

Ćwiczenie O5

Wyznaczanie rozmiarów szczelin i przeszkód za pomocą światła laserowego

O5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wykorzystanie zjawiska dyfrakcji i interferencji światła do wyznaczenia rozmiarów małych szczelin i przeszkód.

O5.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Światło monochromatyczne,
- zjawisko dyfrakcji i interferencji fal,
- doświadczenie Younga,
- interferometr Michelsona,
- czasowa i przestrzenna spójność (koherencja) światła,
- sposoby uzyskania światła spójnego,
- szerokość widmowa wiązki światła,
- laser,
- twierdzenie Babinet'a,
- metoda najmniejszych kwadratów.

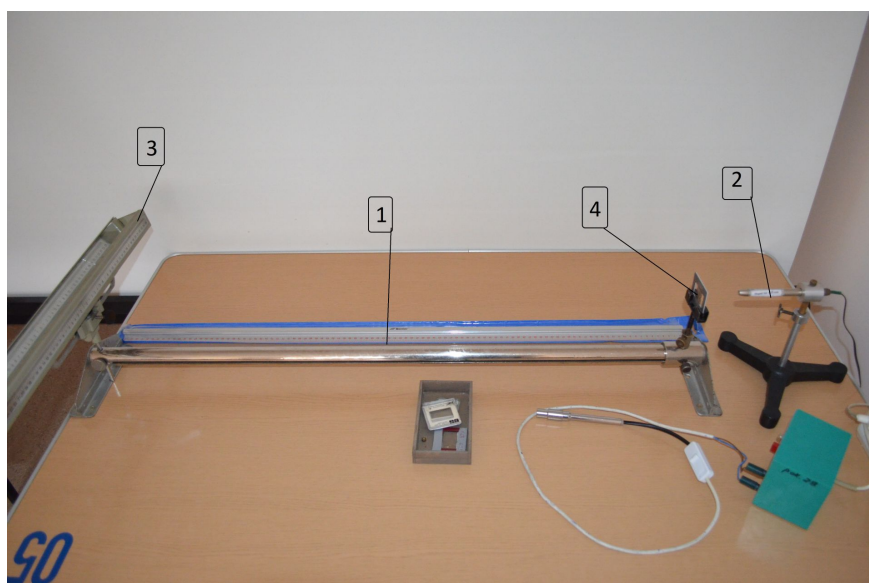
O5.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnik R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [2] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna, cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [3] Sawieliew I.W.: *Kurs fizyki, cz. 2*, PWN, Warszawa.
- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

O5.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek O5.1 przedstawia zdjęcie układu pomiarowego, który składa się z ławy optycznej **1**, lasera **2**, ekranu **3**, siatki dyfrakcyjnej **4** oraz badanych przedmiotów **5**.



Rysunek O5.1. Zdjęcie układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia

Uwaga: Podczas pracy z laserem należy zwracać uwagę na to, aby równoległa (nierozproszona) wiązka nie wpadła do oka. Nawet wiązka o małej mocy, rzędu 5 mW, może – w przypadku zogniskowania jej na siatkówce – wywołać lokalne uszkodzenie receptorów wzrokowych.

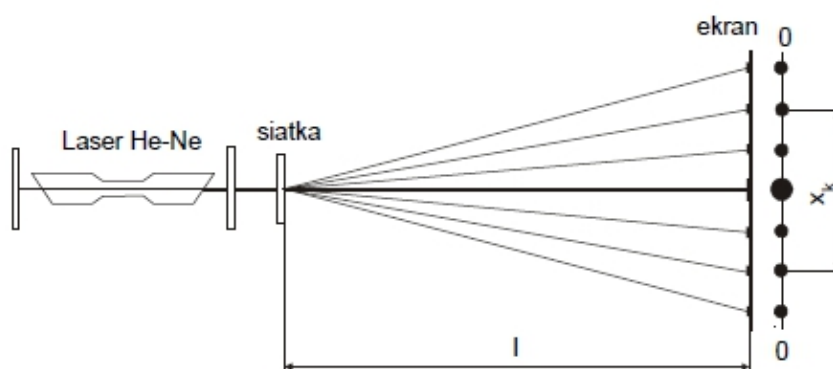
Wiązkę światła z lasera kierujemy na badany przedmiot, ustawiony w odległości l od ekranu. Przedmiot oraz ekran powinny być ustawione prostopadłe do wiązki. Na ekranie dokonujemy pomiarów położenia maksimum obrazu dyfrakcyjnego.

Zadania do wykonania

- O5.1. Wyznaczyć długość fali światła lasera He–Ne, wykorzystując siatkę dyfrakcyjną o znanej stałej a .
- O5.2. Wyznaczyć stałą siatki dyfrakcyjnej a za pomocą światła laserowego o znanej długości fali λ .
- O5.3. Wyznaczyć średnice kilku cienkich drucików i szerokości kilku szczelin.
- O5.4. Wyznaczyć średnice kilku otworów kołowych.
- O5.5. Wyznaczyć średnice cząstek pyłków.

Uzupełnienie do zadań O5.1 i O5.2

Jeżeli przez x_1, x_2, \dots, x_k oznaczymy odległości między maksimumami interferencyjnymi $1, 2, \dots, k$ -tego rzędu (rysunek O5.2), to długość fali λ możemy obliczyć



Rysunek O5.2. Szkic obrazu wytwarzanego przez siatkę dyfrakcyjną

z warunku dla maksimum przy interferencji światła ugiętego przez siatkę dyfrakcyjną odległą o l od ekranu:

$$\lambda = \frac{ax_k}{2kl\sqrt{1 + \frac{x_k^2}{4l^2}}}. \quad (\text{O5.1})$$

Przy założeniu, że $x_k \ll 1$ (sprawdzić, czy w ćwiczeniu ten warunek jest spełniony), wyrażenie (O5.1) można uprościć do postaci:

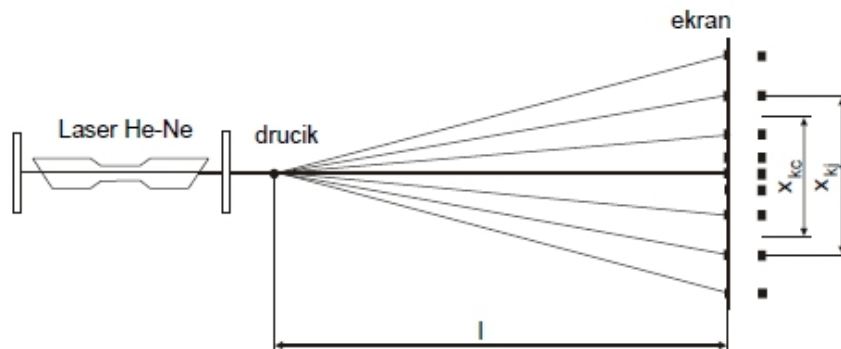
$$\lambda = \frac{ax_k}{2kl}. \quad (\text{O5.2})$$

Wzór (O5.1) lub (O5.2) po odpowiednich przekształceniach można wykorzystać również do wyznaczenia stałej siatki dyfrakcyjnej a przy znanej wartości długości fali światła laserowego.

Ponadto, wyznaczając zależność $x_1 = f(l)$ i korzystając ze wzoru (O5.1) lub (O5.2) oraz z metody najmniejszych kwadratów możemy wyliczyć długość fali światła laserowego przy znanej wartości stałej siatki dyfrakcyjnej lub, odwrotnie, stałą siatki dyfrakcyjnej przy znanej długości fali światła laserowego.

Uzupełnienie do zadania O5.3

Mierzymy położenie jasnych plamek obrazu dyfrakcyjnego. Należy zwracać uwagę na numerację rzędów plamek (rysunek O5.3). Uwaga: Plamka rzędu ze-



Rysunek O5.3. Szkic obrazu wytwarzanego przez przeszkodę w postaci cienkiego drucika

rowego na tle śladu silnej wiązki nieugiętej może być błędnie uważana za dwie symetrycznie położone plamki rzędu pierwszego. Średnice drucików obliczamy ze wzorów:

$$d = \frac{(2k + 1)\lambda l}{x_{kj}}, \quad (\text{O5.3})$$

$$d = \frac{2k\lambda l}{x_{kc}}, \quad (\text{O5.4})$$

gdzie k – rząd widma; x_{kj} – odległość między środkami dwóch jasnych plamek k -tego rzędu, leżących na ekranie z prawej i lewej strony prążka zerowego, x_{kc} – odległość między środkami dwóch ciemnych plamek k -tego rzędu, leżących na ekranie z prawej i lewej strony wiązki nieugiętej.

Przy wyznaczaniu szerokości szczelin pomiary wykonujemy tak samo, jak przy wyznaczaniu średnic drucików. Korzystamy również ze wzorów (O5.3) i (O5.4).

Uzupełnienie do zadania O5.4

Wiązkę światła laserowego przepuszczamy przez badany otworek o średnicy mniejszej niż przekrój wiązki. Na ekranie powstaje jasny krążek o średnicy D , zwany krążkiem Airy'ego, który otoczony jest jasnymi i ciemnymi pierścieniami. Średnice otworka obliczamy ze wzoru:

$$d = 1,22 \frac{\lambda l}{D}. \quad (\text{O5.5})$$

Uzupełnienie do zadania O5.5

Badany pyłek umieszczamy na szklanej płytce (cienka warstwa pyłku). Przepuszczając światło laserowe przez warstwę pyłku, otrzymamy na ekranie obraz interferencyjno-dyfrakcyjny w postaci krążków podobnych do zjawiska „halo”. Średnice pyłków obliczamy ze wzoru (O5.5), w którym D jest średnicą centralnego, jasnego krążka.

O5.5. Rachunek niepewności

Niepewność wyznaczenia długości fali λ , stałej siatki a oraz rozmiarów przeszkód i otworków obliczamy jako niepewność wielkości złożonej. Niepewności pomiarowe x oraz l określamy na podstawie podziałek użytych przyrządów pomiarowych.

Niepewność wyznaczenia parametrów zależności liniowej $x_1 = f(l)$ określamy stosując odpowiednie wzory metody najmniejszych kwadratów.