

Wydział	Imię i nazwisko		Rok	Grupa	Zespół
WFiIS	1. Paweł Szewczuk 2. Ihnatsi Yermakovich		II	03	03
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat				Nr ćwiczenia
	Dyfrakcja światła na szczelinie pojedynczej i podwójnej				71
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA
11.04.2022	25.04.2022				

Dyfrakcja światła na szczelinie pojedynczej

Ćwiczenie nr 71

Paweł Szewczuk

Ihnatsi Yermakovich

1	Cel ćwiczenia	2
2	Wstęp teoretyczny	2
3	Przyrządy pomiarowe	3
4	Przebieg ćwiczenia	4
5	Wyniki	5
6	Opracowanie wyników	6
7	Wnioski	8

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia był wyznaczenie rozkładu natężenia światła laserowego dla obrazu dyfrakcyjnego szczeliny pojedynczej z wyznaczeniem jej szerokości.

2 Wstęp teoretyczny

Rozpatrujemy pojedynczą szczelinę o szerokości d . W celu obliczenia natężenia promieniowania obserwowanego pod kątem θ , szczelina zostaje podzielona na dużą liczbę odcinków, aby następnie zsumować pochodzące od nich fale cząstkowe.

Zakładamy, że rozmiar kątowy obrazu dyfrakcyjnego jest mały ($x \ll L$). Rozkład natężenia światła $I(x)$ wyraża się wzorem:

$$I(x) = I_0 \left(\frac{\sin(\alpha)}{\alpha} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie:

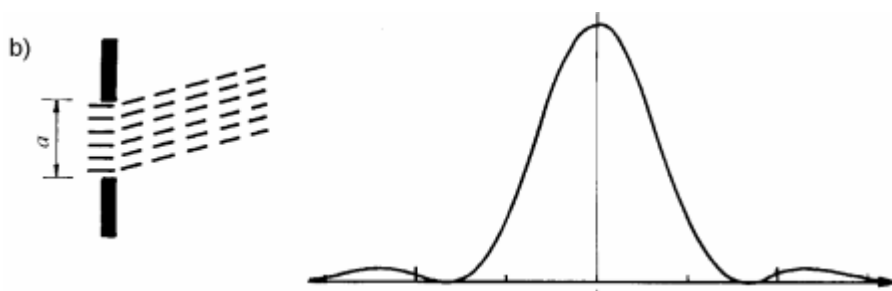
- $\alpha = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta \cong \frac{\pi dx}{\lambda L}$.
- λ - długość fali świetlnej.
- L - odległość szczelina - ekran.
- d - szerokość szczeliny.

Własności obrazu dyfrakcyjnego dla pojedynczej szczeliny można wyprowadzić badając powyższą funkcję. Minima natężenia światła odpowiadają jej miejscom zerowym:

$$x_{min} = m \frac{\lambda L}{d} \quad (2)$$

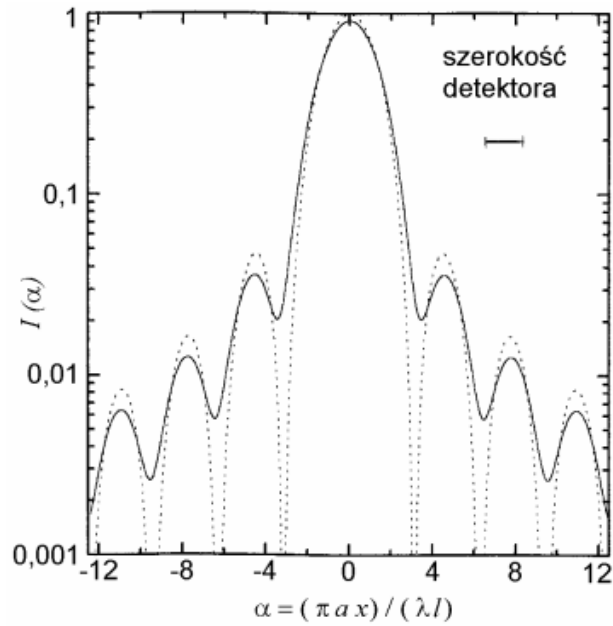
gdzie m - numer kolejnego prążka dyfrakcyjnego. W dobrym przybliżeniu maksima boczne odpowiadają maksimum funkcji $\sin^2(\alpha)$, które można wyrazić wzorem:

$$x_{max} = \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda L}{d} \quad (3)$$



Rysunek 1: Natężenie światła w obrazach dyfrakcyjnych dla pojedynczej szczeliny

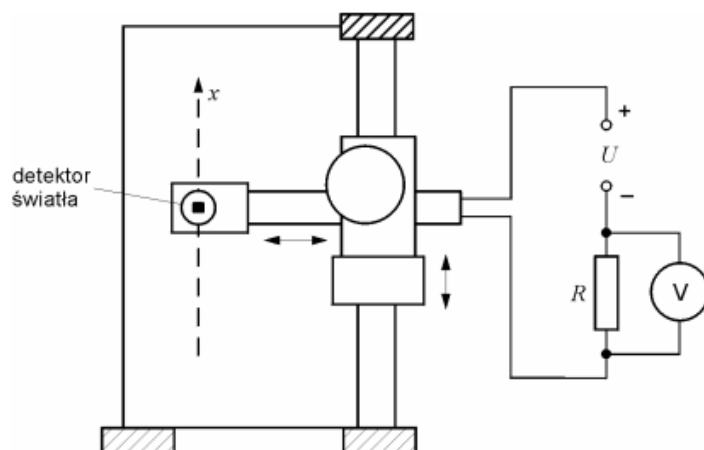
Źródłem światła monochromatycznego i spójnego jest laser półprzewodnikowy, detektorem natężenia światła jest fotodioda. Fotodioda bazująca na zjawisku fotoelektrycznym, powoduje powstanie napięcia U na oporniku R , które następnie zbadać można woltomierzem, aby zmierzyć zmianę natężenia światła. Z uwagi na budowę fotodiody, detektor uśrednia funkcję $I(x)$, co prowadzi do obniżenia napięcia w maksimach i powstanie niezerowego sygnału w minimach.



Rysunek 2: Idealny obraz dyfrakcyjny dla pojedynczej szczeliny

3 Przyrządy pomiarowe

- Laser czerwony o długości fali $\lambda = 650 \text{ nm}$.
- Przesłona metalowa zawierająca pojedynczą szczelinę.
- Ekran z fotodiodą, wraz z mechanizmem do jej przesuwania.
- Układ elektryczny do pomiaru odczytów fotodiody.



Rysunek 3: Układ pomiarowy do badania dyfrakcji

4 Przebieg ćwiczenia

1. Sprawdzono połączenie układu elektrycznego z fotodiodą.
2. Położenie fotodiody ustawiono na maksimum główne, po czym zanotowano natężenie światła, jako wskazanie woltomierza.
3. Diodę przesuwano o 0,3 mm w pionie, za każdym razem notując wskazania woltomierza.
4. Zmierzono odległość szczelina - fotodioda.

5 Wyniki

Pomiary wstępne:

- Długość fali $\lambda = 650$ nm.
- Odległość szczelina - fotodiody $L = 745$ mm.
- Niepewność $u(d) = 0,00577$ mm.

x [mm]	I [j. u.]	x [mm]	I [j. u.]	x [mm]	I [j. u.]
55,6	0,02	61,9	0,64	68,2	0,19
55,9	0,12	62,2	2,47	68,5	0,59
56,2	0,16	62,5	6,22	68,8	1,37
56,5	0,17	62,8	12,04	69,1	2,33
56,8	0,15	63,1	24,48	69,4	3,18
57,1	0,25	63,4	41,69	69,7	2,76
57,4	0,13	63,7	55,26	70,0	2,05
57,7	0,05	64,0	71,03	70,3	1,22
58,0	0,01	64,3	74,69	70,6	0,55
58,3	-0,01	64,6	69,19	70,9	0,16
58,6	0,03	64,9	65,87	71,2	0,01
58,9	0,15	65,2	61,27	71,5	0,01
59,2	0,38	65,5	55,64	71,8	0,15
59,5	0,64	65,8	48,91	72,1	0,42
59,8	0,79	66,1	44,34	72,4	0,75
60,1	1,20	66,4	36,54	72,7	0,96
60,4	1,38	66,7	25,23	73,0	0,92
60,7	1,01	67,0	15,87	73,3	0,69
61,0	0,65	67,3	7,01	73,6	0,39
61,3	0,36	67,6	1,68		
61,6	0,13	67,9	0,41		

maks gł	1 min	1 maks	2 min	2 maks

Tabela 1: Pomiar natężenia światła I w jednostkach umownych w zależności od położenia fotodiody

	x_l [mm]	x_p [mm]	x_{sr} [mm]	Szerokość szczeliny [mm]
1 minimum	2,7	3,9	3,3	146,74
1 maksimum	3,9	5,1	4,5	161,40
2 minimum	6,0	7,0	6,5	149,00
2 maksimum	7,2	8,4	7,8	155,00

Tabela 2: Położenia minimów i maksimów natężenia światła

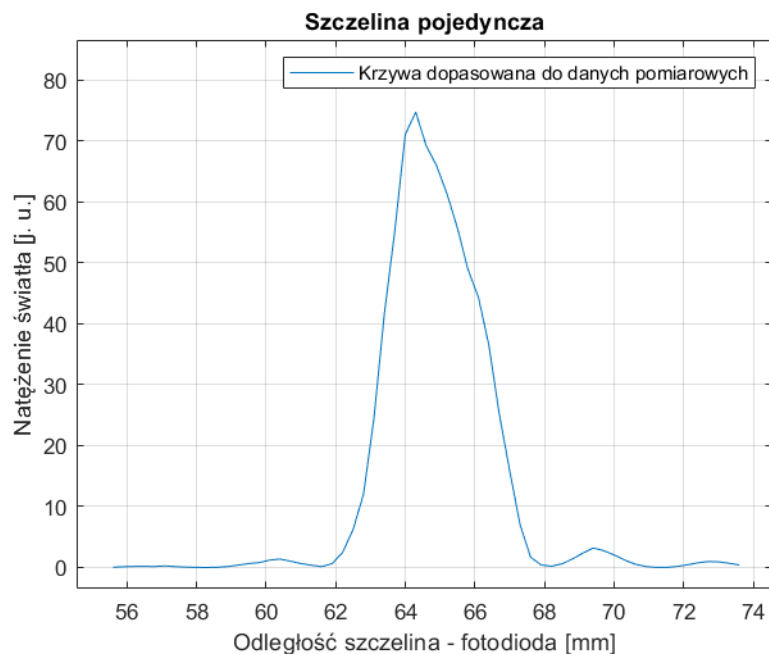
Natężenie światła w maksimum głównym: $I_0 = 74,69$ [j. u.]

	I_l [j. u.]	I_p [j. u.]	$I(x_{\max})/I_0$ (zmierzone)	$I(x_{\max})/I_0$ (teoretyczne)
1 maksimum	1,38	3,18	0,0305	0,0450
2 maksimum	0,25	0,96	0,0081	0,0161

Tabela 3: Natężenie światła w maksimach bocznych

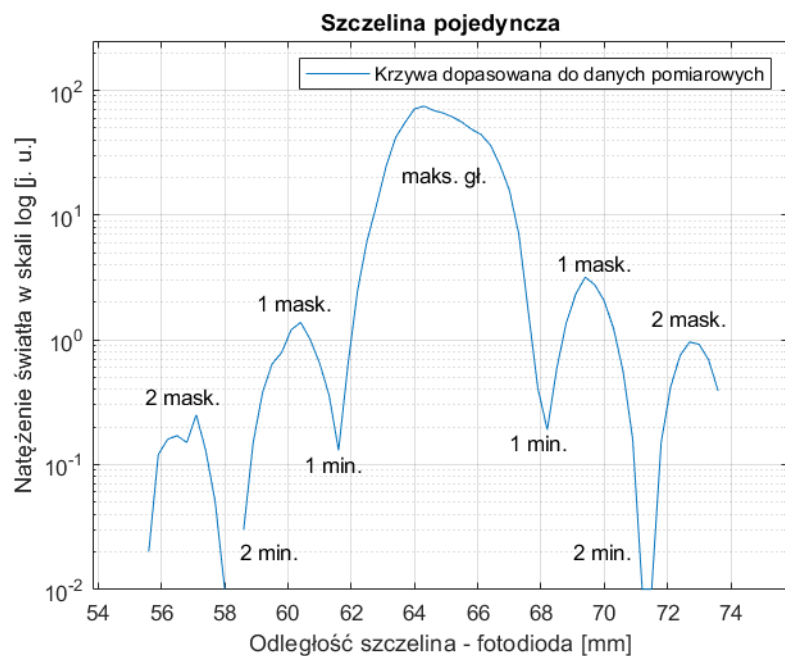
6 Opracowanie wyników

Opracowanie zaczniemy od wizualizacji powyższych danych w postaci wykresów:



Rysunek 4: Zależność natężenia światła od odległości szczelina - fotodiody

A teraz w celu lepszego rozpoznania minimów i maksimów sporządzimy wykres z użyciem skali logarytmicznej na osi pionowej:



Rysunek 5: Zależność natężenia światła od odległości szczelina - fotodiody

Na rysunku (5) są łatwo zauważalne minima i maksima 2 rzędu, ponadto otrzymany wykres jest zbliżony do wyidealizowanego wykresu przedstawionego na rysunku (2).

Teraz obliczymy wartość średnią położenia kolejnych minimów i maksimów od maksima głównego. Wyniki są zebrane w tabeli (2). Tutaj pokażemy obliczenia tylko dla pierwszego minima:

$$\overline{x_{1 \min}} = \frac{x_l + x_p}{2} = \frac{2,7 + 3,9}{2} = 3,3 \text{ (mm)} \quad (4)$$

Obliczenia szerokości szczeliny d pokażemy tylko dla pierwszego maksima i minima. Natomiast pozostałe wyniki są zebrane w tabeli (2). Szerokość szczeliny dla pierwszego minima:

$$d_{1 \min} = \frac{\lambda L}{x_{1 \max}} = \frac{650 \times 10^{-9} \cdot 745 \times 10^{-3}}{3,3 \times 10^{-3}} \approx 1,4674 \times 10^{-4} \text{ (m)} = 146,74 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (5)$$

Analogicznie dla pierwszego maksima:

$$d_{1 \max} = \frac{3}{2} \frac{\lambda L}{x_{1 \max}} = \frac{3}{2} \frac{650 \times 10^{-9} \cdot 745 \times 10^{-3}}{4,5 \times 10^{-3}} \approx 1,614 \times 10^{-4} \text{ (m)} = 161,4 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (6)$$

Wartość średnią szerokości szczeliny obliczymy następująco:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = 153,035 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (7)$$

Niepewność pomiaru szerokości szczeliny typu A znajdziemy następująco:

$$u(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = 3,288 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (8)$$

Zatem otrzymana wartość szerokości szczeliny wynosi:

$$d = 153,04 \pm 3,29 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (9)$$

Jest to dobry wynik ze względu na to, że szerokość szczeliny podana przez producenta wynosi 150 μm .

W tej części opracowania obliczymy natężenia światła w kolejnych maksimach. Na początku z tabeli (1) odczytamy wartość natężenia światła w maksimum głównym $I_0 = 74,69 \text{ (j.u.)}$. W następnym kroku policzymy wartości natężenia względnego wyznaczone doświadczalnie. Tutaj przedstawimy rachunki tylko dla 1 maksimum bocznego, natomiast pozostałe wyniki są zebrane w tabeli (3):

$$\frac{I(x_{\max_1})}{I_0} = \frac{I_{l_1} + I_{p_1}}{2I_0} = 0,0305 \quad (10)$$

Teraz znajdziemy wartości natężenia względnego wyznaczone teoretycznie. Tutaj przedstawimy rachunki tylko dla 1 maksimum bocznego, natomiast pozostałe wyniki są zebrane w tabeli (3):

$$\frac{I(x_{\max_1})}{I_0} \cong \frac{1}{\pi^2 \left(1 + \frac{1}{2}\right)^2} = 0,045 \quad (11)$$

Porównując wartości otrzymane doświadczalnie z wartościami otrzymanymi teoretycznie widzimy, że bez względu na fakt, że rzędy wielkości są podobne wartości te różnią się znacząco.

7 Wnioski

Zjawisko dyfrakcji obserwowane w doświadczeniu ujawnia falową naturę światła. Znając teoretyczne zależności między położeniem, a natężeniem promieni świetlnych można z bardzo dużą dokładnością obliczyć szerokość szczeliny dyfrakcyjnej.

Warto zauważyć, że dla coraz większych odległości od maksimum głównego wartości wyznaczone empirycznie coraz mniej zgadzają się z oczekiwanymi wartościami teoretycznymi. Wynika to z niedokładności użytych urządzeń pomiarowych, w tym fotodiody, która uśredniała mierzone natężenie światła.