

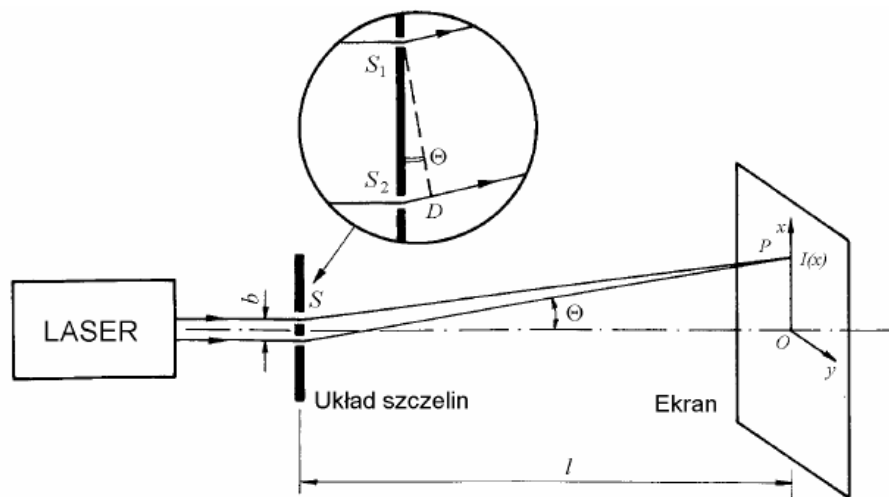
Wydział: WFiIS	Imię i nazwisko: 1. Axel Zuziak 2. Marcin Węglarz	Rok II	Grupa 02	Zespół 03
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat: Dyfrakcja światła.			Nr ćwiczenia 71
Data wykonania: 22.04.2015	Data oddania: 29.04.2015	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zaliczenia:
				OCENA:

Streszczenie

W ćwiczeniu badano dyfrakcję monochromatycznego światła laserowego o długości fali 650 nm na szczelinach podwójnej oraz pojedynczej. Przy pomocy fotodiody jako detektora natężenia światła mierzono natężenie światła padającego na ekran. Poprzez wyznaczenie odległości pomiędzy kolejnymi maksimami natężenia oraz poprzez zmierzenie odległości szczelin od ekranu wyznaczono szerokość szczelin oraz dla przypadku dwóch szczelin odległość między ich środkami.

1 Wstęp

Zarówno zjawisko dyfrakcji jak i interferencji są przykładami na falowy charakter światła. O zjawisku interferencji mówimy w przypadku dwóch szczelin dla których ich szerokość $a \ll \lambda$, gdzie λ jest długością fali padającej. Jeżeli rozpatrzmy dowolny punkt P na ekranie i będziemy chcieli policzyć dla niego wypadkową amplitudę fali padającej będziemy musieli dodać do siebie fale padające z różnych szczelin. Schematycznie problem ten pokazano na Rysunku 1.



Rysunek 1: Schemat interferencji światła na dwóch szczelinach odległych od siebie o b . [1]

Jak łatwo zauważyć na pomocniczym rysunku droga optyczna światła od szczeliny do punktu P jest różna dla każdej ze szczelin. Konsekwencją tego faktu jest przesunięcie fazowe pomiędzy falami w punkcie P . Przesunięcie fazowe, które oznaczmy przez φ , jest związane z kątem θ pod jakim obserwujemy punkt P na ekranie, oraz odległością b między szczelinami (Rysunek 1) zależnością [1]:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \theta \quad (1)$$

Fala wypadkowa w punkcie P wynosi:

$$E = E_0 \sin \omega t + E_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

Korzystając z zależności trygonometrycznych można powyższe równanie przekształcić do postaci[1]:

$$E = [2E_0 \cos(\varphi/2)] \sin(\omega t + \beta)$$

Gdzie β oraz E_0 są pewnymi stałymi. Natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu wypadkowej amplitudy drgań stąd:

$$I \propto \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

Dodatkowo jeżeli odległość ekranu od szczelin jest duża w porównaniu do wymiarów obrazu na ekranie możemy przyjąć, że $\sin \theta \approx x/L$ ostatecznie wzór na natężenie przepiszemy w postaci:

$$I_{int}(x) = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi b x}{L \lambda}\right) \quad (2)$$

Z powyższego wzoru wynika, że ekstrema natężenia będą występowały, gdy powyższa funkcja trygonometryczna będzie osiągać maksimum lub wartość zero (odpowiednio maksimum natężenia i minimum) stąd:

$$x_{max} = m \frac{\lambda L}{b} \quad (3)$$

$$x_{min} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{b} \quad (4)$$

W rzeczywistym eksperymencie trudno jest uzyskać szerokość szczeliny o szerokości znacznie mniejszej od długości fali i obserwujemy zjawisko dyfrakcji. Chcąc rozpatrzeć dyfrakcję na pojedynczej szczelinie o szerokości a musimy podzielić ją na n odcinków i policzyć superpozycję drgań padających z każdego z tych odcinków (przy założeniu że długość odcinków dąży do zera). Dalsze wyprowadzenie można poprowadzić na przykład przedstawiając zaburzenia od poszczególnych fragmentów szczeliny w postaci wektorów przesuniętych w fazie o stały czynnik. Superpozycja takich zaburzeń jest więc sumą tych wektorów. Powyższe rozumowanie zostało przedstawione krok po kroku w podręczniku [5]. Ostatecznie otrzymujemy (przy ponownym założeniu że odległość od ekranu jest znacznie większa od rozmiarów obrazu)[1]:

$$I_{dyf}(x) = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2 \quad \text{gdzie} \quad \alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \cong \frac{\pi a x}{\lambda L} \quad (5)$$

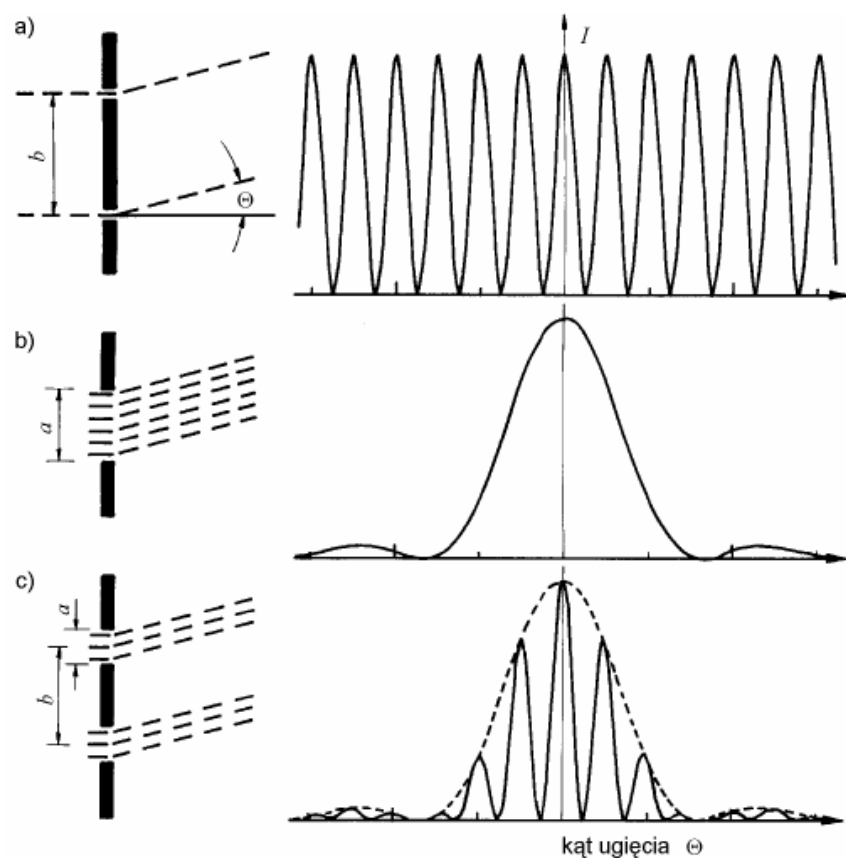
W przypadku doświadczenia z jedną szczeliną będziemy wykorzystywać wzór (5), dla doświadczenia z dwoma szczelinami końcowy efekt będzie złożeniem dwóch przedstawionych powyżej. Schemat natężenia światła na ekranie dla poszczególnych sytuacji przedstawia Rysunek 2. Ilościowo wartość natężenia dla interferencji fal światła na dwóch szczelinach o szerokości a przedstawia wzór:

$$\begin{cases} I(x) = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2 (\cos \beta)^2 \\ \beta \cong \frac{\pi b x}{\lambda L} \\ \alpha \cong \frac{\pi a x}{\lambda L} \end{cases} \quad (6)$$

2 Aparatura

- **Woltomierz cyfrowy** - "Digital voltmeter type v560". Napięcie mierzono na zakresie 100 mV.
- **Laser** o długości fali 650nm.
- **Linijka** o długości 150cm i najmniejszej podziałce = 0,1 cm.
- **Opornik regulowany dekadowy** 10x100Ω oraz dwa oporniki o oporze 1kΩ oraz 2kΩ

- Bateria zasilająca 2 x 1.5V
- Fotodioda umieszczona w przesuwniku x-y (regulacja w pionie odbywała się z dokładnością 0.05 mm)
- Płytki z pojedynczymi oraz podwójnymi szczelinami



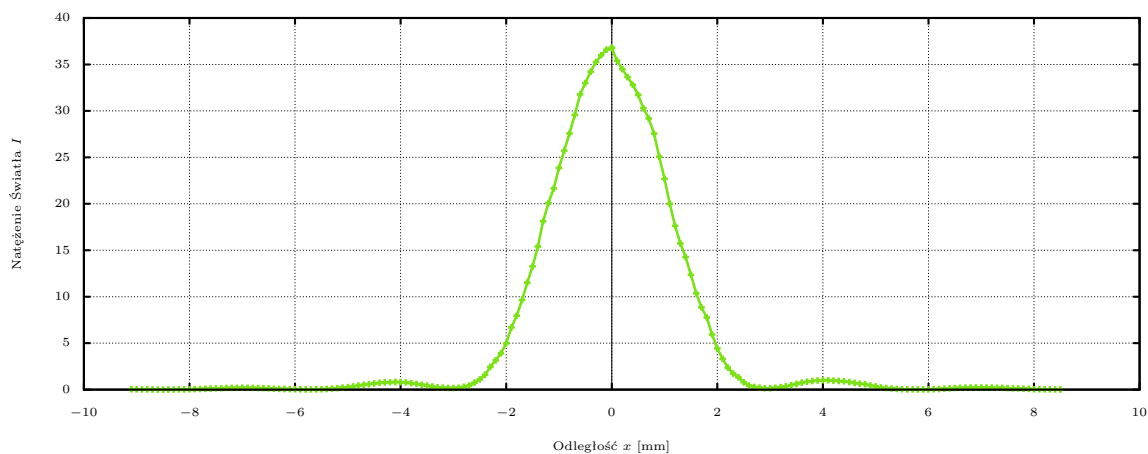
Rysunek 2: Wykres natężenia światła na ekranie dla **a)** interferencji przy zachowaniu warunku $a \ll \lambda$, **b)** dyfrakcji na pojedynczej szczelinie o szerokości a oraz **c)** złożenie poprzednich zjawisk, interferencja fali padającej z dwóch szczelin o szerokości a każda.[1]

3 Wyniki pomiarów

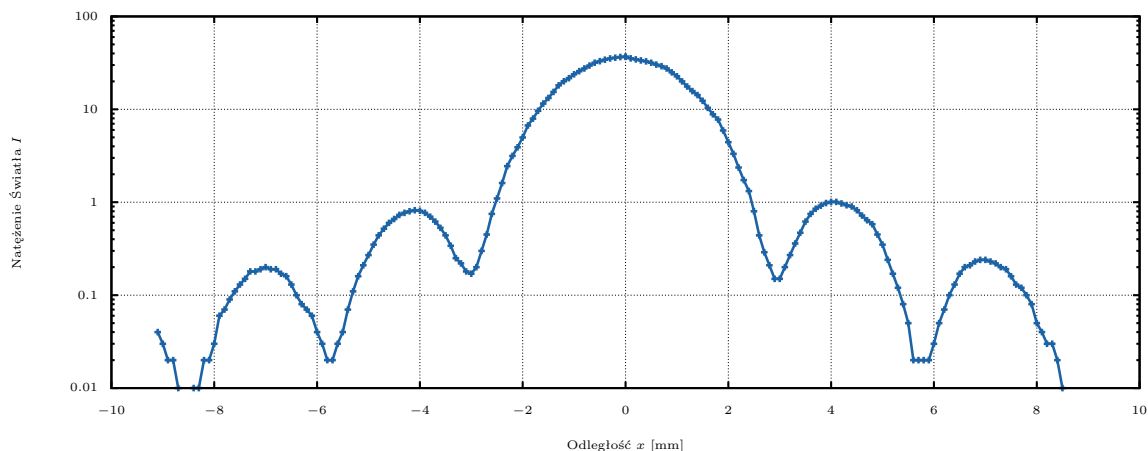
3.1 Pojedyncza szczelina

Na wykresie 3 przedstawiono zależność natężenia światła od położenia detektora. Wykres jest zbiorem punktów pomiarowych połączonych krzywą gładką wygenerowaną przez program Gnuplot. W celu uwidocznienia położenia ekstremów narysowano wykres 3b z logarymiczną skalą na osi Y. Odczytane maksima i minima przedstawiono w tabeli 1. Korzystając ze wzorów 4 oraz 3 obliczono szerokość szczeliny d . Otrzymano cztery wyniki odpowiednio dla kolejnych maksimów i minimów. Oczywiście taka ilość wyników nie pozwala na posługiwanie się niepewnością typu A . Wyznaczono niepewność typu B dla każdego wyniku korzystając z prawa przenoszenia niepewności.

$$u(d) = \sqrt{\left[\frac{m\lambda u(L)}{x}\right]^2 + \left[\frac{-m\lambda Lu(x)}{x^2}\right]^2}$$



(a) W zwykłej skali.



(b) W skali półlogarytmicznej

Rysunek 3: Wykres zależności natężenie światła I od położenia detektora x .

Natężenie światła w maksimum głównym wynosiło $I_0 = 36,78 \pm 0,01$ [j.u]

Tabela 1: Położenia maksimów i minimów natężenia światła

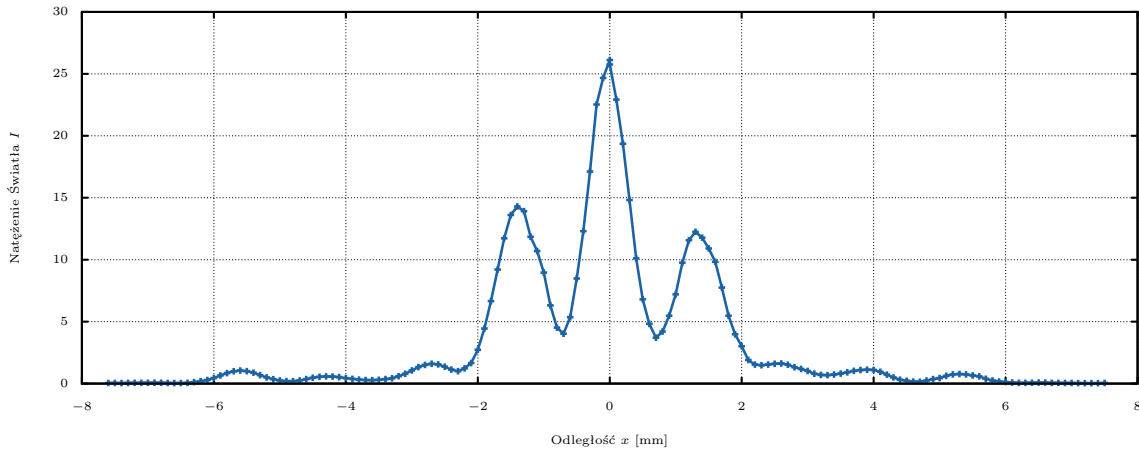
Element obrazu dyfrakcyjnego	Położenie z lewej x_l [mm]	Położenie z prawej x_p [mm]	$x = \frac{x_p - x_l}{2}$ [mm]	Obliczona szerokość szczeliny d [mm]
1 minimum	-3,0	2,9	2,95	$0,02375 \pm 0,0012$
1 maksimum boczne	-4,1	4,1	4,1	$0,02563 \pm 0,00048$
2 minimum	-5,8	5,6	5,7	$0,02458 \pm 0,00086$
2 maksimum boczne	-7,0	6,9	6,95	$0,02520 \pm 0,00056$
			d	$0,02479 \pm 0,00078$

Tabela 2: Natężenie światła w maksimach bocznych

Element obrazu dyfrakcyjnego	Natężenie z lewej I_l [j.u.]	Natężenie z prawej I_p [j.u.]	Natężenie względne doświadczalne $\frac{I(x_{max})}{I_0} = \frac{I_l + I_p}{2I_0}$	Natężenie względne teoretyczne $\frac{I(x_{max})}{I_0}$
1 maksimum boczne	0,82	1,01	0,024878	0,045031
2 maksimum boczne	0,20	0,24	0,00299	0,016211

3.2 Dwie szczeliny

Otrzymane wyniki pomiarów przedstawiono na wykresie 4 w postaci zależności natężenia światła od odległości x . Położenia kolejnych maksimów zanotowano w tabeli 3. Korzystając ze wzoru 3 obliczono odległość między szczelinami b przedstawioną na wykresie 2c.



Rysunek 4: Zależność natężenia światła od odległości.

Obliczono stosunek maksymalnego natężenia światła (w punkcie 0) do natężenia w pierwszym minimum I_{min}/I_{max} uśredniając otrzymane wyniki pomiarów.

$$\frac{I_{min}}{I_{max}} = 0,1367 \pm 0,0037$$

Tabela 3: Położenia maksimum natężenia światła dla dwóch szczelin.

Numer maksimum $ m $	Położenie z lewej x_l [mm]	Położenie z prawej x_p [mm]	$x = \frac{x_p - x_l}{2}$ [mm]	Obliczona odległość b [mm]
1	-1,3	1,3	1,3	$0,539 \pm 0,041$
2	-4,1	4,1	4,1	$0,528 \pm 0,019$
3	-5,8	5,6	5,7	$0,513 \pm 0,012$
4	-7,0	6,9	6,95	$0,5143 \pm 0,0094$
			b	$0,0524 \pm 0,021$

4 Wnioski

Niepewności pomiarów woltomierza wyliczone przy pomocy liczb definiujących przyrząd (niepewności typu B) były zdecydowanie zbyt niskie, rzędu setnych części miliwolta. Co nie zgadza się ze stanem faktycznym, gdyż podczas wykonywania pomiaru obserwowano skoki w granicach $\pm 0,01$ mV. Najprawdopodobniej spowodowane były one jakością kabli łączących ten przyrząd z resztą układu pomiarowego. W powyższych obliczeniach za wiarygodność woltomierza uznano $0,01$ mV. Z kolei ze względu na niezbyt fortunne umiejscowienie przymiaru metrowego za niepewność $u(L)$ wyznaczenia odległości lasera od fotodiody uznano wielkość $u(L) = 0,003$ m.

Obliczenia szerokości szczeliny oraz odległości b dały bardzo dokładne wyniki, ponieważ niepewność regulacji w pionie fotodiody była bardzo mała $0,05$ mm. Dla dwóch szczelin obliczony stosunek $I_{min}/I_{max} = 0,1367 \pm 0,0037$ jest miarą jakości obrazu interferencyjnego. Wartość 1 odpowiada zniknięciu prążków, natomiast wartość 0 obrazu idealnemu. Otrzymany wynik pozwala sądzić, że otrzymany obraz był dobrej jakości. Obliczone dla jednej szczeliny natężenia względne w maksimach bocznych nie zgadzają się z wartościami teoretycznymi.

Literatura

- [1] Z. Stękowski, *Zeszyt A1 do ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki*, Kraków, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica, dostępny na stronie:
http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/71_opis.pdf
- [2] Jacek Tarasiuk, *Wykłady, Statystyka Inżynierska*, Kraków, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica, dostępny na stronie:
<http://home.agh.edu.pl/~tarasiuk/dydaktyka/index.php/statystykainzynierska>
- [3] Andrzej Zięba, *Opracowanie danych pomiarowych*, Kraków, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica, dostępny na stronie:
<http://www.ftj.agh.edu.pl/zdf/danepom.pdf>
- [4] Andrzej Zięba, *Pracownia fizyczna wydziału Fizyki i techniki jądrowej AGH*, wydawnictwa AGH, Kraków, 1999
- [5] D.Halliday, R.Resnick *Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych*. Tom II, wydanie III, PWN, Warszawa 1974