

Ćwiczenie 11

Badanie zjawiska dyfrakcji i polaryzacji światła

Ćwiczenie wraz z instrukcją i konspektem opracowali M.Czapkiewicz, M.Frankowski

Cel ćwiczenia

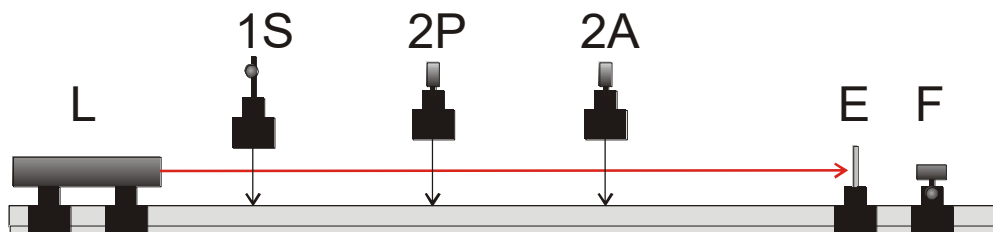
Obserwacja obrazu dyfrakcyjnego pojedynczej szczeliny i badanie wpływu szerokości szczeliny na położenia maksimów i minimów natężenia światła. Wyznaczenie szerokości szczeliny. Analiza zjawiska polaryzacji światła. Sprawdzanie prawa Malusa.

Wymagane wiadomości teoretyczne

Równanie fali elektromagnetycznej, równania Maxwella, zjawisko interferencji i dyfrakcji fal elektromagnetycznych, obraz dyfrakcyjny pojedynczej szczeliny, rodzaje polaryzacji fali elektromagnetycznej, sposoby uzyskania światła spolaryzowanego, polaryzatory, stopień polaryzacji, prawo Malusa, skręcenie płaszczyzny polaryzacji, zasada działania lasera, właściwości światła laserowego, spójność czasowa i przestrzenna.

Wypożyczenie stanowiska

Ława optyczna, laser gazowy He-Ne o mocy 1 mW i długości fali $\lambda = 632,8$ nm (L), ekran (E), fotodioda z zasilaczem i wyświetlaczem (F), szczelina o regulowanej szerokości (1S), dwa polaryzatory (2P i 2A), drugi pełniący funkcję analizatora.



Wykonanie ćwiczenia – wstęp – przygotowanie toru optycznego

1. Na ławie optycznej powinien być ustawiony laser L oraz uchwyt z ekranem E.
2. **W obecności prowadzącego zajęcia** włączyć zasilacz lasera He-Ne.
3. Przesuwając ekran wzdłuż ławy optycznej sprawdzić czy wiązka światła biegnie równoległe do osi optycznej układu. Jeżeli nie, poprawić ustawienie lasera (przy pomocy śruby mikrometrycznej).

Zagadnienia do przedyskutowania:

Co to jest światło. Jak działa laser i jakie właściwości światła laserowego są wykorzystane w tym ćwiczeniu.

Wykonanie ćwiczenia – część pierwsza – dyfrakcja na pojedynczej szczelinie

4. Na ławie optycznej, blisko lasera, ustawić szczelinę 1S o regulowanej aperturze. Na ekranie E umieszczonym jak najdalej od szczeliny uzyskać obraz dyfrakcyjny. Zwrócić uwagę na konieczność centrowania szczeliny przy pomocy regulacji przesuwu poziomego.

5. Zaobserwować zmiany położenia kolejnych minimów i maksimów natężenia światła przy różnym stopniu otwarcia szczeliny. Zaobserwować obraz na ekranie między innymi w dwóch skrajnych przypadkach: a) gdy szczelina jest bardzo szeroka, w porównaniu z długością fali, b) gdy szczelina jest bardzo wąska.

Zagadnienia do przedyskutowania:

Na czym polega zjawisko dyfrakcji fali świetlnej. Podać przykłady ugięcia innych fal niż światło. Na czym polega zjawisko interferencji – jaki jest warunek interferencji konstruktywnej i destruktywnej. Naszkicować przykładowy bieg ugiętych na krawędziach szczeliny promieni świetlnych ulegających interferencji na ekranie. Wskazać, skąd się bierze przesunięcie fazowe tych fal względem siebie, w miejscu ekranu.

6. Przystępując do części pomiarowej tego ćwiczenia, w której będzie wyznaczany rozkład natężenia światła $I(x)$ uzyskany w wyniku dyfrakcji, należy **uzgodnić z prowadzącym zajęcia** warunki pomiaru tj. szerokość szczeliny, krok z jakim zmieniać należy położenie fotodiody x , zakres pomiarowy dla x , itd.
7. W miejscu ekranu ustawić fotodiodę F. Zmierzyć odległość od szczeliny do fotodiody, kierując się znacznikami na uchwytach.
8. Ustawić fotodiodę w położeniu odpowiadającym prążkowi zerowemu, upewnić się, że natężenie światła nie przekracza zakresu wskaźnika cyfrowego. Wykonać i wpisać to Tabeli 1 kilka pomiarów wartości I_0 , uśrednić je i obliczyć odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru.

Zagadnienia do przedyskutowania:

Jak obliczyć sinus kąta ugięcia światła θ dla położenia x danego minimum, korzystając z przybliżenia małych kątów? Z teoretycznej zależności (1) wyprowadzić wzór na obliczenie szerokości szczeliny a , zakładając, że znane jest położenie minimum danego rzędu. Jak wygląda funkcja opisywana wzorem (1)? Dla jakich α funkcja (1) ma miejsca zerowe?

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

gdzie $\alpha = \frac{\pi \cdot a \cdot \sin \theta}{\lambda}$, a jest szerokością szczeliny.

9. Zmieniając położenie x fotodiody przy pomocy śruby mikrometrycznej, zapisywać w Tabeli 2 zarówno położenie fotodiody odczytywane bezpośrednio ze śruby, jak i sygnał proporcjonalny do natężenia światła odczytywany na wskaźniku cyfrowym. Przed rozpoczęciem pomiarów ustawić zero [mm] na podziałce śruby. W czasie pomiaru nie zmieniać szerokości szczeliny. Zwrócić uwagę na to, aby wyniki pomiaru objęły co najmniej dwa pierwsze minima obrazu dyfrakcyjnego rozmieszczone symetrycznie po obu stronach maksimum centralnego (prążka zerowego) oraz co najmniej jedno minimum drugiego rzędu. Uwaga: najwygodniej jest przesuwac śrubę mikrometryczną zawsze w jednym kierunku.
10. Narysować wykres zależności natężenia światła $I(x)$ w funkcji położenia fotodiody x . Zaznaczyć wartość niepewności pomiarowej I (odchylenie standardowe) oraz x (szerokość fotodiody), wypisać w Tabeli 3 położenia $x_1 \dots x_n$ zaobserwowanych minimów dyfrakcyjnych oraz ich rząd.

11. Obliczyć, na podstawie uzyskanych położenia minimów dyfrakcyjnych, wartości szerokości szczeliny i wpisać do Tabeli 3. Odrzucić ewentualne wartości obarczone błędem grubym bądź systematycznym, z pozostałych wartości obliczyć średnią wartość szerokości szczeliny i jej niepewność standardową.
12. Posłużyć się teorią dyfrakcji na pojedynczej szczelinie (1) oraz wyznaczoną średnią szerokością szczeliny, aby wyznaczyć teoretyczny przebieg zależności $I(x)$. Teoretyczny przebieg i doświadczalne punkty umieścić na tym samym wykresie.

Wykonanie ćwiczenia – część druga – polaryzacja

13. Zdemonstrować szczelinę i zamontować polaryzator 2P i analizator 2A. W miejscu fotodiody umieścić ekran i obserwować zmiany natężenia światła (na ekranie) wskutek obrotu analizatora. **Nie kierować wiązki lasera bezpośrednio do oka!**
14. Ustawić analizator pod kątem 90 stopni, a następnie obrócić polaryzator pod takim kątem, aby natężenie światła na ekranie było najmniejsze.

Zagadnienia do przedyskutowania:

Jak się definiuje płaszczyzną polaryzacji światła? Rodzaje polaryzacji. Podać przykłady zjawiska polaryzacji światła w życiu codziennym. Co mówi prawo Malusa? Jakie są zastosowania pomiaru kąta skręcenia polaryzacji?

15. W miejscu ekranu ustawić fotodiodę. Obrócić analizator do kąta 0 stopni, a następnie obracać go z krokiem zadany przez prowadzącego od 0 do 180 stopni, mierząc zależność natężenia światła $I(\alpha)$ od kąta analizatora α .
16. Teoretyczny przebieg prawa Malusa i doświadczalne punkty umieścić na tym samym wykresie.
17. Zdemonstrować polaryzatory z ławy optycznej. Po skończonych pomiarach spytać się prowadzącego czy laser ma pozostać włączony.

Literatura

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „Podstawy fizyki”, **Tom IV i V**, PWN (2005)
 M. Born, E. Wolf, „Principles of Optics”, **7th Edition**, Cambridge University Press (1999)
 E.-L. Malus, „Sur une Propriété de la Lumière Réfléchi”, *Mémoires de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil*, Paris, Mad. v: Bernard, quai des Augustins, **II**, 143 (1809).