

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ CHEMICZNY

KATEDRA FIZYKOCHEMII I TECHNOLOGII
POLIMERÓW

LABORATORIUM Z FIZYKI

***Pomiar długości fali świetlnej
i stałej siatki dyfrakcyjnej.***

Wprowadzenie

Przy opisie zjawisk takich jak odbicie i załamanie światła wystarczy założyć, że światło rozchodzi się wzdłuż linii prostych nazywanych promieniami, a prawa optyki formułować w języku geometrii. Dział optyki, w którym zaniedbuje się skończone długości fal, nazywa się *optyką geometryczną*. Jednak do wyjaśnienia zjawisk dyfrakcji i interferencji konieczne jest uwzględnienie falowej natury światła. Działem optyki opisującym zjawiska falowe jest *optyka falowa*.

Falę elektromagnetyczną rozchodzącą się w kierunku x możemy zapisać w postaci funkcji falowej:

$$E(x,t) = E_0 \sin(\omega t - kx) \quad (1)$$

gdzie E_0 jest amplitudą natężenia pola elektrycznego, ω -częstotliwością kołową, k -liczbą falową związaną z długością fali zależnością $k=2\pi/\lambda$; czynnik kx określa fazę fali świetlnej. Widać, że przebycie drogi $x=\lambda$ daje zmianę fazy o 2π . Ponieważ 2π jest okresem funkcji sinus, to wszystkie punkty, w których fazy będą różniły się o wielokrotność 2π będą miały te same wartości natężenia pola elektrycznego. Mówimy, że drgania natężenia pola elektrycznego w tych punktach są zgodne w fazie.

Dyfrakcja światła, Zasada Huygensa

Przy przechodzeniu światła przez małe otwory lub małe zasłony albo na krawędzi zasłony dużej zachodzi zjawisko dyfrakcji czyli ugięcia fal świetlnych. Promienie odchylają się wtedy od kierunków jakie wyznacza prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła.

Wyjaśnienie zjawiska dyfrakcji daje tzw. **Zasada Huygensa**. Mówi ona, że każdy punkt, do którego dochodzą fale świetlne, zachowuje się tak, jak gdyby w nim było wtórne źródło, wysyłające elementarną falę kulistą. Te nowe fale doprowadzają drgania świetlne do dalszych punktów ośrodka. Widoczny na ekranie obraz prążkowy powstaje w wyniku interferencji ugiętych na krawędzi przesłony fal elementarnych. Zjawisko interferencji powstaje w wyniku nałożenie się dwóch lub więcej fal w danym punkcie przestrzeni. Prążkowy obraz interferencyjny możemy zaobserwować jednak tylko wtedy gdy:

- źródła są monochromatyczne (wysyłają fale o jednakowej długości fali)
- źródła interferujących fal są spójne (koherentne) – tzn. fale wysyłane przez źródło zachowują stałą w czasie różnicę faz.

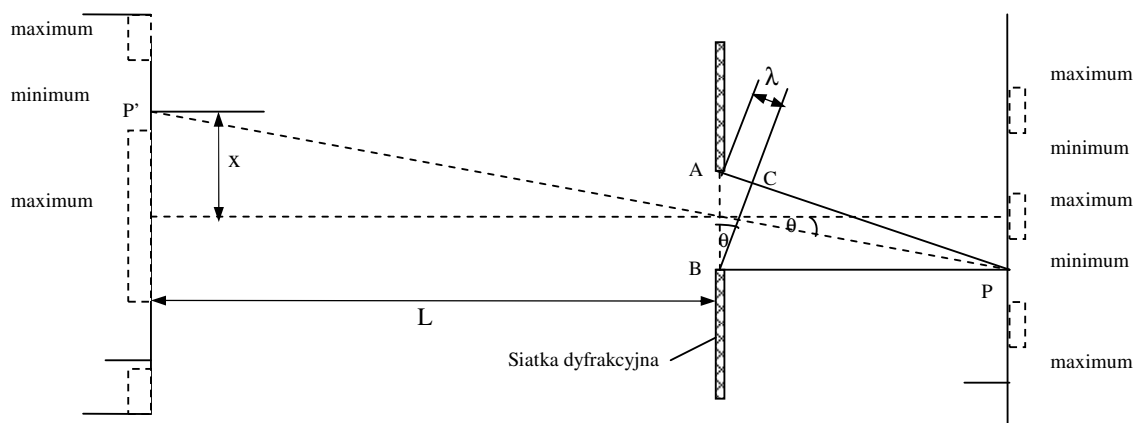
Za pomocą zasady Huygensa można z góry naszkicować obraz dyfrakcyjny otworu lub przesłony o ustalonych rozmiarach; należy przy tym pamiętać, że fale elementarne, jak gdyby

wytworzone przez wtórne źródło, są spójne i dlatego są zdolne do interferencji. Warunek spójności i koherencji najlepiej spełnia światło laserowe.

Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie

Jeżeli równoległą wiązkę światła po przejściu przez wąską szczelinę skierujemy przez soczewkę na ekran, to na ekranie powstanie obraz dyfrakcyjny szczeliny w postaci jasnego środkowego maksimum i leżących po jego obu stronach na przemian minimum maksimum oświetlenia, które powstają w wyniku interferencji fal ugiętych, biegnących z różnych miejsc szczeliny. Środkowy prążek jest jasny, bo tu spotykają się fale o zgodnych fazach. Pierwszy prążek ciemny powstaje, gdy promienie dochodzące do punktu B z obu brzegów szczeliny mają różnicę dróg równą λ .

Podzielmy szczelinę na dwie równe części. Jeżeli każdemu punktowi pierwszej części odpowiada punkt drugiej części taki, że różnica dróg dla tych punktów wynosi $\lambda/2$, wówczas fale idące z tych punktów znoszą się wzajemnie. W rezultacie fale z pierwszej części znoszą się wskutek interferencji z odpowiednimi falami z części drugiej i powstaje prążek ciemny. Z kolei, żeby powstał prążek jasny różnica dróg promieni skrajnych musi wynosić nieparzystą wielokrotność $\lambda/2$, np. $3/2\lambda$. W tym przypadku możemy szczelinę podzielić na trzy równe części. Fale z dwóch pierwszych znoszą się przez interferencję, fale z trzeciej części dają prążek jasny.



Rys.1 Dyfrakcja światła

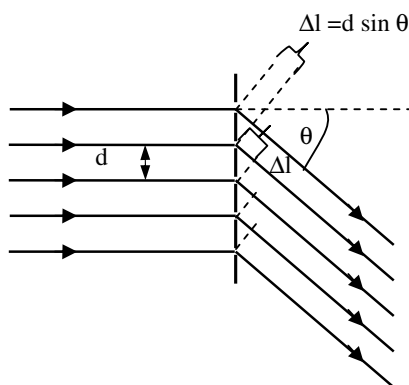
Ogólnie, jeżeli a jest szerokością to dla promieni ugiętych pod kątem φ różnica dróg promieni skrajnych wynosi $a \sin \varphi$. Dla prążków jasnych mamy zatem związek:

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (2)$$

a dla prążków ciemnych:

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Siatka dyfrakcyjna



Rys.2. Siatka dyfrakcyjna

Siatka dyfrakcyjna stanowi zespół szczelin wyciętych w nieprzezroczystej zasłonie. Jeżeli na siatkę pada prostopadle wiązka promieni o długości fali λ (rys.2), wtedy światło ugina się tak, że obraz ugięcia mogą powstać tylko w określonych kierunkach – takich, dla których różnice dróg promieni wychodzących z dwóch sąsiednich szczelin równają się całkowitym wielkościom λ , tzn. dla których zachodzi związek:

$$d \sin \varphi_1 = \lambda, \quad d \sin \varphi_2 = 2\lambda, \quad d \sin \varphi_3 = 3\lambda \quad (4)$$

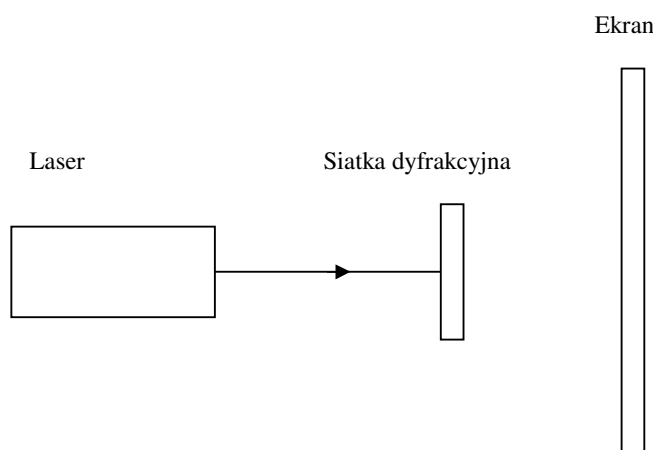
gdzie $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, stanowią kąty ugięcia kolejnych widm dyfrakcyjnych rzędu pierwszego, drugiego, trzeciego itd., zaś d (tzw. stała siatki) jest odległością pomiędzy środkami dwóch sąsiednich szczelin. Ponieważ dla każdej pary sąsiednich szczelin różnica dróg wynosi $d \sin \varphi$ to warunek na wystąpienie maksimum interferencyjnego możemy zapisać w postaci:

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (5)$$

Jednak widać z powyższego wzoru, kąty pod którymi obserwuje się główne maksima nie zależą od liczby szczelin na siatce, natomiast zależą od długości fali światła padającego λ i odległości między szczelinami d . Zjawiska dyfrakcji można wykorzystać do bardzo precyzyjnych pomiarów długości fali światła przy znanej wartości stałej siatki i odwrotnie.

Pomiary

W ćwiczeniu zestawiamy układ pomiarowy przedstawiony na rysunku .



Rys 3. Zestaw pomiarowy

1) Pomiar długości fali światła

Włączamy laser ustawiamy siatkę o znanej stałej siatki dyfrakcyjnej d prostopadle do kierunku wiązki światła laserowego. Na ekranie obserwujemy efekt interferencji światła ugiętego na siatce w postaci symetrycznie rozłożonych plamek po obu stronach względem plamki rzędu zerowego.

Mierząc odległość siatki od ekranu (L) i odległość kolejnych maksimów interferencyjnych od prążka rzędu zerowego (l), wyznaczamy wartości kątów ugięcia dla paru rzędów widma, po prawej i lewej stronie względem kierunku wiązki padającej. Jeżeli kąty ugięcia mierzone po lewej i prawej stronie różnią się więcej niż 5 stopni należy dokonać korekty ustawienia siatki. Pomiar powtórzyć 6 razy ustawiając od nowa cały zestaw. Następnie ze wzoru (5) wyznaczamy długość fali światła laserowego.

2) Pomiar stałej siatki

W układzie pomiarowym jak poprzednio w drogę światła laserowego wstawiamy siatkę dyfrakcyjną o nieznaną stałą d . Powtarzamy pomiar kątów ugięcia dla paru rzędów widma (jak w poleceniu 1) Ponieważ siatkę oświetlamy źródłem światła o znanej długości fali (obliczonej na podstawie polecenia 1), możemy teraz wyznaczyć stałą siatki d ze wzoru (5).

3) Pomiar grubości włosa

Podobnie jak na szczelinie – dyfrakcję możemy zaobserwować na bardzo cienkiej przeszkodzie, którą w naszym doświadczeniu może być włos. Wykonujemy pomiary kątów ugięcia dla paru rzędów widma dyfrakcyjnego. Pomiar powtórzyc 6 razy ustawiając od nowa cały zestaw . Obliczamy grubość włosa korzystając ze wzorów (2), (3).

Wyniki pomiarów należy zebrać w tabeli (Tabela 1)

Tabela 1

Kolejne maksimum interferencyjne	L Odległość siatki (włosa) od ekranu	l (odległość kolejnych maksimumów interferencyjnych od prążka rzędu zerowego)	λ [nm]	d [μm]	a [μm]
1					
2					
3					
4					

Opracowanie wyników pomiarów

Na podstawie danych zebranych w tabeli należy policzyć długość światła λ , stałą siatki dyfrakcyjnej d , oraz grubość włosa a . Wyznacz błąd pomiaru za pomocą odchylenia standardowego.

Wynik końcowy podać w postaci:

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm S_{\lambda} \quad (6)$$

$$d = \bar{d} \pm S_d \quad (7)$$

$$a = \bar{a} \pm S_a \quad (8)$$

Pytania

1. Omów zasadę Huygensa.
2. Omów doświadczenie Younga..
3. Co to jest siatka dyfrakcyjna oraz stała siatki dyfrakcyjnej? Jakie zjawisko fizyczne obserwuje się za pomocą siatki dyfrakcyjnej?
4. Wyjaśnij zjawiska dyfrakcji i interferencji światła.
5. Omów równanie Bragga.
6. Dlaczego optyka jest dzielona na geometryczną i falową? Jakie prawa dotyczą tylko jednej z nich, a jakie obu. Odpowiedzi uzasadnij.
7. Wyjaśnij zjawisko tęczy.
8. Podaj zastosowanie siatek dyfrakcyjnych.
9. Wymień znane Ci rodzaje laserów.
10. Co to jest fala elektromagnetyczna? Omów zjawisko i rodzaje polaryzacji.

Literatura

1. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa, 1959
2. Resnick R., Halliday D., Fizyka, Tom 2, PWN, Warszawa, 1989.
3. Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa, 1994.