



**ĆWICZENIE  
81B**

**WYZNACZANIE PROMIENIA KRZYWIZNY SOCZEWKI  
I DŁUGOŚCI FALI ŚWIETLNEJ ZA POMOCĄ PIERŚCIENI  
NEWTONA**

**Instrukcja wykonawcza**

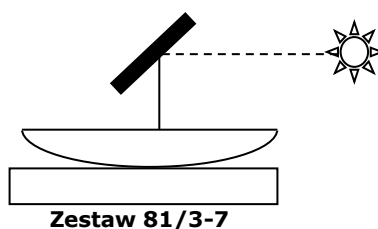
**1. Wykaz przyrządów**

- Mikroskop ze stolikiem krzyżowym i zamontowaną badaną soczewką
- Lampa sodowa wraz z zasilaczem

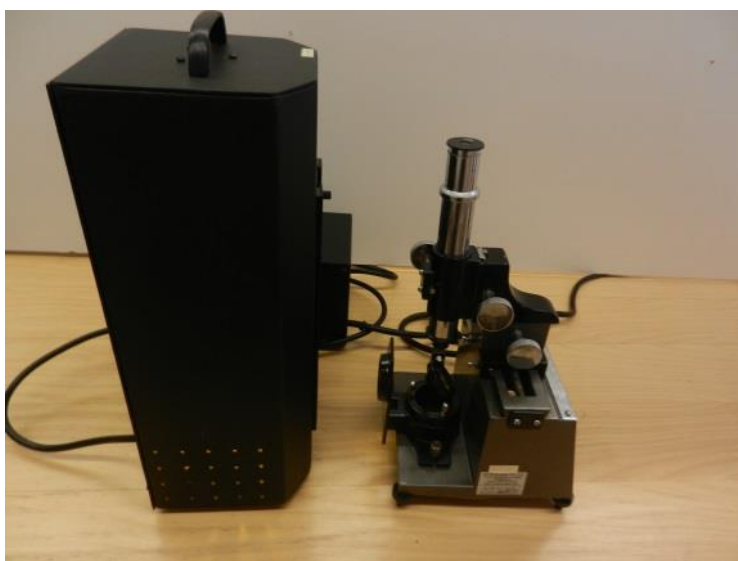
**2. Cel ćwiczenia**

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem interferencji światła występującym w klinie optycznym oraz zastosowaniu tego zjawiska do celów pomiarowych.

**3. Schemat układu pomiarowego**



**Rys. 1.** Schematyczne przedstawienie umiejscowienia płytki płaskorównoległej, soczewki i oświetlacza w zestawach 81/3-7.



**Rys.2.** Stanowisko pomiarowe w laboratorium.

## 4. Przebieg pomiarów

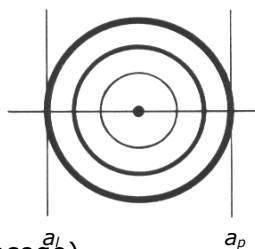
### 4.1. Wyznaczanie promienia krzywizny soczewki

A: Przygotowanie zestawu pomiarowego do przeprowadzenia pomiarów:

#### Zestaw 81/3-7

- Należy włączyć lampę sodową aby się rozgrzała (ok. 15 min). Płytkę półprzepuszczalną trzeba ustawić pod kątem  $45^\circ$  na drodze wiązki światła tak, aby część wiązki odbijała się w dół, dając jak najjaśniejsze pole obserwowane przez okular mikroskopu.
- Za pomocą pokręteł stolika krzyżowego należy ustawić tubus mikroskopu w osi optycznej elementów układu. Układ tworzą badana soczewka, płytka dwudzielna, okular i obiektyw (tubus) mikroskopu.
- Używając pokręteł przesuwających tubus w pionie należy uzyskać ostry obraz pierścieni Newtona. Jasność obrazu można skorygować poprawiając ustawienie płytki światłodzielącej.

B: Przeprowadzenie pomiarów:

- Należy ustawić krzyż okularu idealnie w centrum ciemnego pola na obrazie prążków. Odczyt ze śruby mikrometrycznej lub czujnika zegarowego (w zależności od zestawu) należy zapisać. Będzie to położenie zerowe współrzędnej  $a_0$ .
- Należy zmierzyć średnicę wybranego prążka interferencyjnego. W tym celu należy naprowadzić pionowe ramie krzyża okularu na lewą stronę prążka, a następnie na prawą stronę (rys. 3). W obu położeniach odczytać wskazania  $a_l$  i  $a_p$  czujnika zegarowego lub śruby mikrometrycznej (w zależności od zestawu), przymocowanej do stolika. Różnica obu wskazań czujnika daje średnicę prążka. **Zaleca się wybieranie prążków wyższych rzędów** (np.  $5 \div 7$  – według instrukcji prowadzącego).
- Powyższe czynności dla tego samego prążka należy powtórzyć przynajmniej sześć razy.
- Należy wrócić na środek obrazu i sprawdzić, czy położenie zerowe się nie zmieniło. Jeśli tak to należy powtórzyć pkt a) i b).
- Pomiary należy powtórzyć dla prążka o innym rzędzie  $k$ .

**Rys. 3.** Schemat obserwowanych prążków Newtona

## 5. Opracowanie wyników

### Wyznaczanie promienia krzywizny soczewki

- Wyznaczyć promień  $r$  każdego prążka jako  $r = 0,5|a_p - a_l|$ , wiedząc że  $a_p$  i  $a_l$  są współrzędnymi prawego i lewego końca cięciwy. Oblicz jego niepewność.
- Obliczyć średnią wartość promienia wybranego  $k$  – tego prążka oraz jego niepewność.
- Obliczyć promień krzywizny badanej soczewki na podstawie wyrażenia  $R = r^2/(k \cdot \lambda)$ , przy czym  $k$  jest numerem badanego prążka,  $\lambda$  długością fali światła lampy sodowej, która wynosi  $\lambda = 589 \pm 1$  nm. Oblicz niepewność promienia krzywizny.
- Obliczyć średnią wartość promienia krzywizny badanej soczewki oraz oszacuj jego niepewność.

## 6. Zadanie dodatkowe

### Wykonanie wykresu

- a) Wykorzystując przekształcony wzór na promień krzywizny soczewki wykonać wykres danych pomiarowych w układzie współrzędnych, w którym odcięte (oś x) będą równe  $k\lambda$  rzędne (oś y)  $r^2$

$$\underbrace{r^2}_y = \underbrace{R}_a \cdot \underbrace{(k \cdot \lambda)}_x$$

- b) Prawidłowo wykonany wykres powinien przedstawiać funkcję liniową  $y = ax$  której nachylenie równe jest szukanemu promieniowi krzywizny soczewki  $R$ . Wykonując wykres w EXCEL-u do wytyczenia funkcji użyć linii trendu i wyświetlić jej równanie.
- c) Wykorzystując funkcję REGLINP arkusza kalkulacyjnego EXCEL wykonać regresję liniową dla danych z wykresu. Alternatywnie można wykorzystać program „regresja liniowa” dostępny wśród pomocy dydaktycznych na stronie LPF.

### Rachunek niepewności

- a) Określić niepewność eksperymentatora (niepewność maksymalną) wartości położenia  $a_l$  i  $a_p$  dla środka każdego prążka, z lewej lub prawej strony centrum – przyjmujemy, że wystarczy to zrobić po jednej stronie obrazu. W tym celu należy zmierzyć grubość ciemnego obszaru danego prążka i przyjąć połowę tej wartości jako niepewność maksymalną  $\Delta_e a$  położenia  $a_l$  i  $a_p$
- b) Zgodnie z normą ISO Oceny Niepewności Pomiaru za niepewność eksperymentatora położenia  $a_l$  i  $a_p$  przyjąć wartość:

$$u(a_l) = u(a_p) = \frac{\Delta_e a}{\sqrt{3}}.$$

- c) Niepewność standardową wartości promienia  $r$  każdego mierzonego prążka Newtona należy obliczyć ze wzoru

$$u(r) = \sqrt{\frac{(\Delta_d a)^2}{3} + \frac{(\Delta_e a)^2}{3}}$$

gdzie  $\Delta_d a$  oznacza niepewność wzorcowania śruby mikrometrycznej i jest równa wartości najmniejszej działki skali (działka elementarna) – w naszym przypadku 0,01 mm.

- d) Wyznaczona w powyższy sposób niepewność pomiarowa  $u(r)$  wartości promienia każdego kolejnego prążka, zgodnie z prawem przenoszenia niepewności, posłuży do określenia całkowitej niepewności wyznaczanego promienia krzywizny soczewki. W tym celu tworzymy

$$u_c(R) = \sqrt{\left[\frac{\partial R}{\partial r} u(r)\right]^2 + \left[\frac{\partial R}{\partial \lambda} u(\lambda)\right]^2},$$

przy czym  $u(\lambda) = \frac{\Delta \lambda}{\sqrt{3}}$ ;  $\Delta \lambda = 1 \text{ nm}$ .

- e) Zestawić w tabeli wyniki obliczeń niepewności  $u_c(R)$  promienia krzywizny soczewki przy każdym mierzonym prążku Newtona.
- f) Niepewność wartości średniej promienia krzywizny wyznaczyć obliczając wartość odchylenia standardowego średniej.
- g) Wyznaczyć niepewność współczynnika kierunkowego prostej dopasowującej wyniki pomiarów, jak już wiadomo współczynnik ten równy jest szukanemu promieniowi krzywizny soczewki. W programie „regresja liniowa” otrzymuje się tę niepewność automatycznie. W EXCEL-u należy posłużyć się plikiem pomocy i wykorzystać możliwości funkcji REGLINP w odniesieniu do zmiennej tablicowej.

- h) Zestawić wyniki pomiarów i obliczeń (w tym niepewności pomiarowych) w jednej tabeli dbając o jej przejrzystość i logiczne zestawienie danych.
- i) Podać wartość wyznaczonego metodą graficzną i algebraiczną (uśrednienie) promienia krzywizny wraz z niepewnością pomiarową w postaci zalecanej przez Międzynarodową Normę Oceny Niepewności Pomiaru. Należy pamiętać o zaokrąglaniu niepewności pomiarowych do dwóch cyfrach znaczących.
- j) Ocenić, która z zastosowanych metod opracowania danych pomiarowych: uśrednianie czy linearyzacja, obarczona jest mniejszym błędem.

Literatura uzupełniająca:

Andrzej Zięba *Opracowanie danych pomiarowych* <http://www.ftj.agh.edu.pl/zdf/danepom.pdf>.

## 7. Proponowane tabele (do zatwierdzenia u prowadzącego)

Tabela 1. Pomiar promienia krzywizny soczewki dla  $k$  – tego prążka.

	$a_l \times 10^{-3}$ [m]	$a_p \times 10^{-3}$ [m]	$r \times 10^{-3}$ [m]
Pomiar 1:			
Pomiar 2:			
...			
$\Delta X$			
$\bar{X}$			
$u(X)$			

Lp.	$\lambda$ $\times 10^{-9}$ [m]	$u(\lambda)$ $\times 10^{-9}$ [m]	$k$	$\bar{r}$ $\times 10^{-3}$ [m]	$u(r)$ $\times 10^{-3}$ [m]	$R$ [m]	$u_d(R)$ [m]	$\bar{R}$ [m]	$u(R)$ [m]
1									
2									
...									