

Ćwiczenie nr 14

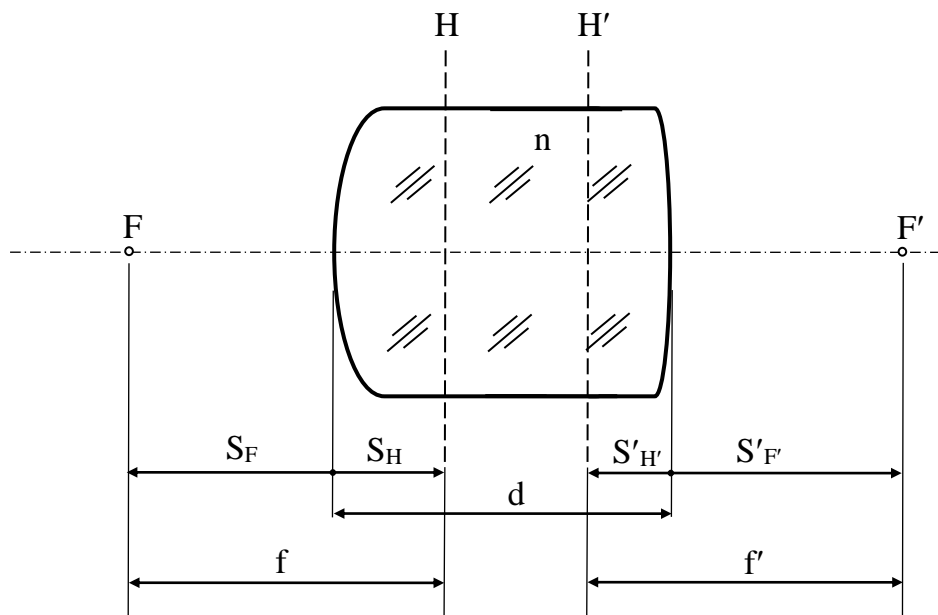
Pomiar ogniskowych i czołowych ognisk metodą kolimatora i sferometru

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie podstawowych wielkości charakteryzujących soczewkę grubą (ogniskowej i czołowych ognisk (zbiegowych)). Pomiary przeprowadza się metodą kolimatora i przy użyciu sferometru. Wykonanie ćwiczenia wymaga zapoznania się z podstawowymi wiadomościami dotyczącymi takich pojęć jak: sferyczna powierzchnia łamiąca, soczewka gruba, układy złożone, podstawowe oznaczenia i wielkości (ognisko, ogniskowa, czołowa ogniskowa, płaszczyzny główne, umowa znaków, itp.), oraz znajomość podstawowych wzorów. Można w tym celu skorzystać między innymi z książek:

1. Romuald Józwicki, Optyka instrumentalna, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1970r. (Rozdziały: 2.3 i 2.4).
2. Jerzy Nowak, Marek Zając, Wstęp do optyki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995r. (Rozdział 2).

1. WZORY PODSTAWOWE

1.1. Soczewka gruba



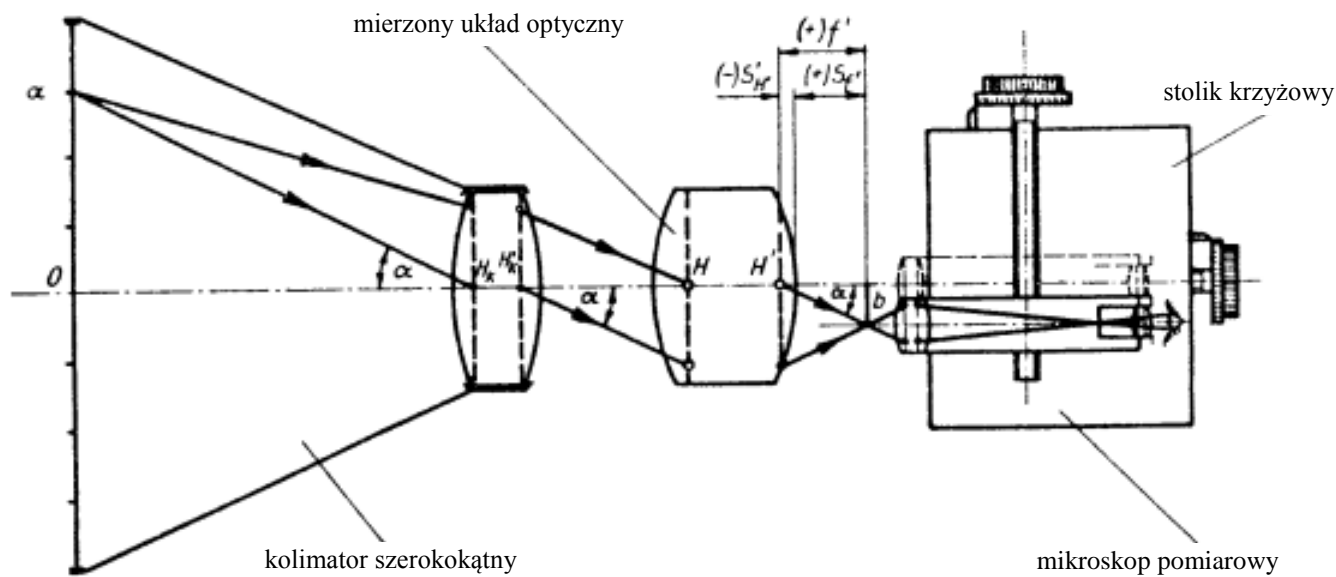
Rys. 1. Soczewka gruba.

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_1 r_2} \right) \quad (1)$$

$$S'_{H'} = -\frac{d \cdot (n-1)}{n \cdot r_1} \cdot f', \quad S_H = -\frac{d \cdot (n-1)}{n \cdot r_2} \cdot f' \quad (2)$$

Przebieg pomiarów:

2. POMIAR OGNISKOWYCH I CZOŁOWYCH OGNISK ZA POMOCĄ KOLIMATORA



Rys. 2. Układ pomiarowy – metoda kolimatora.

Układ pomiarowy składa się z: kolimatora z podziałką kątową, badanego obiektywu lub układu teleskopowego i mikroskopu pomiarowego. Mikroskop posiada okular z krzyżem. Przez wsuwanie i wysuwanie części wewnętrznej okularu należy ustawić na ostrość krzyż indywidualnie dla swojego oka. Mikroskop posiada możliwość przesuwów pomiarowych wzdłuż osi układu (dla pomiaru czołowych ognisk) i w poprzek (dla pomiaru ogniskowych).

Podziałka kątowa kolimatora znajduje się w płaszczyźnie ogniskowej jego obiektywu. Wartość α oznacza kąt, który z osią optyczną tworzy promień wychodzący właśnie z tej działki kątowej. Wszystkie promienie

wychodzące z tej działki i dalej wychodzące z kolimatora są równoległe i tworzą kąt α z osią kolimatora. Z tej wiązki promieni któryś przechodzi przez punkt główny H badanego układu, a więc wychodzi z badanego układu także pod kątem α . Ponieważ wszystkie promienie równoległe skupiane są przez badany układ w jego płaszczyźnie ogniskowej więc w tej płaszczyźnie odwzorowana jest skala kolimatora, a widoczna kreska skali α tworzy taki właśnie kąt z osią badanego obiektywu. Mierząc odcinek b i znając kąt α można wyliczyć ogniskową:

$$f' = b \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (3)$$

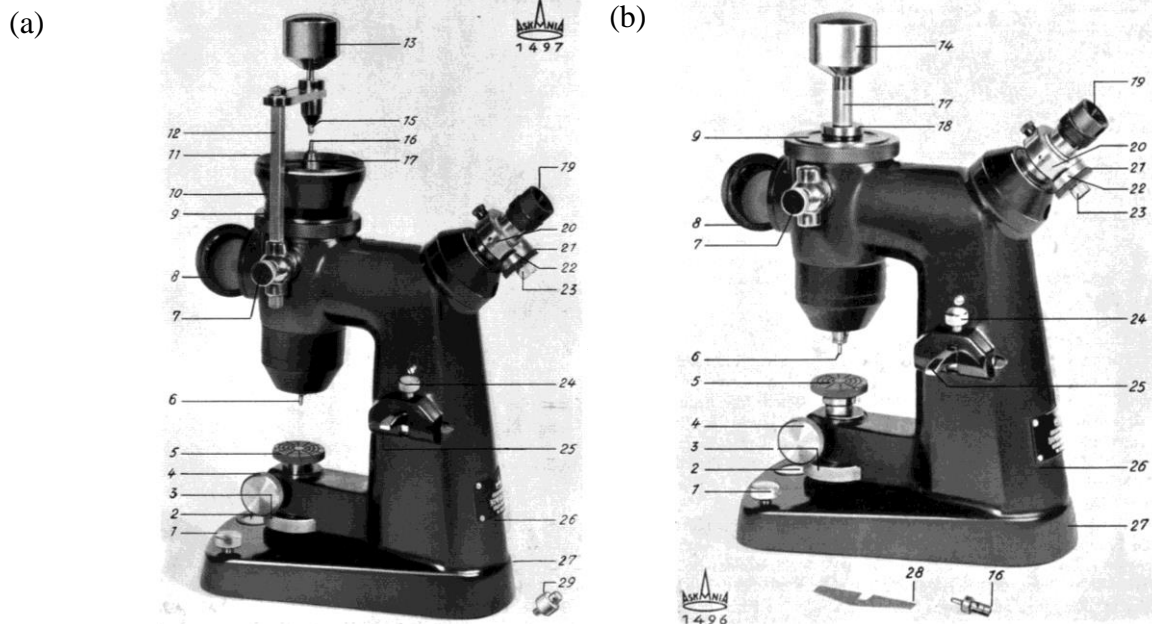
Pomiar odcinka b odpowiadający kątowi α odbywa się gdy przez mikroskop widać ostro skalę kolimatora. Korzystając z przesuwu poprzecznego można przesuwając mikroskop wzdłuż odcinka b obrazu skali kolimatora (dokładność odczytu wynosi 0.01mm). Długość odcinka b to różnica między dwoma położeniami mikroskopu (pionową linię krzyża okularu mikroskopu ustawiamy raz na zero skali kolimatora, drugi raz na kreskę wybranej skali alfa). Nastawień i odczytów należy dokonywać dla -3° , -2° , -1° , 0° , $+1^\circ$, $+2^\circ$, $+3^\circ$. Następnie należy wyliczyć różnice między sąsiednimi odczytami. Różnice te powinny być prawie takie same, ewentualne błędy mogą być grube wynikające ze złego odczytu wartości całych milimetrów! Średnia z wszystkich różnic odpowiada kątowi $\alpha = 1^\circ$ ($\operatorname{ctg} 1^\circ = 57.29$).

Pomiar czołowej ogniska to odcinek między czołem badanego obiektywu (od strony mikroskopu) a płaszczyzną ogniskową badanego obiektywu z odcinkiem b . Pomiar polega więc na ustawieniu na ostrość (w mikroskopie) skali kolimatora, odczycie położenia wzdłużnego mikroskopu, przesunięciu wzdłużnym pomiarowym mikroskopu tak by była ostro widoczna powierzchnia badanego obiektywu i powtórny odczyt położenia wzdłużnego mikroskopu. Różnica tych dwóch odczytów to właśnie czołowa ogniska (tego od strony mikroskopu). Dla pomiaru czołowej ogniska z drugiej strony badanego obiektywu należy powtórzyć pomiar lecz z obróconym obiektywem o 180° . Można sprawdzić czy widać właściwą powierzchnię (bo mogą być widoczne inne powierzchnie), przez wstawienie na samą badaną powierzchnię skrawka papieru (lub na badanej soczewce zrobić flamastrem kropkę). Wtedy papier lub kropka z badaną powierzchnią będą ostro widoczne przez mikroskop.

Pomiar ogniskowej soczewki i czołowej ogniska przeprowadzić dla drugiej powierzchni soczewki!

3. POMIAR OGNISKOWYCH I CZOŁOWYCH OGNISK PRZY UŻYCIU SFEROMETRU

Sferometr jest przyrządem, przy pomocy którego można zmierzyć promień krzywizn obiektów o sferycznej geometrii oraz grubość tych obiektów. Rys. 1a przedstawia sferometr przygotowany do pomiaru promieni krzywizn. Rys. 1b pokazuje ten sam przyrząd gotowy do pomiaru grubości. Wykaz najważniejszych elementów przyrządu zamieszczono poniżej:



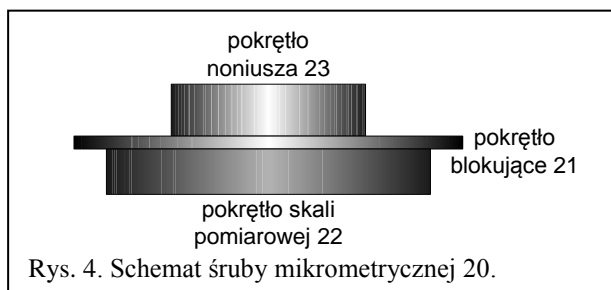
Rys. 3. Sferometr przygotowany do pomiaru krzywizny (a) oraz do pomiaru grubości (b).

- | | |
|--|--|
| 1. Pokrętło do poziomowania sferometru. | 15. Końcówka obciążnika próbki górnej. |
| 2. Poziomica. | 16. Końcówka górnego trzpienia pomiarowego. |
| 3. Śruba regulująca wysokość stolika. | 17. Górny trzpień pomiarowy. |
| 4. Blokada regulacji wysokości stolika. | 18. Kołnierz obciążnika dolnego trzpienia pomiarowego. |
| 5. Stolik na próbki, których grubość chcemy zmierzyć. | 19. Okular. |
| 6. Końcówka dolnego trzpienia pomiarowego. | 20. Śruba mikrometryczna (rys. 7.13). |
| 7. Uchwyt na ramię obciążnika. | 21. Pokrętło blokujące śruby mikrometrycznej. |
| 8. Zwierciadło. | 22. Pokrętło skali pomiarowej. |
| 9. Kołnierz na gniazda. | 23. Pokrętło noniusza. |
| 10. Gniazdo. | 24. Blokada dźwigni trzpienia pomiarowego. |
| 11. Górny brzeg gniazda wyznaczający poziom odniesienia. | 25. Dźwignia trzpienia pomiarowego. |
| 12. Ramię obciążnika. | 26. Tubus przyrządu. |
| 13. Obciążnik próbki górnej. | 27. Podstawa przyrządu. |
| 14. Obciążnik dolnego trzpienia pomiarowego. | |

Przebieg pomiarów:

3.1. Wyznaczanie promienia krzywizny soczewki

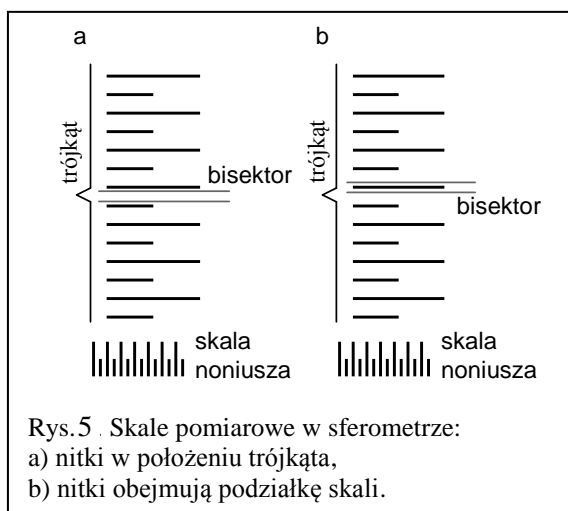
Do pomiaru promienia krzywizny przyrząd musi być skonfigurowany tak jak na rys. 3a. Należy między innymi założyć końcówkę górnego trzpienia pomiarowego 16 (**pamiętając o podparciu trzpienia pomiarowego!!!**). Końcówki znajdują się na pokrywie pudełka przyrządu, w ich górnej części. W pierwszym kroku należy dobrać do wielkości mierzonej soczewki odpowiednie gniazdo (umieszczone w dodatkowym pudełku). Soczewka powinna dać się dobrze osadzić w gnieździe (nie może zbyt mocno wystawać z gniazda ani za głęboko w nim siedzieć). Wybrane gniazdo należy osadzić na kołnierzu 9.



Rys. 4. Schemat śruby mikrometrycznej 20.

W pierwszym kroku przystępujemy do zmierzenia położenia górnego brzegu osadzonego gniazda 11. W tym celu na gniazdo 10 należy nasadzić płaską płytkę szklaną (dwie płytki są w zestawie, w pudełku przyrządu). Następnie płytkę dociskamy obciążnikiem próbki górnej 13 tak, aby lekki nacisk na płytkę nie zmieniał wskazań przyrządu. Jeżeli lekkie naciśnięcie płaskiej płytki powoduje zmianę wskazań przyrządu, dźwignią 24 można zmniejszyć siłę nacisku górnego trzpienia pomiarowego (nie można przesadzić ze zmniejszaniem).

W tej konfiguracji koniec górnego trzpienia pomiarowego wskazuje położenie górnej krawędzi gniazda. Następnie pokrętką 22 śruby mikrometrycznej należy ustawić bisektor tak, aby jego kreski znalazły się na brzegach trójkątnego wycięcia (rys. 5a). Następnie pokrętką noniusza ustawiamy położenie wskaźnika skali noniusza na zero, a pokrętką 22 przesuwamy bisektor w taki sposób, aby między jego kreskami znalazła się najbliższa (w kierunku do góry) działka skali pomiarowej (rys. 5b). Odczytujemy wartość tej działki. Na działce noniusza odczytujemy wskazywaną wartość i dodajemy ją do wartości odczytanej ze skali głównej. Na przykład: jeżeli na skali ogólnej mamy wartość 14,2 a na skali noniusza 43, to odczytana wartość wynosi 14,243 mm.

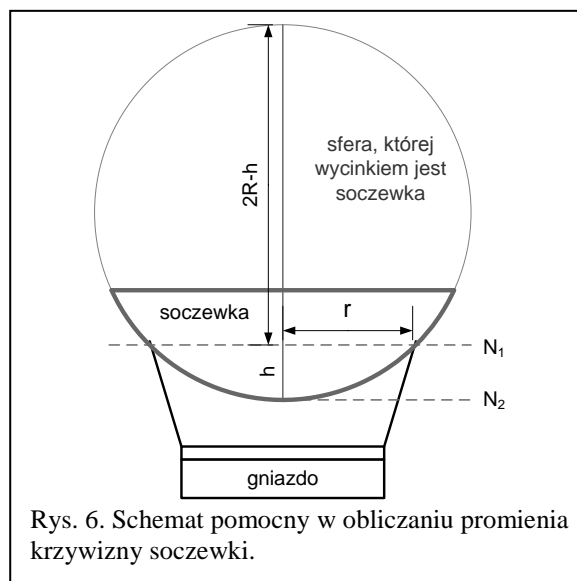


Rys. 5. Skale pomiarowe w sferometrze:

- a) nitki w położeniu trójkąta,
- b) nitki obejmują podziałkę skali.

Po zmierzeniu położenia górnej krawędzi gniazda możemy przystąpić do pomiaru promienia krzywizny wybranej soczewki. Soczewkę (taką, której rozmiar pasuje do średnicy gniazda pomiarowego) kładziemy na gniazdo pomiarowe mierzoną wypukłością (lub wklęsłością w dół). Mierzoną wartość odczytujemy zgodnie z opisem powyżej, zaczynając od ustawienia bisektora w położeniu trójkątnego wycięcia (rys. 5a).

Po przeprowadzeniu pomiarów (pomiaru powtarzamy przynajmniej 6 razy) możemy przystąpić do obliczenia promienia krzywizny soczewki. Rys. 6 ułatwia zrozumienie zasady pomiaru. Niech odczytane górne położenie krawędzi gniazda pomiarowego wynosi N_1 a N_2 oznacza odczyt przy włożonej w gniazdo soczewce. Różnica $h = N_2 - N_1$ wyznacza wysokość czaszy soczewki zagłębionej w gnieździe (w przypadku soczewki wypukłej



Rys. 6. Schemat pomocny w obliczaniu promienia krzywizny soczewki.

jest to wysokość czaszy wgłębionej pod krawędź gniazda i jest ona dodatnia). Z elementarnych zależności geometrycznych otrzymujemy:

$$\frac{h}{R} = \frac{R}{2 \cdot r - h}, \quad (4)$$

gdzie R jest promieniem otworu gniazda, przy jego krawędzi (wielkość ta znajduje się na pokrywie pudełka przyrządu lub na gnieździe (przy pomiarach soczewek cylindrycznych)). Uwaga: podane są dwie wartości promienia każdego gniazda. Większa wartość odnosi się do promienia zewnętrznego (pomiar powierzchni wklęsłych), zaś mniejsza wartość do promienia wewnętrznego (pomiar powierzchni wypukłych). r jest promieniem sfery, której wycinkiem jest soczewka. Powyższa proporcja pozwala nam znaleźć wyrażenie na promień r :

$$r = \frac{R^2 + h^2}{2h}. \quad (5)$$

W przypadku gdy soczewka nie jest soczewką płasko-wklęsłą lub płasko-wypukłą należy pamiętać o pomiarze promienia krzywizny z drugiej strony soczewki.

Uwaga: Po zmianie gniazda całą procedurę należy powtórzyć (od wyznaczenia położenia górnej krawędzi gniazda).

3.2. Wyznaczanie grubości soczewki

Do pomiaru grubości soczewki przyrząd musi być skonfigurowany tak jak na rys. 3b. Należy założyć końcówkę na dolną część trzpienia pomiarowego 16 i obciążyć górną część trzpienia za pomocą obciążnika znajdującego się w obudowie przyrządu. W celu wyznaczenia grubości soczewki należy najpierw wykonać odczyt gdy trzpień pomiarowy dotyka stolika pomiarowego, na którym następnie umieszczamy badaną soczewkę. Drugi odczyt wykonujemy, gdy trzpień dotyka powierzchni soczewki. Grubość soczewki to różnica obu odczytów. Odczyty wykonujemy według procedury opisanej powyżej.

Po zakończeniu pomiarów przyrząd należy doprowadzić do stanu początkowego. W szczególności należy pamiętać o wyciągnięciu końcówek trzpieni pomiarowych (dolnej 6 i górnej 16), wyjęciu gniazd 10 i włożeniu wszystkich gniazd do odpowiednich miejsc w pudełku i wyjęciu obciążnika dolnego trzpienia pomiarowego 14, włożeniu wszystkich soczewek do pudełka, złożeniu lusterka (przysunięciu do obudowy), przy czym należy pamiętać o

NIE dotykaniu powierzchni optycznych (w tym wypadku powierzchni zwierciadła).

Opracowanie wyników:

1. Wyznaczyć ogniskowe badanych soczewek f' (wzór 3) i czołowe ognisk S_F i S'_F metodą kolimatora. Obliczyć położenia płaszczyzn głównych S_H i S'_H badanych soczewek.
2. Zmierzyć promienie krzywizn i grubość badanych soczewek przy użyciu sferometru. Znając współczynnik załamania soczewki n (podaje prowadzący) ze wzorów 1 i 2 wyznaczyć ogniskowe i położenie płaszczyzn głównych badanych soczewek.
3. Przeprowadzić analizę niepewności pomiarów oraz podać wyniki końcowe (porównać wyniki uzyskane z obu metod pomiarowych).