

WFİIS	Imię i nazwisko: 1. 2.	ROK	GRUPA	ZESPÓŁ
PRACOWNIA FIZYCZNA I i II	TEMAT:			NR ĆWICZENIA
Data wykonania:	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zliczenia:
				OCENA

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z metodami pomiarowymi optyki falowej. Pomiar rozkładu natężenia światła w obrazach dyfrakcyjno-interferencyjnych dla jednej i dwóch szczelin oraz teoretyczna interpretacja tych rozkładów.

Wstęp teoretyczny

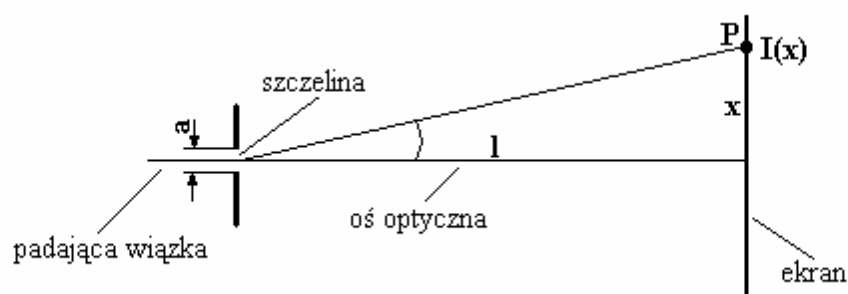
Dyfrakcja jest to zjawisko nakładania się fal cząstkowych pochodzących ze spójnego źródła, które przechodzą przez daną aperturę (np. szczelinę). Dobry obraz dyfrakcyjny powstaje, gdy wymiary aparatury są dużo większe od długości fali, oraz gdy ekran znajduje się w odległości dużo większej od wymiarów apertury. W typowym doświadczeniu z dyfrakcją rozmiary szczeliny są około 10^2 - 10^3 razy większe od długości fali, a z kolei odległości źródło - apertura, apertura - ekran są 10^3 razy większe od wymiarów apertury. Do opisu tego zjawiska wystarczy opis Fraunhofera, czyli przy założeniu, że powierzchnie falowe są płaszczyznami. Wtedy rozkład natężenia można opisać następującą zależnością:

$$I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

gdzie: I_{θ} - natężenie światła pod kątem θ od osi optycznej, I_0 - maksymalne natężenie światła (dla $\theta = 0$), natomiast: $\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \approx \frac{\pi a x}{\lambda l}$ (dla małych kątów); ostatecznie mamy więc:

$$I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \frac{\pi a x}{\lambda l}}{\frac{\pi a x}{\lambda l}} \right)^2$$

Odpowiednie wymiary geometryczne układu optycznego przedstawione są na rysunku na następnej stronie.



Dla wartości natężeń kolejnych maksimów dyfrakcyjnych dobrym przybliżeniem jest wzór:

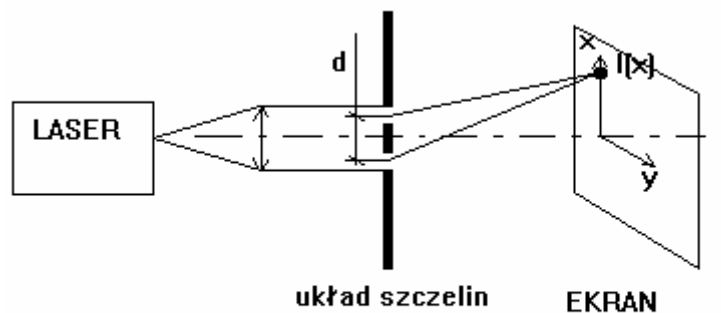
$$I \approx I_0 \frac{1}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2}$$

Dyfrakcja, „na co dzień” i jej praktyczne zastosowanie

W świetle widzialnym dyfrakcję na warstwach można obserwować jako rozproszenie światła białego na powierzchni płyty CD. Kolejne ścieżki tworzą, następujące po sobie warstwy, na których fale o różnych kolorach, załamują się pod różnym kątem. W efekcie światło białe rozdziela się na poszczególne barwy.

Jeżeli prześledzimy zachowanie się fali, która omija przeszkodę mniejszą niż dwie długości fali, okaże się, że fala nie reaguje na tak mały obiekt. Fakt ten powoduje konieczność stosowania krótszych fal do obserwacji mniejszych przedmiotów. Aby obserwować strukturę krystaliczną materii, konieczne jest użycie fal rentgenowskich. Zjawisko dyfrakcji pozwoliło na rozwój krystalografii rentgenowskiej, dzięki której odkryto strukturę spirali DNA. W procesie produkcji układów scalonych wykorzystuje się światło do rysowania kształtu obwodu elektrycznego na podłożu. Zjawisko dyfrakcji zmusza producenta mikroprocesorów do zastosowania fal dwa razy krótszych niż, konieczna precyzja struktury układu. Dla obwodów o dokładności $0,13 \mu\text{m}$, oznacza to konieczność posłużenia się ultrafioletem. Jeżeli układy scalone mają się rozwijać zgodnie z prawem Moore'a, konieczne jest wdrożenie nowych technologii opierających się na falach mniejszej długości. Światło ulega największemu załamaniu w narożach i zakrętach ścieżek maski, konstruktorzy obecnie tak modyfikują maskę w narożach otworów i na zakrętach ścieżek by zminimalizować dyfrakcję, długość światła dobiera się tak by pierwsze prążki interferencyjne równoległych ścieżek nie nakładały się, poprawiono własności emulsji. Po dokonaniu tych zmian kryterium długości fali udało się złagodzić.

Interferencja jest zjawiskiem wzajemnego wzmacniania lub osłabiania się fal. Aby wykonać doświadczenie z interferencją fal należy dysponować spójnym źródłem światła. Takim promieniowaniem, które w pełni będzie spełniać warunki spójności jest z pewnością wiązka laserowa. Schemat doświadczenia, jakie przeprowadził *Young* z użyciem lasera przedstawia rysunek na następnej stronie.



W całej przestrzeni poza płaszczyzną obu szczelin wytwarzają się maksima i minima interferencyjne. Położenie tych maksimów dane jest wzorem:

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d},$$

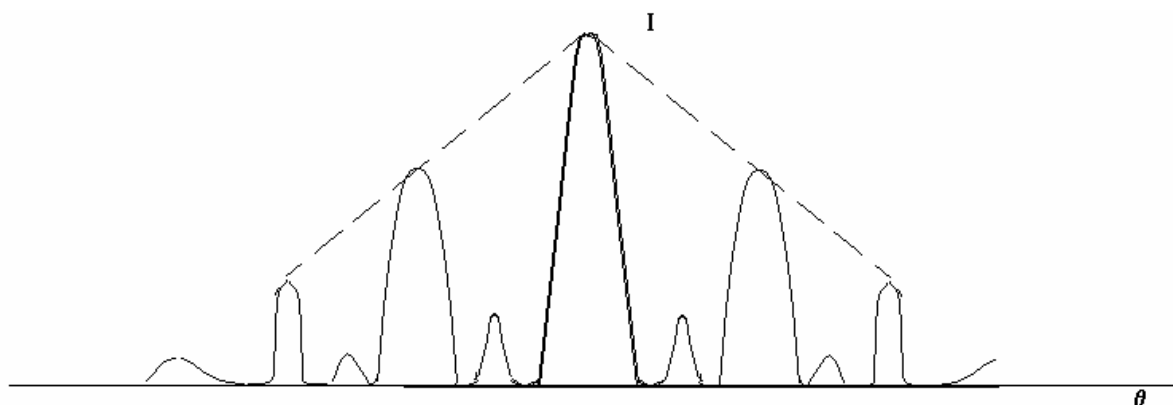
gdzie $m = 1, 2, 3, \dots$ jest rzędem prążka interferencyjnego (widma), natomiast d jest odległością między szczelinami.

Dla małych kątów ugięcia θ zachodzi $\sin \theta_m = \frac{x_m}{l}$, zatem położenie x_m maksimum na ekranie wynosi:

$$x_m = \frac{ml\lambda}{d},$$

gdzie l jest odległością szczelin od ekranu.

Aby uzyskać wyraźny obraz interferencyjny należy zastosować szczeliny o bardzo małej szerokości w porównaniu z długością fali, czyli $d \ll \lambda$. W praktyce jednak szerokość szczelin jest dużo większa od długości fali więc uzyskujemy obraz dyfrakcyjno-interferencyjny. Rozkład natężenia światła w obrazie dyfrakcyjnym przedstawia poniższy rysunek.



Ze wzrostem liczby szczelin natężenie światła w maksimach pobocznych maleje praktycznie do zera, maksimum główne staje się coraz bardziej wąskie. Zmniejszenie szerokości maksimów głównych oznacza wzrost zdolności siatki do rozdzielania światła o różnych długościach fali w widmo. Zdolność rozdzielania siatki dyfrakcyjnej wyraża się wzorem:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = Nm,$$

gdzie odpowiednio m - rząd widma, N - liczba szczelin, $\Delta\lambda$ - najmniejsza różnica długości fali jakie można rozdzielić. Aby wyznaczyć stałą siatki dyfrakcyjnej należy zmierzyć wielkości występujące we wzorze:

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d}$$

Praktyczne zastosowania interferencji

Interferencja pozwala na bardzo precyzyjny pomiar długości drogi od źródła do detektora fali. Światło lasera można podzielić kostką światłodzielącą na dwie wiązki. Jedną z nich umieszcza się na mierzonym odcinku, a drugą wprowadza do detektora jako wiązkę odniesienia. W efekcie rejestrowane natężenie światła będzie rosnać i maleć cyklicznie w miarę zwiększania wymiarów odcinka. Długość fali może stać się wzorcem odległości, np. metra, co wykorzystuje interferometr laserowy.

Najnowsze prace nad telefonią komórkową trzeciej generacji (UMTS) doprowadziły do powstania idei nowej anteny opierającej swoją zasadę działania na interferencji fal. Jeżeli zamiast jednego nadajnika, umieścimy kilka w pewnej odległości od siebie, to fale zaczynają się nakładać. W efekcie stara komórka sieci komunikacyjnej dzieli się na kilka obszarów, w których niezależnie można przekazywać sygnały. Antena tego typu określana jest jako antena adaptacyjna.

Jeżeli uda się zbudować układ generujący fale dźwiękowe w przeciwfazie do hałasu wytwarzanego przez jakieś urządzenie, to nastąpi całkowite jego wyciszenie. Zasadę taką wykorzystuje się w aktywnym tłumieniu hałasu (ATH).

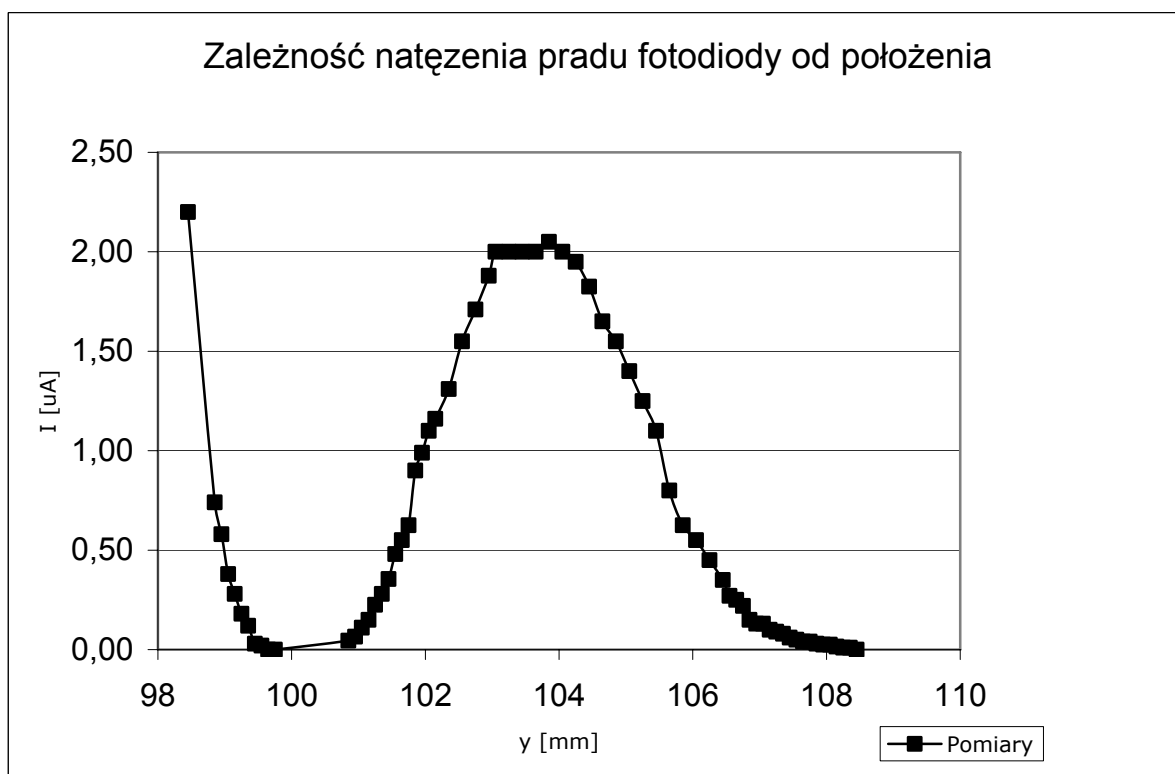
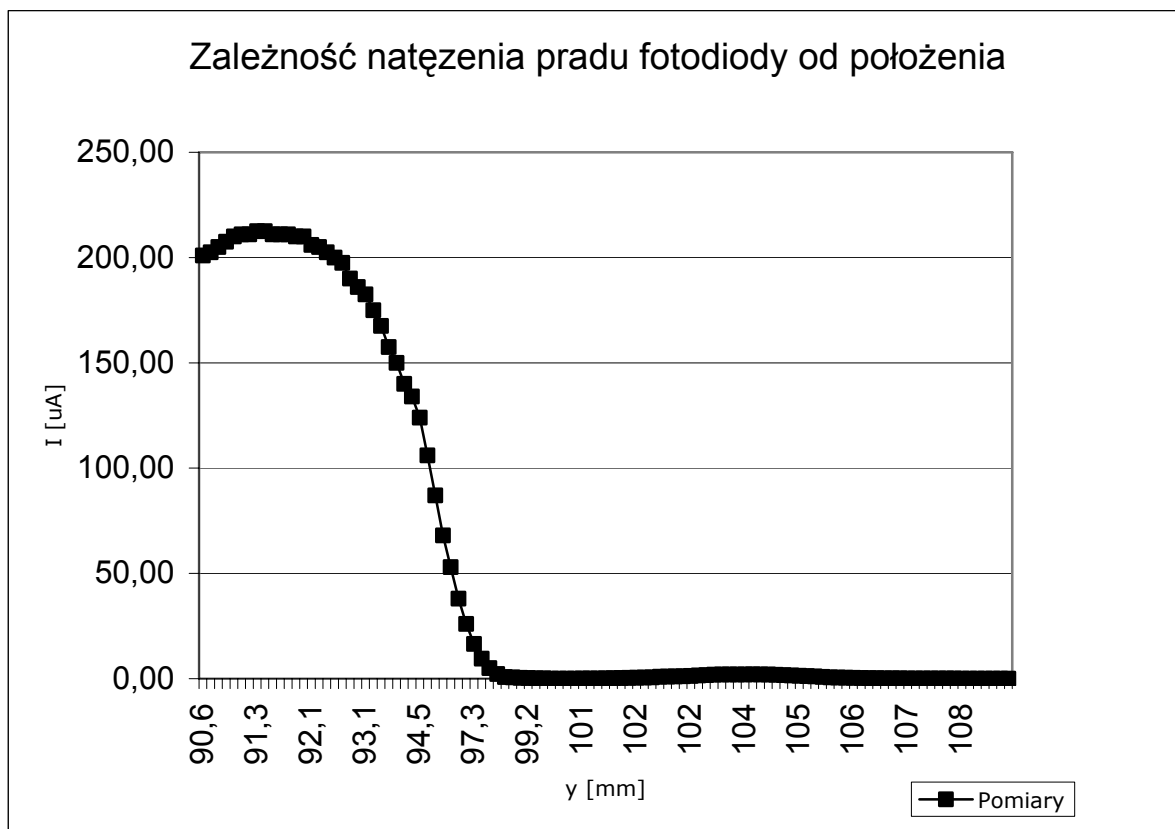
W akustyce oraz analizie sygnałów, obserwuje się fale o bardzo złożonej strukturze. Dźwięki słyszane przez człowieka powstają na skutek interferencji fal w szerokim zakresie częstotliwości i amplitud obserwowanych jako zmiany natężenia przepływających mas powietrza (zmiany ciśnienia). Jednak zarówno ludzki mózg, jak i nowoczesne procesory sygnałowe są w stanie dokonać analizy takiej fali. Rozkład fali na elementy składowe opiera się na założeniu, że wszystkie interferujące fale da się zapisać jako sumę fal sinusoidalnych. Przekształcenie to nazywa się transformatą Fouriera. Na drodze pewnych uproszczeń można je przyspieszyć i umożliwić implementację w sprzęcie elektronicznym (proste analizatory widma w sprzęcie grającym). Te uproszczone przekształcenia to tak zwana dyskretna transformata Fouriera i szybka transformata Fouriera (ang. FFT). Analiza interferencji fal pozwala na lepsze zrozumienie istoty dźwięku, co zaowocowało opracowaniem formatu MP3. Dzięki transformacie FFT możliwe jest przesyłanie danych na wielu częstotliwościach, dzięki czemu możliwe jest zbudowanie modemu PLC.

Wyniki pomiarów dla jednej szczeliny

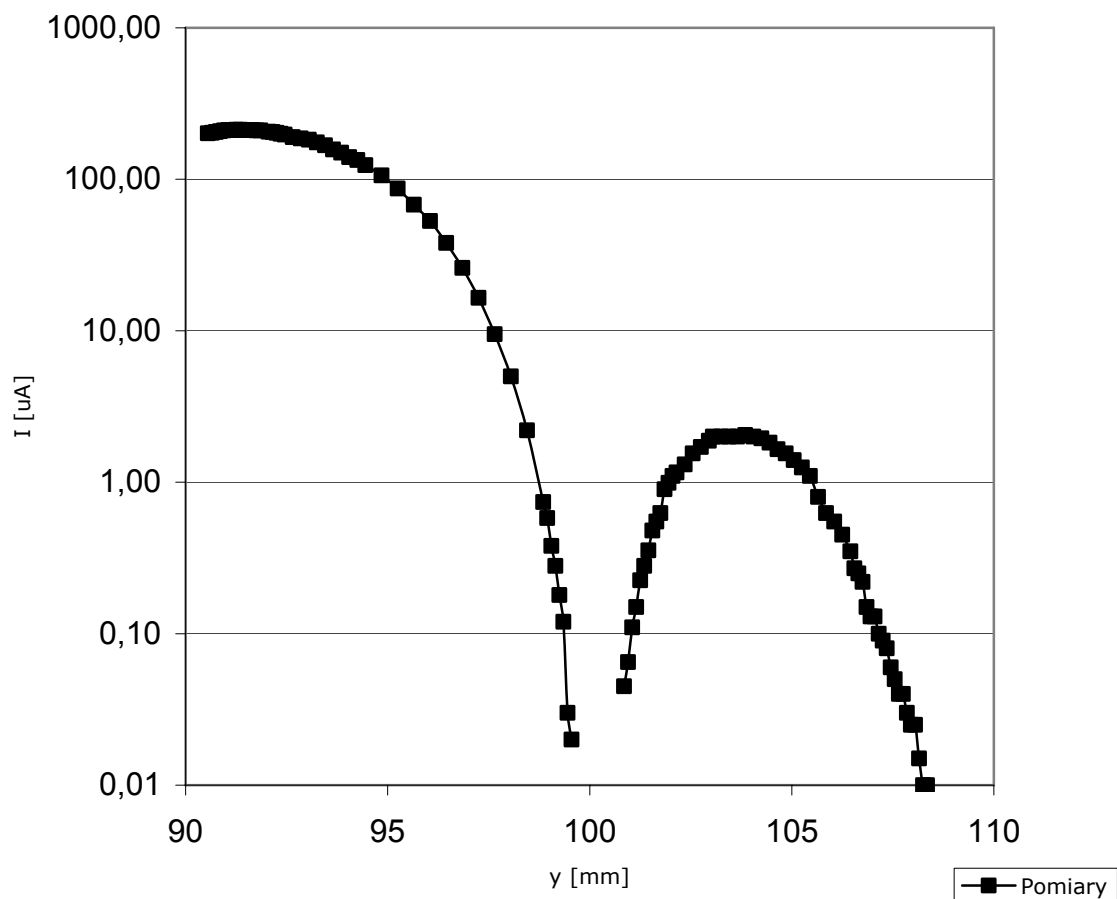
Lp.	y [mm]	Ilość działek	Zakres [μA]	Natężenie prądu [μA]
1.	90,55	40,2	500	201,00
2.	90,65	40,5	500	202,50
3.	90,75	41,0	500	205,00
4.	90,85	41,5	500	207,50
5.	90,95	42,0	500	210,00
6.	91,05	42,2	500	211,00
7.	91,15	42,2	500	211,00
8.	91,25	42,5	500	212,50
9.	91,35	42,5	500	212,50
10.	91,45	42,2	500	211,00
11.	91,55	42,2	500	211,00
12.	91,65	42,2	500	211,00
13.	91,75	42,0	500	210,00
14.	91,85	42,0	500	210,00
15.	92,05	41,2	500	206,00
16.	92,15	41,0	500	205,00
17.	92,25	40,5	500	202,50
18.	92,35	40,0	500	200,00
19.	92,45	39,5	500	197,50
20.	92,65	38,0	500	190,00
21.	92,85	37,2	500	186,00
22.	93,05	36,5	500	182,50
23.	93,25	35,0	500	175,00
24.	93,45	33,5	500	167,50
25.	93,65	31,5	500	157,50
26.	93,85	30,0	500	150,00
27.	94,05	28,0	500	140,00
28.	94,25	67,0	200	134,00
29.	94,45	62,0	200	124,00
30.	94,85	53,0	200	106,00
31.	95,25	43,5	200	87,00
32.	95,65	34,0	200	68,00
33.	96,05	26,5	200	53,00
34.	96,45	19,0	200	38,00
35.	96,85	26,0	100	26,00
36.	97,25	16,5	100	16,50
37.	97,65	9,5	100	9,50
38.	98,05	25,0	20	5,00
39.	98,45	11,0	20	2,20
40.	98,85	37,0	2	0,74
41.	98,95	29,0	2	0,58
42.	99,05	19,0	2	0,38
43.	99,15	14,0	2	0,28
44.	99,25	9,0	2	0,18
45.	99,35	6,0	2	0,12
46.	99,45	3,0	1	0,03
47.	99,55	2,0	1	0,02
48.	99,65	0,0	1	0,00
49.	99,75	0,0	1	0,00
50.	100,85	4,5	1	0,05
51.	100,95	6,5	1	0,07
52.	101,05	11,0	1	0,11

53.	101,15	15,0	1	0,15
54.	101,25	22,5	1	0,23
55.	101,35	28,0	1	0,28
56.	101,45	35,5	1	0,36
57.	101,55	48,0	1	0,48
58.	101,65	55,0	1	0,55
59.	101,75	62,5	1	0,63
60.	101,85	90,0	1	0,90
61.	101,95	49,5	2	0,99
62.	102,05	55,0	2	1,10
63.	102,15	58,0	2	1,16
64.	102,35	65,5	2	1,31
65.	102,55	77,5	2	1,55
66.	102,75	85,5	2	1,71
67.	102,95	94,0	2	1,88
68.	103,05	40,0	5	2,00
69.	103,25	40,0	5	2,00
70.	103,45	40,0	5	2,00
71.	103,65	40,0	5	2,00
72.	103,85	41,0	5	2,05
73.	104,05	40,0	5	2,00
74.	104,25	39,0	5	1,95
75.	104,45	36,5	5	1,83
76.	104,65	33,0	5	1,65
77.	104,85	31,0	5	1,55
78.	105,05	28,0	5	1,40
79.	105,25	25,0	5	1,25
80.	105,45	22,0	5	1,10
81.	105,65	16,0	5	0,80
82.	105,85	12,5	5	0,63
83.	106,05	11,0	5	0,55
84.	106,25	9,0	5	0,45
85.	106,45	7,0	5	0,35
86.	106,55	27,0	1	0,27
87.	106,65	25,0	1	0,25
88.	106,75	22,0	1	0,22
89.	106,85	15,0	1	0,15
90.	106,95	13,0	1	0,13
91.	107,05	13,0	1	0,13
92.	107,15	10,0	1	0,10
93.	107,25	9,0	1	0,09
94.	107,35	8,0	1	0,08
95.	107,45	6,0	1	0,06
96.	107,55	5,0	1	0,05
97.	107,65	4,0	1	0,04
98.	107,75	4,0	1	0,04
99.	107,85	3,0	1	0,03
100.	107,95	2,5	1	0,03
101.	108,05	2,5	1	0,03
102.	108,15	1,5	1	0,02
103.	108,25	1,0	1	0,01
104.	108,35	1,0	1	0,01
105.	108,45	0,0	1	0,00

Wykresy dla jednej szczeliny



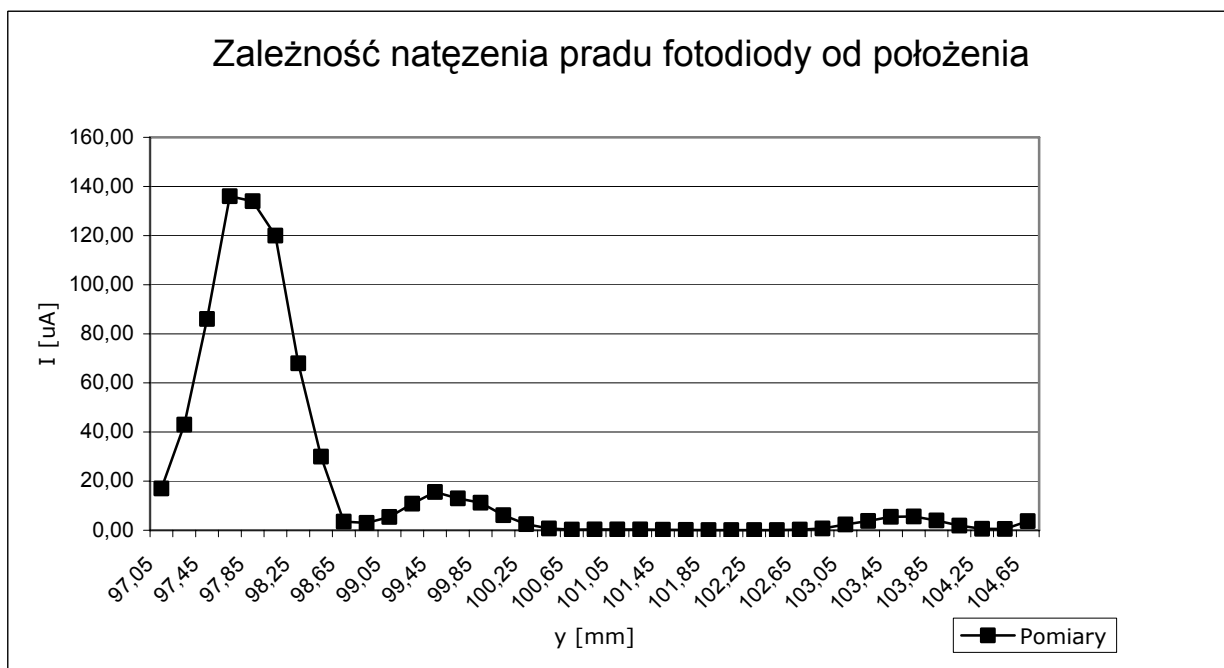
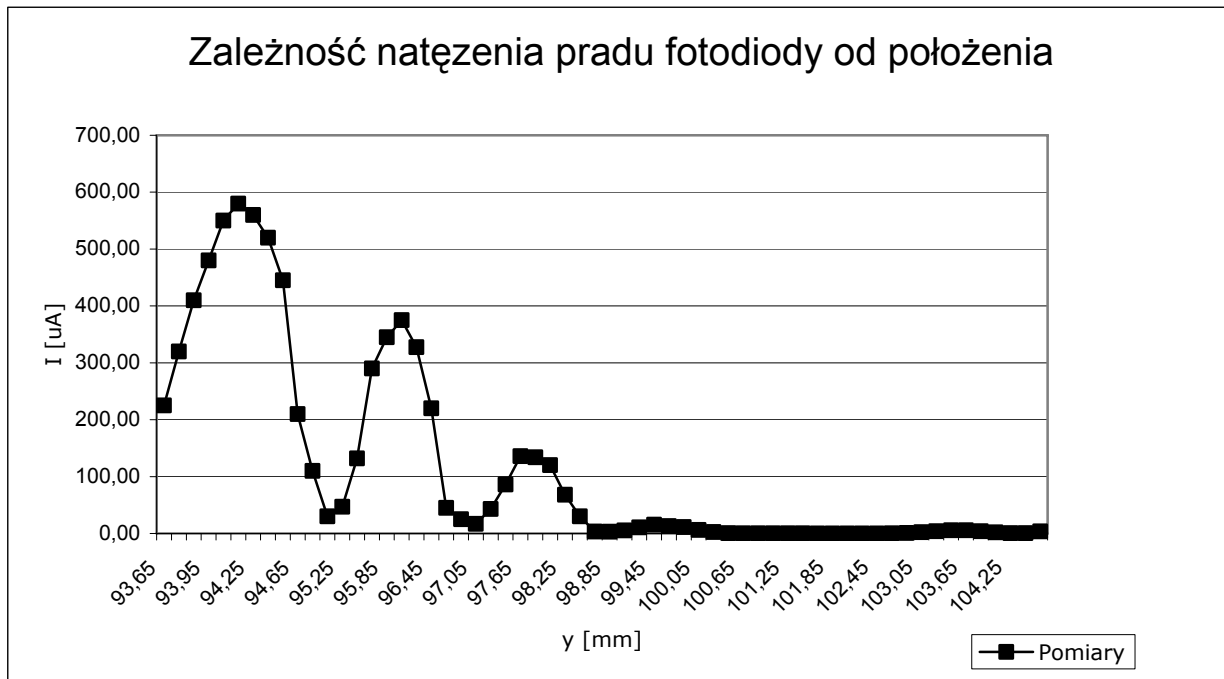
Zależność natężenia prądu fotodiody od położenia
(skala logarytmiczna)



Wyniki pomiarów dla dwóch szczeliny

Lp.	y [mm]	Ilość działek	Zakres [μA]	Natężenie prądu [μA]					
					31.	98,85	15,0	20	3,00
					32.	99,05	27,0	20	5,40
1.	93,65	22,5	1000	225,00	33.	99,25	54,0	20	10,80
2.	93,75	32,0	1000	320,00	34.	99,45	78,0	20	15,60
3.	93,85	41,0	1000	410,00	35.	99,65	65,0	20	13,00
4.	93,95	48,0	1000	480,00	36.	99,85	56,0	20	11,20
5.	94,05	55,0	1000	550,00	37.	100,05	30,5	20	6,10
6.	94,15	58,0	1000	580,00	38.	100,25	12,5	20	2,50
7.	94,25	56,0	1000	560,00	39.	100,45	3,5	20	0,70
8.	94,35	52,0	1000	520,00	40.	100,65	5,0	5	0,25
9.	94,45	44,5	1000	445,00	41.	100,85	6,0	5	0,30
10.	94,65	21,0	1000	210,00	42.	101,05	7,0	5	0,35
11.	94,85	11,0	1000	110,00	43.	101,25	6,5	5	0,33
12.	95,05	3,0	1000	30,00	44.	101,45	20,0	1	0,20
13.	95,25	23,5	200	47,00	45.	101,65	14,0	1	0,14
14.	95,45	66,0	200	132,00	46.	101,85	8,0	1	0,08
15.	95,65	58,0	500	290,00	47.	102,05	5,0	1	0,05
16.	95,85	69,0	500	345,00	48.	102,25	4,0	1	0,04
17.	96,05	75,0	500	375,00	49.	102,45	8,0	1	0,08
18.	96,25	65,5	500	327,50	50.	102,65	27,0	1	0,27
19.	96,45	44,0	500	220,00	51.	102,85	74,0	1	0,74
20.	96,65	9,0	500	45,00	52.	103,05	47,0	5	2,35
21.	96,85	25,0	100	25,00	53.	103,25	76,0	5	3,80
22.	97,05	17,0	100	17,00	54.	103,45	55,0	10	5,50
23.	97,25	43,0	100	43,00	55.	103,65	56,0	10	5,60
24.	97,45	86,0	100	86,00	56.	103,85	40,0	10	4,00
25.	97,65	68,0	200	136,00	57.	104,05	19,0	10	1,90
26.	97,85	67,0	200	134,00	58.	104,25	6,0	10	0,60
27.	98,05	60,0	200	120,00	59.	104,45	52,0	1	0,52
28.	98,25	34,0	200	68,00	60.	104,65	74,0	5	3,70
29.	98,45	15,0	200	30,00					
30.	98,65	17,5	20	3,50					

Wykresy dla dwóch szczeliny



Opracowanie wyników pomiarów

Wyznaczenie szerokości szczeliny a .

Zależność pozwalająca na wyznaczenie szerokości szczeliny ma postać:

$$d = \frac{\lambda L}{2y}$$

Podczas ćwiczenia używano światła o długości fali $\lambda = 670[nm] = 670 \cdot 10^{-9}[mm]$

$m = 1, 2, 3, \dots$ - kolejne minima;

$L = 1495[mm]$ - odległość szczelina-ekran;

$\Delta L = 1[mm]$ $\Delta y = 0,1[mm]$;

y - odległość między kolejnym minimum a maksimum głównym;

Za pomocą prawa przenoszenia niepewności w postaci:

$$\Delta d = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{y}\right)^2 + \left(\frac{L \Delta y}{y^2}\right)^2}$$

obliczono niepewność pomiaru szerokości szczeliny:

$$\Delta d = 0,6 \cdot 10^{-5}[mm]$$

Położenie pierwszego maksimum bocznego w przybliżeniu wynosi: $4[mm]$.

Na podstawie danej, można stwierdzić, że szerokość szczeliny dyfrakcyjnej wynosi:

$$d = 0,12 \cdot 10^{-3}(0,6 \cdot 10^{-5})[mm]$$

Odległość między szczelinami, a wyznaczono na podstawie maksimów interferencyjnych leżących wewnątrz głównego maksimum dyfrakcyjnego korzystając ze wzoru:

$$a = \frac{m\lambda}{\sin \alpha}$$

Ponieważ dla małych kątów $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{L}$, $d = \frac{my\lambda}{L}$ więc ostatecznie można stwierdzić, że:

$$a = 1,1 \cdot 10^{-3}[mm]$$

Z prawa przenoszenia niepewności możemy wyliczyć, że:

$$\Delta a = m\lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{y}\right)^2 + \left(\frac{L \Delta y}{y^2}\right)^2}$$

Ostatecznie prowadzi to do wyniku:

$$a = 1,1 \cdot 10^{-3}(1 \cdot 10^{-4})[mm]$$

Wnioski

Ostatecznie szerokość szczeliny używanej w doświadczeniu wyniosła:

$$d = 0,12 \cdot 10^{-3} (0,6 \cdot 10^{-5}) [mm]$$

Następnie obliczono odległość między szczelinami dla interferencji światła laserowego.

Wynosi ona:

$$a = 1,1 \cdot 10^{-3} (1 \cdot 10^{-4}) [mm]$$

Ćwiczenie było bardzo przyjemne do wykonania. Skłoniło zespół do zdobycia wiedzy na temat praktycznego zastosowania zjawisk dyfrakcji i interferencji. Różnice między teorią, a przeprowadzonymi przez nas doświadczeniami wynikają w dużym stopniu z powodu skończonej dokładności urządzeń pomiarowych, faktu, iż ćwiczenie nie było dokonywane w całkowitej ciemności oraz z powodu niedoskonałości ludzkich zmysłów.