



**ĆWICZENIE  
84**

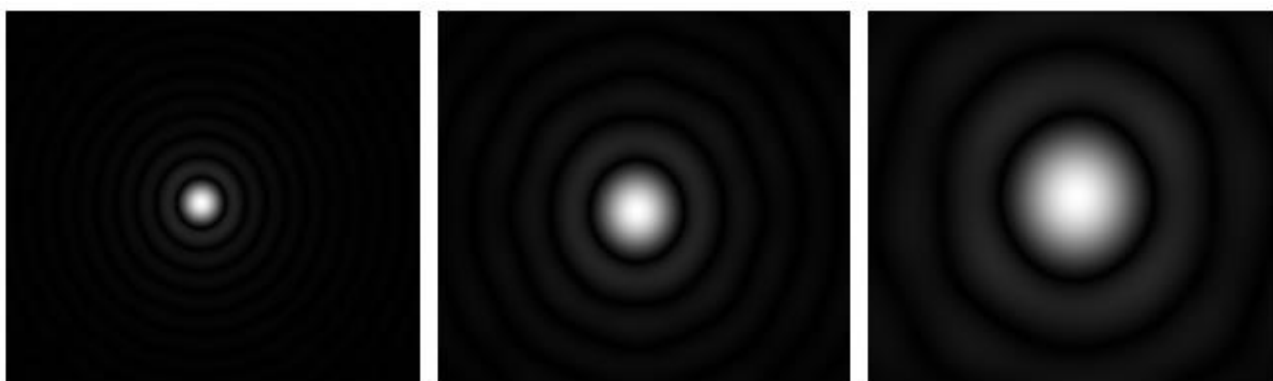
**WYZNACZANIE DŁUGOŚCI FALI ŚWIETLNEJ ZA POMOCĄ  
SIATKI DYFRAKCYJNEJ**

**Cel ćwiczenia:** Wyznaczenie długości fali emisji lasera lub innego źródła światła monochromatycznego, wyznaczenie stałej siatki dyfrakcyjnej.

**Zagadnienia:** Ugięcie światła, siatka dyfrakcyjna, pomiar długości fali świetlnej.

**1 Wprowadzenie**

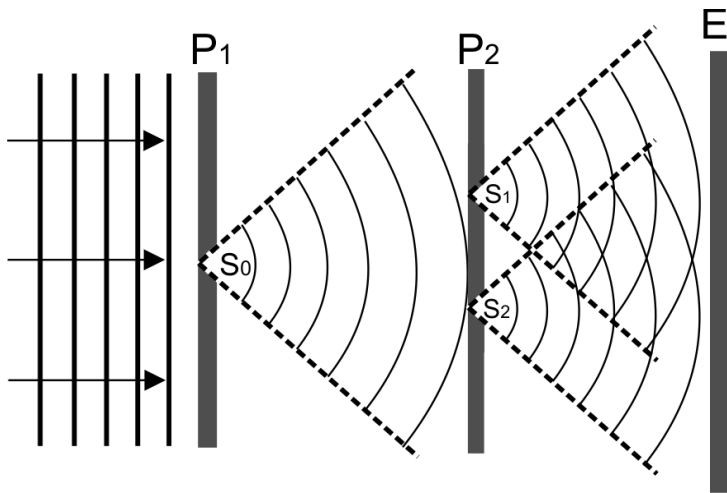
W optyce geometrycznej podstawową cechą światła jest jego prostoliniowe rozchodzenie się w ośrodkach o jednorodnym współczynniku załamania. Stąd definiuje się pojęcie promienia świetlnego. Oświetlając nieprzezroczysty ekran z niewielkim otworem zaobserwujemy wąską wiązkę światła. Zmniejszając średnicę otworu będziemy obserwować zwężanie promienia świetlnego tylko do pewnego momentu. Dalsze zmniejszanie średnicy otworu będzie powodowało rozszerzenie wiązki światła.



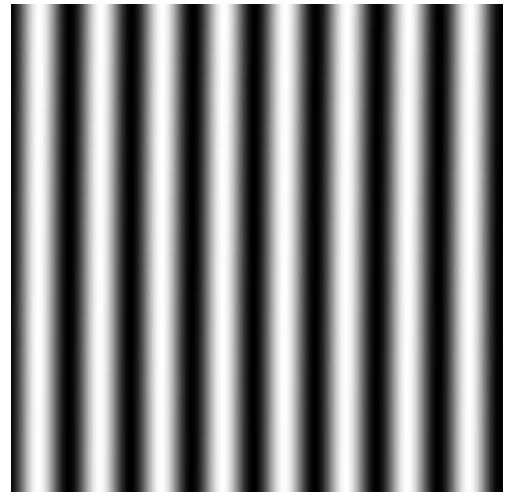
**Rys.1.** Rozkładu natężenia światła obserwowany na ekranie dla trzech otworów kołowych o zmniejszających się średnicach

Efekt ten jest wynikiem zjawiska dyfrakcji światła, które polega na uginaniu się promieni świetlnych napotykających przeszkody na swojej drodze. Odstępstwo od prostoliniowego rozchodzenia się światła jest związane z jego falową naturą. Zgodnie z zasadą Huygensa każdy punkt przestrzeni, do którego dochodzi fala padająca może być traktowany jako nowe źródło fali kulistej. Takie elementarne fale spotykają się ze sobą interferują i w ten sposób powstaje nowa fala świetlna.

Falową naturę światła potwierdził Thomas Young. W swoim doświadczeniu (Rys.2.) skierował światło słoneczne na nieprzezroczystą przysłonę  $P_1$  z małym otworem  $S_0$  na środku. Zgodnie z zasadą Huygensa otworek działa jako źródło elementarnej fali kulistej. Fala ta padając na otworki  $S_1$  i  $S_2$  w przysłonie  $P_2$ , ponownie generuje dwie fale kuliste. Na ekranie E obserwujemy szereg rozłożonych na przemian jasnych i ciemnych prążków Rys. 3.



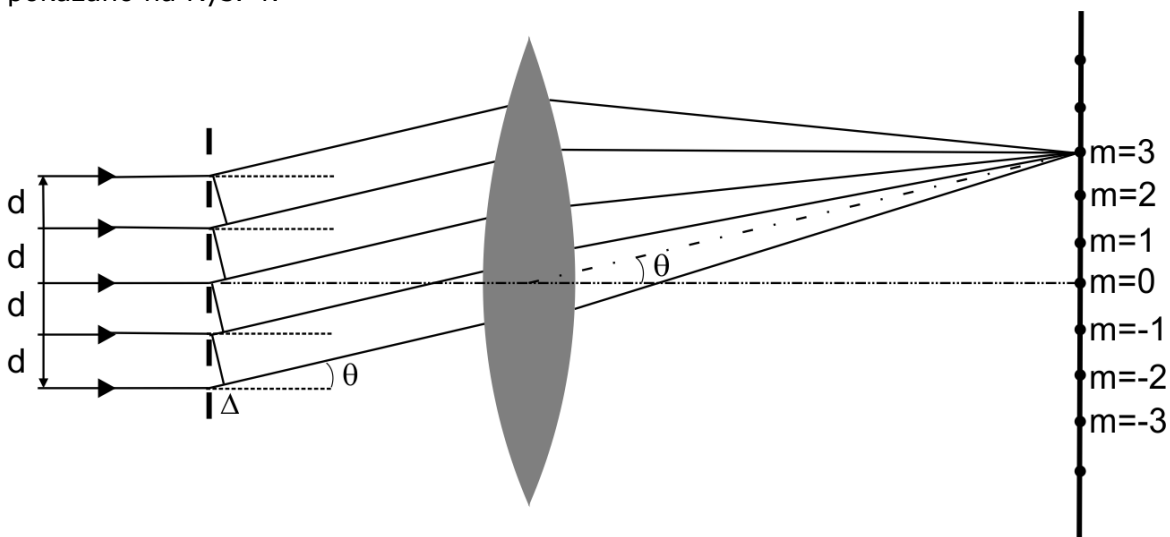
**Rys.2.** Doświadczenie Younga



**Rys.3.** Obraz obserwowany w doświadczeniu Younga, dla nieprzezroczystej przysłony z dwiema szczelinami

Siatka dyfrakcyjna jest w zasadzie powieleniem doświadczenia z dwiema szczelinami. Zasadnicza różnica polega na tym, że zamiast dwóch znajduje się na niej duża liczba (od kilkudziesięciu do kilkunastu tysięcy) jednakowych równoodległych szczelin. Z tego powodu przez siatkę dyfrakcyjną przechodzi znacznie więcej światła niż przez dwie szczeliny w doświadczeniu Younga.

Założmy, że płaska fala świetlna pada prostopadłe na siatkę dyfrakcyjną z lewej strony jak pokazano na Rys. 4.



**Rys.4.** Schemat siatki dyfrakcyjnej

Pamiętamy, że każdy punkt szczelin siatki jest źródłem elementarnej fali kulistej. Wybierzmy spośród wielu, jeden określony kierunek promieni ugiętych pod kątem  $\theta$  do początkowego biegu promieni. Jeżeli  $d$  jest odległością pomiędzy szczelinami to różnica  $\Delta$  przebytych dróg pomiędzy dwoma promieniami ugiętymi na sąsiednich szczelinach (od ich szczeliny do wspólnego czoła fali za siatką) wyraża się podobnie jak w doświadczeniu Younga, równaniem:

$$\Delta = d \sin \theta \quad (1)$$

Fale przechodzące przez szczeliny mają w nich jednakowe fazy drgań a więc będą się wzmacniać w tych kierunkach, w których będzie spełniony warunek na interferencyjne wzmocnienie natężenie światła:

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

gdzie  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$  – rząd widma dyfrakcyjnego,  $\lambda$  – długość fali.

Wobec tego kierunki interferencyjnego wzmacniania się natężenia światła (maksima) są określone równaniem siatki dyfrakcyjnej:

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} . \quad (3)$$

Zakłada się przy tym, że ekran na którym ma miejsce interferencja promieni leży bardzo daleko. W praktyce ugięte promienie przepuszcza się przez obiektyw Ob. Wtedy wszystkie wzajemnie równoległe, ugięte promienie spotykają się i interferują w płaszczyźnie ogniskowej tego obiektywu. Ten sposób realizacji interferencji jest wygodniejszy, a widmo dyfrakcyjne (obraz dyfrakcyjny) siatki znacznie wyraźniejsze.

Siatki dyfrakcyjne odgrywają bardzo ważną rolę w wielu przyrządach stosowanych w nauce i technice. Szczególnie często siatki są wykorzystywane do otrzymywania światła monochromatycznego lub do rozszczepiania światła i analizy widm. Z tego powodu istnieje praktyczna potrzeba wytwarzania siatek dyfrakcyjnych o bardzo wysokiej jakości.

Siatki dyfrakcyjne dzielą się na transmisyjne i odbiciowe. Siatki transmisyjne to takie przez które przechodzi światło, można je uzyskać przez nacinanie rys na płytkach szklanych lub w cienkich nieprzezroczystych warstwach (najczęściej metalicznych) nanoszonych na płytce szklane. Taką metodą można uzyskać siatki o stałej  $d$  rzędu kilku mikrometrów, co oznacza od kilku do kilkuset linii na jednym milimetrze długości. Innymi metodami otrzymywania siatek transmisyjnych są metody fotograficzne lub holograficzne. W metodach tych, na specjalnych kliszach fotograficznych, o bardzo wysokiej zdolności rozdzielczej, rejestruje się obraz jasnych i ciemnych narysowanych linii lub jasnych i ciemnych, wzajemnie równoodległych prążków interferencyjnych. W taki sposób można uzyskiwać siatki dyfrakcyjne o bardzo dużej gęstości linii, nawet do 4000 linii/mm.

W siatkach odbiciowych światło nie przechodzi przez siatkę lecz odbija się od periodycznej struktury naciętej na powierzchni metalu lub szkła, dając taki sam rezultat jak podczas przejścia przez siatkę transmisyjną (efekt ten jest widoczny przy obserwacji światła odbitego np. od dysku optycznego – CD).

Siatki dyfrakcyjne transmisyjne dzielimy na siatki amplitudowe i fazowe.

Siatką amplitudową nazywamy siatkę z kolejno nieprzezroczystymi (ciemnymi) i przezroczystymi (szczeliny) liniami.

Siatka fazowa jest w całym swoim obszarze przezroczysta dla światła. Odpowiednikami na przemian przezroczystych i nieprzezroczystych linii siatki amplitudowej są tutaj linie o okresowo zmiennej grubości ośrodka przezroczystego, zmieniające periodycznie fazę przechodzącej fali świetlnej.

Ze względu na to, że siatki dyfrakcyjne stosuje się głównie do uginania światła, ważnym parametrem siatek dyfrakcyjnych jest ich wydajność dyfrakcyjna  $\eta$ , którą definiuje się jako stosunek natężenia światła ugiętego w pierwszym rzędzie dyfrakcyjnym  $I_1$  do całkowitego natężenia światła padającego na siatkę  $I_0$ .

$$\eta = \frac{I_1}{I_0} . \quad (4)$$

Wydajność siatek amplitudowych nie przekracza 10%, podczas gdy wydajność siatek fazowych może dochodzić do kilkudziesięciu procent. Z tego względu siatki fazowe nadają się do wielu zastosowań lepiej niż siatki amplitudowe.

Zdolności siatki dyfrakcyjnej do rozszczepiania światła polichromatycznego na wiązki monochromatyczne nazywamy dyspersją kątową:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d \cos\theta}. \quad (5)$$

Miarą zdolności rozdzielania dwóch blisko siebie leżących linii widmowych jest chromatyczna zdolność rozdzielcza:

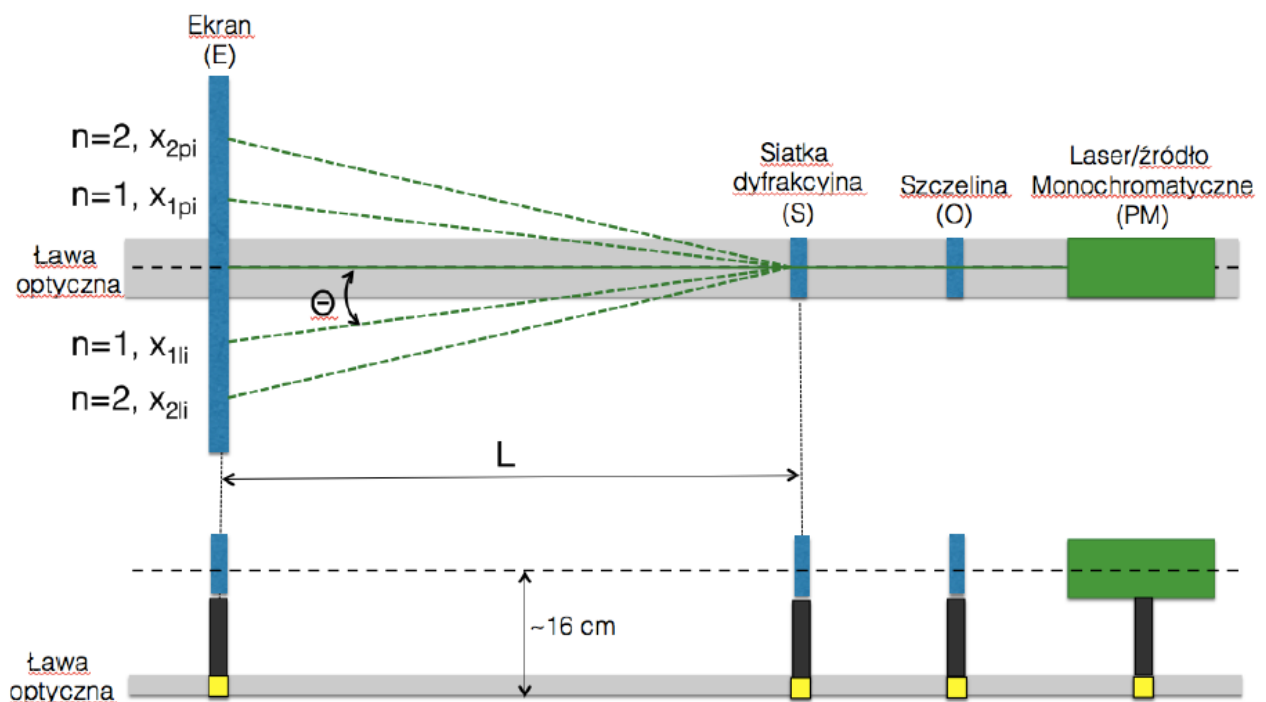
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m N. \quad (6)$$

Zależność ta, pozwala określić najmniejszą różnicę długości fali  $\Delta\lambda$  dwóch linii spektralnych, które można rozdzielić w  $m$ -tym rzędzie dyfrakcji za pomocą siatki o  $N$  szczelinach.

## 2 Zasada pomiaru i układ pomiarowy

Pomiary stałej siatki dyfrakcyjnej i długości fali światła wykonuje się na ławie optycznej, na której umieszczono są kolejno: źródło światła monochromatycznego, szczelina, transmisyjna siatka dyfrakcyjna i ekran ze skalą milimetrową.

Światło po przejściu przez szczelinę pada na siatkę dyfrakcyjną i doznaje na niej ugięcia. Na ekranie, umieszczonym w odległości  $L$  od siatki, widać wiązkę nieugiętą (zerowego rzędu) oraz wiązki kolejnych rzędów, ugięte pod kątami  $\theta_m$ .



Rys.5. Schemat układu pomiarowego

### 3 Zadania do wykonania

#### A) Pomiary:

Przed przystąpieniem do pomiarów należy skonfigurować położenie wyjścia źródła monochromatycznego/ lasera tak aby wiązka światła rozchodziła się wzdłuż ławy optycznej. (szczegółowy opis procedury znajduje się w instrukcji roboczej na stanowisku pomiarowym)

##### 1. Wyznaczenie długości fali emisji lasera lub innego źródła światła monochromatycznego

Posługując się siatką dyfrakcyjną o znanej wartości stałej siatki  $d$ , należy odczytać położenia linii dyfrakcyjnych na ekranie z lewej i z prawej strony zerowego rzędu dyfrakcyjnego. Odczyt wykonujemy dla rzędów dyfrakcyjnych  $n=1,2,3,4,5$ . Pomiary powtarzamy dla kilku odległości siatki dyfrakcyjnej od ekranu  $L_i$ .

##### 2. Wyznaczenie stałej siatki dyfrakcyjnej

Dla ustalonej długości fali źródła światła monochromatycznego, należy odczytać położenie pierwszego rzędu dyfrakcyjnego z lewej i z prawej strony zerowego rzędu dyfrakcyjnego. Pomiary powtarzamy dla kilku odległości siatki dyfrakcyjnej od ekranu  $L_i$ .

#### B) Opracowanie wyników:

Wyniki eksperymentalne umieścić w odpowiednich tabelach.

##### 1. Wyznaczenie długości fali emisji lasera lub innego źródła światła monochromatycznego

Dla każdego z rzędów dyfrakcyjnych  $n=1,2,3,4,5$  oraz odległości siatki dyfrakcyjnej od ekranu  $L_i$  obliczyć wartość średnią odległości linii dyfrakcyjnej od zerowego rzędu dyfrakcyjnego. Obliczyć odpowiednie sinusy kąta ugięcia  $\sin\theta_i$ . Na podstawie równania siatki dyfrakcyjnej obliczyć długość fali światła padającego na siatkę dyfrakcyjną oraz jej niepewność.

##### 2. Wyznaczenie stałej siatki dyfrakcyjnej

Dla każdej odległości siatki dyfrakcyjnej od ekranu  $L_i$  obliczyć wartość średnią odległości linii dyfrakcyjnej  $n=1$  od zerowego rzędu dyfrakcyjnego. Obliczyć odpowiednie sinusy kąta ugięcia  $\sin\theta_i$ . Na podstawie równania siatki dyfrakcyjnej obliczyć stałą siatki dyfrakcyjnej oraz jej niepewność.

#### 4 Pytania:

1. Na czym polega zjawisko dyfrakcji światła? Podaj przykłady.
2. Zapisz równanie siatki dyfrakcyjnej, omów występujące wielkości fizyczne.
3. Co to jest wydajność dyfrakcyjna?
4. Podaj rodzaje siatek dyfrakcyjnych, omów czym się różnią.
5. Oblicz stałą siatki dyfrakcyjnej, jeśli dla wiązki światła laserowego o długości fali  $\lambda=532\text{nm}$  położenie drugiego rzędu dyfrakcyjnego względem wiązki nieugiętej wynosi 20 mm. Ekran umieszczony jest w odległości 10 cm od siatki dyfrakcyjnej.

opracował S.Drobczyński