

Kacper Kulczycki

Zadanie O2

Dyfrakcja Fraunhofera i Fresnela

Warszawa 2002

Wstęp

Celem doświadczenia było znalezienie:

- doświadczalnego wzoru na zależność szerokości szczeliny, od odległości pierwszych minimów w obrazie dyfrakcyjnym (dyfrakcja Fraunhofera),
- szerokości nieznannej szczeliny,
- zależności rzędu minimum, od jego odległości, od osi optycznej (na obrazie dyfrakcyjnym drucika),
- opisu zmian obrazu dyfrakcyjnego szczeliny, przy zmianach jej szerokości (w dyfrakcji Fresnela).

Przebieg doświadczenia

Układ pomiarowy składał się z ławy optycznej, lasera He - Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$), umieszczonego na ścianie ekranu. Laser zamocowany był na jednym z końców ławy optycznej, zaś w odległości kilkudziesięciu centymetrów od drugiego końca umieszczono ekran.

Badanie dyfrakcji Fraunhofera - pomiędzy laserem a ekranem umieszczono szczelinę, której szerokość można było regulować za pomocą śruby mikrometrycznej. Odległość pomiędzy szczeliną a ekranem wynosiła $2,180 \pm 0,005 \text{ m}$. Zamiast tej szczeliny można było zamontować szczelinę o ustalonej, lecz nieznannej szerokości oraz cienki drucik.

Badanie dyfrakcji Fresnela różnica polega na wstawieniu soczewki skupiającej (o ogniskowej rzędu kilku centymetrów) pomiędzy laser a szczelinę. Odległość szczeliny od soczewki jest większa niż ogniskowa soczewki, więc wiązka padająca na szczelinę jest rozbieżna. Do dyspozycji miałem również linijkę, miarkę o długości 2 m.

Teoria, wyniki i wnioski

ad a., b., c.

ϕ [mm]	$\Delta\phi$ [mm]	l [mm]	Δl [mm]
0,29	0,01	39	2
0,33	0,01	33	2
0,62	0,01	24	3
0,91	0,01	18	3
0,93	0,01	16	3
1,22	0,01	11	3
1,26	0,01	13	3
1,32	0,01	11	3
1,53	0,01	11	3
1,59	0,01	9	4
1,63	0,01	8	4
1,67	0,01	8	4
2,00	0,01	8	4
2,21	0,01	6	4
2,27	0,01	7	4
2,33	0,01	6	4
2,56	0,01	5	4
2,62	0,01	5	5

gdzie:

ϕ - szerokość szczeliny,

$\Delta\phi$ - niepewność wyznaczenia tej szerokości,

l - odległość pierwszego minimum obrazu interferencyjnego, od osi optycznej układu,

Δl - niepewność wyznaczenia tej odległości.

Zgodnie z teorią zależność $l(\phi)$ wyraża się wzorem:

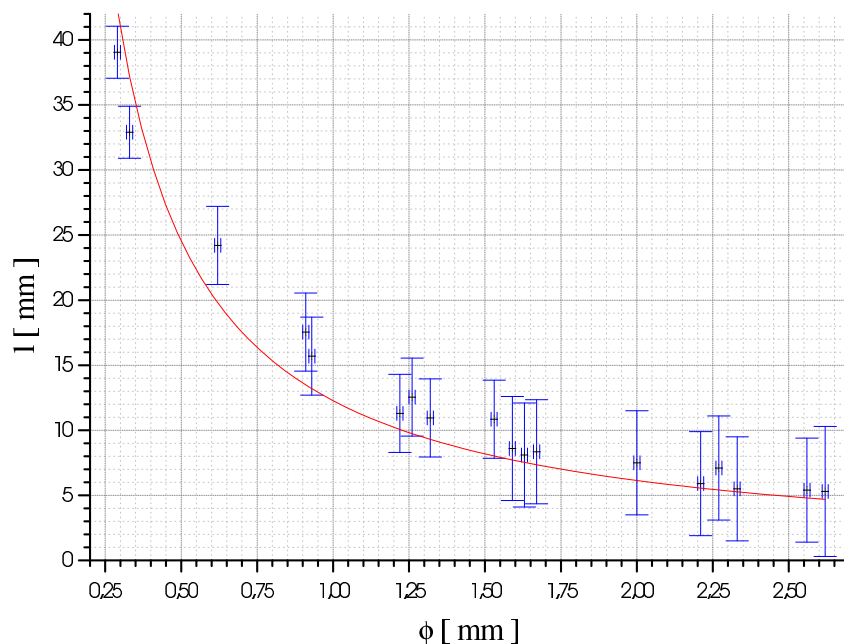
$$l = \frac{C}{\phi}$$

wz.1.

gdzie:

C - stała,

Wyniki i dopasowaną krzywą teoretyczną przedstawia wykres:



W wyniku dopasowania krzywej dostałem wartość stałej:

$$\underline{C = 12,27 \pm 0,44 \text{ mm}^2}$$

przy $\chi^2 = 5,84$

można, więc znaleźć szerokość pojedynczej nie regulowanej szczeliny ($l = 20 \pm 3 \text{ mm}$)

$$\underline{\phi = 0,628 \pm 0,099 \text{ mm}}$$

Obserwując obraz interferencyjny warany przez drucik umieszczony w miejscu szczeliny, można znaleźć zależność odległości kolejnych minimów względem osi optycznej układu, od ich rzędu

W tej części uzyskałem następujące wyniki:

n	L [mm]	ΔL [mm]
1	14,5	6,7
2	28,0	7,2
3	42,0	7,2
4	57,0	7,2
5	71,0	7,2
6	85,0	7,2
7	98,5	7,8
8	112,5	7,8
9	126,5	7,8
10	141,0	7,2
11	155,0	7,2
12	168,0	7,2
13	183,5	7,8
14	196,5	7,8
15	209,5	6,7

gdzie:

n – numer kolejnego minimum,
L – jego odległość od osi optycznej układu,
 ΔL – niepewność tej odległości

teoretycznie:

$$L = n \cdot A \quad \text{wz.2.}$$

gdzie:

A – stała,

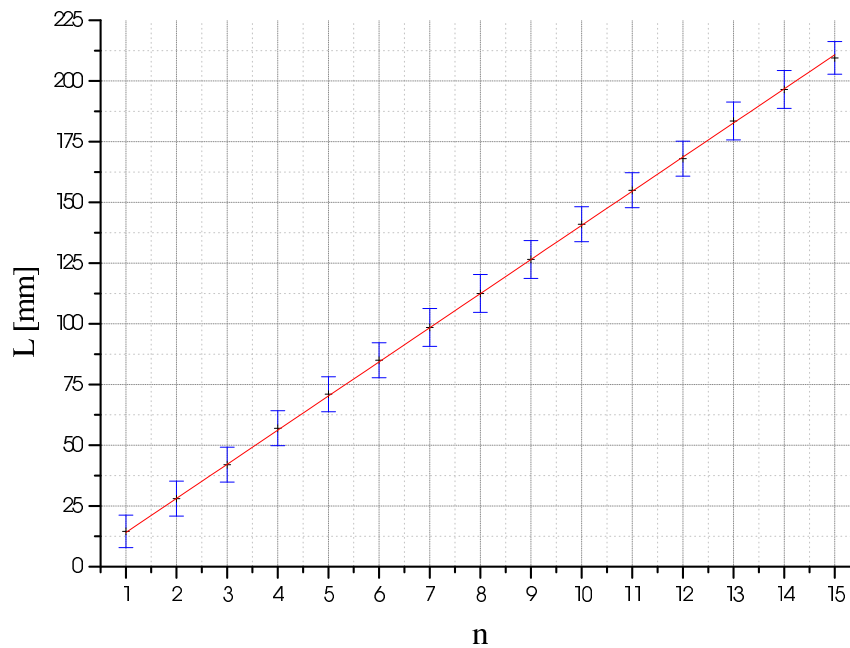
Ale korzystając ze wzoru 1. można znaleźć średnicę drucika ($n = 1$), a następnie uogólnić ten wzór, na kolejne minima dostając wzór:

$$L = B \frac{n}{\phi} \quad \text{wz.3.}$$

gdzie:

B – stała,

Wyniki i dopasowaną prostą (do wz.2.) przedstawia wykres:



Dopasowanie dało wartość:

$$\underline{A = 14,054 \pm 0,017 \text{ mm}}$$

$$\chi^2 = 0,363$$

stąd po przyrównaniu l i L dla pierwszego minimum

$$\phi = 0,873 \pm 0,031 \text{ mm}$$

co w efekcie daje po podstawieniu do wz.3. wartość:

$$\underline{\mathbf{B = 12,7 \pm 5,9 \text{ mm}^2}}$$

Oczywiście można tak tą stałą kolejno rozkładać na czynniki, aż w końcu dostanie się następujący wzór:

$$L = \frac{\lambda d n}{\sqrt{\phi^2 - n^2 \lambda^2}} \quad \text{wz.4.}$$

oczywiście daje się to zwinąć do ładniejszej postaci biorąc $\sin \Theta = \frac{L}{\sqrt{d^2 + L^2}}$ dostajemy:

$$\phi \sin \Theta = n \lambda \quad \text{wz.5.}$$

w tych wzorach:

d – odległość szczeliny (drucika) od ekranu,

λ - długość fali lasera,

Θ - kąt między osią optyczną układu a prostą łączącą dane minimum ze szczeliną (drucikiem),

ad. d.

Dyfrakcja Fresnela

W tej części doświadczenia znów powracam do szczeliny o regulowanej szerokości, która jednak jest oświetlana przez wiązkę rozbieżną. Dla wąskiej szczeliny obraz dyfrakcyjny jest po prostu jasną plamą (właściwie dyfrakcji nie ma). Gdy zwiększałem jej szerokość w środku plamy pojawił się ciemny prążek. W miarę poszerzania szczeliny ciemny prążek stawał się coraz szerszy, a w jego środku pojawił się jasny prążek. Ten również się poszerzał, aż w jego wnętrzu pojawił się prążek ciemny. Dla szerokiej szczeliny wewnątrz pierwszego ciemnego prążka znajduje się wiele jasnych prążków. Widać, że jest to sytuacja istotnie różna od tej, z którą mieliśmy do czynienia w dyfrakcji Fraunhofera. Aby wytłumaczyć obserwowane zjawisko musimy rozpatrzeć powierzchnie o stałej fazie. Dla dyfrakcji w dalekim polu są to płaszczyzny (wiązka równoległa), dla dyfrakcji w bliskim polu – sfery o środku w ognisku soczewki (wiązka rozproszona). Widać, więc, że nie możemy już zakładać, że wszystkie punkty szczeliny promieniują zgodnie w fazie. Jeśli na przykład różnica odległości pomiędzy ogniskiem soczewki i środkiem szczeliny a ogniskiem soczewki i brzegiem szczeliny jest równa połowie długości fali to środek szczeliny i jej brzeg są przesunięte w fazie o π . Oznacza to, że dla $\Theta = 0$ nastąpi interferencja destruktywna i w środku pojawi się ciemny prążek. Można to wypowiedzieć ogólnie wprowadzając pojęcie stref Fresnela. Są to współśrodkowe sfery o promieniach różniących się od całkowitą wielokrotność $\lambda/2$. Jeżeli szczelina zawiera parzystą ilość stref Fresnela to w środku pojawi się ciemny prążek. Jeżeli zaś ilość ta jest nieparzysta to w środku obrazu obserwować będziemy prążek jasny.

Światło laserowe

Powstaje w wyniku emisji wymuszonej ośrodka (laser - ang. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). (Dla uzyskania efektu lawiny fotonowej – akcji laserowej, na osi optycznej lasera umieszcza się zwierciadła – jedno półprzezroczyste, a ośrodek laserujący oświetla się lampą błyskową).

Wiązka laserowa jest spójna, czyli o jednej długości fali i tej samej fazie.