

# Doświadczenie Junga dla światła laserowego

Marcin Polkowski

31 marca 2008

## Streszczenie

Celem ćwiczenia było zbadanie interferencji i dyfrakcji światła laserowego na szczelinach oraz wyznaczenie ich szerokości, odległości od siebie oraz współczynnika spójności

## Spis treści

<b>1</b>	<b>podstawy teoretyczne</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Przebieg doświadczenia</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Zebrane pomiary</b>	<b>3</b>
3.1	Dwie szczeliny, $L = 1125$ mm . . . . .	3
3.1.1	szerokość szczeliny . . . . .	3
3.1.2	odległość między szczelinami . . . . .	3
3.1.3	spójność . . . . .	4
3.2	Dwie szczeliny, $L = 640$ mm . . . . .	4
3.2.1	szerokość szczeliny . . . . .	4
3.2.2	odległość między szczelinami . . . . .	5
3.2.3	spójność . . . . .	5
3.3	Trzy szczeliny, $L = 1125$ mm . . . . .	5
3.3.1	szerokość szczeliny . . . . .	5
3.3.2	odległość między szczelinami . . . . .	5
3.3.3	spójność . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>6</b>

# 1 podstawy teoretyczne

W wyniku przejścia światła laserowego przez szczeliny występują dwa zjawiska. Najpierw następuje ugięcie fali na szczelinie (dyfrakcja) a następnie powstałe w ten sposób fale nakładają się na siebie (następuje ich interferencja).

Natężenie światła po przejściu przez szczelinę opisane jest wzorem:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \frac{\pi l \sin(\theta)}{\lambda}}{\frac{\pi l \sin(\theta)}{\lambda}} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie

- $l$  - szerokość szczeliny,
- $\lambda$  - długość fali,
- $\theta$  - kąt obserwacji prążka,
- $I_0$  - natężenie wyjściowe.

Zjawisko interferencji można opisać wzorem:

$$I = 2I_0 \left( 1 + \gamma \cos \left( 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda} \right) \right) \quad (2)$$

gdzie

- $\gamma$  - współczynniki spójności,
- $d$  - odległość między szczelinami.

Natężenie światła po przejściu przez dwie szczeliny to iloczyn równań na dyfrakcję i interferencje:

$$I = 2I_0 \left( 1 + \gamma \cos \left( 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda} \right) \right) \left( \frac{\sin \frac{\pi l \sin(\theta)}{\lambda}}{\frac{\pi l \sin(\theta)}{\lambda}} \right)^2 \quad (3)$$

Z tego wzoru wynika, że położenia maksimum interferencyjnych wynoszą

$$d \sin \theta = n\lambda$$

a minimum dyfrakcyjnych

$$l \sin \theta = m\lambda$$

Dzięki zależności

$$\sin \theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + L^2}}$$

otrzymujemy wzory na  $d$  i  $l$ , które po przybliżeniu ( $l$  i  $d$  są bardzo małe w porównaniu do  $L$ ):

$$d \approx n\lambda \frac{L}{x} \quad (4)$$

$$l \approx m\lambda \frac{L}{y} \quad (5)$$

gdzie  $n$ ,  $m$  są numerami kolejnych maksimum i minimum, a  $x$  i  $y$  ich współrzędnymi.

## 2 Przebieg doświadczenia

Na ławie optycznej umieszczono laser, przezroczyste ze szczelinami oraz detektor. Szczeliny umieszczano w dwóch różnych położeniach w stosunku do pozycji lasera. Detektor znajdował się na ruchomych sankach, umożliwiającą badanie natężenia światła w zależności od odchylenia od osi lasera.

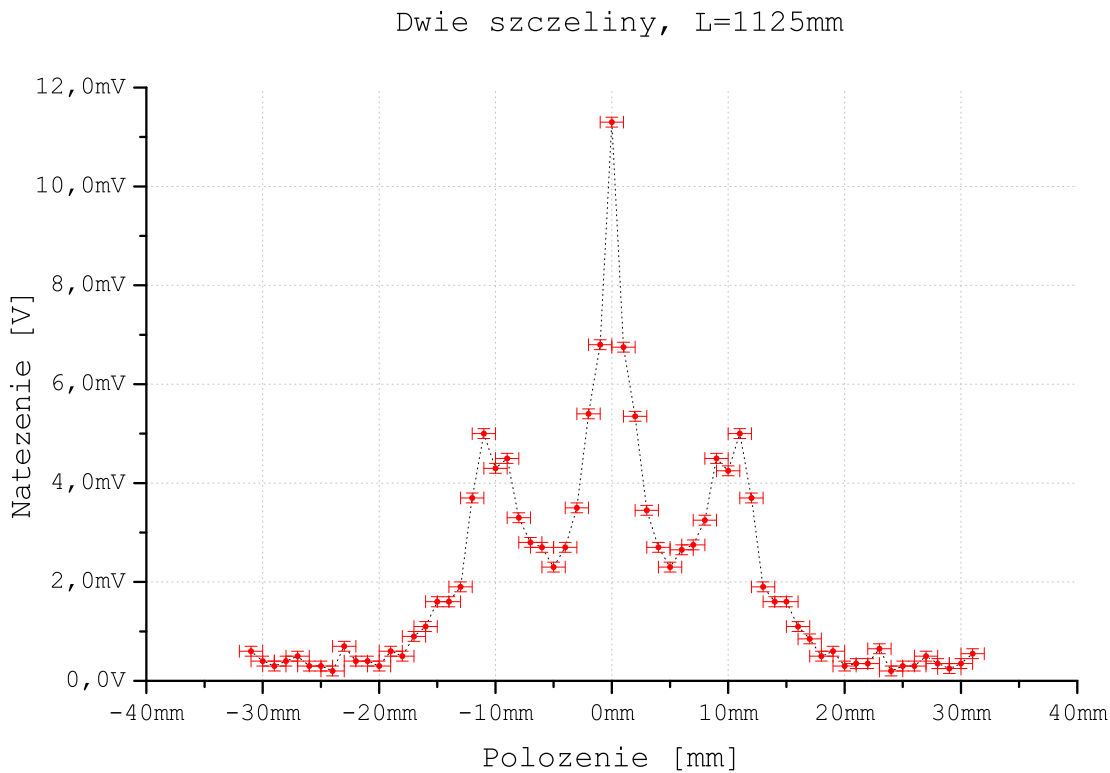
Długość fali emitowanej przez laser wynosiła  $\lambda = 632$  nm.

### 3 Zebrane pomiary

#### 3.1 Dwie szczeliny, $L = 1125 \text{ mm}$

Zmierzono natężenie światła padającego na detektor w funkcji odległości od maksimum interferencyjnego. Ze wzoru (3) wynika symetria zagadnienia względem maksimum, więc uzyskane pomiary z obydwu kierunków od maksimum uśredniono. Wyniki przedstawiono na wykresie 1.

Błąd pomiaru odległości wynosił  $\sigma_x = 1 \text{ mm}$ , a błąd pomiaru napięcia  $\sigma_U = 0,5 \text{ mV}$ .



Rysunek 1: Dwie szczeliny,  $L = 1125 \text{ mm}$

##### 3.1.1 szerokość szczeliny

Szerokość szczeliny otrzymano ze wzoru (5). Niepewność tak liczonej wartości wyznaczano ze wzoru:

$$\sigma l = \sqrt{\left(\frac{m\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-m\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

Otrzymano szerokość szczeliny wynoszącą

$$l = 0,0296 \pm 0,0001 \text{ mm}$$

##### 3.1.2 odległość między szczelinami

Odległość  $d$  pomiędzy szczelinami wyznaczono ze wzoru (4). Wyznaczono również wzór na niepewność tak liczonej wartości:

$$\sigma d = \sqrt{\left(\frac{n\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-n\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

otrzymano jedną odległości pomiędzy szczelinami:

$$d_1 = 0,065 \pm 0,001 \text{ mm}$$

### 3.1.3 spójność

Spójność  $\gamma$  wyznaczono ze wzoru:

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

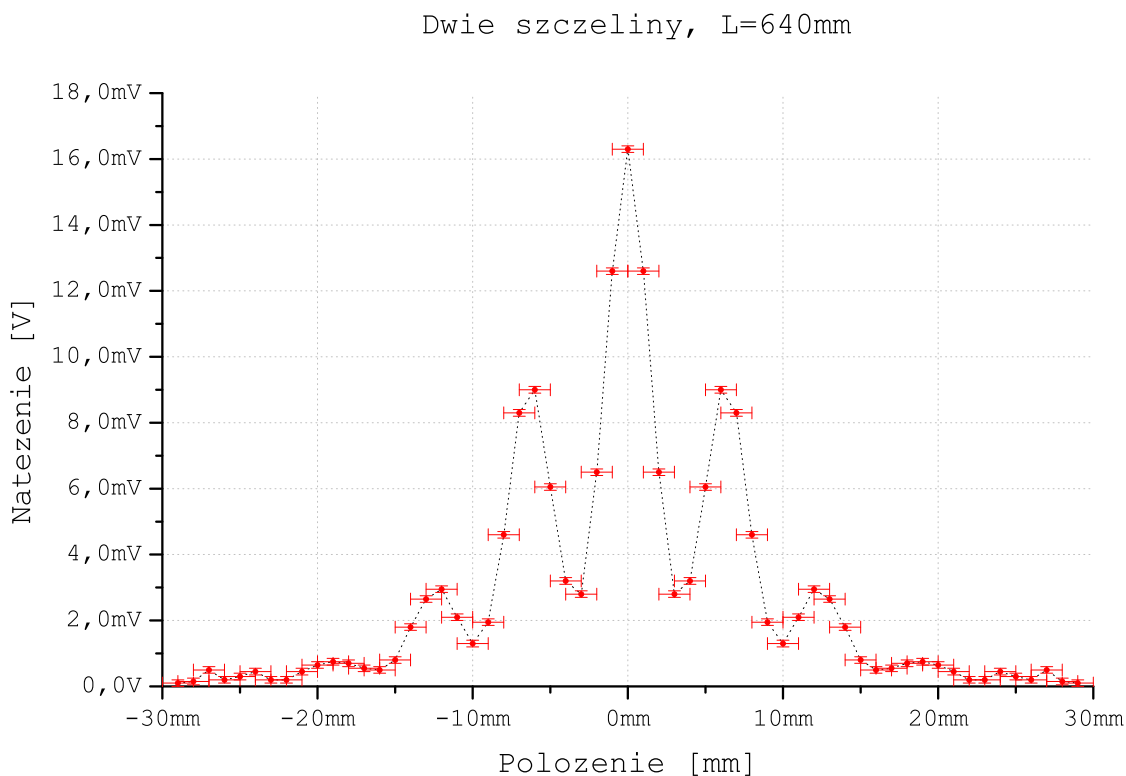
Wyniósł on w tym przypadku:

$$\gamma = 0,66 \pm 0,02$$

## 3.2 Dwie szczeliny, $L = 640 \text{ mm}$

Zmierzono natężenie światła padającego na detektor w funkcji odległości od maksimum interferencyjnego. Ze wzoru (3) wynika symetria zagadnienia względem maksimum, więc uzyskane pomiary z obydwu kierunków od maksimum uśredniono. Wyniki przedstawiono na wykresie 2.

Błąd pomiaru odległości wynosił  $\sigma_x = 1 \text{ mm}$ , a błąd pomiaru napięcia  $\sigma_U = 0,5 \text{ mV}$ .



Rysunek 2: Dwie szczeliny,  $L = 640 \text{ mm}$

### 3.2.1 szerokość szczeliny

Szerokość szczeliny otrzymano ze wzoru (5). Niepewność tak liczonej wartości wyznaczano ze wzoru:

$$\sigma l = \sqrt{\left(\frac{m\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-m\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

Otrzymano szerokość szczeliny wynoszącą

$$l = 0,0193 \pm 0,0001 \text{ mm}$$

### 3.2.2 odległość między szczelinami

Odległość  $d$  pomiędzy szczelinami wyznaczono ze wzoru (4). Wyznaczono również wzór na niepewność tak liczonej wartości:

$$\sigma d = \sqrt{\left(\frac{n\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-n\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

otrzymano dwie wartości odległości pomiędzy szczelinami:

$$d_1 = 0,067 \pm 0,001 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,067 \pm 0,001 \text{ mm}$$

Uśredniając powyższe wartości otrzymujemy:

$$d = 0,067 \pm 0,001 \text{ mm} \tag{6}$$

### 3.2.3 spójność

Spójność  $\gamma$  wyznaczono ze wzoru:

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Wyniósł on w tym przypadku (po uśrednieniu dwóch wartości):

$$\gamma = 0,74 \pm 0,02$$

## 3.3 Trzy szczeliny, $L = 1125 \text{ mm}$

Zmierzono natężenie światła padającego na detektor w funkcji odległości od maksimum interferencyjnego. Ze wzoru (3) wynika symetria zagadnienia względem maksimum, więc uzyskane pomiary z obydwu kierunków od maksimum uśredniono. Wyniki przedstawiono na wykresie 3.

Błąd pomiaru odległości wynosił  $\sigma_x = 1 \text{ mm}$ , a błąd pomiaru napięcia  $\sigma_U = 0,5 \text{ mV}$ .

### 3.3.1 szerokość szczeliny

Szerokość szczeliny otrzymano ze wzoru (5). Niepewność tak liczonej wartości wyznaczano ze wzoru:

$$\sigma l = \sqrt{\left(\frac{m\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-m\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

Otrzymano szerokość szczeliny wynoszącą

$$l = 0,0254 \pm 0,0001 \text{ mm}$$

### 3.3.2 odległość między szczelinami

Odległość  $d$  pomiędzy szczelinami wyznaczono ze wzoru (4). Wyznaczono również wzór na niepewność tak liczonej wartości:

$$\sigma d = \sqrt{\left(\frac{n\lambda\sigma L}{x}\right)^2 + \left(\frac{-n\lambda L\sigma x}{x^2}\right)^2}$$

otrzymano trzy wartości odległości pomiędzy szczelinami:

$$d_1 = 0,065 \pm 0,006 \text{ mm}$$

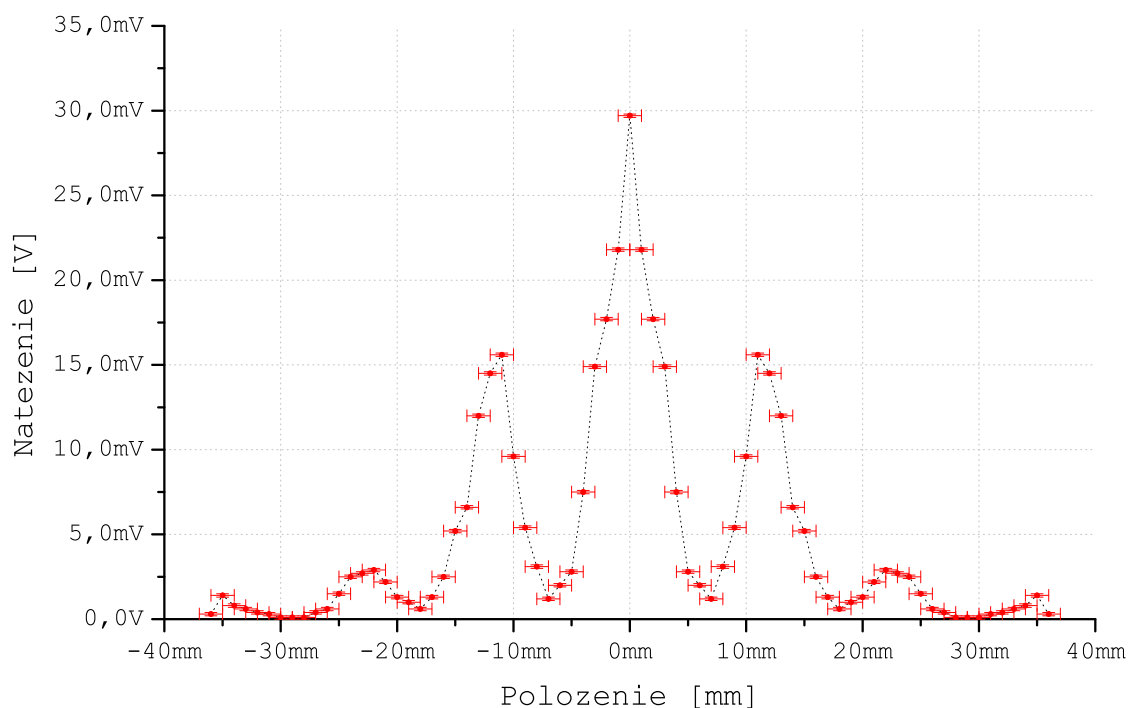
$$d_2 = 0,065 \pm 0,003 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,061 \pm 0,002 \text{ mm}$$

Uśredniając powyższe wartości otrzymujemy:

$$d = 0,063 \pm 0,004 \text{ mm} \tag{7}$$

### Trzy szczeliny, $L=1125\text{mm}$



Rysunek 3: Trzy szczeliny,  $L = 1125 \text{ mm}$

#### 3.3.3 spójność

Spójność  $\gamma$  wyznaczono ze wzoru:

$$\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Wyniósł on w tym przypadku (po uśrednieniu dwóch wartości):

$$\gamma = 0,92 \pm 0,02$$

## 4 Podsumowanie

Zbadano dyfrakcję i interferencję światła laserowego na układach dwóch i trzech szczelin. Wyznaczono szerokości oraz odległości szczelin, oraz współczynniki spójności.

Niedokładności pomiarów wykonywanych w doświadczeniu mogły pochodzić z:

- źródeł światła poza źródłem laserowym (miernik oświetlano latarką, żeby odczytać wynik)
- nie idealnego ustawienia płaszczyzny ruchu detektora

## 5 Bibliografia

Do sporządzenia niniejszego opisu wykorzystane zostały wiadomości z następujących źródeł:

- Instrukcja do ćwiczenia
- John R. Tylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Warszawa 1995
- Notatki własne