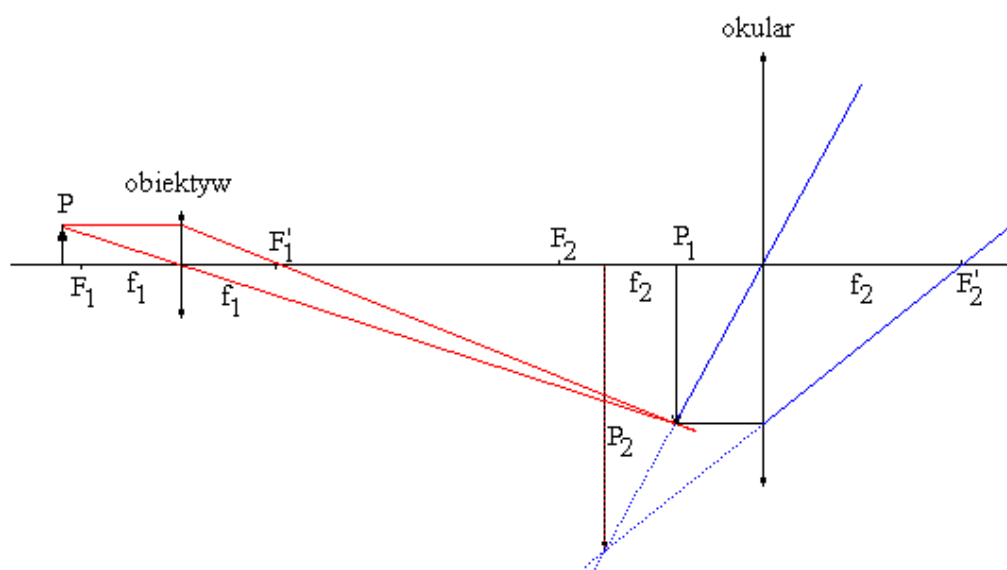


ĆWICZENIE 43

BADANIE MIKROSKOPU. POMIARY MAŁYCH DŁUGOŚCI

Układ optyczny mikroskopu składa się z obiektywu i okularu rozmieszczonych na końcach rury zwanej tubusem. Przedmiot ustawia się w odległości większej niż ogniskowa obiektywu, a mniejszej niż podwójna ogniskowa. Dzięki temu powstający obraz jest rzeczywisty, powiększony i odwrócony i ten obraz staje się przedmiotem dla okularu, w którym powstaje obraz prosty, powiększony i urojony. Przedmiot musi pojawić się w odległości mniejszej niż ogniskowa okularu. Przybliżony schemat optyczny mikroskopu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1

Aby uniknąć wad soczewek obiektywu i okularu mikroskopów tworzą bardzo złożone układy optyczne składające się z soczewek różnych kształtów i wykonanych z różnych materiałów oraz przesłon.

Powiększenie mikroskopu w przybliżeniu obliczamy biorąc iloczyn powiększenia danego przez obiektyw i okular

$$P = P_{ob} \cdot P_{ok} \quad (1)$$

Powiększenie dawane przez obiektyw obliczamy z zależności

$$p = \frac{H}{n} = \frac{y}{x} \approx \frac{y}{f_1} \quad (2)$$

przyjmując $x \approx f_1$, ponieważ przedmiot umieszczamy tuż za ogniskiem obiektywu. Obraz powstający w okularze jest taki sam jak obraz powstający w lupie, zatem powiększenie okularu obliczamy z zależności

$$P_{ok} = \left| \frac{D}{f_2} \right|,$$

gdzie; D jest odległością dobrego widzenia a f_2 ogniskową okularu.

Zakładając, że $f_2 \ll l$, gdzie: l - jest długością tubusa, to wówczas możemy przyjąć

$$y \cong l.$$

Zatem powiększenie obiektywu w przybliżeniu obliczamy ze wzoru

$$P_{ob} = \left| \frac{l}{f_1} \right|.$$

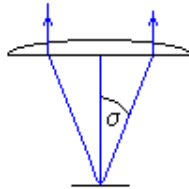
A powiększenie mikroskopu

$$P = \left| \frac{l}{f_1} \frac{D}{f_2} \right|. \quad (3)$$

Miarą zdolności rozdzielczej jest minimalna długość odcinka łączącego punkty rozpoznawane pod mikroskopem jako dwa (odcinek może być zastąpiony kątem). Zdolność rozdzielcza przyrządu decyduje o możliwości odczytania szczegółów budowy przedmiotu obserwowanego pod mikroskopem.

Zdolność rozdzielcza obiektywu wzrasta wraz ze wzrostem kąta pod jakim światło wpada do obiektywu i zależy od współczynnika załamania środowiska znajdującego się między obiektywem a obserwowanym przedmiotem.

Wielkością charakterystyczną obiektywu, określającą możliwość jego optymalnego wykorzystania w danym środowisku jest apertura numeryczna A .



Rys. 2

Przy czym

$$A = n \sin \sigma, \quad (4)$$

gdzie: n - współczynnik załamania środowiska między przedmiotem a obiektywem,

σ - kąt rozwarcia obiektywu.

Jasność obrazu mikroskopowego jest proporcjonalna do kwadratu apertury numerycznej, a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu powiększenia.

Zdolność rozdzielcza obiektywu N jest proporcjonalna do jego apertury numerycznej A a odwrotnie proporcjonalna do długości fali λ światła oświetlającego przedmiot.

$$N = \frac{1}{d} = \frac{A}{\lambda}, \quad (5)$$

gdzie; d - długość odcinka łączącego punkty rozpoznawane jeszcze jako dwa. Ostatni związek jest prawdziwy wtedy, gdy przedmiot zostanie oświetlony wiązką promieni osiowych.

A. Pomiar powiększenia mikroskopu

1. Na stoliku mikroskopowym umieszczamy płytkę z podziałką (1mm podzielony na 100 części - mikrometr przedmiotowy).
2. W odległości dobrego widzenia od osi mikroskopu umieszczamy oświetloną podziałkę milimetrową.
3. Mikroskop ustawiamy na ostre widzenie skali na płytce.
4. Jednym okiem obserwujemy obraz skali na płytce a drugim oświetloną skalę milimetrową.
5. Staramy się otrzymać nałożenie obu obrazów na siebie w oku.
6. Regulujemy tak ustawienie skali milimetrowej, aby przy przesunięciu oka nie zmieniało się wzajemnego położenia skal.
7. Odczytujemy liczbę podziałek N skali milimetrowej widzianej bezpośrednio przypadających na n działek skali widocznej pod mikroskopem.
8. Obliczamy powiększenie ze wzoru $P = \frac{N}{kn}$,
gdzie : k - stała dopasowująca jednostki obu skal.
9. Czynności z punktu 1-8 powtarzamy 5-cio krotnie. Wyznaczamy średnie powiększenie.
10. Zmieniamy okular i powtarzamy czynności z pkt. 1-9.
11. Przeprowadzamy dyskusję wyników i wykonujemy rachunek błędów.

B. Pomiar średnicy włókna szklanego (włosa).

1. Zakładamy okular pomiarowy. Na stoliku umieszczamy płytkę ze skalą wzorcową. Znajdujemy ostry obraz skali wzorcowej.

UWAGA! Skala wzorcowa winna być ustawiona równolegle do skali głównej okulara

2. Przy pomocy śruby mikrometrycznej ustawiamy krzyż z nici pajęczych na kresce 0 skali wzorcowej. Odczytujemy położenie L_1 krzyża na skali głównej i śrubie mikrometrycznej.
3. Przesuwamy (jak w pkt. 2) krzyż pajęczych na działkę $n=5$ skali wzorcowej i odczytujemy położenie L_2 krzyża pajęczego.
4. Powtarzamy pomiary z pkt. dla $n=10,15, \dots, 50$ działek.
5. Obliczamy współczynnik skalujący dla każdego pomiaru ze wzoru.

$$P = \frac{L_2 - L_1}{nd_o} ,$$

$d_o=0,01$ mm .

6. Powtarzamy czynności opisane w punktach 2-5 dwukrotnie .
7. Wyznaczamy średni współczynnik skalujący.

8. Włókno szklane umieszczamy między szkiełkiem przykrywkowym i po zdjęciu skali wzorcowej kładziemy na stoliku mikroskopowym tak, aby oś włókna była równoległa do kreski skali głównej. Mierzmy położenie krawędzi włókna, L_1' i L_2' .

9. Obliczamy średnicę ze wzoru

$$D = \frac{L_2' - L_1'}{P}.$$

10. Czynności z punktu 8 i 9 powtarzamy dziesięciokrotnie. Obliczamy wartość średnią.

11. Czynności z punktu 8 - 10 powtarzamy dla 5-ciu innych włókien.

12. Wykonujemy rachunek błędów (błąd średni kwadratowy).

13. Przeprowadzamy dyskusję wyników i błędów.

C. Pomiary elementów struktury preparatu biologicznego

1. Wyskalować mikroskop wykonując czynności opisane w części B pkt. 1-7.

2. Na stoliku mikroskopu umieścić preparat biologiczny (np. fragment przekroju gałęzi lipy) i otrzymać ostry obraz.

3. Zmierzyć średnicę 10-ciu rurek i 10-ciu włókien drzewnych łyka (patrz pkt. 9B).

4. Pomiar z pkt. 3 powtórzyć 2-krotnie i znaleźć wartość średnią.

5. Pomiary z pkt. 3 powtórzyć dla drewna (mierząc wymiary naczyń, cewek, włókien drzewnych oraz grubości promieni rdzeniowych).

6. Znaleźć średnią dla każdej (odpowiedniej) serii pomiarów.

7. Obliczyć błąd średni kwadratowy dla każdej serii pomiarów.

8. Przeprowadzić dyskusję wyników i błędów.

9. Sformułować wnioski.

D. Wyznaczanie apertury numerycznej obiektywu mikroskopu.

1. Na stoliku mikroskopu kładziemy skalę wzorcową i przykrywamy ją cienką płytką płasko równoległościenną.

2. Otrzymujemy ostry obraz górnej powierzchni płytki.

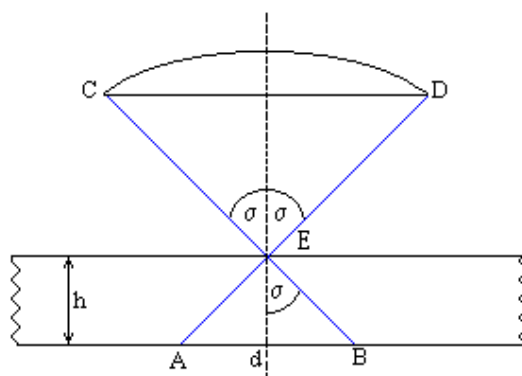
3. Zdejmujemy płytkę szklaną z nad skalą wzorcową wyjmujemy okular i na jego miejsce wkładamy rurkę zaopatrzoną w przesłonę z otworkiem.

4. Odczytujemy liczbę (n) działek skali widocznych w okienku przesłony.

5. Przeliczamy liczbę n działek na długość d wyrażoną w milimetrach.

6. Mierzmy grubość płytki h w kilku miejscach i znajdujemy wartość średnią

UWAGA! Na rysunku 3 pokazano bieg promieni od skali AB przez płytkę płasko równoległościenną o grubości h do okularu CD .



Rys. 3

Z rysunku widać, że

$$z = \operatorname{tg} \sigma = \frac{d}{2h} . \quad (6)$$

Błąd względny obliczamy korzystając z pochodnej logarytmicznej

$$\ln z = \ln d - \ln 2h ,$$

$$\frac{\Delta z}{z} = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} .$$

Z uwagi na (6) ostatni związek przybierze postać

$$\frac{\Delta \operatorname{tg} \sigma}{\operatorname{tg} \sigma} = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} ,$$

ale

$$d(\operatorname{tg} \sigma) = \frac{d\sigma}{\cos^2 \sigma} ,$$

więc

$$\frac{d(\operatorname{tg} \sigma)}{\operatorname{tg} \sigma} = \frac{d\sigma}{\cos^2 \sigma \operatorname{tg} \sigma} = \frac{d\sigma}{\cos^2 \sigma \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma}} = \frac{d\sigma}{\cos \sigma \sin \sigma} .$$

Ostatecznie możemy zapisać

$$\frac{\Delta \sigma}{\cos \sigma \sin \sigma} = \pm \left(\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} \right) . \quad (7)$$

Błąd popełniony przy pomiarze apertury obliczymy z zależności

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta \sin \sigma}{\sin \sigma} = \frac{\cos \sigma \Delta \sigma}{\sin \sigma} = \frac{\cos^2 \sigma \Delta \sigma}{\sin \sigma \cos \sigma} . \quad (8)$$

Podstawiając (7) do (8) otrzymujemy

$$\frac{\Delta A}{A} = \left(\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} \right) \cos^2 \sigma \quad (9).$$

7. Wartość kąta rozwarcia σ obliczymy ze wzoru (6) a aperturę numeryczną obiektywu A ze wzoru (4).
8. Czynności opisane w punktach 1 do 7 powtarzamy 5-ciokrotnie.
9. Błędy maksymalne Δd i Δh obliczamy z zależności na błąd średni kwadratowy.
10. Czynności 1-9 powtarzamy dla 3-ech płytek o różnych grubościach.
11. Wyznaczamy średnią aperturę ze wszystkich pomiarów.
12. Wykonujemy rachunek błędów.
13. Przeprowadzamy dyskusję wyników i błędów.

Literatura

1. S. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna , t. IV, Optyka.
2. J.R. Meyer-Arendt - Wstęp do optyki.
3. T. Dryński red. - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki.