

Nazwisko .....

Data .....

Nr na liście .....

Imię .....

Wydział .....

Dzień tyg. ....

Godzina. ....

**Ćwiczenie 368:****Wyznaczanie długości fali światła metodą pierścieni Newtona**

---

***Cechowanie podziałki okularu pomiarowego***

$x_1$	$x_2$	$K = x_2 - x_1$	$\alpha = \frac{1000 \mu m}{K}$

***Pomiar promieni pierścieni interferencyjnych***

n									
$p_i$									
$l_i$									
a [ $\mu m$ ]									
$a^2$ [ $\mu m^2$ ]									

***Kolor światła:*** .....***Wyznaczenie długości fali***

b [ $\mu m^2$ ]	R [mm]	$\lambda$ [ $\mu m$ ]	$\Delta \lambda$ [ $\mu m$ ]

## Ćwiczenie 368: Wyznaczanie długości fali światła metodą pierścieni Newtona

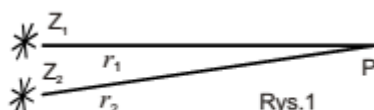
### Wprowadzenie

Światło widzialne jest to promieniowanie elektromagnetyczne, czyli zaburzenie pola elektromagnetycznego rozchodzące się w przestrzeni, na które reaguje oko ludzkie. Zakres długości fal tego promieniowania wynosi od 400 nm (początek fioletu) do 700 nm (koniec czerwieni). Do światła zalicza się również promieniowanie podczerwone i nadfioletowe. Długość fali  $\lambda$  równa jest odległości pomiędzy punktami przestrzeni, w których fala jest w tej samej fazie. W przypadku fal elektromagnetycznych oznacza to, że wektory natężenia pola elektrycznego w punktach oddalonych o długość fali mają ten sam kierunek, wartość i zwrot, czyli są identyczne. To samo dotyczy wektorów indukcji magnetycznej. Czas  $T$ , jaki potrzebuje fala na przebycie drogi równej długości fali, nazywany jest okresem fali, natomiast częstotliwością fali  $f$  określa się liczbę długości fal mieszczących się na drodze przebytej przez falę w jednostce czasu (dla częstotliwości wyrażonej w Hz jednostką czasu jest sekunda):

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad c - \text{prędkość światła (w próżni 300 000 km/s)}$$

Światło ma naturę dualną, falowo–korpuskularną. Przyjmuje się, że światło to swego rodzaju strumienie osobliwych cząstek (korpuskuł), zwanych fotonami, które wykazują własności falowe. Na falową naturę światła wskazują takie zjawiska, jak dyfrakcja i interferencja promieni świetlnych. Dyfrakcją nazywamy uginanie się prostoliniowego biegu promieni na krawędziach przesłon. Interferencją fal nazywamy nakładanie się fal o tej samej częstotliwości, powodujące wzmocnienie lub osłabienie natężenia fali wypadkowej – możliwe to jest, gdy fale są ze sobą spójne, tzn. różnica faz tych fal jest stała w czasie.

Założmy, że z dwóch źródeł  $Z_1$  i  $Z_2$  (rys. 1) wychodzą dwie jednakowe i spójne fale o długości  $\lambda$ :



Aby w punkcie P nastąpiło wzmocnienie natężenia fali wypadkowej, obie fale muszą być w tym punkcie w tej samej fazie, co będzie miało miejsce, jeśli różnica dróg  $\Delta r$  przebytych przez fale od źródeł  $Z_1$  i  $Z_2$  do punktu P będzie całkowitą wielokrotnością długości fali :

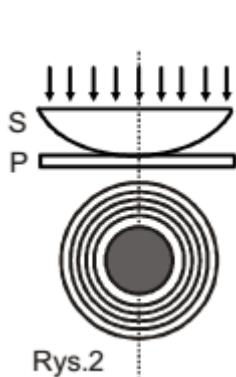
$$\Delta r = r_2 - r_1 = n\lambda \quad n=1, 2, 3, \dots$$

Promienie spotykające się w fazach przeciwnych, ulegną wzajemnemu wygaszeniu. Zanik światła w punkcie P zaobserwujemy, gdy różnica  $\Delta r$  dróg dwóch promieni będzie równa nieparzystej wielokrotności długości fali:

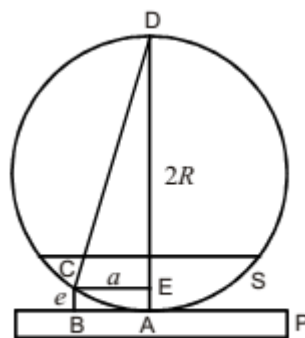
$$\Delta r = r_2 - r_1 = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Oddzielne źródła światła nie są ze sobą spójne. Fale spójne wytwarza się w sposób sztuczny, przez nałożenie na siebie promieni wychodzących z tego samego źródła, ale przebywających różne drogi optyczne. Jednym ze sposobów uzyskania różnicy dróg jest układ optyczny pozwalający zaobserwować pierścienie Newtona.

Pierścienie Newtona (rys. 2) otrzymujemy, gdy światło monochromatyczne (jednobarwne) pada na układ składający się z soczewki płasko-wypukłej S i płytki płasko-równoległej P.



Rys.2



Rys.3

Światło padające prostopadle na układ soczewka – płytka ulega częściowo odbiciu na każdej powierzchni granicznej. Pierścienie Newtona powstają w wyniku interferencji promienia odbitego od górnej powierzchni płytki P z promieniem odbitym od sferycznej powierzchni soczewki S. Wynikiem interferencji są jasne (wzmocnienie) i ciemne (wygaszenie) okręgi. Ich położenie zależy od grubości warstwy powietrza pomiędzy płytką a soczewką, gdyż zmiana grubości warstwy powietrza powoduje również zmianę różnicy dróg interferujących promieni. Kolejne pierścienie mają przypisane numery rzędu, przy czym środkowe ciemne koło ma rząd 0, najmniejszy ciemny pierścień ma rząd 1, następny ciemny pierścień ma rząd 2, itd.

Grubość warstwy powietrza można oszacować korzystając z praw geometrii zastosowanych do schematycznego układu przedstawionego na rys. 3. Z podobieństwa trójkątów ACE i CDE wynika proporcja:

$$\frac{e}{a} = \frac{a}{2R - e} \quad (2)$$

gdzie  $e$  – grubość warstwy powietrza,  $a$  – promień podstawy czaszy kulistej (również promień pierścienia),  $R$  – promień krzywizny soczewki. Ponieważ  $2R \gg e$ , po uproszczeniu i przekształceniu wzoru (2) otrzymamy:

$$e = \frac{a^2}{2R} \quad (3)$$

Warunek wygaszania fal świetlnych wymaga, aby różnica dróg interferujących promieni była nieparzystą wielokrotnością długości fali (wzór 1). Różnica dróg  $\Delta r$  promienia odbitego od płytki P i promienia odbitego od sferycznej powierzchni soczewki S równa jest:

$$\Delta r = 2e + \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

$\lambda/2$  jest wynikiem zmiany fazy fali odbitej od powierzchni płytki P. Przy odbiciu fali od środowiska o większym współczynniku załamania niż współczynnik załamania środowiska, w którym fala się przemieszcza zachodzi zmiana fazy o  $180^\circ$ , co odpowiada różnicy dróg równej  $\lambda/2$ .

Po podstawieniu wzoru (4) do wzoru (1) uzyskujemy równość:

$$2e + \frac{\lambda}{2} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

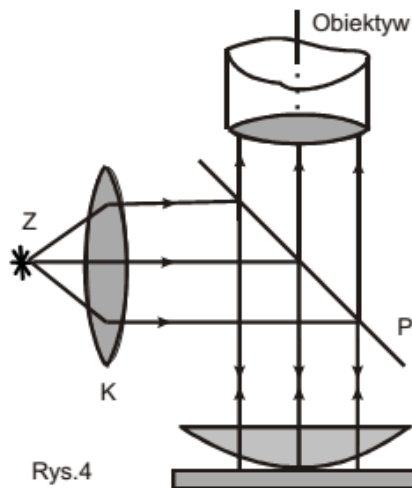
a po podstawieniu wzoru (3) do wzoru (5) i przekształceniu otrzymamy wzór na promień ciemnego pierścienia rzędu  $n$ :

$$a^2 = n\lambda R \quad (6)$$

Znając promień krzywizny soczewki  $R$  oraz promień pierścienia rzędu  $n$  można z tego wzoru policzyć długość fali światła.

## WYKONANIE ĆWICZENIA

Schemat układu pomiarowego znajduje się na rys. 4:



Rys.4



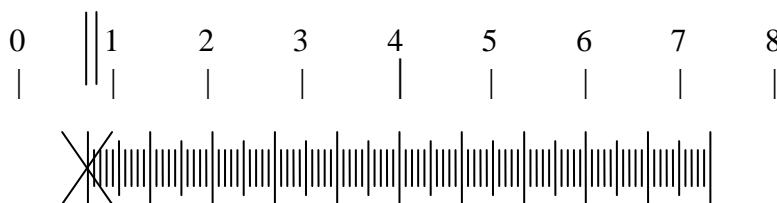
Rys. 5

Równoległa wiązka światła monochromatycznego ze źródła  $Z$  po częściowym odbiciu od płytki szklanej  $P$  ustawionej pod kątem  $45^\circ$  względem osi optycznej mikroskopu, pada na układ soczewka-płytkę. Promienie odbite ku górze przechodzą przez płytkę  $P$  i trafiają do obiektywu mikroskopu a następnie do oka obserwatora. Jako źródło światła wykorzystana jest dioda świecąca, która emituje światło o wąskim zakresie długości fal. Dioda, soczewka, płytkę płasko-równoległą, oraz płytkę ustawioną pod kątem  $45^\circ$  są na stałe ze sobą połączone w pojedynczy zestaw doświadczenia (rys. 5).

Do pomiaru promieni pierścieni interferencyjnych posługujemy się mikroskopem o niewielkim powiększeniu, z okularum pomiarowym. Bęben śruby okularu pomiarowego podzielony jest na 100 podziałek. Wewnątrz okularu naniesiona jest skala główna okularu (cyfry od 0 do 8) i krzyż z nitek pajęczych, który przesuwają się podczas obrotu śruby. Pomiar rozpoczynamy od wycechowania podziałki okularu.

### Cechowanie podziałki okularu pomiarowego

- Umieszczamy na stoliku mikroskopu metalową płytkę z niedużym otworem po środku. W płytce umieszczone jest szkiełko kalibracyjne. Na szkiełku zaznaczony jest mały okrąg, wewnątrz którego narysowana jest podziałka mikrometryczna (1 mm podzielony na 100 odcinków). Szkiełko należy umieścić dokładnie pod okularum mikroskopu i oświetlić je światłem odbitym od lusterka mikroskopu. Patrząc w okular należy odszukać skalę mikrometryczną regulując głębię ostrości pokrętle z boku mikroskopu.
- Krzyż z nitek pajęczych ustawiamy na pierwszej kresce podziałki mikrometrycznej (kreska ta odpowiada wartości 0) (rys. 6):



Rys. 6

Nad krzyżem z nitek pajęczych widać podwójną pionową kreskę, która przesuwa się razem z krzyżem wzdłuż szeregu cyfr od 0 do 8. Odczytujemy cyfrę leżącą po lewej stronie podwójnej kreski. Cyfra ta oznacza liczbę setek (a więc 0, 100, 200, 300 itd. aż do 800). Na bębnie okularu pomiarowego odczytujemy liczbę dziesiątek i jednostki. Wpisujemy całą wartość do tabeli jako  $x_1$ .

- Obracając śrubę okularu, ustawiamy krzyż na ostatniej kresce podziałki mikrometrycznej (kreska ta odpowiada wartości 1 mm). Odczytujemy wartość z okularu pomiarowego jako  $x_2$ .
- Liczba podziałek bębna okularu pomiarowego przypadająca na 1 mm ( $K$ ) jest różnicą pomiędzy odczytami dla kreski 0 i 1 mm. Obliczamy:

$$K = x_2 - x_1 \quad (7)$$

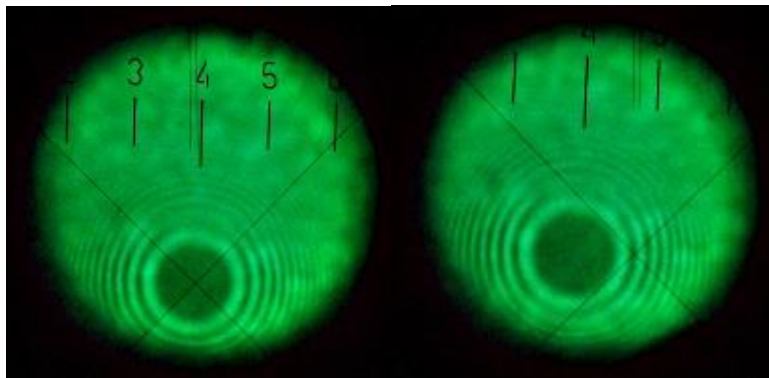
- Jeżeli 1 mm równy jest  $K$  podziałek okularu pomiarowego, to wartość najmniejszej podziałki bębna okularu pomiarowego wyrażona w  $\mu\text{m}$  będzie równa:

$$\alpha = \frac{1000 \mu\text{m}}{K} \quad (8)$$

### Pomiar promieni pierścieni interferencyjnych

Numery rzędu pierścieni, dla których wykonywane są pomiary wyznacza prowadzący ćwiczenia.

- Pod obiektywem umieszczamy zestaw doświadczalny z rys. 5. Diodę podłączamy do gniazda elektrycznego. Pod mikroskopem powinno być widać jednolite tło w kolorze, w jakim świeci dioda.
- Regulując głębię ostrości mikroskopu należy odszukać pierścienie Newtona. Po odnalezieniu należy ustawić pierścienie na środku pola widzenia (środek pierścieni mniej więcej pod cyfrą 4 skali okularu, rys. 7a).



Rys. 7a

Rys. 7b

- Promień pierścienia rzędu  $n$  jest to połowa średnicy pierścienia rzędu  $n$ . Aby zmierzyć średnice pierścieni robimy odczyty położenia wybranych pierścieni na prawo i na lewo od środka. Zaczynamy od strony prawej. Śrubę mikrometryczną ustawiamy krzyż na ciemnym pierścieniu danego rzędu (pomiar pierścienia rzędu 1 pokazany na rys. 7b) i odczytujemy wskazania okularu pomiarowego. Wpisujemy jako  $p_i$ .

4. Krzyż z nitek pajęczych przesuwamy na ciemny pierścień kolejnego rzędu. (Do pomiarów wybieramy 8-9 pierścieni. Nie muszą to być pierścienie kolejne np. można wybrać pierścienie: 1,2,3,5,7,9,10,12).

Robimy odczyt, wpisujemy w tabeli, a następnie mierzymy położenia kolejnych ciemnych pierścieni na prawo od środka. Po zakończeniu pomiarów z prawej strony, robimy analogiczne pomiary z lewej strony pierścieni. **Podczas robienia pomiarów należy bardzo uważać, aby nie poruszyć zestawu doświadczalnego względem stolika mikroskopowego (jeśli się przesunie, należy pomiary zacząć od początku).**

5. Obliczamy promienie pierścieni, przeliczając od razu skalę bębna okularu pomiarowego na mikrometry:

$$a_i = \frac{1}{2}(p_i - l_i) \cdot \alpha \quad (9)$$

6. Obliczamy  $a_i^2$ .

### Wykres i obliczenie długości fali

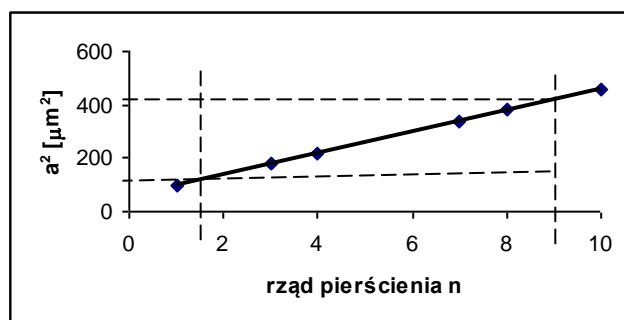
Na podstawie danych pomiarowych należy sporządzić wykres  $a_i^2 = f(n)$ . Zależność ta jest funkcją liniową o równaniu  $y = a + bx$ . Z porównania tego równania ze wzorem (6) wynika, że  $b = \lambda \cdot R$ . Stąd:

$$\lambda = \frac{b}{R} \quad (10)$$

R jest to promień krzywizny soczewki. **Wartość promienia krzywizny soczewki należy spisać z wtyczki zestawu doświadczalnego.** Odczytanie odpowiednich danych z wykresu można wykonać dwoma sposobami: ręcznie lub za pomocą arkusza kalkulacyjnego (np. Microsoft Office Excel, OpenOffice Calc).

*Sposób ręczny*

7. Rysujemy wykres  $a_i^2 = f(n)$  zależności kwadratu promienia pierścienia od rzędu pierścienia na papierze milimetrycznym.
8. Do zaznaczonych punktów pomiarowych dopasowujemy linię prostą  $y = a + bx$ . Na prostej zaznaczamy dwa punkty (rys. 8 **nie mogą być to punkty pomiarowe**, punkty wybieramy możliwie blisko początku i końca prostej). Z osi x i y odczytujemy współrzędne wybranych punktów  $(n_i, a_i^2; n_j, a_j^2)$ :



Rys. 8

( **Dla dociekliwych:** zgodnie ze wzorem (6) prosta powinna przechodzić przez punkt (0,0) czyli  $a=0$ . Jednak w rzeczywistości, na skutek niewielkiego spłaszczenia soczewki w obszarze styku z płaską płytką, prosta nie musi przechodzić przez punkt (0,0),  $a \neq 0$  ).

9. Obliczamy nachylenie prostej ze wzoru:  $b = \frac{a_i^2 - a_j^2}{n_i - n_j}$  (11)

10. Obliczamy długość fali ze wzoru (10). (UWAGA NA JEDNOSTKI!  $\mu\text{m} \leftrightarrow \text{mm} \leftrightarrow \text{m}$  )

*Za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel (w OpenOffice jest bardzo podobnie)*

7. W arkuszu w pierwszej kolumnie wpisujemy rząd pierścienia  $n$ , w drugiej kwadrat promienia pierścienia  $a^2$ . Zaznaczamy komórki z liczbami. W *Menu* wybieramy *Wstaw wykres*. Wybieramy wykres punktowy bez linii i zamykamy okno wyboru wykresu przyciskiem *Zakończ*. Prawym przyciskiem myszy klikamy dowolny punkt pomiarowy na wykresie i wybieramy *Dodaj linię trendu*. Wybieramy *Typ liniowy*, w *Opcjach* zaznaczamy *Wyświetl równanie na wykresie*. Zamykamy okno przyciskiem *OK*. (w OpenOffice linia trendu nazywa się krzywą regresji)
8. Na wykresie pojawi się funkcja w postaci  $y = bx + a$ . Zapisujemy wartość  $b$ , która jest nachyleniem prostej.
9. Obliczamy długość fali ze wzoru (10).

## RACHUNEK BŁĘDÓW

Na błąd wyznaczenia długości fali składa się: dokładność wycechowania podziałki bębna okularu pomiarowego  $\Delta\alpha$ , dokładność odczytania położenia pierścieni  $\Delta p$  i  $\Delta l$  oraz wyznaczenia promieni  $\Delta a$ , dokładność dopasowania prostej do punktów pomiarowych i wyznaczenia nachylenia  $\Delta b$ , oraz dokładność oszacowania promienia krzywizny  $\Delta R$ . Można przyjąć, że:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta R}{R} = 0,5\%$$

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta p}{p}$$

$$\frac{\Delta b}{b} = 2 \frac{\Delta a}{a} + 5\% \quad (5\% \text{ jest związane z dokładnością odczytu danych z wykresu})$$

Sumarycznie, dokładność wyznaczenia  $\lambda$  obliczamy ze wzoru:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R}{R}$$

Obliczamy wartość  $\Delta\lambda$ .

## PYTANIA DO DYSKUSJI

Jaki jest tablicowy zakres długości światła dla koloru użytego w doświadczeniu?

Czy tablicowy zakres długości światła pokrywa się z wyznaczonym przedziałem  $\lambda \pm \Delta\lambda$  ?