

Wydział WFiIS	Imię i nazwisko 1. Mateusz Kulig 2. Przemysław Ryś		Rok 2022	Grupa 3	Zespół 1
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat: Dyfrakcja światła na szczelinie pojedynczej i podwójnej				Nr ćwiczenia 71
Data wykonania 08.05.2022	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

W doświadczeniu przy pomocy światła lasera wyznaczyliśmy szerokość jednej szczeliny, na której światło uległo dyfrakcji. Dla dwóch szczelin wyznaczyliśmy odległość między nimi. Zrobiliśmy to za pomocą pomiaru maksimów natężenia światła na obrazie interferencyjnym. użytym detektorem światła była dioda półprzewodnikowa. Wyniki zostały przedstawione w formie wykresów. W niektórych z nich użyliśmy skali półlogarytmicznej, by jeszcze lepiej uwidocznili ekstrema.

1. Wstęp teoretyczny

Gdy światło przechodzi przez pojedynczą szczelinę ulega ono dyfrakcji, a gdy przechodzi przez układ dwóch szczelin ulega interferencji. Oba te zjawiska mogą być wytłumaczone za pomocą superpozycji fal cząstkowych.

Gdy mamy do czynienia z dwoma szczelinami, których szerokość można pominąć, a odległość między nimi d jest znacznie mniejsza niż odległość do ekranu L , należy rozpatrzyć superpozycję dwóch fal wychodzących ze środków szczelin. Te fale będą względem siebie przesunięte w fazie o pewną wartość

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

gdzie θ jest kątem jaki tworzy prosta, łącząca szczeliny z punktem, w którym mierzymy natężenie fali, z prostą prostopadłą do ekranu. Tak więc fala docierająca do ekranu jest sumą fal danych wzorem

$$E = E_0 \sin(\omega t) + E_0 \sin(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Po przekształceniu trygonometrycznym otrzymujemy formułę na natężenie sumy fal w danym punkcie x

$$I = I_0 \left(\cos \frac{\pi dx}{L\lambda} \right)^2. \quad (3)$$

Analizując tą funkcję, można się przekonać, że posiada ona maksima opisane wzorem

$$x_{max} = \frac{m\lambda L}{d}, \quad (4)$$

w którym m jest liczbą całkowitą.

Jeśli chcemy rozwiązać problem dla jednej szczeliny, której szerokość a jest jednak istotna, musimy podzielić ją na części i uwzględnić wszystkie fale składowe pochodzące z każdego kawałka. W ten sposób otrzymany wzór opisujący natężenie fali w danym punkcie przyjmuje postać

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad \alpha = \frac{\pi ax}{\lambda L}. \quad (5)$$

Tym razem maksima i minima natężenia wyrażają się wzorem

$$x_{max} = \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda L}{d}, \quad x_{min} = m \frac{\lambda L}{d}. \quad (6)$$

Ostatecznie chcąc rozważyć rzeczywisty przypadek dwóch szczelin których szerokość jest istotna należy pomnożyć poszczególne składniki (3) i (5)

$$I = I_0 \left(\cos \frac{\pi dx}{L\lambda} \right)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (7)$$

2. Aparatura

Do przeprowadzenia doświadczenia użyliśmy następujących przyrządów:

- Laser emitujący czerwone światło – długość światła wynosiła $\lambda = 650 \text{ nm}$,
- Płytki, na których znajdowały się szczeliny – zostały użyte płytki ze szczeliną pojedynczą i dwoma szczelinami,
- Ekran – zaopatrzony był on w fotodiodeę mierzącą natężenie światła oraz układ umożliwiający jej przesuwanie,
- Stelaż, na którym zamocowany był laser, płytki oraz ekran – wyposażony był on w linijkę, za pomocą której zmierzaliśmy odległość między szczelinami a ekranem.

3. Metodyka doświadczenia

Wykonanie doświadczenia rozpoczęliśmy od ustawienia fotodiody w maksimum natężenia światła za pomocą pokręteł. Najpierw zajęliśmy się płytką ze szczeliną pojedynczą. Następnie przesuwaliśmy detektor w górę i odczytywaliśmy jego wskazanie za każdym razem, gdy przemieściliśmy go o 0,1 milimetra. Pomiary zakończyliśmy, gdy dioda znalazła się w okolicach trzeciego minimum natężeniowego. Tam wskazania odczytywaliśmy rzadziej, ponieważ co 0,2 milimetra. Następnie postąpiliśmy analogicznie, tym razem oddalając się od maksimum w drugą stronę. Dalej, wymieniliśmy płytkę na taką, która zawierała dwie szczeliny. Fotodiodeę ustawiliśmy w pewnej odległości od maksimum i przesuwaliśmy ją wykonując skok 0,2 milimetra, aż dotarliśmy w miejsce symetrycznie oddalone od środka. Przez cały czas trwania doświadczenia dbaliśmy, by żadne zewnętrzne źródło światła lub deformacja układu, powodowana na przykład opieraniem się o stół, na którym umieszczona była aparatura, nie zakłóciła wyników. Eksperyment zakończyliśmy mierząc linijką odległość pomiędzy miejscem, gdzie umieszczone były płytki, a ekranem.

4. Analiza danych

Dokonałiśmy dużej ilości pomiarów natężenia światła w zależności od odległości detektora od prążka głównego.

Odległość pomiędzy szczeliną a fotodiodą wynosi $L = 69,7$ [cm].

Długość fali światła padającego na siatkę dyfrakcyjną wynosi $\lambda = 650$ [nm].

Tab.1. Tabela wyników wartości natężenia światła padającego na fotodiodę w zależności od odległości od centralnego prążka dla przypadku szczeliny pojedynczej.

x [mm]	I [j.u.]	-3	15	3,1	23
-12	0	-2,9	16	3,2	19
-11,8	0	-2,8	26	3,3	25
-11,6	0	-2,7	35	3,4	30
-11,4	0	-2,6	66	3,5	49
-11,2	1	-2,5	97	3,6	58
-11	5	-2,4	134	3,7	82
-10,8	7	-2,3	203	3,8	108
-10,6	7	-2,2	365	3,9	146
-10,4	6	-2,1	297	4	168
-10,2	6	-2	529	4,1	187
-10	6	-1,9	612	4,2	197
-9,8	5	-1,8	789	4,3	190
-9,6	2	-1,7	1087	4,4	188
-9,4	0	-1,6	1257	4,5	185
-9,2	0	-1,5	1453	4,6	184
-9	0	-1,4	1731	4,7	179
-8,8	0	-1,3	1764	4,8	172
-8,6	0	-1,2	1993	4,9	166
-8,4	2	-1,1	2350	5	152
-8,2	7	-1	2328	5,1	129
-8	17	-0,9	2979	5,2	101
-7,8	28	-0,8	3383	5,3	70
-7,6	30	-0,7	3850	5,4	51
-7,4	38	-0,6	4606	5,5	32
-7,2	30	-0,5	4532	5,6	25
-7	30	-0,4	4421	5,7	16
-6,8	28	-0,3	4874	5,8	11
-6,6	23	-0,2	5024	5,9	6
-6,4	9	-0,1	4531	6	3
-6,2	4	0	4725	6,2	3
-6	1	0,1	4486	6,4	2
-5,9	0	0,2	4472	6,6	6
-5,8	1	0,3	4268	6,8	15
-5,7	3	0,4	4219	7	34
-5,6	5	0,5	3886	7,2	57
-5,5	9	0,6	4289	7,4	69
-5,4	12	0,7	4326	7,6	75
-5,3	19	0,8	4268	7,8	64
-5,2	29	0,9	3979	8	66
-5,1	42	1	3528	8,2	58

-5	57
-4,9	72
-4,8	93
-4,7	105
-4,6	92
-4,5	97
-4,4	97
-4,3	127
-4,2	112
-4,1	134
-4	137
-3,9	147
-3,8	126
-3,7	109
-3,6	82
-3,5	66
-3,4	42
-3,3	42
-3,2	24
-3,1	18

1,1	3830
1,2	3000
1,3	2872
1,4	2606
1,5	2256
1,6	2228
1,7	1532
1,8	1384
1,9	1119
2	923
2,1	583
2,2	509
2,3	373
2,4	258
2,5	250
2,6	278
2,7	170
2,8	107
2,9	66
3	34

8,4	38
8,6	24
8,8	13
9	5
9,2	1
9,4	0
9,6	5
9,8	12
10	18
10,2	25
10,4	27
10,6	28
10,8	23
11	26
11,2	26
11,4	20
11,6	13
11,8	2
12	0

Tab.2. Tabela wyników wartości natężenia światła padającego na fotodiodę w zależności od odległości od centralnego prążka dla przypadku szczeliny podwójnej.

x [mm]	I [j.u.]
0	11
0,2	25
0,4	35
0,6	28
0,8	20
1	2
1,2	12
1,4	28
1,6	37
1,8	31
2	21
2,2	12
2,4	5
2,6	7
2,8	24
3	15
3,2	16
3,4	11
3,6	4
3,8	0
4	0
4,2	0
4,4	0
4,6	0
4,8	0

8,6	322
8,8	731
9	1316
9,2	1697
9,4	1665
9,6	777
9,8	361
10	184
10,2	377
10,4	1020
10,6	1553
10,8	1650
11	1312
11,2	870
11,4	446
11,6	372
11,8	680
12	998
12,2	1244
12,4	846
12,6	725
12,8	257
13	163
13,2	345
13,4	818
13,6	1094

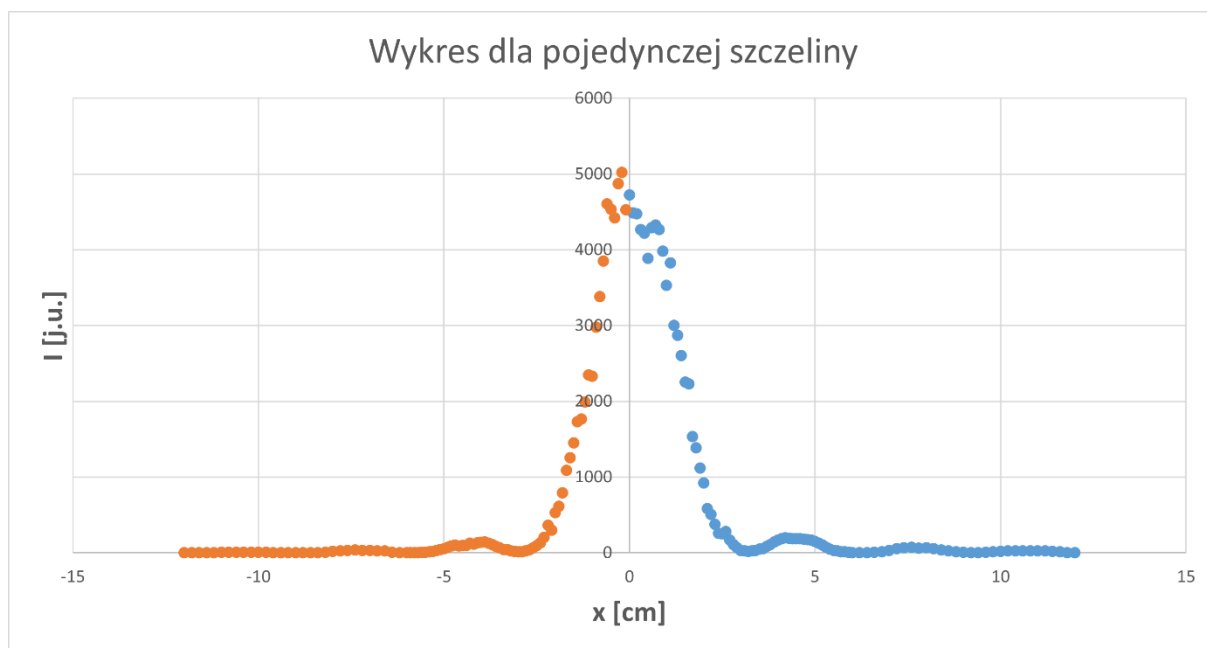
17,4	1
17,6	0
17,8	0
18	0
18,2	0
18,4	4
18,6	12
18,8	37
19	29
19,2	13
19,4	7
19,6	23
19,8	62
20	104
20,2	111
20,4	84
20,6	51
20,8	15
21	8
21,2	11
21,4	30
21,6	52
21,8	58
22	36
22,2	14
22,4	3

5	3
5,2	3
5,4	3
5,6	9
5,8	30
6	76
6,2	165
6,4	218
6,6	147
6,8	74
7	60
7,2	153
7,4	358
7,6	493
7,8	453
8	376
8,2	274
8,4	188

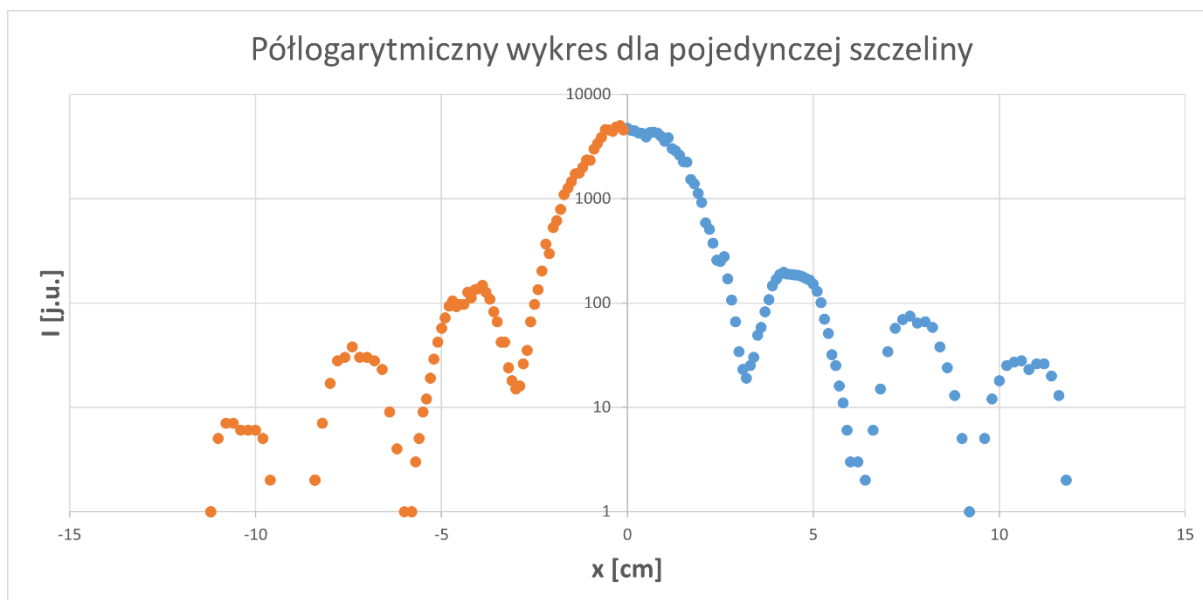
13,8	928
14	604
14,2	350
14,4	115
14,6	139
14,8	68
15	90
15,2	99
15,4	153
15,6	147
15,8	82
16	30
16,2	10
16,4	9
16,6	12
16,8	9
17	4
17,2	1

22,6	1
22,8	4
23	7
23,2	5
23,4	2
23,6	0
23,8	0
24	0
24,2	0
24,4	0
24,6	0
24,8	1
25	0
25,2	0
25,4	0
25,6	9
25,8	19

- Przypadek jednej szczeliny



Rys. 1. Wykres przedstawiający zależność natężenia promieniowania po przejściu przez pojedynczą szczelinę w jednostkach umownych w zależności od odległości od maximum głównego, dla obu zwykłych osi.



Rys. 2. Wykres przedstawiający zależność natężenia promieniowania po przejściu przez pojedynczą szczelinę w jednostkach umownych w zależności od odległości od maximum głównego, gdzie oś Y jest mierzona w skali logarytmicznej.

Tab. 3. Położenia maksimów i minimum 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	3,2	3,1	0,146
1 maksimum boczne	-4,15	4,2	4,175	0,164
2 minimum	-5,9	6,4	6,15	0,147
2 maksimum	-7,3	7,7	7,5	0,151

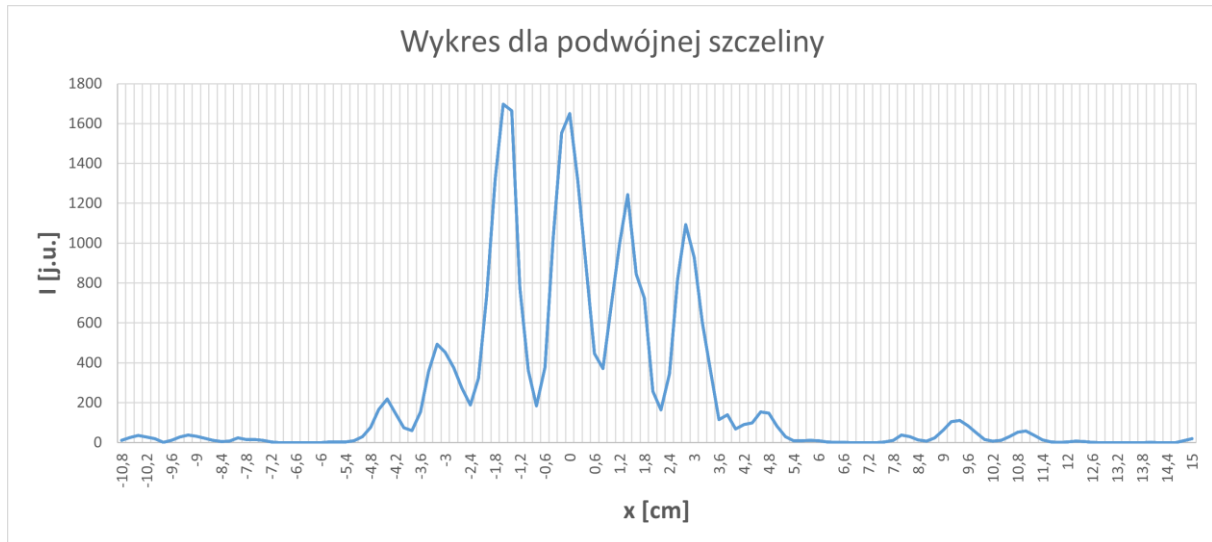
Średnia szerokość szczeliny wynosi $\overline{d_1} = 0,1521$ [mm], a niepewność obliczonego wyniku to $u(\overline{d_1}) = 0,0041$ [mm].

Natężenie światła w maksimum głównym wynosi $I_0 = 4725$ [j. u.].

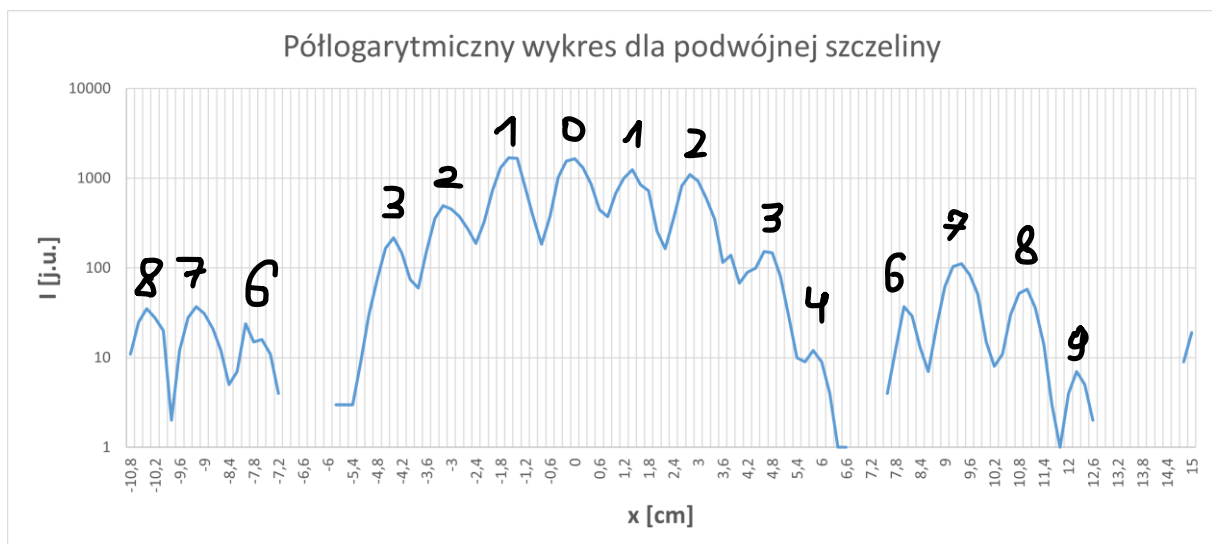
Tab. 4. Tabela natężeń światła w maksimach bocznych.

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	0,02836	0,041693	0,03503	0,04503
2 maksimum boczne	0,008042	0,015873	0,1196	0,01621

- Przypadek dwóch szczelin



Rys. 3. Wykres przedstawiający zależność natężenia promieniowania po przejściu przez podwójną szczelinę w jednostkach umownych w zależności od odległości dla obu zwykłych osi.



Rys. 4. Wykres przedstawiający zależność natężenia promieniowania po przejściu przez podwójną szczelinę w jednostkach umownych w zależności od odległości, gdzie oś Y jest w skali logarytmicznej.

Za prążek zerowy przyjmuję ten leżący na odległości 10,8 [mm] osi X wykresów Rys. 3. oraz Rys. 4.

W celu obliczenia odległości d korzystamy ze wzoru (6) na maksimum.

Tab. 5. Położenia maksimum natężenia światła.

Numer maksimum m	Położenie z lewej x_l [mm]	Położenie z prawej x_p [mm]	$x = \frac{x_p - x_l}{2}$ [mm]	odległość między szczelinami d [μm]
1	-1,8	1,7	1,75	3,883
2	-3,2	3	3,1	3,654
3	-4,6	4,8	4,7	3,374
6	-7,9	8	7,95	3,704
7	-9	9,2	9,1	3,734
8	-10,5	10,8	10,65	3,616

Średnia odległość wynosi $\overline{d_2} = 3,661 \text{ } [\mu\text{m}]$, a niepewność obliczonego wyniku to $u(\overline{d_2}) = 0,069 \text{ } [\mu\text{m}]$.

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu otrzymana wartość szerokości szczeliny w przypadku płytki z jedną szczeliną wynosi $\overline{d_1} = 0,1521 \text{ } [\text{mm}]$, a niepewność obliczonego wyniku to $u(\overline{d_1}) = 0,0041 \text{ } [\text{mm}]$. Jest to wynik zgodny z przewidywaniami, który wynosi $d_{tab} = 0,150 \text{ } [\text{mm}]$.

W przypadku podwójnej obliczona odległość między szczelinami nie zgodziła się z oczekiwaną wartością, która wynosi $\overline{d_2} = 3,661 \text{ } [\mu\text{m}]$, a niepewność obliczonego wyniku to $u(\overline{d_2}) = 0,069 \text{ } [\mu\text{m}]$.

6. Literatura

[1.] http://website.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/71_opis.pdf – 10.04.2022