

Uniwersytet Warszawski  
Wydział Fizyki

Marysia Nazarczuk

Nr albumu: 417755

# INTERFERENCYJNY POMIAR KRZYWIZNY SOCZEWKI

## Streszczenie

Celem doświadczenia było zbadanie promieni Newtona dla różnych rodzajów światła. Znajdąc parametry światła z lampy sodowej i mierząc współrzędne kolejnych pierścieni, możliwe jest wyznaczenie promienia krzywizny soczewki  $R = (5.06 \pm 0.04)$  [m], a następnie współczynnika załamania światła w wodzie  $n = 1.38 \pm 0.05$  oraz długości fal światła diod czerwonej  $\lambda_{\text{czerwona}} = (640 \pm 0.04)$  [nm] i żółtej  $\lambda_{\text{żółta}} = (592 \pm 0.08)$  [nm]. Praca została przygotowana zgodnie z instrukcją [1].

Warszawa, Czerwiec 2024



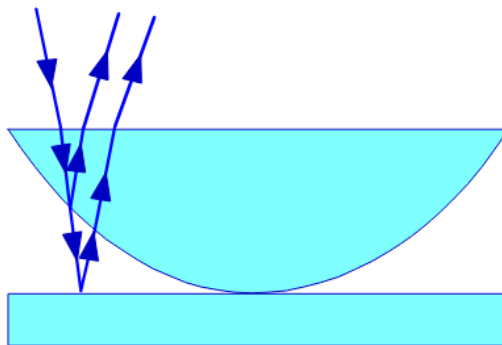
# Spis treści

<b>1. Wstęp teoretyczny</b>	5
<b>2. Doświadczenie</b>	7
2.1 Układ doświadczalny	7
2.2 Przeprowadzenie doświadczenia	7
2.3 Analiza pomiarów	8
2.4 Wyniki, niepewności, wnioski	9
2.4.1 Wyniki	9
2.4.2 Niepewności	9
2.4.3 Wnioski	9
<b>3. Podsumowanie</b>	11
<b>4. Tabele</b>	13
<b>Bibliografia</b>	17



# 1. Wstęp teoretyczny

Pierścienie Newtona to zjawisko optyczne powstające w wyniku interferencji światła odbitego od dwóch powierzchni: wypukłej powierzchni soczewki płasko-wypukłej oraz płaskiej powierzchni szklanej płytki. Gdy soczewka płasko-wypukła zostaje umieszczona na płaskiej płytce szklanej, między tymi dwoma powierzchniami tworzy się cienka warstwa powietrza, której grubość rośnie wraz z odległością od punktu styku. Gdy ten układ jest oświetlany światłem o określonej długości fali, część światła odbija się od górnej powierzchni płytki, a część od dolnej powierzchni soczewki. Odbite fale interferują ze sobą, prowadząc do powstania naprzemiennie jasnych i ciemnych pierścieni.



Rysunek 1.1: Schemat przebiegu promieni w układzie soczewka-płytki. W rzeczywistości wiązka pada pionowo, a promienie interferujące pokrywają się – rysunek pochodzi z instrukcji do zadania [1]

Jeżeli ośrodek znajdujący się między soczewką a płytką ma niższy współczynnik załamania niż płytki, różnica dróg optycznych  $\Delta$  dla obu promieni jest opisana wzorem:

$$\Delta = 2hn + \frac{\lambda}{2} \quad (1.1)$$

gdzie  $\lambda$  to długość fali padającej,  $h$  to grubość warstwy między soczewką a płytką, a  $n$  to współczynnik załamania światła w tym ośrodku. Interferencja destruktywna, która prowadzi do powstania ciemnych pierścieni, zachodzi, gdy różnica dróg optycznych wynosi wielokrotność długości fali powiększoną o  $\frac{\lambda}{2}$ . Ciemne pierścienie występują w miejscach, gdzie grubość warstwy spełnia zależność

$$h = \frac{k\lambda}{2n} \quad (1.2)$$

gdzie  $k$  to kolejne liczby naturalne. Promienie ciemnych pierścieni  $r_k$  można obliczyć za pomocą wzoru

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda k}{n}} \quad (1.3)$$

gdzie  $k = 0$  odpowiada ciemnemu kołu w centrum. Promienie jasnych pierścieni można określić używając wzoru:

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda(k-1)}{n}} \quad (1.4)$$

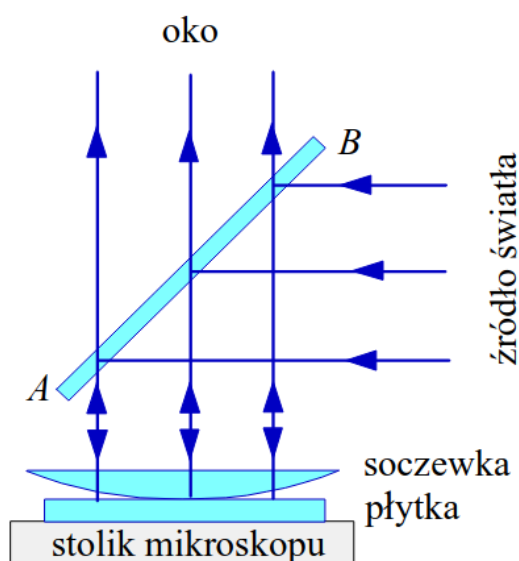
Jasne i ciemne obszary są charakterystyczne dla wszystkich zjawisk interferencyjnych – w miejscach jasnych występuje interferencja konstruktywna, a w ciemnych destruktywna.



## 2. Doświadczenie

### 2.1. Układ doświadczalny

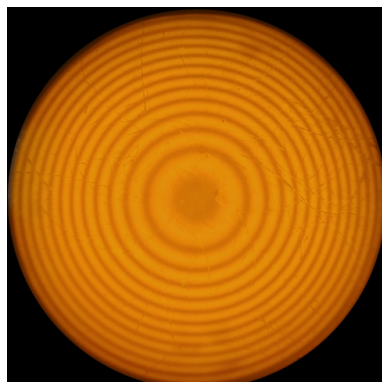
Układ doświadczalny zawierał mikroskop z ruchomym stolikiem, który wyposażony był w dwie śruby mikrometryczne, źródła światła, w tym lampę sodową o znanej długości fali 589.3 nm oraz diody LED w kolorach czerwonym, niebieskim, żółtym i białym. Dodatkowo wykorzystano wodę destylowaną, soczewkę płasko-wypukłą o nieznanym promieniu krzywizny oraz płasko-równoległą płytkę szklaną. Schemat układu doświadczalnego jest przedstawiony na rysunku 2.1.



Rysunek 2.1: Schemat układu doświadczalnego – rysunek pochodzi z instrukcji do zadania [1]

### 2.2. Przeprowadzenie doświadczenia

Po umieszczeniu zestawu składającego się z soczewki i płytki pod mikroskopem, oświetlano płytkę za pomocą lampy sodowej oraz diod LED o różnych kolorach. Następnie manipulowano stolikiem mikroskopu, aby uzyskać obraz pierścieni Newtona w okularze i wycentrowano środek pierścieni pod środkiem nici pajęczej.



Rysunek 2.2: Pierścienie Newtona widziane w okularze mikroskopu dla lampy sodowej

Po wycentrowaniu obrazu przesuwano stolik mikroskopu poziomo, aby ustawić się z pewnym marginesem na ostatnim pierścieniu, którego promień miał być mierzony. Następnie, przesuwając stolik,

odczytywano współrzędne obu przecięć każdego z pierścieni na osi, wzdłuż której poruszał się stolik, korzystając z podziałki śruby mikrometrycznej. Aby uniknąć luzów na śrubie mikrometrycznej, stolikiem poruszano bez cofania.

Dla światła z lampy sodowej zmierzono współrzędne środka, a następnie określono pozycje 10 pierwszych prążków (licząc od środka). Dla każdego prążka wyznaczono cztery współrzędne: dwa punkty symetryczne względem osi  $y$  na osi  $x$  oraz dwa punkty symetryczne względem osi  $x$  na osi  $y$ . Podobne pomiary wykonano dla czerwonej i żółtej diody LED, obejmując prążki pierwszy, czwarty, piąty i dziesiąty. Dla diod w różnych kolorach, zmierzono pozycje prążków pierwszego, piątego, ósmego i dziesiątego. Nie przeprowadzono pomiarów dla niebieskiej diody, ponieważ nie udało się zaobserwować pierścieni Newtona. W przypadku białej diody potwierdzono występowanie pierścieni i przeanalizowano ich strukturę jakościowo, lecz nie dokonano pomiarów ilościowych. Za niepewność pomiaru wzięto odchylenie standardowe, uwzględniając dokładność śruby wynoszącą 0.01 mm.

Z uwagi na rozmiar zebranych danych, tabele z wynikami zostały umieszczone w rozdziale Tabele.

## 2.3. Analiza pomiarów

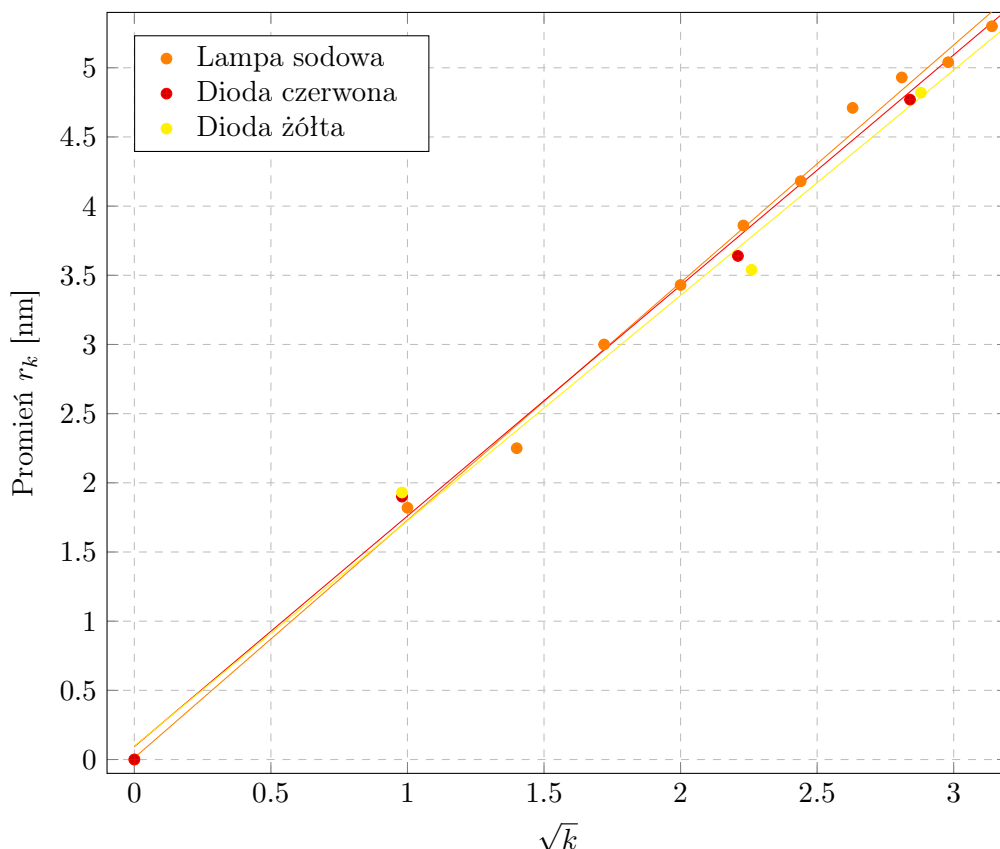
Wyznaczamy promień  $r_k$  poszczególnych pierścieni. Korzystamy ze wzoru :

$$r_k = \frac{x_{R,k} - x_{L,k}}{2} \quad (2.1)$$

gdzie  $x_{R,k}$  to współrzędna prawej części środka prążka pierścienia o numerze  $k$ , a  $x_{L,k}$  to współrzędna lewej części środka prążka tego samego pierścienia. Metodą najmniejszych kwadratów wyznaczamy współczynniki dopasowania liniowego

$$r_k = a \cdot \sqrt{k} + b \quad (2.2)$$

Na rysunku 2.3 znajdują się wykresy przedstawiające powyższą zależność dla lamp poszczególnych kolorów.



Rysunek 2.3: Wykres zależności promienia od numeru prążka



Zależność między jasnymi oraz ciemnymi promieniami pierścieni można łatwo ująć w jeden wzór [1]:

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda}{2n}} \cdot k \quad (2.3)$$

Zależność ta posłuży do wyznaczenia promienia krzywizny soczewki. Zakładając, że  $n = 1$  otrzymujemy

$$R = (5.06 \pm 0.04) \text{ [m]} \quad (2.4)$$

Na podstawie wzoru 1.3 możemy wyznaczyć długości fal emitowanego światła przez diody czerwoną oraz żółtą

$$\lambda_{\text{czerwona}} = (640 \pm 0.04) \text{ [nm]} \quad (2.5)$$

$$\lambda_{\text{żółta}} = (592 \pm 0.08) \text{ [nm]} \quad (2.6)$$

Analizując pomiary doświadczenia z użyciem diody żółtej oraz kropelki wody destylowanej umieszczonej między soczewką a płytką, możemy wyznaczyć współczynnik załamania wody. Korzystając ze wzoru 1.3 otrzymujemy

$$n = 1.38 \pm 0.05 \quad (2.7)$$

## 2.4. Wyniki, niepewności, wnioski

### 2.4.1. Wyniki

Uzyskaliśmy wyniki:

- Promień krzywizny soczewki  $R = (5.06 \pm 0.04) \text{ [m]}$
- Długość fali światła dla diody czerwonej  $\lambda_{\text{czerwona}} = (640 \pm 0.04) \text{ [nm]}$  oraz dla diody żółtej  $\lambda_{\text{żółta}} = (592 \pm 0.08) \text{ [nm]}$
- Współczynnik załamania wody  $n = 1.38 \pm 0.05$

### 2.4.2. Niepewności

Głównym źródłem niepewności jest niedokładność odczytu promieni. Z tego powodu każdy pomiar był powtórzony kilkakrotnie. Pomiary dla diody żółtej z kropłą wody między soczewką i płytką mają dodatkową niedokładność wynikającą z mniej wyraźnych prążków.

Współczynnik  $b$  we wzorze 2.2 różny jest od zera, co wynika z powyższych niepewności. Jest to stała fenomenologiczna.

### 2.4.3. Wnioski

Porównując otrzymane wyniki z wartościami tablicowymi

- Długość fali światła dla diody czerwonej należy do zakresu 780 – 622 nm, zaś dla diody żółtej do zakresu 597 – 577 nm [2]
- Współczynnik załamania wody  $n = 1.33$  [3]

widzimy, niewielką różnicę. Wynika to zapewne z dość sporych niepewności pomiarów.



### 3. Podsumowanie

W eksperymencie zbadano zależność dopasowania liniowego  $r_k = a \cdot \sqrt{k} + b$  dla różnych źródeł światła. Wyznaczyliśmy promień krzywizny soczewki  $R = (5.06 \pm 0.04)$  [m], współczynnik załamania wody  $n = 1.38 \pm 0.05$ , oraz długości fal światła emitowanego przez diodę czerwoną  $\lambda_{\text{czerwona}} = (640 \pm 0.04)$  [nm] oraz diodę żółtą  $\lambda_{\text{żółta}} = (592 \pm 0.08)$  [nm].

Dla diody białej, zauważono zjawisko interferencji prążków dyfrakcyjnych. Światło białe składa się z wielu różnych długości fal, co powoduje pojawienie się różnorodnych pierścieni w różnych miejscach. Im dalej od środka, tym bardziej fale o różnych długościach fal interferują ze sobą, co prowadzi do wygasania się intensywności prążków dyfrakcyjnych.

Nie udało się zaobserwować pierścieni Newtona dla diody niebieskiej. Przyczyną tego może być fakt, że fale dla światła niebieskiego są krótsze niż fale światła czerwonego czy żółtego.

Wszelkie rachunki przeprowadziłam ręcznie, posługując się jedynie kalkulatorem prostym oraz arkuszem kalkulacyjnym Google. Na każdym etapie obliczeń zaokrąślałam wynik do dwóch miejsc znaczących. Ostateczne wyniki sprawdziłam przy użyciu programów napisanych w Pythonie i na podstawie tych wyników dopasowałam krzywą do danych na wykresach. Do szacowania niepewności pomiarowych użyłam metody obliczania niepewności pomiarowej za pomocą pierwiastków elementów na diagonalu macierzy kowariancji, a także oszacowałam błędy za pomocą propagacji małych błędów.





## 4. Tabele

Tabela 4.1: Pomiary dla lampy sodowej

Numer pierścienia	Współrzędna $x$ [mm]	Współrzędna $y$ [mm]
0	34.54	4.57
oś $x$ w lewo		
1	36.27	4.57
2	36.86	4.57
3	37.38	4.57
4	37.80	4.57
5	38.21	4.57
6	38.56	4.57
7	39.87	4.57
8	40.18	4.57
9	40.44	4.57
10	40.74	4.57
oś $y$ w górę		
1	34.54	2.70
2	34.54	1.98
3	34.54	1.48
4	34.54	1.04
5	34.54	0.66
6	34.54	0.34
7	34.54	0.02
8	34.54	0.29
9	34.54	0.64
10	34.54	0.85
oś $x$ w prawo		
1	32.46	4.57
2	31.82	4.57
3	31.32	4.57
4	30.86	4.57
5	30.46	4.57
6	30.11	4.57
7	29.81	4.57
8	29.46	4.57
9	29.21	4.57
10	28.54	4.57
oś $y$ w dół		
1	34.54	6.36
2	34.54	6.01
3	34.54	7.53
4	34.54	7.96
5	34.54	8.33
6	34.54	8.71
7	34.54	9.04
8	34.54	9.36
9	34.54	9.64
10	34.54	9.93

Tabela 4.2: Pomiary dla diody czerwonej

Numer pierścienia	Współrzędna $x$ [mm]	Współrzędna $y$ [mm]
0	34.58	6.59
oś $x$ w lewo		
1	36.24	6.59
5	38.51	6.59
8	39.47	6.59
10	40.06	6.59
oś $y$ w górę		
1	34.58	4.81
5	34.58	3.73
8	34.58	1.77
10	34.58	1.19
oś $x$ w prawo		
1	32.41	6.59
5	30.44	6.59
8	29.46	6.59
10	28.76	6.59
oś $y$ w dół		
1	34.58	8.87
5	34.58	10.81
8	34.58	11.59
10	34.58	12.24

Tabela 4.3: Pomiary dla diody żółtej

Numer pierścienia	Współrzędna $x$ [mm]	Współrzędna $y$ [mm]
0	34.49	6.75
oś $x$ w lewo		
1	36.25	6.75
5	38.01	6.75
8	39.99	6.75
10	40.58	6.75
oś $y$ w górę		
1	34.49	4.61
5	34.49	3.71
8	34.49	1.82
10	34.49	1.49
oś $x$ w prawo		
1	32.39	6.75
5	30.52	6.75
8	30.19	6.75
10	29.76	6.75
oś $y$ w dół		
1	34.49	8.44
5	34.49	10.37
8	34.49	11.48
10	34.49	11.85

Tabela 4.4: Pomiary dla diody żółtej z kroplą wody pomiędzy soczewką a szklaną płytką

Numer pierścienia	Współrzędna $x$ [mm]	Współrzędna $y$ [mm]
0	41.66	3.71
oś $x$ w lewo		
1	43.28	3.71
5	44.35	3.71
8	46.48	3.71
10	47.71	3.71
oś $y$ w górę		
1	41.66	1.11
5	41.66	0.37
8	41.66	0.24
10	41.66	0.75
oś $x$ w prawo		
1	40.84	3.71
5	38.16	3.71
8	37.18	3.71
10	36.84	3.71
oś $y$ w dół		
1	41.66	5.41
5	41.66	6.11
8	41.66	7.68
10	41.66	8.25



# Bibliografia

- [1] Roman J. Nowak Marta Borysiewicz Andrzej Witowski Wojciech Wasilewski. Instrukcja do zadania 52 - interferencyjny pomiar krzywizny soczewk, 27.11.2016.
- [2] Approximate wavelength for the various colors. <https://www.livephysics.com>, 2024.
- [3] Roman Kokoszka Joanna Janik-Kokoszka. Opis i wykonanie eksperymentu dotyczącego pierścieni newtona. <http://website.fis.agh.edu.pl>, 2024.