

LABORATORIUM
OPTYKA GEOMETRYCZNA I FALOWA

Instrukcja do ćwiczenia nr 46

Temat: Wyznaczanie stałej siatki dyfrakcyjnej

I. Wymagania do ćwiczenia

1. Równanie fali i definicje występujących w nim wielkości.
2. Charakterystyczne cechy promieniowania laserowego.
3. Opis analityczny zjawiska dyfrakcji i interferencji fal na dwóch otworach.
4. Siatka dyfrakcyjna – układ prążków.
5. Wprowadzenie do ćwiczeń nr 46 i 48.

Literatura

Skrypt PRz, Fizyka I pracownia, Rzeszów 2017, str. 200-204, str. 236-250

J. Massalski, M. Massalska, *Fizyka dla inżynierów*, t.1, WNT, Warszawa 2012

R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. II, PWN, Warszawa 2015, str. 480÷488, 511÷530

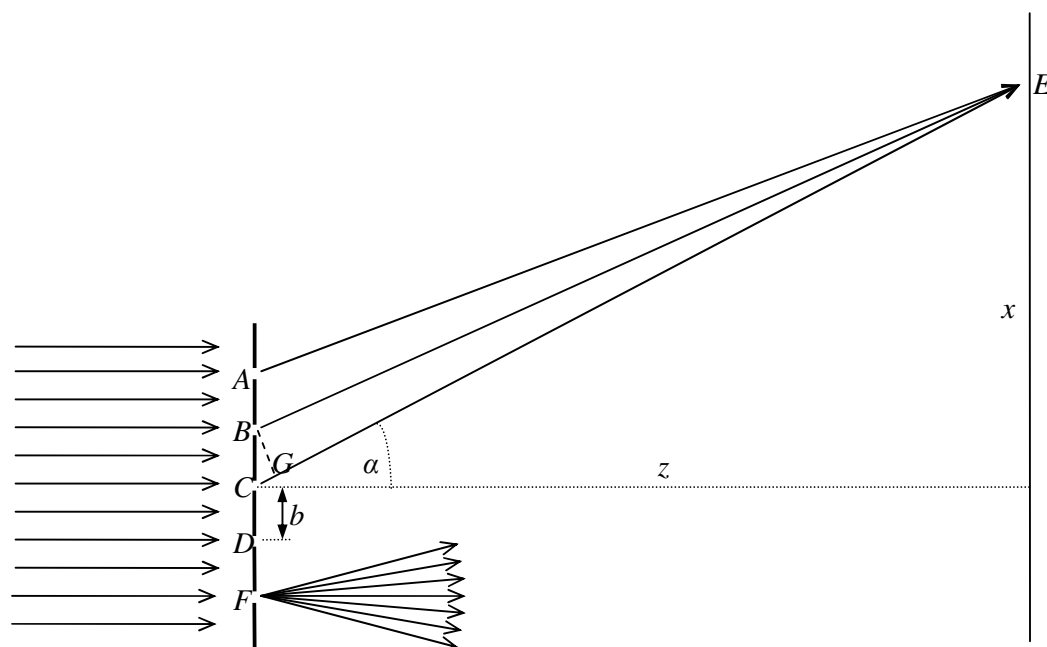
II. Wprowadzenie do tematyki ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar długości fali wiązki laserowej z wykorzystaniem siatki dyfrakcyjnej.

Siatką dyfrakcyjną nazywamy zbiór dużej liczby równoległych szczelin oddzielonych równoległymi przegrodami nieprzepuszczającymi światła. W praktyce wystarczy jednak, żeby przezroczysty materiał siatki w miejscu szczelin różnił się jakąkolwiek cechą optyczną od miejsc nazywanych przegrodami, np. transmisyjnością, współczynnikiem załamania. Najczęściej siatkę dyfrakcyjną uzyskuje się przez zarysowanie powierzchni szklanej równoodległymi rowkami.

a. Zasada pomiaru

Jeżeli siatkę oświetlimy światłem, to zgodnie z zasadą Huyghensa każda szczelina staje się źródłem fali walcowej. Promień świetlny padający na szczelinę ulega ugięciu we wszystkich kierunkach tak, jak to pokazano na rys. 1 dla szczeliny F. Do każdego miejsca za siatką docierają fale cząstkowe z wszystkich otworów i interferują ze sobą. W miejscach na ekranie, gdzie fazy wszystkich docierających fal są zgodne, następuje wzmocnienie i obserwujemy tam jasny prążek.



Rys. 1. Tworzenie się wzmocnienia fal dla promieni ugiętych pod kątem α .

Ponieważ ekran jest bardzo daleko, promienie wychodzące ze wszystkich szczelin możemy uznać za w przybliżeniu równoległe. Dwa sąsiednie promienie docierające pod kątem α do punktu E ekranu różnią się długością swoich dróg o długość odcinka CG, oznaczoną przez Δ , którą można obliczyć wiedząc, że kąt CBG jest także równy α :

$$\Delta = b \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Warunkiem wzmocnienia (dodatniej interferencji) jest to, żeby wszystkie fale docierające do punktu E były zgodne w fazie, czyli żeby różnica dróg optycznych sąsiednich promieni była równa całkowitej wielokrotności długości fali λ :

$$\Delta = k \lambda \quad (2)$$

Prowadzi to do warunku na kąt, pod którym powstaje n -ty prążek:

$$\sin \alpha = \frac{k \lambda}{b} \quad (3)$$

Znając długość fali λ lasera wzorcowego, można stąd wyznaczyć nieznaną stałą b siatki dyfrakcyjnej, wcześniej obliczywszy $\sin \alpha$ ze zmierzonej odległości z siatki od ekranu i współrzędnej x prążka:

$$b = k \lambda \frac{\sqrt{z^2 + x^2}}{x} \quad (4)$$

Tak wyznaczoną stałą siatki b można się posłużyć w celu obliczenia nieznannej długości fali λ_x światła lasera mierzonego, powtarzając pomiary jeszcze raz, tym razem z użyciem mierzonego lasera. W tym celu przekształcamy wzór (4) dostając

$$\lambda_x = \frac{b x}{k \sqrt{z^2 + x^2}} \quad (5)$$

Wszystko, co widzimy w obrazie interferencyjnym siatki dyfrakcyjnej (na ekranie), jest zawarte w głównym maksimum dyfrakcyjnym, zależnym od szerokości szczelin a . W obrębie tego głównego maksimum dyfrakcyjnego można zaobserwować n maksimumów interferencyjnych (3)

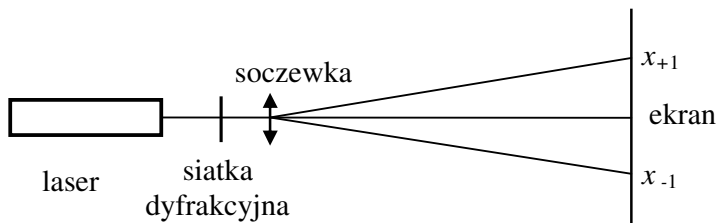
$$n = 2 \frac{b}{a} - 1 \quad (6)$$

III. Metodologia wykonania pomiarów

1. Zestawić układ pomiarowy według schematu z rys. 3, posługując się laserem wzorcowym. Decyzję o włączeniu lasera uzależnić od prowadzącego zajęcia.

Po włączeniu zachować daleko idącą ostrożność tak, żeby promień lasera nie dostał się do oka.

Odczytać długość fali λ lasera wzorcowego. Zmierzyć odległość f ekranu od soczewki oraz odległości x_k każdego prążka od prążka zerowego, uwzględniając prążki o numerach dodatnich i ujemnych.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

- Wykonanie tego punktu uzależnić od decyzji prowadzącego zajęcia.
Zestawić układ pomiarowy według schematu z rys. 3, posługując się laserem mierzonym. Decyzję o włączeniu lasera uzależnić od prowadzącego zajęcia.
Po włączeniu zachować daleko idącą ostrożność tak, żeby promień lasera nie dostał się do oka.
Zmierzyć x_j każdego prążka od prążka zerowego, uwzględniając prążki o numerach dodatnich i ujemnych.
- Wyniki pomiarów zapisać w tabelce

λ	f	Δf	k	x_k	Δx_k	j	x_j	Δx_j
[]	[]	[]		[]	[]		[]	[]

IV. Obliczenia

- Dla wszystkich obserwowanych rzędów widma k wyliczyć stałą b siatki dyfrakcyjnej ze wzoru (4), zastępując odległość z ogniskową f soczewki.
- Oszacować niepewności $u(f)$, $u(x_k)$ metodą typu B.
- Obliczyć niepewności $u(b_k)$ dla każdego numeru k prążka metodą przenoszenia niepewności z $u(f)$, $u(x_k)$.
- Ponieważ niepewności $u(b_k)$ są różne, obliczyć średnią stałą siatki b oraz jej niepewność $u(b)$ metodą średniej ważonej. Należy skorzystać z następujących wzorów na średnią X_{sr} wielu wielkości X_k oraz jej niepewność $u(X_{sr})$

$$X_{sr} = \frac{\sum_{k=1}^N X_k W_k}{\sum_{k=1}^N W_k}, \quad W_k = \frac{1}{[u(X_k)]^2}, \quad u(X_{sr}) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{k=1}^N W_k}}$$

- Korzystając ze średniej b , z zależności (6) oszacować szerokość szczeliny a .
- Obliczyć niepewność $u(a)$ metodą przenoszenia niepewności.
- Posługując się wartościami b i a narysować schematyczny profil mierzonej siatki dyfrakcyjnej.



Jeżeli wykonano punkt 2 pomiarów:

- Obliczyć nieznaną długość fali λ_j dla mierzonego lasera wg wzoru (5) dla każdego numeru j prążka.

9. Obliczyć niepewności $u(\lambda_{x_j})$ dla każdego prążka metodą przenoszenia niepewności z $u(x_j)$, $u(f)$ i $u(b)$.
10. Obliczyć średnią długość fali λ_{sr} oraz jej niepewność $u(\lambda_{\text{sr}})$ metodą średniej ważonej.
11. Wyniki obliczeń zapisać w tabeli obejmującej wielkości b_k , $u(b_k)$, b , $u(b)$, a , $u(a)$, λ_{x_j} , $u(\lambda_{x_j})$, λ_{sr} , $u(\lambda_{\text{sr}})$.