

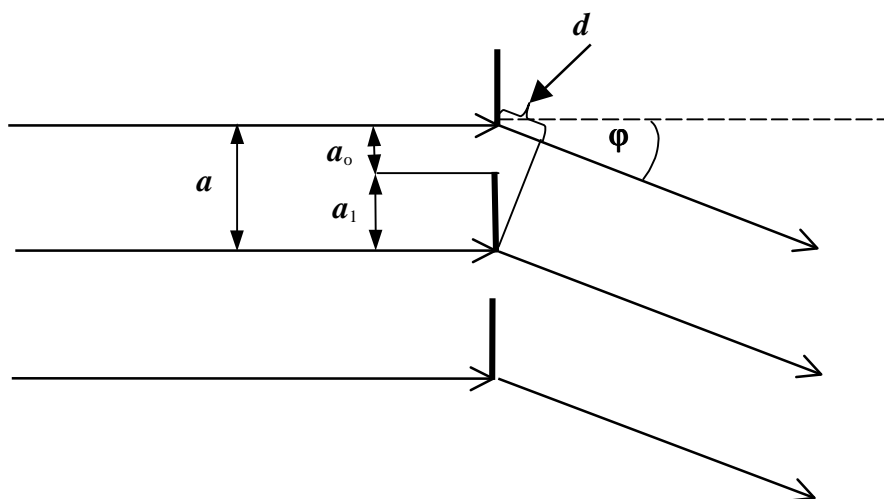
## Wyznaczanie długości fali światła przy użyciu siatki dyfrakcyjnej

- I. Cel ćwiczenia :** zapoznanie się ze zjawiskiem dyfrakcji, wyznaczenie długości fali linii widmowych lampy rtęciowej, wyznaczenie stałej siatki.
- II. Przyrządy:** ława optyczna, lampa rtęciowa, soczewka, siatki dyfrakcyjne, ekran
- III. Literatura:**
1. H. Hofmohl, A. Zawadzki – Laboratorium fizyczne,
  2. Sz. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna cz.4
  3. D. Holliday, R. Resnick Fizyka t.2, PWN 1972

### IV. Wprowadzenie.

Najprostsza siatka dyfrakcyjna stanowi układ dużej liczby jednakowych co do szerokości i równoległych szczelin leżących w jednej płaszczyźnie i rozdzielonych nieprzeźroczystymi odstępami. Siatką może być płytka szklana, na której nacięto szereg rys. Rysy nie przepuszczają światła, odgrywają więc rolę przesłon, wolne odstęp między nimi rolę szczelin. Każda szczelina siatki działa jak wtórne źródło światła, wysyłające promienie w różnych kierunkach. Gdy szerokość szczelin jest porównywalna z długością fali światła, światło wysyłane przez każdą z nich ma we wszystkich kierunkach mniej więcej to samo natężenie. Obraz dyfrakcyjny powstaje dopiero na skutek interferencji wiązek promieni wychodzących z różnych szczelin.

Niech  $a_0$  oznacza szerokość szczeliny,  $a_1$  szerokość rysy, natomiast  $a = a_0 + a_1$  jest stałą siatki. Rozpatrzmy przypadek, gdy siatkę oświetlimy wiązką równoległą światła jednorodnego padającą prostopadle do siatki.



**Rys.1** Ugięcie światła na siatce dyfrakcyjnej.

Na szczelinach siatki następuje ugięcie światła pod kątem  $\varphi$ . Wzajemne wzmocnienie natężenia światła otrzymujemy, jeżeli różnica dróg optycznych promieni wychodzących z dwóch sąsiednich szczelin wynosi całkowitą wielokrotność długości fali. Różnica dróg optycznych  $d$  wynosi:

$$d = a \sin\varphi$$

Wówczas warunek na wzmocnienie światła ma postać:

$$a \sin\varphi = m \lambda \quad (1)$$

gdzie,  $m$  – liczba całkowita.

Gdy  $m = 0$  otrzymujemy prążek zerowy odpowiadający wiązce nieugiętej. Dla  $m = 1$ , mamy prążki ugięte pierwszego rzędu,  $m = 2$  drugiego rzędu itd.

Maksyma natężenia są wyraźne, ponieważ sumują się działania promieni biegnących ze wszystkich szczelin. Są to tzw. maksima główne.

Jeżeli różnica dróg  $d$  nie jest dokładnie równa całkowitej liczbie długości fali, to nie obserwuje się pod odpowiednim kątem światła ugiętego.

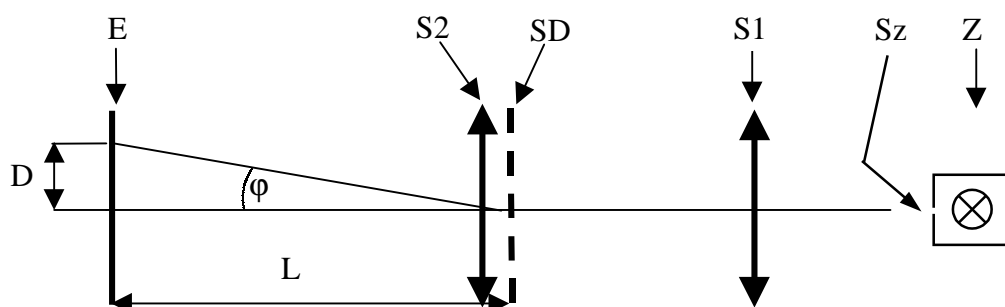
Jeżeli przez  $N$  oznaczymy liczbę szczelin siatki na długości 1 mm ( $N = 1/a$ ), to warunek maksimum głównego możemy zapisać następująco :

$$\sin\varphi = \pm m N \lambda \quad (2)$$

Prążki obserwowane na ekranie są tym bardziej od siebie odległe, im większe jest  $N$  tzn. im gęstsze są szczeliny siatki.

W świetle białym siatka wytwarza widmo; bardziej ugięte są promienie o większej długości fali, mniej o krótszej długości fali.

## V. Układ pomiarowy



Rys.2 Schemat układu doświadczenia

Źródłem światła w układzie doświadczenia jest lampa rtęciowa Z. W obudowie lampy, tuż przed źródłem światła znajduje się wąska szczelina Sz. Wiązka światła ze źródła Z oświetla soczewkę zbierającą S1, a następnie jako wiązka równoległa pada na siatkę dyfrakcyjną SD. Na siatce następuje ugięcie światła pod kątem  $\varphi$ , następnie pada ono na soczewkę S2 ustawioną tuż za siatką SD. Na ekranie ustawionym w odległości ogniskowej soczewki zbierającej S2 obserwujemy prążki barw żółtej, zielonej i fioletowej.

W centrum ekranu obserwujemy jasny prążek nazywany maksimum centralnym. Natomiast po obu stronach prążka centralnego widać prążki kolorowe różnych rzędów, nazywanych widmami dyfrakcyjnymi pierwszego, drugiego i dalszych rzędów. W granicach każdego rzędu mamy prążki różnych barw. Najmniejszy kąt ugięcia mają prążki barwy fioletowej, największy żółtej.

*Atomy, jony, molekuły emitują światło niezależnie od siebie - emisja odbywa się spontanicznie, przypadkowo. Takie chaotycznie wypromieniowane ciągi falowe nie pozostają ze sobą w żadnej relacji przestrzennej czy czasowej, nie wykazują korelacji fazowych. Wąska szczelina Sz powoduje, że ciągi falowe, które padną na siatkę SD pochodzą z tego samego niewielkiego obszaru żarnika*

lampy. Ugięte wiązki wychodzące ze szczelin siatki dyfrakcyjnej należą więc do tej samej grupy ciągów falowych. Jeśli zmieni się faza światła emitowanego ze szczeliny  $S_z$ , zmiana ta przeniesie się równocześnie do wszystkich szczelin siatki dyfrakcyjnej, na które pada wiązka światła. Dlatego w dowolnym punkcie ekranu utrzymuje się stała w czasie różnica faz między wiązkami wychodzącymi z dwu sąsiednich szczelin i powstaje trwały obraz interferencyjny.

Źródła światła wysyłające fale, które posiadają stałą w czasie względną różnicę faz (różnicę ich stałych fazowych) nazywamy źródłami spójnymi i za takie można uważać fale wychodzące ze szczelin siatki  $S_z$ . Źródła spójne nie muszą być monochromatyczne. Oczywiście źródła emitujące ściśle harmoniczne fale (a więc monochromatyczne) też będą spójne.

## VI. Pomiary

Zestawić układ doświadczalny zgodnie z rysunkiem 2. Soczewkę  $S_1$  ustawić w położeniu dającym wiązkę równoległą. Ekran  $E$  umocować na końcu ławy optycznej, a następnie przesuwać soczewkę  $S_2$  w położenie, dla którego na ekranie otrzyma się ostry obraz szczeliny. Po umieszczeniu siatki dyfrakcyjnej przed soczewką  $S_2$  na ekranie otrzymamy układ barwnych prążków. Prążek zerowy powinien znajdować się w środku ekranu; jeśli tak nie jest to należy dokonać korekty, obracając lekko źródło światła (konieczność dokonania korekty zgłosić prowadzącemu zajęcia). Ekran należy ustawić prostopadłe do ławy optycznej, tzn. tak, aby prążki poszczególnych barw były symetryczne względem prążka centralnego.

Zmierzyć odległość  $D_p$  dla prążka prawego i  $D_l$  dla prążka lewego danej barwy i danego rzędu widma.

Dla siatki o znanej stałej (lub liczbie rys na 1 mm), zmierzone wielkości  $L$  i  $D$  zestawić w tabeli I. Pomiary powtórzyć dla siatki o innej stałej, a następnie dla siatki, której stałą należy wyznaczyć. Wyniki pomiarów dla tej siatki można zestawić w tabeli II.

Tabela 1

Barwa prążka	N =											
	L =											
	m = 1				m = 2				m = 3			
	$D_p$	$D_l$	$\sin \varphi$	$\lambda[\text{nm}]$	$D_p$	$D_l$	$\sin \varphi$	$\lambda[\text{nm}]$	$D_p$	$D_l$	$\sin \varphi$	$\lambda[\text{nm}]$
fiolet.												
zielony												
żółty												

Tabela II

barwa prążka	L =									
	m = 1					m = 2				
	$D_p$	$D_l$	$\sin \varphi$	$\lambda[\text{nm}]$	$a[\text{m}]$	$D_p$	$D_l$	$\sin \varphi$	$\lambda[\text{nm}]$	$a[\text{m}]$
fiolet.										
zielony										
żółty										

## VII. Opracowanie wyników.

- 1 ♦ Obliczyć wartość  $\sin \varphi$  z geometrii układu doświadczalnego mając dane  $L$  i  $D$ :

$$\sin \varphi = \frac{D}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

gdzie  $D = \frac{D_p + D_l}{2}$  jest średnią odległością prążka danej barwy dla  $m$ -tego rzędu od środka centralnego prążka.

Następnie ze wzoru (wynika z zależności (2))

$$\lambda = \frac{1}{mN} \frac{D}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

obliczyć długości fal światła dla różnych barw. Otrzymane przy pomocy różnych siatek i dla różnych rzędów ( $m = 1, 2, 3$ ) długości fal odpowiadające **tej samej barwie** uśrednić. Porównać otrzymane wartości z wielkościami tablicowymi. W tablicach linii widmowych dla lampy rtęciowej występuje 6 dających się wizualnie rozdzielić długości fal. Zaleca się wykonać pomiary dla tych linii, które są wyraźnie widoczne.

- 2 ♦ Wyrażenie na niepewność  $\Delta\lambda$  długości fali uzyskuje się metodą różniczki zupełnej

$$\Delta\lambda = \lambda \frac{L^2}{L^2 + D^2} \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta D}{D} \right)$$

gdzie  $\Delta D$  i  $\Delta L$  są maksymalnymi niepewnościami pomiarów wielkości  $D$  i  $L$ . Oceniając te niepewności kierować się nie tylko dokładnością przyrządu pomiarowego, ale także niemożnością dokładnego ustalenia położenia siatki dyfrakcyjnej czy płaszczyzny ekranu.

Jak wynika z bliższej analizy podanego wzoru na  $\Delta\lambda$ , największą niepewność uzyskuje się dla pierwszego rzędu tj. dla  $m = 1$ . Tę maksymalną wartość  $\Delta\lambda$  przyjąć jako niepewność pomiarową dla pozostałych długości fal **tej samej barwy** obliczonych dla wyższych rzędów.

Obliczenia niepewności przeprowadzić dla siatki mającej najmniejszą liczbę rys na 1 mm i dla wszystkich barw pierwszego rzędu.

Wynik pomiaru podać w postaci:  $\bar{\lambda} \pm \Delta\lambda$ ,

gdzie  $\bar{\lambda}$  jest średnią długości fal **tej samej barwy** zmierzoną przy pomocy różnych siatek i dla różnych rzędów.

- 3 ♦ Nieznaną stałą  $a$  siatki dyfrakcyjnej wyliczyć ze wzoru (wynika z zależności (2))

$$a = \frac{m\lambda\sqrt{L^2 + D^2}}{D}$$

korzystając ze wszystkich barwnych prążków badanej siatki. Do tych obliczeń przyjąć tabelaryczne wartości długości fal odpowiadające barwnym prążkom. Wyznaczyć wartość średnią tej stałej siatki  $\bar{a}$ .

- 4 ♦ Niepewność pomiarową stałej siatki obliczyć ze wzoru (otrzymuje się go metodą różniczki zupełnej):

$$\Delta a = a \frac{L^2}{L^2 + D^2} \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta D}{D} \right)$$

Obliczenia niepewności  $\Delta a$  przeprowadzić dla wszystkich barw pierwszego rzędu.

Wynik pomiaru podać w postaci:  $\bar{a} \pm \Delta a$ ,

gdzie  $\bar{a}$  jest średnią wartością rezultatów otrzymanych dla różnych barw (długości fal) i dostępnych rzędów.