keskiarvo oli n 50 nm kirjallisuusarvon ylärajaa suurempi, joka saattaa kertoa virheestä tuloksessa.

Diffraktiokuvion näyttäisi harvenevan aallonpituuden kasvaessa. Tämä näkyy erityisesti vihreän ja punaisen laserin mittauskuvajia vertaillen, kun huomioidaan etäisyysakselien eri asteikot.

Molempien piirrettyjen teoreettisten intensiteettikuvaajien tapauksessa kuvaajat muistuttavat mittaustuloksena saatua kuvaajaa, mutta teoreettisissa kuvaajissa intensiteetti on minimikohdissa nolla.

Taulukko 5: Laserien aallonpituudet kahden raon diffraktiokuvion perusteella määrittäen

m	L (m)	$x_0$ (m)	$x_m$ (m)	d (m)	$\lambda$ (nm)	avg $\lambda$ (nm)
<b>K4</b>						
-10	1,000	0,088	0,062	0,00025	650	658
-9	1,000	0,088	0,064	0,00025	666	
-8	1,000	0,088	0,066	0,00025	687	
8	1,000	0,088	0,109	0,00025	656	
9	1,000	0,088	0,111	0,00025	639	
10	1,000	0,088	0,114	0,00025	650	
<b>K5</b>						
-10	1,000	0,086	0,056	0,00025	750	751
-9	1,000	0,086	0,059	0,00025	750	
-8	1,000	0,086	0,061	0,00025	781	
8	1,000	0,086	0,110	0,00025	750	
9	1,000	0,086	0,113	0,00025	750	
10	1,000	0,086	0,115	0,00025	725	
<b>K6</b>						
-10	1,000	0,087	0,074	0,00050	650	658
-9	1,000	0,087	0,075	0,00050	667	
-8	1,000	0,087	0,077	0,00050	625	
8	1,000	0,087	0,098	0,00050	687	
9	1,000	0,087	0,099	0,00050	667	
10	1,000	0,087	0,100	0,00050	650	
<b>K7</b>						
-10	1,000	0,087	0,066	0,00025	525	560
-9	1,000	0,087	0,068	0,00025	528	
-8	1,000	0,087	0,070	0,00025	531	
8	1,000	0,087	0,106	0,00025	594	
9	1,000	0,087	0,108	0,00025	583	
10	1,000	0,087	0,111	0,00025	600	

Taulukko 6: Mittaussarjan 4 määritetyn aallonpituuden virhe.

m	$\lambda(\cdot 10^9 m)$	$\Delta\lambda(\cdot 10^9 m)$
-10	650	30
-9	670	30
-8	690	40
8	660	40
9	640	30
10	650	30
ka	660	30

## **Viitteet**

- [1] “Fysiikantyöt 1 opintomoniste 4.3. diffraktio,” TTY, 2007. [Online]. Available: <http://moodle.tut.fi/file.php/2016/4.3.diffraktio.pruju.paivitetty.20090929.pdf>
- [2] M. Kervinen and J. Smolander, *MAOL-taulukot*, 2nd ed. Keuruu: Otava, 2000.

## **Liitteet**

1. Mittauspöytäkirja
2. Mittaussarjan Y1 mittauskuvaaja
3. Mittaussarjan Y2 mittauskuvaaja
4. Mittaussarjan Y3 mittauskuvaaja
5. Mittaussarjan K1 mittauskuvaaja
6. Mittaussarjan K2 mittauskuvaaja
7. Mittaussarjan K3 mittauskuvaaja
8. Mittaussarjan K4 mittauskuvaaja
9. Mittaussarjan Y1 teoreettinen intensiteettijakaumakuvaaja
10. Mittaussarjan K3 teoreettinen intensiteettijakaumakuvaaja