

ĆWICZENIE OG-6 WYZNACZANIE POŁOŻENIA PŁASZCZYZN GŁÓWNYCH SOCZEWEK

1 Cele ćwiczenia

Zapoznanie z metodami: *pomiaru odległości czołowych* (zbiegowych), *wyznaczania położenia punktów i płaszczyzn głównych* oraz *wyznaczania długości efektywnych ogniskowych*, w układach optycznych, na przykładach soczewek grubych. Sporządzenie rysunku badanej soczewki grubej w skali rzeczywistej, z zaznaczeniem położenia wyznaczonych punktów (ogniska, punkty główne i węzłowe) oraz płaszczyzn głównych.

2 Zakres wymaganych zagadnień wstępnych

Do poprawnego wykonania ćwiczenia niezbędna jest znajomość poniższych zagadnień, weryfikowanych w trakcie egzaminu wejściowego:

- podstawowe wiadomości dotyczące: pojedynczej powierzchni sferycznej, soczewki cienkiej, soczewki grubej oraz złożonych układów optycznych,
- bieg promieni przez soczewkę cieką w przypadkach: przedmiot w ognisku, przedmiot odległy (w nieskończoności),
- podstawowe oznaczenia i wielkości dotyczące układów optycznych i soczewek grubych: ogniskowe, odległości czołowe (zbiegowe), punkty i płaszczyzny główne, punkty węzłowe),
- konstrukcja obrazu metodą promieni oraz poprzez rozwiązanie równań, z wykorzystaniem ognisk, punktów węzłowych oraz punktów i płaszczyzn głównych.

3 Wstęp teoretyczny

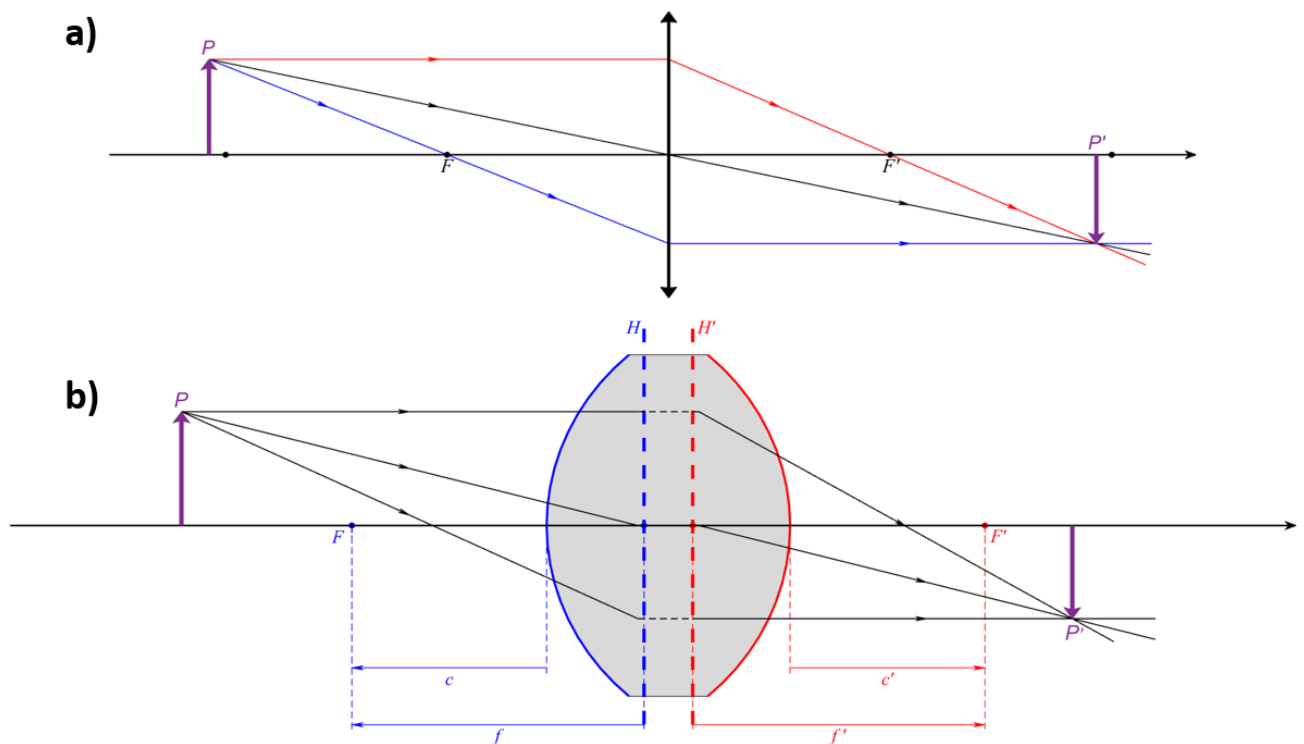
Nieskończenie cienne soczewki służą do analizy podstawowych praw optyki geometrycznej i instrumentalnej, jednak nie mogą wiernie oddać działania rzeczywistych układów, w których każdy element optyczny posiada pewną skończoną grubość, rozumianą jako wymiar wzdłuż osi optycznej lub wzdłuż kierunku propagacji światła. Szczególną trudność napotkamy przy próbie opisu taką idealną soczewką skomplikowanego układu optycznego (jak np. obiektyw fotograficzny lub mikroskopowy), składającego się z wielu elementów optycznych. W przypadku pojedynczej soczewki nazwiemy ją grubą, gdy zaniedbanie grubości spowoduje istotny błąd obliczenia położenia i powiększenia tworzonego obrazu.

Opis rzeczywistego układu optycznego można prowadzić z użyciem wzorów przeznaczonych dla ciennej soczewki pod warunkiem wykorzystania pojęcia *punktów i płaszczyzn głównych*. Są to punkty i płaszczyzny, w których należałoby ustawić cieką soczewkę o pewnej mocy, zwanej efektywną F_E (zwykle innej niż suma mocy elementów optycznych tworzących układ), aby uzyskać identyczne działanie, jak całego analizowanego układu. Przy tym, ognisko przedmiotowe ciennej soczewki (o mocy F_E), ustawionej w płaszczyźnie głównej H pokrywa się z ogniskiem przedmiotowym układu optycznego F , zaś ognisko obrazowe ciennej soczewki (także o mocy F_E), ustawionej w płaszczyźnie głównej H' pokrywa się z ogniskiem przedmiotowym układu optycznego F' .

Na rysunku 1a pokazano konstrukcję obrazu w przypadku soczewki cienkiej, zaś na rysunku 1b konstrukcję obrazu w przypadku soczewki grubej w oparciu o położenia płaszczyzn głównych. Ze względu na fakt, że płaszczyzny H i H' są ze sobą sprzężone i powiększenie wynosi 1 można przyjąć, że promienie wychodzące ze źródła punkowego P propagują się do płaszczyzny głównej przedmiotowej H analogicznie jak do soczewki cienkiej, zaś następnie, po przeniesieniu „jedno-jednego” na płaszczyznę główną obrazową H' , kontynuują bieg analogicznie jak po przejściu przez soczewkę cienką.

Innymi słowy, każdy z promieni, podobnie jak ma to miejsce dla soczewki cienkiej, załamuje się tylko jednokrotnie na jednej z płaszczyzn głównych. Promień propagujący się wcześniej równoległe do osi optycznej załamuje się na płaszczyźnie głównej obrazowej H' . Promień propagujący się wcześniej przez ognisko przedmiotowe załamuje się na płaszczyźnie przedmiotowej H . Ponieważ płaszczyzny główne, jak pokazano na rysunkach 1b i 2 zazwyczaj nie pokrywają się z powierzchniami soczewek, pewnej zmianie ulega definicja ogniskowej. Dla soczewki grubej ognisko obrazowe F' znajduje się w odległości f' od płaszczyzny głównej obrazowej H' . Natomiast odległość od drugiej (tylnej) powierzchni soczewki do ogniska obrazowego F' określana jest mianem czołowej (zbiegowej) obrazowej (tylnej) c' .

Mając dane położenia płaszczyzn głównych, nie potrzebujemy już odwoływać się do pojęcia powierzchni załamujących soczewek, o zadanych promieniach krzywizny, co widać na rysunku 1b, gdzie promienie światła nie załamują się na powierzchniach soczewki, a jedynie na płaszczyznach H i H' .

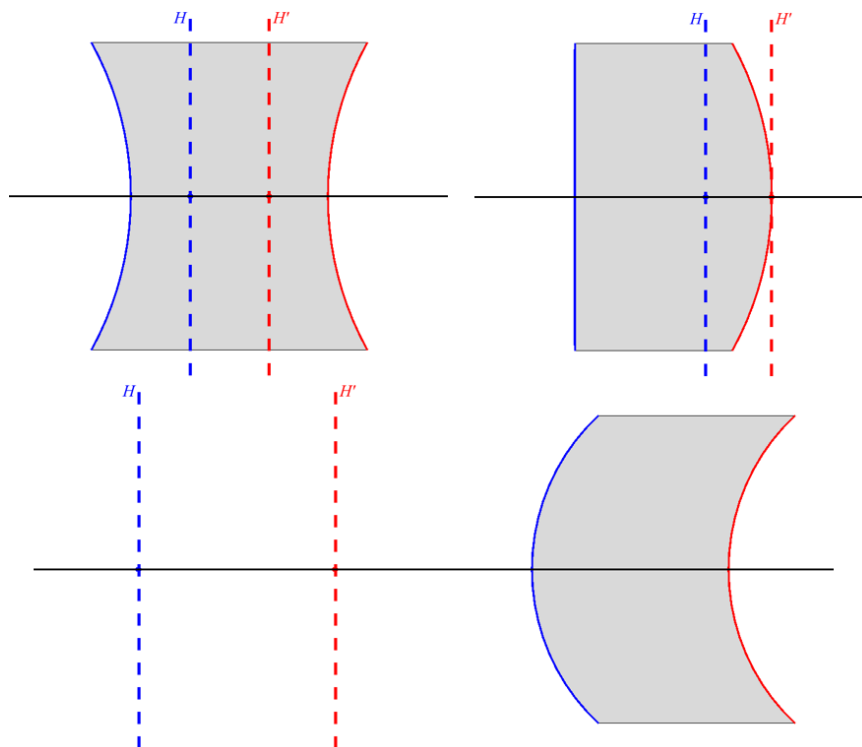


Rysunek 1. Schemat konstrukcji obrazu w soczewce a) cienkiej i b) grubej, w przypadku dodatniej efektywnej mocy optycznej, dla przedmiotu i obrazu rzeczywistego. Symbolami c i c' oznaczono odpowiednio czołową przednią i tylną.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe, typowe położenia płaszczyzn głównych w przypadku soczewek grubych. Widać, że ich położenie może być na zewnątrz soczewki. W przypadku

niektórych układów soczewek kolejność położenia płaszczyzn głównych może być odwrócona – płaszczyzna H może następować dalej niż H' , patrząc wzdłuż biegu światła.

Położenie płaszczyzn głównych i moc efektywną pojedynczej grubej soczewki można obliczyć znając jej grubość, promień krzywizny i współczynnik załamania światła w materiale, z którego jest wykonana. Często jednak zachodzi potrzeba doświadczalnego wyznaczenia położenia płaszczyzn głównych, na przykład, gdy nie jest znany współczynnik załamania światła lub nie jest możliwy pomiar promieni krzywizny.



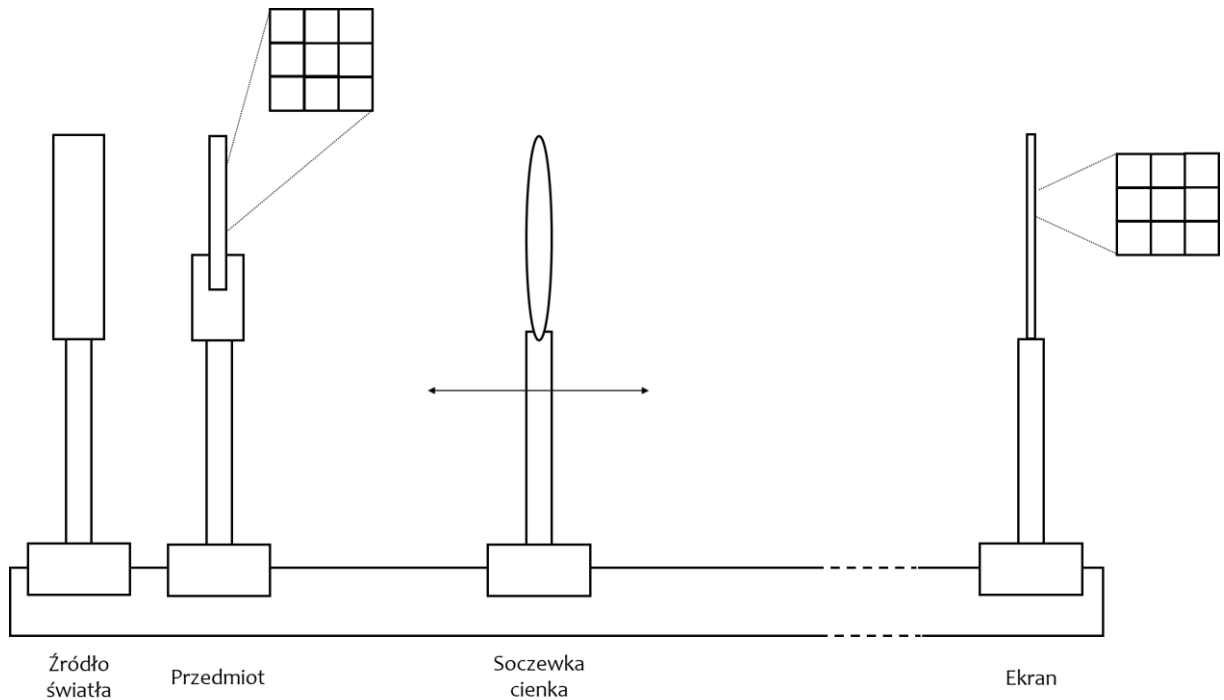
Rysunek 2. Przykłady różnych rodzajów soczewek grubych z zaznaczeniem ich płaszczyzn głównych – przedmiotowej (H , kolor niebieski) i obrazowej (H' , kolor czerwony).

4 Opis elementów części pomiarowej ćwiczenia

4.1 Układ kolimatora

Kolimator to układ optyczny pozwalający na uzyskanie określonego biegu wiązki promieni świetlnych, zwykle równoległego, symulującego odległy przedmiot – źródło punktowe.

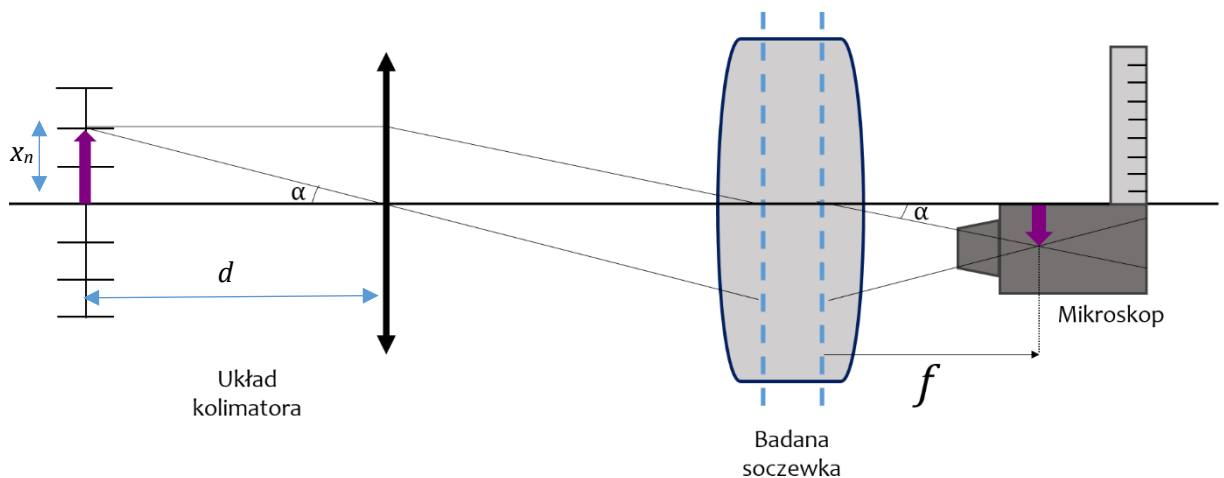
Pierwszym etapem wykonania ćwiczenia jest budowa kolimatora pozwalającego na uzyskanie równoległego biegu promieni wychodzących z obiektu znajdującego się w jego ognisku przedmiotowym. W tym celu, na ławie optycznej należy umieścić wybraną soczewkę skupiającą. Przed soczewką należy umieścić przedmiot – slajd z kratką. Jako źródła światła należy użyć białej diody LED. Ława optyczna powinna być tak ustawiona, by móc zaobserwować obraz przedmiotu na ścianie odległej o 4-5 metrów. Zakładamy, że ta odległość będzie przybliżeniem nieskończoności. Należy przesuwać soczewkę względem przedmiotu do uzyskania jego ostrego obrazu na ścianie. Na koniec trzeba zablokować położenie przedmiotu i soczewki – zakładamy, że powstały układ ma obiekt w ognisku, którego obraz powstaje w nieskończoności. Schemat układu kolimatora przedstawiono na rys. 3.



Rysunek 3. Schemat budowy układu kolimatora.

4.2 Pomiar ogniskowej badanej soczewki

Badaną soczewkę grubą należy wstawić za soczewką kolimatora. Po oświetleniu tak powstałego układu, za soczewką powinien powstać rzeczywisty obraz przedmiotu. Następnie, należy zmienić przedmiot na inny przedmiot, wykonany na papierze milimetrowym. Obraz tego przedmiotu będzie podczas pomiarów obserwowany za pomocą mikroskopu. Kąt promienia padającego na soczewkę kolimatora (α), wychodzący z określonej linii przedmiotu jest równy kątowi promienia przechodzącego przez badaną soczewkę grubą i padającego na aperturę wejściową mikroskopu. Schemat układu pomiarowego wraz z zaznaczeniem promieni i kątów przedstawiony jest na rys. 4.



Rysunek 4. Schemat układu do wyznaczenia ogniskowej soczewki grubej.

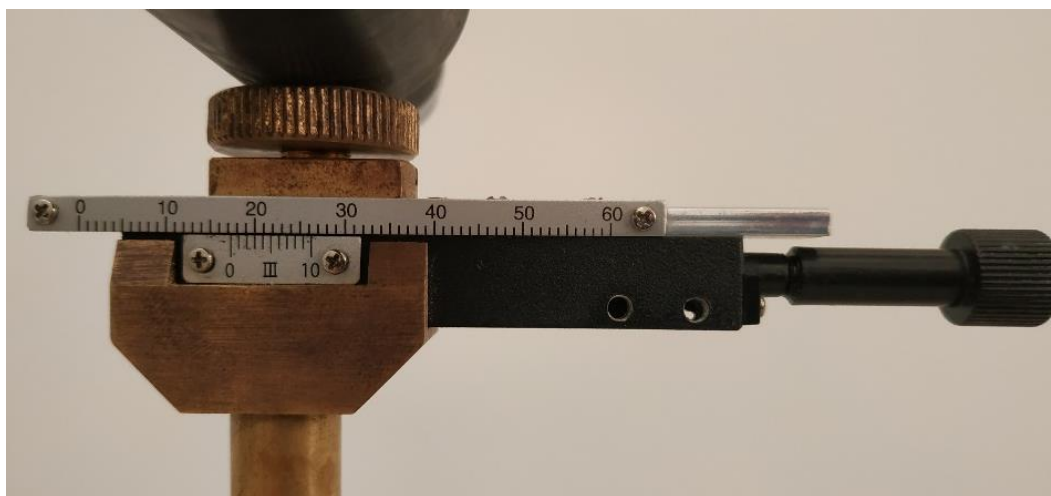
Kąt α_n jest w przybliżeniu równy stosunkowi odległości danej linii od linii środkowej (ozn. x_n) do odległości d między przedmiotem i soczewką kolimatora (czyli w przybliżeniu jej ogniskowej), według wzoru

$$\alpha_n = \frac{x_n}{d}. \quad (1)$$

Kolejnym krokiem jest użycie mikroskopu, za pomocą którego jesteśmy w stanie zaobserwować obraz przedmiotu. Ponieważ obraz jest rzeczywisty, to nie jest widoczny gołym okiem. Mikroskop należy umieścić w układzie za badaną soczewką. Widoczny przez okular środek krzyża mikroskopu należy ustawiać na kolejnych liniach widocznego obrazu. Należy zapisywać wartości odległości b_n – przesunięcia mikroskopu względem położenia środkowego.

Szukaną odległość należy obliczyć jako różnicę danego położenia mikroskopu i położenia środkowego. Zasada odczytu położenia z podziałki – noniusza mikroskopu jest identyczna jak w przypadku suwmiarki. Najpierw należy określić największą wartość linii górnej podziałki, którą przekracza początek dolnej podziałki (linia z wartością „0”). Każda kreska górnej podziałki odpowiada 1 milimetrowi. Następnie do odczytanej wartości należy dodać część dziesiętną odczytaną z dolnej podziałki, jako wartość linii ustawionej równo z jedną z linii górnej podziałki. Podziałka mikroskopu przedstawiona jest na rys. 5. Ogniskową badanej soczewki można obliczyć ze wzoru

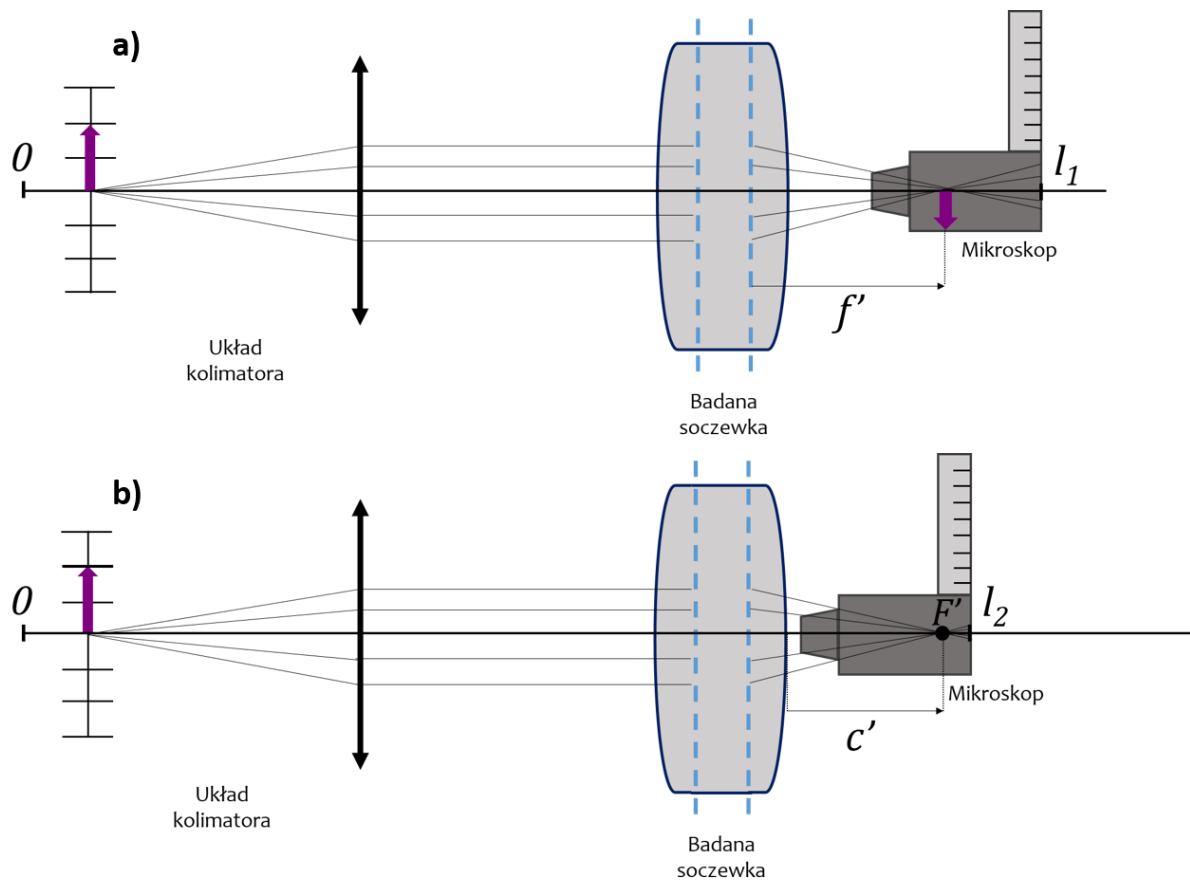
$$f = b_n \operatorname{ctg}(\alpha_n). \quad (2)$$



Rysunek 5. Podziałka mikroskopu pomiarowego z noniuszem. Mikroskop ustawiony jest w położeniu 17,3 mm.

4.3 Pomiar czołowej badanej soczewki

Odległość czołowa soczewki to odległość jej powierzchni (czoła) od ogniska obrazowego lub przedmiotowego. Odległość czołową można obliczyć jako różnicę takiego położenia mikroskopu na ławie optycznej, dla którego widać ostry obraz przedmiotu w ognisku (rys. 6a) i położenia, w którym widać ostro czoło soczewki (rys. 6b).



Rysunek 6. Schemat pomiaru czołowej soczewki grubej.

Zaczynając od położenia do obserwacji obrazu (położenie l_1) należy przesuwać mikroskop w stronę soczewki. W pewnym momencie będzie można wyraźnie zaobserwować zarysowania na jej powierzchni (położenie l_2). Wartość czołowej c można obliczyć jako

$$c = |l_2 - l_1|. \quad (3)$$

5 Przebieg pomiarów

1) Zestawić układ kolimatora.

Uzyskaną odległość soczewki kolimatora od przedmiotu i wyniki przeprowadzonych obliczeń kątów proszę umieścić w poniższej tabeli.

| Lp. | x_n [mm] | d [mm] | $\alpha_n = x_n/d$ [rad] | α_n [°] |
|-----|------------|----------|--------------------------|----------------|
| 3 | 15 | | | |
| 2 | 10 | | | |
| 1 | 5 | | | |
| 0 | 0 | | 0 | 0 |
| -1 | -5 | | | |
| -2 | -10 | | | |
| -3 | -15 | | | |

- 2) Wstawić do układu badaną soczewkę grubą.
- 3) Wstawić mikroskop do układu:
 - a) zaobserwować ostry obraz przedmiotu;
 - b) ustawić pionową linię krzyża mikroskopu na środkowej linii obrazu, odczytać i wpisać do tabeli położenie mikroskopu na podziałce;
 - c) ustawiać linię mikroskopu w kolejnych położeniach i odczytane wartości położenia (y_n) zapisywać w tabelce. Na koniec, proszę obliczyć wartość ogniskowej badanej soczewki.

| Lp. | $\text{ctg}(\alpha_n)$ | y_n | b_n | $f = b_n \text{ctg}(\alpha_n)$ |
|-----|------------------------|-------|-------|--------------------------------|
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| 0 | - | | 0 | 0 |
| -1 | | | | |
| -2 | | | | |
| -3 | | | | |

- 4) Wyznaczyć odległość czołową badanej soczewki jako różnicę dwóch położenia mikroskopu.
- 5) Odwrócić badaną soczewkę i powtórzyć całą sekwencję pomiarów.
- 6) Wyjąć badaną soczewkę z oprawy i za pomocą śruby mikrometrycznej oraz suwmiarki zmierzyć odpowiednio grubość soczewki oraz jej średnicę.
- 7) Na podstawie zmierzonych wymiarów soczewki oraz wyznaczonych wartości czołowych i ogniskowych badanej soczewki narysować jej schemat w skali 1:1 z zaznaczonymi położeniami wszystkich ważnych punktów i płaszczyzn.

6 Literatura

1. Ratajczyk F.: *Instrumenty optyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
2. Szwedowski A., Wojtaszewski A.: *Laboratorium technologii elementów optycznych – pomiary optyczne*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
3. Leśniewski M., Rafałowski M., Szwedowski A., Wojtaszewski A.: *Przyrządy optyczne. Ćwiczenia laboratoryjne*. Reprint FWRiWTO, Warszawa, 1992.
4. Błaszczak U.J., Rafałowski M.: *Podstawy Optyki – materiały pomocnicze do ćwiczeń rachunkowych i laboratoryjnych*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2004.
5. Józwicki R., *Optyka instrumentalna*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1970.
6. Nowak J., Zajac M., *Wstęp do optyki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.