

IXPF24 Fysiikka, ryhmälaboratoriotyö IST4S1 / E1 / A3
Oksanen Janne, Vaitti Mikael, Vähämartti Pasi

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, IT-instituutti
IXPF24 Fysiikka, Kevät 2005, 6 ECTS
Opettaja Pasi Repo

Valon diffraktio yhdessä ja kahdessa raossa

Laatija - Pasi Vähämartti

Vuosikurssi - IST4S1

Tekopäivä 2005-2-17

Palautuspäivä 2005-3-10

Ryhmä E1 / A3

Oksanen Janne



Vaitti Mikael



Vähämartti Pasi



LABORATORIOTYÖN KUVAUS

Tehtävän määrittely:

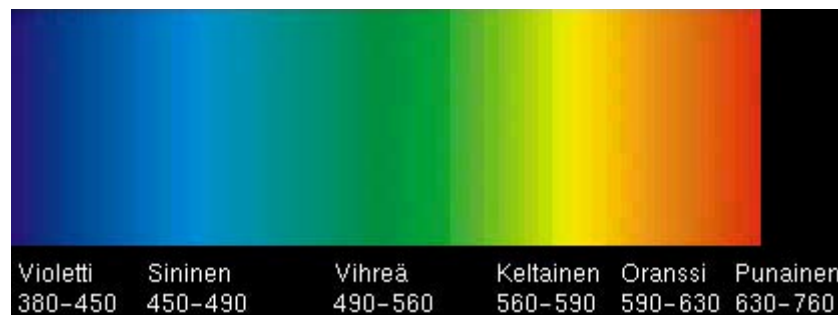
Tarkoitus on määrittää laservalon aallonpituus (λ) yhden raon tapauksessa, sekä rakojen välinen etäisyys (d) kahden raon tapauksessa virherajoineen.

Johdanto:

Valo on sähkömagneettista säteilyä siinä missä röntgensäteet ja radioaallotkin. Näkyvän valon aallonpituus on välillä 380nm...760nm (taajuus 430-750 THz), kun taas esim. yleisradiotoiminnassa käytetty aallonpituus on välillä 2,77m...3,41m (taajuus 88-108 MHz). Sähkömagneettisten aaltojen etenemisnopeus riippuu väliaineesta, tyhjiössä se on 300 000 km/s.



Tavallinen (esim. hehkulampun tuottama) valo sisältää useita aallonpituuksia, joka säteilee satunnaisesti joka suuntaan erivaiheista säteilyä. Laser poikkeaa "tavallisesta" valosta siten, että sillä on tietty aallonpituus, se on yhdensuuntaista ja samanvaiheista.



Sana LASER tulee sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, joka suomeksi käännettynä tarkoittaa valon vahvistusta stimuloitun säteilyn emission avulla. Se mitä se sitten käytännössä tarkoittaa, niin asiasta kiinnostunut voi käydä tutustumassa laserin tuottomekanismiin esim. osoitteessa <http://science.howstuffworks.com/laser.htm>

Mittauksissamme käytetyn laserin aallonpituudeksi on ilmoitettu 632,8nm, joka onkin tarkoitus määrittää tekemiemme mittausten perusteella. Raportin lopussa näemme miten onnistuimme mittauksissamme.

Tehtävässä käytetyt yhtälöt ja niiden yksikkötarkastelut:

Aallonpituuden laskeminen:

$$\lambda = \frac{a \sin \theta}{k} \approx a \frac{y}{D} \cdot \frac{1}{k}$$

$$[\text{mm}] = \frac{[\text{mm}]}{[\text{kpl}]} \approx [\text{mm}] \cdot \frac{[\text{mm}]}{[\text{mm}]} \cdot \frac{1}{[\text{kpl}]}$$

λ = laservalon aallonpituus a = raon leveys k = kertaluku y = minimien poikkeama D = varjostimen etäisyys linssistä

Rakojen välimatkan laskeminen:

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{\sin \theta} \approx n \cdot \frac{D}{y} \cdot \lambda$$

$$[\text{mm}] \approx [\text{kpl}] \cdot \frac{[\text{mm}]}{[\text{mm}]} \cdot [\text{mm}]$$

d = rakojen välimatka n = interferenssin kertaluku λ = laservalon aallonpituus D = varjostimen etäisyys linssistä y = minimien poikkeama
--

Suhteellisen virheen laskeminen:

$$\left| \frac{\Delta \lambda(D, y)}{\lambda(D, y)} \right| \leq \left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right|$$

Absoluuttisen virheen laskeminen (yhden raon tapauksessa):

$$\Delta \lambda(D, y) \leq \left(\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \right) \cdot |\lambda(D, y)|$$

Absoluuttisen virheen laskeminen (kahden raon tapauksessa):

$$\Delta d(D, y) \leq \left(\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \right) \cdot |d(D, y)|$$

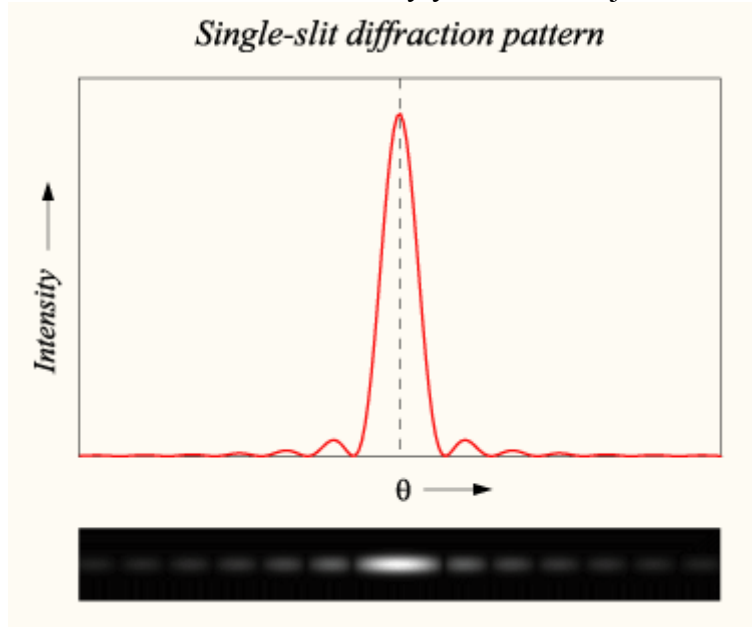
Mittausmenetelmät:

Tehtävän suorittamisessa käytettiin rullamittaa, työntömittaa, paperia ja kapeakärkistä kynää. Mittavälineistä sekä paperille käsin piirretystä kuviosta arvioitiin virheen suuruus, tulokset kirjoitettiin etukäteen tehtyyn mittauspöytäkirjaan.

Aallonpituuden määrittäminen:

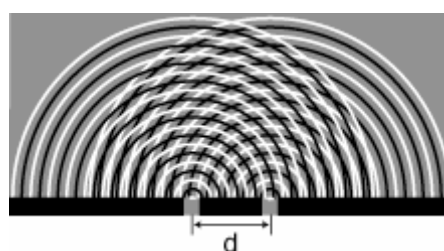
Laservalonlähde, yhden raon elementti ja heijastin asetettiin paikalleen mittauksia varten suunniteltuun uralliseen metallitankoon. Raon ja heijastimen välinen etäisyys säädettiin mahdollisimman suureksi siten, että syntyvä diffraktiokuva on mahdollisimman terävä. Tämän jälkeen mitattiin mitanauhalla raon ja heijastimenvälinen etäisyys (D).

Varjostimelle asetettuun valkoiseen A4-arkkiin ”piirtyy” diffraktiokuva. Tämän jälkeen merkitään kynällä piirtäen jokainen havaittavissa olevan minimin ja intensiteettijakauman keskikohta. Tämän jälkeen työntömitalla mittaamalla mittaamme merkittyjen kohtien välimatkat. Lopuksi lasketaan saaduista arvoista aallonpituus, sekä virherajat arvioitujen mittausvirheiden avulla. Lopullinen tulos on laskettujen arvojen keskiarvo. Mittaustulokset löytyvät sivulta 5 ja esimerkkilaskut sivulta 6.



Rakojen välimatkan määrittäminen:

Mittaaminen tapahtuu pitkälti edellisen kuvauksen mukaisesti. Tällä kertaa yhden raon elementti korvattiin kahden raon elementillä. Pääpiirteittäin kahden raon elementti luo heijastimeen samanlaisen kuvion kuin yhden raon tapauksessa. Nyt paperille piirretään keskimmäisen ja siitä kahden seuraavan valomaksimin keskikohta, sitten minimin keskikohta ja taas kahden maksimin keskikohta. Tämän jälkeen mitattiin etäisyydet keskipisteestä ja kirjattiin taulukkoon. Saatujen tuloksien perusteella saadaan laskettua rakojen välinen etäisyys (d). Lopullinen tulos on laskettujen arvojen keskiarvo. Mittaustulokset löytyvät sivulta 5 ja esimerkkilaskut sivulta 6.



Mittaustulokset:

Varjostimen etäisyys raosta, $D = (2385 \pm 5) \text{mm}$

I-raon tapaus

RAON LEVEYS	a=0,12mm	
	Y [mm]	ΔY [mm]
Y7	93,0	1,0
Y6	79,0	1,0
Y5	66,0	1,0
Y4	53,5	1,0
Y3	40,0	1,0
Y2	27,0	1,0
Y1	13,0	1,0
Y-1	13,0	1,0
Y-2	27,0	1,0
Y-3	40,0	1,0
Y-4	53,5	1,0
Y-5	66,5	1,0
Y-6	79,0	1,0
Y-7	93,0	1,0

II-raon tapaus

RAON LEVEYS	a=0,10mm ; d=0,25mm	
	Y [mm]	ΔY [mm]
Y5	24,0	1,0
Y4	18,0	1,0
Y3	-	-
Y2	12,0	1,0
Y1	6,0	1,0
Y-1	6,0	1,0
Y-2	12,0	1,0
Y-3	-	-
Y-4	18,0	1,0
Y-5	24,0	1,0

Varjostimen etäisyyden (D) mittavirheeksi arvioimme 5mm ja varjostimeen käsin piirrettyjen viivojen (Y) mittavirheeksi 1mm (ΔY) sekä yhden että kahden raon tapauksessa.

Laskuesimerkit:

Aallonpituus:

$$\lambda = \frac{a \sin \theta}{k} \approx a \frac{y}{D} \cdot \frac{1}{k} = 0,12 \text{ mm} \cdot \frac{27 \text{ mm}}{2385 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{2} = 0,00067924 \text{ mm} \approx 680 \text{ nm}$$

Aallonpituuden suhteellinen virhe:

$$\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| = \left| \frac{5 \text{ mm}}{2385 \text{ mm}} \right| + \left| \frac{1 \text{ mm}}{27 \text{ mm}} \right| = 0,03913 \approx 3,9\%$$

Aallonpituuden absoluuttinen virhe:

$$\left(\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \right) \cdot |\lambda| = 0,03913 \cdot 679,24 \text{ nm} = 26,58 \text{ nm} \approx 30 \text{ nm}$$

Aallonpituus virherajoiheen:

$$\lambda \pm \Delta \lambda = (680 \pm 30) \text{ nm}$$

Rakojen välinen etäisyys:

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{\sin \theta} \approx n \cdot \frac{D}{y} \cdot \lambda = 2 \cdot \frac{2385 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \cdot 0,0006328 \text{ mm} = 0,2515 \text{ mm} \approx 0,25 \text{ mm}$$

Rakojen välisen etäisyyden suhteellinen virhe:

$$\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| = \left| \frac{5 \text{ mm}}{2385 \text{ mm}} \right| + \left| \frac{1 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \right| = 0,08542 \approx 8,5\%$$

Rakojen välisen etäisyyden absoluuttinen virhe:

$$\Delta d = \left(\left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| \right) \cdot |d| = 0,08542 \cdot 0,2515 \text{ mm} = 0,02148 \text{ mm} \approx 0,02 \text{ mm}$$

Rakojen välinen etäisyys virherajoiheen:

$$d \pm \Delta d = (0,25 \pm 0,02) \text{ mm}$$

Työn ja tulosten arviointi:

Itse lasketut arvot:

	Yksi rako	Kaksi rako
Raon leveys	0,12 mm	0,10 mm
	$\lambda \pm \Delta\lambda$ (nm)	$d \pm \Delta d$ (mm)
Y7	668±9	
Y6	660±10	
Y5	664±12	0,25±0,01
Y4	673±14	0,25±0,02
Y3	670±20	
Y2	680±30	0,25±0,03
Y1	650±60	0,25±0,05
Y-1	650±60	0,25±0,05
Y-2	680±30	0,25±0,03
Y-3	670±20	
Y-4	673±14	0,25±0,02
Y-5	664±12	0,25±0,01
Y-6	660±10	
Y-7	668±9	
keskiarvo	670±30	0,25±0,02

Kirjallisuusarvot:

	a [mm]	d [mm]	λ [nm]
I-rako	0,12		
II-rakoa	0,10	0,25	
Laserin aallonpituus			632,8

Lähde: Dioista ja laserista

Käytetyistä osista katsotut ja itse määritellyt arvot eivät ole identtiset, mutta ovat 'hyvin' lähellä toisiaan. Syynä heittoihin ovat mittausepätaarkkuudet. Suurimman epätarkkuuden aiheuttaa käsin piirretyt viivat diffraktiokuvioista paperille, joiden minimi- ja maksimit määriteltiin silmämääräisesti

Määritetyn laserin aallonpituus meni vähän yläkanttiin, eikä virhearviokaan ole aivan tarpeeksi suuri, jotta mitattu ja ilmoitettu lukema kohtaisivat. Heitto ei ole kuitenkaan kovin suuri. Rakojen etäisyyden määrittäminen onnistui sitäkin paremmin. Saatua tulos on yhtä ilmoitetun arvon kanssa, laskettu virhearviokaan ei ole kovin suuri. En voi olla kuin tyytyväinen saatuihin tuloksiin.

Kokonaisarvio:

Laboratoriomittausten tekeminen oli suhteellisen helppoa. Mittausten tekeminen mitalla ja työntömitalla olivat 'huomattavan' epätarkkoja. Tämä siitä syystä, koska paperille heijastetusta diffraktiokuvioista määriteltiin minimi- ja maksimit silmämääräisesti ja viivat piirrettiin käsin.

Työ oli havainnollinen ja mielenkiintoinen. Oli mielenkiintoista kuinka yksi valonsäde pystyi 'jakautumaan' moneen osaan kapean raon avulla tuottaen diffraktio kuvion heijastimeen.

Olen tyytyväinen saatuihin lopputuloksiin ja tämän dokumentaation ulkoasuun ja sisältöön.