

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

1	podstawy teoretyczne	2
2	Przebieg doświadczenia	2
3	Zebrane pomiary	3
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
4	Podsumowanie	6
5	Bibliografia	6

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,
- λ - długość fali,
- θ - 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

- γ - 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.

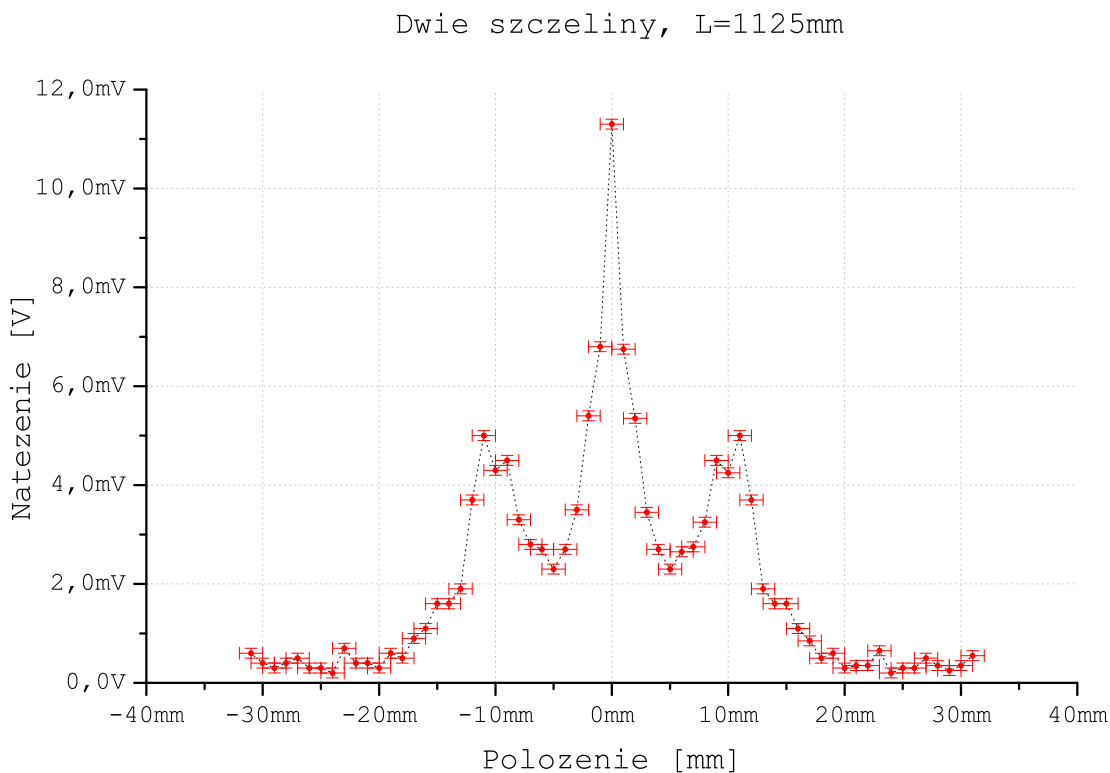
Długość fali emitowanej przez laser wynosiła $\lambda = 632$ nm.

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 γ wyznaczono ze wzoru:

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

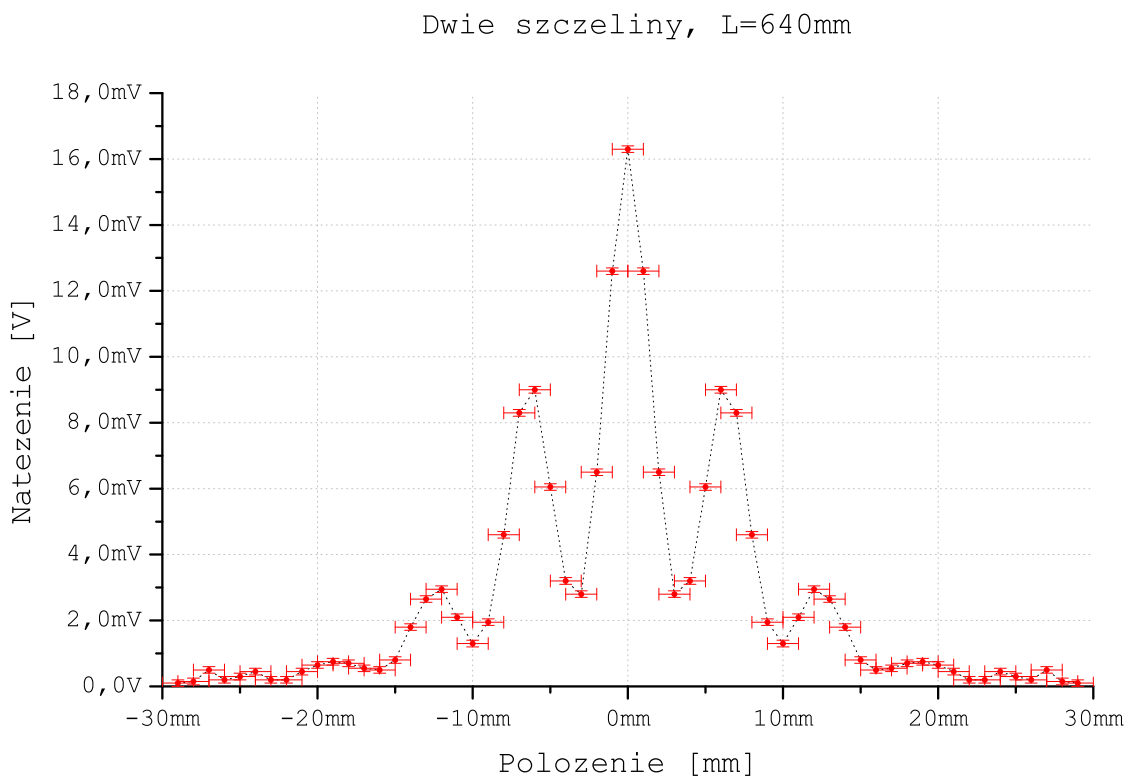
Wyniósł on w tym przypadku:

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

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:

$$d = 0,067 \pm 0,001 \text{ mm} \quad (6)$$

3.2.3 spójność

Spójność γ 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:

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

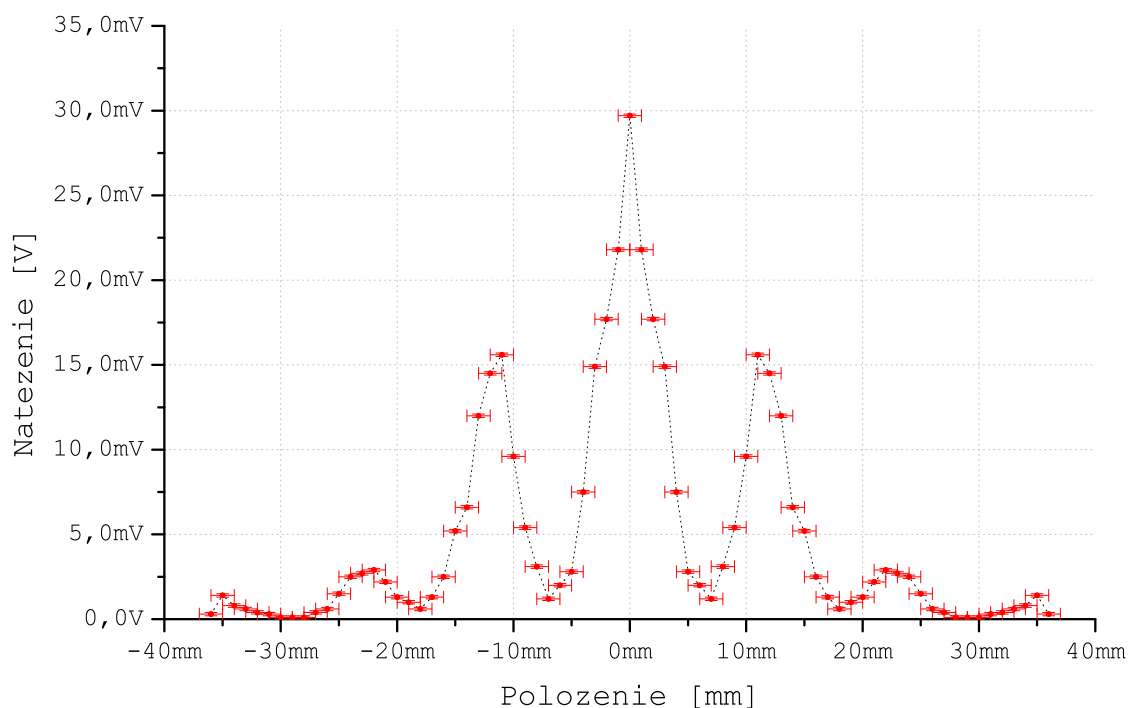
$$d_2 = 0,065 \pm 0,003 \text{ mm}$$

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

Uśredniając powyższe wartości otrzymujemy:

$$d = 0,063 \pm 0,004 \text{ mm} \quad (7)$$

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



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

3.3.3 spójność

Spójność γ 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