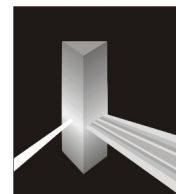


KATEDRA FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



PRACOWNIA OPTYKI



ĆWICZENIE NR 0-6

WYZNACZANIE DŁUGOŚCI FAL

PODSTAWOWYCH BARW W WIDMIE ŚWIATŁA

BIAŁEGO ZA POMOCĄ SIATKI

DYFRAKCYJNEJ

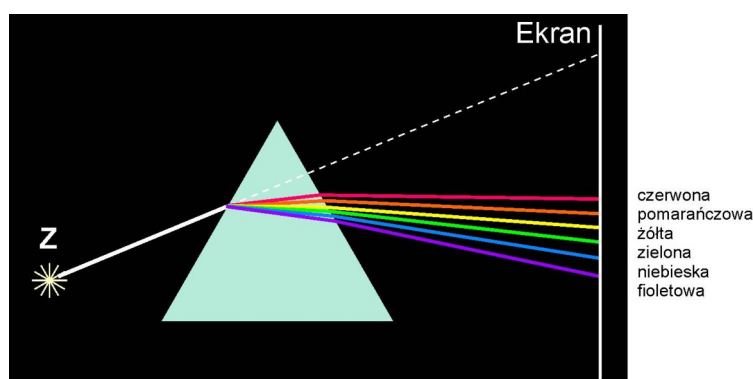
I. **Zagadnienia do opracowania**

1. Widmo światła białego, rozszczepienie światła białego przez pryzmat.
2. Zjawisko dyfrakcji światła, siatka dyfrakcyjna, otrzymywanie prążków interferencyjno-dyfrakcyjnych za pomocą siatki dyfrakcyjnej,
3. Zasada pomiaru długości fali świetlnej za pomocą siatki dyfrakcyjnej.
4. Rachunek błędu metodą różniczki zupełnej.

II. **Wprowadzenie teoretyczne**

2.1. **Widmo światła białego**

Światło białe jest mieszaniną fal świetlnych o różnych długościach (od ~ 380 nm do ~ 780 nm). Jeżeli wiązkę światła białego skierujemy na pryzmat, tak jak to przedstawiono na rys. 1, to po dwukrotnym załamaniu w pryzmacie i odchyleniu od pierwotnego biegu promieni otrzymamy wielobarwną, rozbieżną wiązkę promieni.



Rys. 1. Rozszczepienie światła białego w pryzmacie

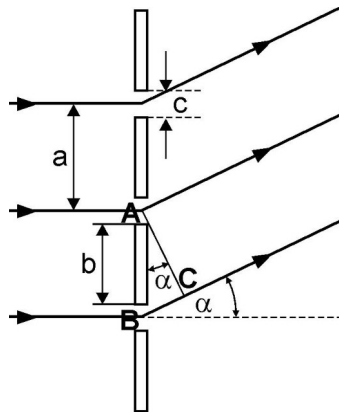
Jeżeli na drodze tej wiązki ustawimy ekran, to uzyskamy na nim wstęgę o tęczy barwach tworzącą tzw. widmo światła białego. Gdy źródłem światła białego jest Słońce lub żarówka elektryczna otrzymamy widmo ciągłe, którego barwy zmieniają się stopniowo od czerwieni do fioletu przez barwę pomarańczową, żółtą, zieloną, i niebieską. Choć nie można wyznaczyć dokładnie granicy między dwoma sąsiednimi barwami, tradycyjnie w widmie światła białego wyróżnia się te barwy jako podstawowe, a w rzeczywistości można rozróżnić znacznie więcej różnych odcieni barwnych. Należy zaznaczyć, że długości fal odpowiadające danej barwie mieszczą się w pewnym przedziale długości fal, (w różnych publikacjach zakresy tych przedziałów mogą się nieznacznie różnić między sobą) np. dla barwy czerwonej wg M. Halaubrenoer „Ćwiczenia praktyczne z fizyki” przedział ten wynosi (647-723) nm.

Na podstawie pomiarów długości fali dla różnych barw stwierdzono, że największą długość fali ma światło barwy czerwonej a najkrótszą długość światło barwy fioletowej. Z położenia poszczególnych barw na ekranie widać, że najbardziej odchylone od pierwotnego kierunku są promienie fioletowe, dla których (n_f) współczynnik załamania materiału, z którego zrobiony jest pryzmat jest największy

a najmniej czerwone, dla których (n_{cz}) współczynnik załamania jest najmniejszy. Różnica ($n_r - n_{cz}$) jest dla danego pryzmatu miarą średniego rozszczepienia (dyspersji).

2.2. Siatka dyfrakcyjna (opis znacznie uproszczony)

Siatka dyfrakcyjna stanowi układ dużej liczby równoległych szczelin jednakowych co do szerokości i oddzielonych nieprzezroczystymi odstępami. Schemat siatki dyfrakcyjnej przedstawia rys.2.



Rys. 2. Schemat siatki dyfrakcyjnej

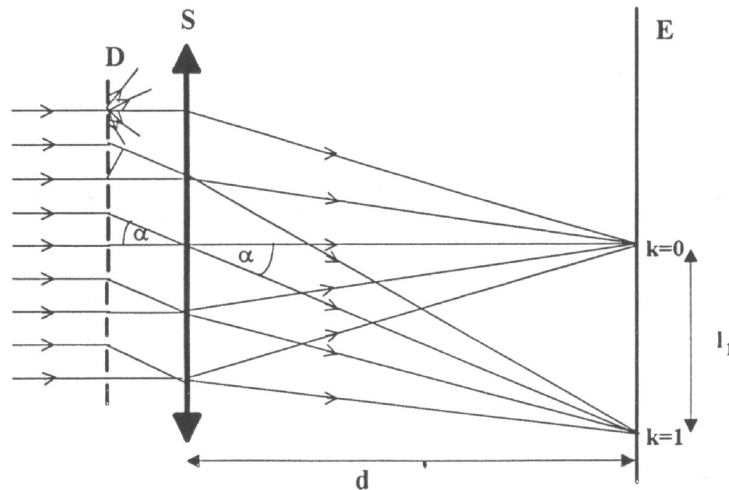
Odległość między środkami sąsiednich szczelin a nazywamy stałą siatki, przy czym $a = b + c$, gdzie b jest szerokością odstępów między szczelinami, c szerokością szczeliny. Jeżeli wiązka monochromatycznych, równoległych promieni pada prostopadłe na siatkę dyfrakcyjną to ulega ona ugięciu (dyfrakcji) we wszystkich możliwych kierunkach. Promienie ugięte przez wszystkie szczeliny są spójne i dlatego mogą ze sobą interferować, dzięki temu w pewnych określonych kierunkach wiązki ugięte będą się wzajemnie wzmacniać, w innych osłabiać. Gdy ugięcie zachodzi w takim kierunku, że różnica dróg promieni wychodzących z dwóch sąsiednich szczelin A i B (odległych od siebie o stałą siatki a) wynosi: $BC = k \cdot \lambda$, czyli całkowitą wielokrotność długości fali λ , to wiązki ugięte w takim kierunku wzmacniają się nawzajem i wypadkowa wiązka ma duże natężenie.

Kierunki te, jak widać z rys. 2. są określone przez warunek:

$$a \sin \alpha = k \cdot \lambda \quad (1)$$

gdzie: $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ - jest rzędem widma dyfrakcyjno – interferencyjnego.

Natomiast w każdym kierunku, dla którego warunek ten nie jest spełniony wiązki ugięte osłabiają się nawzajem, ponieważ różnice dróg zawierają ułamki długości fali i wobec tego w tych kierunkach otrzymujemy albo całkowite wygaszenie światła, albo bardzo słabe jego natężenie. Z zależności (1) wynika, że za pomocą siatki dyfrakcyjnej o znanej stałej a , można wyznaczyć długość fali padającego światła mierząc kąt ugięcia promieni α_k dla danego rzędu ugięcia k . Dla przykładu na rys. 3. przedstawiono uproszczony schemat powstawania prążków dyfrakcyjno-interferencyjnych: rzędu zerowego ($k = 0$) i rzędu pierwszego ($k = 1$).



Rys. 3. Uproszczony schemat otrzymywania prążków dyfrakcyjno-interferencyjnych przy pomocy siatki dyfrakcyjnej

Prążki te otrzymujemy na ekranie E za pomocą soczewki skupiającej S umieszczonej na drodze promieni ugiętych przez siatkę dyfrakcyjną, jeżeli ekran ustawimy w płaszczyźnie ogniskowej soczewki. Wiązka równoległych promieni padająca prostopadłe na siatkę dyfrakcyjną D po przejściu przez szczeliny siatki ulega ugięciu we wszystkich możliwych kierunkach, z których na rysunku wybrano tylko dwa: promienie ugięte pod kątem α po skupieniu przez soczewkę dają na ekranie prążek pierwszego rzędu.

Wzajemna odległość tych prążków określona jest zależnością kątową:

$$\sin \alpha = \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + d^2}} \quad (2)$$

gdzie: l_1 – jest odległością na ekranie prążka pierwszego rzędu od prążka zerowego,

d – odległością ekranu od soczewki.

Z zależności (1) dla $k=1$, długość fali wynosi:

$$\lambda = a \sin \alpha \quad (3)$$

Stąd szukana długość fali po uwzględnieniu zależności (2) wynosi:

$$\lambda = \frac{a \cdot l_1}{\sqrt{l_1^2 + d^2}} \quad (4)$$

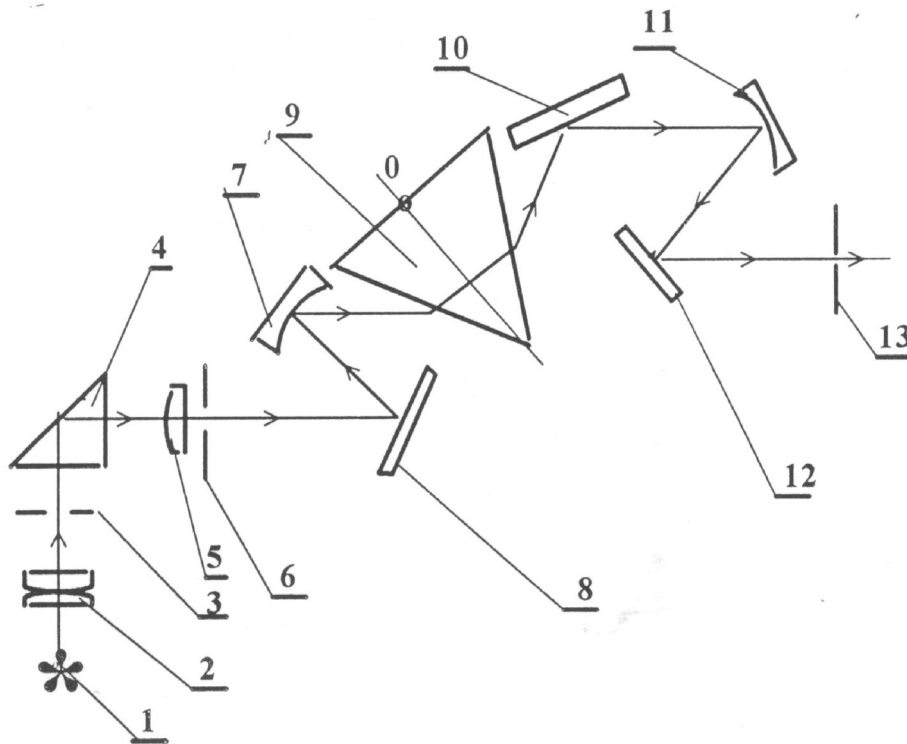
Ogólnie dla prążka rzędu k , długość fali:

$$\lambda = \frac{a \cdot l_k}{k \sqrt{l_k^2 + d^2}} \quad (4)$$

gdzie: l_k – jest odległością prążka rzędu k od prążka zerowego, przy czym prążki rzędu $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ układają się symetrycznie na ekranie wokół prążka zerowego.

2.3. Monochromator

Jest to przyrząd, który z widma światła białego pozwala wydzielić wiązkę o bardzo wąskim zakresie długości fal (prawie monochromatyczną). Schemat optyczny monochromatora przedstawiono na rys.4.



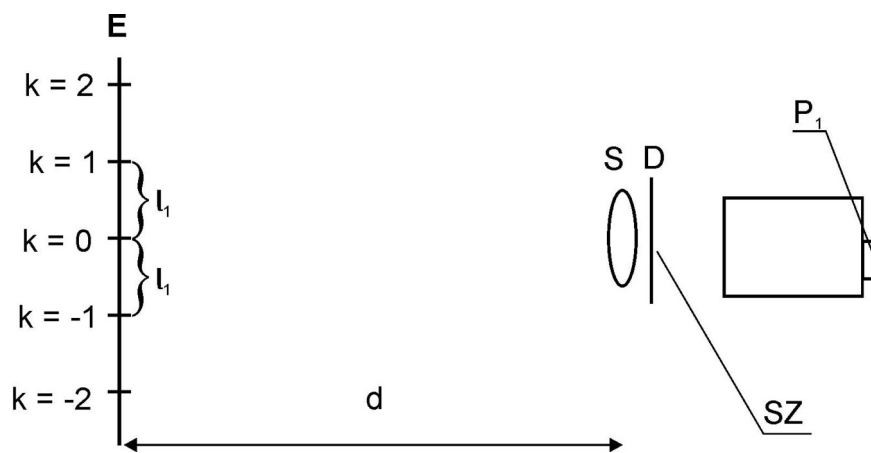
Rys. 4. Schemat optyczny monochromatora

Światło białe z żarówki /1/ pada na kondensator /2/, przechodzi przez przesłonę irysową /3/ i pada na prostokątny pryzmat /4/, który zmienia jego kierunek o 90° , następnie po przejściu przez kolektyw /5/ pada na szczelinę /6/ o zmiennej szerokości ustawioną w płaszczyźnie ogniskowej zwierciadła wklęsłego /7/. Na drodze wiązki promieni równoległych biegnących między lustrami /7/ i /11/ ustawiony jest pryzmat rozszczepiający /9/ tworzący wraz ze zwierciadłem płaskim /10/ tzw. układ Wadsworth'a wg którego w osi obrotu "0" układu przecina się płaszczyzna przekroju głównego pryzmatu 9 z płaszczyzną odbijającą zwierciadła /10/. Układ ten zapewnia utrzymanie stałego kąta między promieniem padającym i wychodzącym z tego układu, zachowując przy tym warunek dewiacji pryzmatu dla różnych długości fali światła. W płaszczyźnie ogniskowej zwierciadła wklęsłego /11/, tworzy się obraz szczeliny wejściowej /6/, który po przejściu przez szczelinę wyjściową /13/ daje wydzieloną, prawie monochromatyczną wiązkę promieni. Obrót pryzmatu dookoła osi "0" dokonujemy za pomocą bębna umieszczonego na obudowie za pomocą pokrętła P_1 . Przez obrót pryzmatu wydzielamy z widma ciągłego wiązkę o określonej długości fali.

III. Zestaw pomiarowy

Monochromator z wbudowanym oświetlaczem (żaróweczka oświetlacza ma napięcie znamionowe 6 V), transformator umożliwiający podłączenie oświetlacza do sieci prądu zmiennego, szyna z przytwierdzonymi do niej sankami wraz z uchwytyami do mocowania soczewki i siatki dyfrakcyjnej na sankach, soczewka skupiająca, siatka dyfrakcyjna o 200 rysach/mm, ekran na którym obserwujemy obraz dyfrakcyjny.

W ćwiczeniu wyznaczamy długości fal świetlnych podstawowych barw wchodzących w skład widma światła białego: czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej i fioletowej, za pomocą zestawu pomiarowego przedstawionego na rys. 5.



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego (widok z góry)

Źródłem światła jest monochromator M, z którego otrzymujemy wiązkę światła określonej barwy za pomocą pokrętki P_1 . Wydzieloną, równoległą wiązkę monochromatyczną kierujemy prostopadłe na siatkę dyfrakcyjną D, a następnie na soczewkę skupiającą S ustawioną w odległości kilku milimetrów za siatką. Prążki interferencyjno – dyfrakcyjne otrzymujemy na ekranie E ustawionym w odległości $d \approx f$ (gdzie f jest ogniskową soczewki skupiającej) od soczewki. Soczewka, a także siatka dyfrakcyjna są umocowane za pomocą odpowiednich uchwytych do sanek, które możemy przesuwać po szynie SZ, tak aby otrzymać na ekranie ostry obraz prążków interferencyjno – dyfrakcyjnych.

Aby wyznaczyć długości fal odpowiadające prążkom różnych barw na podstawie zależności (5) należy zmierzyć odległość d – ekranu od soczewki) i odległości l_k prążków rzędu k od prążka zerowego ($k = 0$) dla poszczególnych barw. We wzorze (5) a oznacza stałą siatki, którą wyznaczamy na podstawie informacji o ilości rys przypadających na 1 milimetr tej siatki.

Ponieważ każdej barwie odpowiada pewien przedział długości fal, jak to omówiono we wstępie, długość fali wyznaczona dla prążka danej barwy powinna leżeć w tym przedziale.

III. Przebieg ćwiczenia

1. Ustawiamy szynę z soczewką i siatką dyfrakcyjną w odległości $d = \sim 40\text{cm}$ od ekranu (d jest odległością od ekranu do środka soczewki zbierającej, zaznaczonego na oprawie soczewki białą kreską)

U w a g a: Nie wolno dotykać palcami powierzchni siatki dyfrakcyjnej!

2. Monochromator ustawiamy bezpośrednio za szyną.
3. Włączamy oświetlacz monochromatora do transformatora, a transformator do sieci prądu zmiennego o napięciu 220 V, światło ze szczeliny wyjściowej monochromatora musi padać prostopadłe na środek siatki dyfrakcyjnej.

U w a g a: Włączenie oświetlacza bezpośrednio do sieci prądu zmiennego spowoduje uszkodzenie żarówki oświetlacza!

4. Przypinamy do ekranu kartkę formatu A3 i pokrętło P, monochromatora ustawiamy tak, aby na ekranie otrzymać czerwone prążki interferencyjno-dyfrakcyjne, które są obrazem szczeliny monochromatora.
5. Następnie przesuwamy delikatnie siatkę z układem soczewka-siatka dyfrakcyjna wzdłuż szyny tak, aby otrzymać ostry obraz tych prążków na ekranie. Prążki te powinny być jednobarwne i możliwie wąskie. Jeżeli nie spełniają one takich warunków prosimy asystenta prowadzącego ćwiczenia o pomoc przy regulacji monochromatora,
6. Zaznaczamy na kartce długopisem położenie prążków: zerowego, oraz pierwszego i drugiego rzędu a za pomocą pionowych kresek (kreski stawiamy w środku prążków)
7. Za pomocą pokrętła P, monochromatora wybieramy długości fali odpowiadające barwie pomarańczowej i zaznaczamy na ekranie położenia środków prążków interferencyjno – dyfrakcyjnych dla tej barwy. Następnie szukamy prążków barwy żółtej, zielonej, niebieskiej i fioletowej i za każdym razem zaznaczamy położenie środków prążków na ekranie (prążki drugiego rzędu; jak również prążki fioletowe mogą być niewidoczne przy słabym zaciemnieniu pracowni)

U w a g a: aby ułatwić identyfikację prążków najlepiej zaznaczać kreski odpowiadające barwie czerwonej możliwie najwyżej, kreski odpowiadające każdej następnej barwie nieco niżej a przy każdej serii prążków danej barwy można zapisać pierwszą literę koloru.

8. Zdejmujemy z ekranu kartkę i mierzymy wzajemną odległości prążków pierwszego rzędu: $2l_1$, dla każdej barwy, a następnie odległości prążków drugiego rzędu: $2l_2$ dla każdej barwy. Mierzmy miarką milimetrową odległość ekranu od soczewki d (ekran - biała kreska)
9. Powtarzamy pomiary wg punktów 2.4 - 2.8 jeszcze dwukrotnie.
10. Wyniki zapisujemy w tabeli.

V. Tabela pomiarowa

Barwa prążka	$2l_1$ [mm]	$2l_2$ [mm]	λ_1 [nm]	λ_2 [nm]	$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ [nm]	λ_{sr} [nm]
Czerwona						
Pomarańczowa						
Żółta						
Zielona						
niebieska						
fioletowa						

V. Opracowanie ćwiczenia

- Obliczamy stałą siatki dyfrakcyjnej a (odległość między dwoma sąsiednimi rysami) wiedząc, że siatka stosowana w ćwiczeniu ma 200 rys/mm.
- Wyznaczamy długości fal prążków poszczególnych barw ze wzorów:
dla prążka rzędu I: $\lambda_1 = \frac{al_1}{\sqrt{d^2 + l_1^2}}$ dla prążka rzędu II: $\lambda_2 = \frac{al_2}{2\sqrt{d^2 + l_2^2}}$ (1)
- Dla każdej barwy obliczamy wartość średnią długości fali z trzech pomiarów

VI. Rachunek błędów

- Przeprowadzamy rachunek błędów metodą różniczeki zupełnej. Przyjmujemy, że stała siatki została wyznaczona bardzo, dokładnie i błąd wielkości a pomijamy. Różniczkujemy wzór (1) względem d i l przyjmując za Δl i Δd dokładność wykonanych pomiarów.
- Przeprowadzamy dyskusję otrzymanych wyników. Sprawdzamy czy otrzymane długości fal odpowiadające poszczególnym prążkom barwnym mieszczą się w przedziałach długości fal podawanych dla tych barw w podręcznikach.
- Obliczyć błąd względny wyznaczonych wielkości.

VII. Literatura

- T. Dryński – Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976r.

Ćwiczenie O-6: Wyznaczanie długości fal podstawowych barw w widmie światła białego za pomocą siatki dyfrakcyjnej

2. Zawadzki, H. Hofmolk – Laboratorium fizyczne
3. H. Szydłowski – Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003r.
4. Sz. Szczeniowski – Fizyka doświadczalna, cz. IV, Optyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976r.
5. T. Piekara – Nowe oblicze optyki
6. J. Lech – Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005r.