

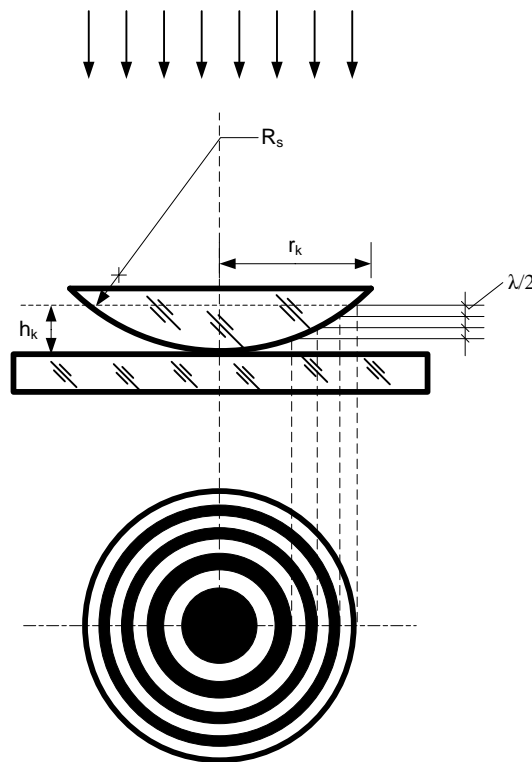
Ćwiczenie nr 4

Prążki równej grubości-wyznaczanie kształtu powierzchni metodą interferencyjną

Wstęp teoretyczny

4.1. Wprowadzenie

Pierścienie Newtona są szczególnym przypadkiem prążków równej grubości. Jeśli na płaskiej płytce szklanej, zwanej sprawdzianem, umieści się (jak na rys. 4.1) sferyczną soczewkę płasko-wypukłą i oświetli z góry falą płaską, to w wyniku interferencji fal odbitych od dolnej powierzchni soczewki i górnej powierzchni sprawdzianu powstają koncentryczne prążki interferencyjne równej grubości nazywane pierścieniami Newtona (rys. 4.2a). W przypadku soczewki cylindrycznej obserwujemy pionowe prążki równej grubości (rys. 4.2b).



Rys. 4.1. Schemat powstawania prążków interferencyjnych równej grubości

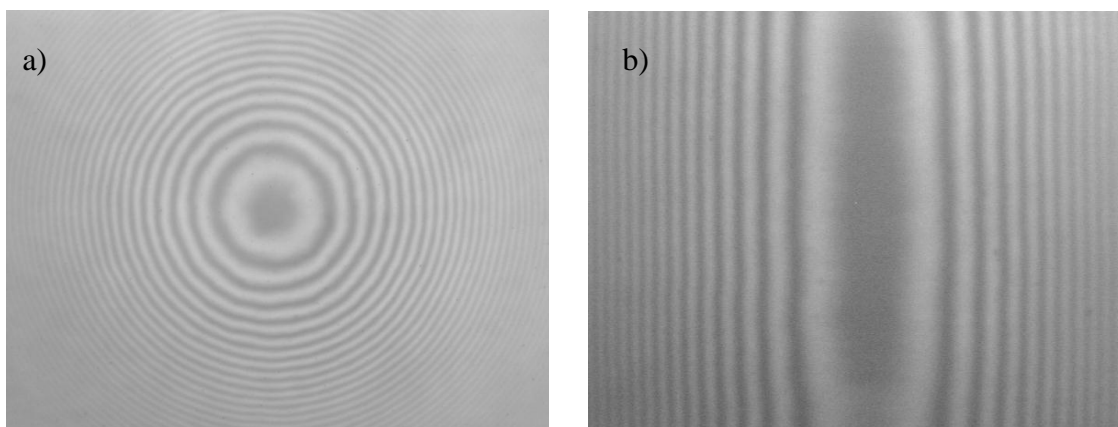
Między powierzchnią płaską sprawdzianu a sferyczną powierzchnią soczewki tworzy się klin powietrzny o zmiennej grubości. Ciemne prążki interferencyjne powstają w miejscach, dla których grubość klina spełnia warunek:

$$2h_k + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.1)$$

gdzie k jest rzędem prążka, h_k jest grubością klina w odległości r_k od osi symetrii soczewki, λ długością fali zastosowaną do pomiaru. Dodatkowa różnica dróg optycznych $\lambda/2$ pojawiająca się po lewej stronie równania, związana jest ze skokiem fazy o 180° przy odbiciu fali od górnej powierzchni sprawdzianu (odbicie od ośrodka o większym współczynniku załamania). Po przekształceniach wzór (4.1) można zapisać jako:

$$h_k = k \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (4.2)$$

Prążki interferencyjne równej grubości tworzące się w takim klinie mają kształt kolisty (rys. 4.2a). W miarę wzrostu odległości od środkowego, ciemnego prążka, utworzonego w miejscu styku obu powierzchni, kolejne prążki coraz bardziej się zagęszczają aż przestają być rozróżnialne. Często zdarza się, że prążek zerowy jest jasny, co oznacza, iż obie powierzchnie nie przylegają do siebie idealnie. Spowodowane to jest zwykle zanieczyszczeniami powierzchni np. śladami tłuszczu i pyłkami, które należy usunąć.



Rys. 4.2. Prążki interferencyjne dla soczewki: a) sferycznej, b) cylindrycznej

Zasada pomiaru promienia krzywizny soczewki R_s polega na wyznaczeniu średnicy określonego kołowego prążka interferencyjnego rzędu k . W praktyce, mierzy się tylko położeniu prążków ciemnych. Ze względu na wysycenie kamery są one zazwyczaj węższe od jasnych, co wpływa korzystnie na dokładność pomiaru. Różnica wysokości klina między kolejnymi prążkami $k+1$ i k wynosi $\lambda/2$. Prążki interferencyjne są więc warstwicami określającymi przyrost wysokości o $\lambda/2$. Korzystając z rys. 4.1 można napisać:

$$(R_s - h_k)^2 + r_k^2 = R_s^2, \quad (4.2)$$

stąd:

$$R_s = \frac{r_k^2 + h_k^2}{2h_k} \quad (4.3)$$

a po podstawieniu (4.1):

$$R_s = \frac{r_k^2 + h_k^2}{k\lambda} \quad k = 0, 1, 2, 3... \quad (4.4)$$

Wartość r_k jest na ogół kilka milionów razy większa od h_k , tak więc bez popełnienia dostrzegalnego błędu można ostatecznie w przybliżonej postaci napisać:

$$R_s = \frac{r_k^2}{k\lambda} \quad K = 0, 1, 2, 3... \quad (4.5)$$

Znając promień r_k k-tego prążka kołowego można obliczyć wielkość promienia krzywizny soczewki R_s . W tym celu należy posłużyć się odpowiednim przyrządem, umożliwiającym dogodną obserwację prążków oraz pomiar ich średnic. W trakcie pomiarów używamy tego samego mikroskopu warsztatowego, który jest wykorzystywany w ćwiczeniu nr 3, z tą różnicą, że dla zwiększenia drogi koherencji stosuje się diody LED jako źródła światła.

Przebieg pomiarów

4.3. Oświetlacz diodowy

Dioda	Długość fali [nm]	Uwagi
Niebieska	470	pomiar
Zielona	522	pomiar
Żółta	594	pomiar
Pomarańczowa	613	pomiar
Czerwona	658	pomiar
Biała	światło białe	obserwacja prążków

4.3. Przygotowanie układu pomiarowego

Włączyć zasilanie oświetlacza diodowego, a następnie ustawić oświetlacz na świecenie białej diody. Na stoliku mikroskopu umieścić przemytą alkoholem płasko-równoległą płytkę szklaną – sprawdzian. Na sprawdzianie położyć mierzoną soczewkę płasko-wypukłą (stroną wypukłą do sprawdzianu), którą również należy wcześniej oczyścić. Oba elementy są oświetlone przez jeden z obiektywów mikroskopu równoległą wiązką światła monochromatycznego (lub białego), którego źródłem jest wybrana na oświetlaczu dioda. Stolik mikroskopu powinien być ustawiony w położeniu środkowym. Należy starać się ustawić soczewkę tak, aby środkowy (zerowy) ciemny prążek (dysk) wypadał mniej więcej w środku pola widzenia mikroskopu. Mikroskop nastawić na ostre widzenie obrazu prążków. W komputerze uruchomić


program **Profile**  znajdujący się na pulpicie i przesunąć przełącznik mikroskopu w celu umożliwienia projekcji obrazu na kamerę. Ustawić powiększenie tak, aby ilość rozróżnialnych prążków była możliwie duża (przynajmniej 10 prążków) oraz ustawić ostrość.

Diagram of a microscope with the following labeled parts:

- gniazdo nasadowe (kamera)
- okulary
- przełącznik
- pokrętło zmiany powiększenia
- pokrętło ostrości
- źródła światła
- stolik pomiarowy
- regulacja natężenia światła
- włącznik światła
- przełącznik źródeł światła
- blokada wysokości

4

4.4. Wyznaczanie promieni pierścieni Newtona

Gdy skalowanie jest skończone należy przystąpić do zasadniczego pomiaru. Przełączyć oświetlacz diodowy na świecenie diody czerwonej (626 nm). W menu **Options** zaznaczyć **Horizontal scan**. Ramka widoczna na ekranie zostanie obrócona o 90° co pozwoli na rejestrację rozkładu natężenia w pionie naszego obrazu (ze względu na niesymetryczne oświetlenie badanej soczewki, obraz w poziomie jest oświetlony również niesymetrycznie, dlatego do analizy lepiej wybrać skanowanie w pionie).

W przypadku słabego kontrastu prążków w programie Profile należy zmienić ustawienia kamery (proszę zgłosić prowadzącemu).

Zarejestrować obraz prążków poprzez kliknięcie ikonki **Preview**, a ramkę widoczną na ekranie rozciągnąć maksymalnie na wysokość i przesunąć tak aby przechodziła przez środek naszego obrazu prążkowego. W dolnej części okienka widoczny jest rozkład natężenia światła w funkcji długości (a dokładnie w funkcji położenia na matrycy kamery). Gdy uzyskamy odpowiedni rozkład natężenia możemy go zarejestrować poprzez kliknięcie ikonki **Save profile**. Zostanie on zapisany w postaci txt i będzie możliwy do dalszej obróbki danych np. w programie Excel. Z zarejestrowanych rozkładów należy zlokalizować wszystkie minima, czyli ciemne prążki. Wyznaczyć promienie prążków wyrażone w pikselach. Następnie używając wyznaczonego współczynnika skalowania wyznaczyć wartości promieni prążków w milimetrach.

Procedurę skalowania należy przeprowadzić ponownie w przypadku zmiany powiększenia lub przy badaniu innej soczewki.

Zadania do wykonania

1. Przeprowadzić procedurę skalowania dla kilku prążków i uśrednić otrzymany wynik.
2. Zarejestrować obraz pierścieni Newtona i zapisać dane.
3. Punkt 2 wykonać ponownie dla układu soczewki ze sprawdzianem obróconym o 90°.
4. Punkty 1-2 wykonać dla innych rodzajów soczewek sferycznych, wybranych przez prowadzącego.
5. Wyznaczyć promienie wszystkich pierścieni Newtona dla danej długości fali.
6. Wykonać wykres $r_k^2 = f(k\lambda)$ i przy pomocy regresji liniowej wyznaczyć promień krzywizny soczewki (współczynnik kierunkowy prostej to szukany promień soczewki, patrz wyrażenie 4.5).
7. Punkt 6 powtórzyć dla innych długości fali.
8. Powtórzyć pomiary dla soczewki cylindrycznej. Wyprowadzić odpowiednie zależności umożliwiające wyznaczenie jej promienia krzywizny na podstawie prążków równej grubości. Obliczyć promień krzywizny soczewki cylindrycznej.
9. Zaobserwować i zarejestrować obrazy pierścieni Newtona dla niedoskonałych soczewek cylindrycznych.
10. Przeprowadzić analizę niepewności dla wszystkich wyznaczanych wielkości fizycznych.

LITERATURA:

- [1] J. Nowak, M. Zając; „Optyka kurs elementarny”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
- [2] Praca zbiorowa, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki: Część IV Optyka”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [3] <http://www.teleskopy.pl>