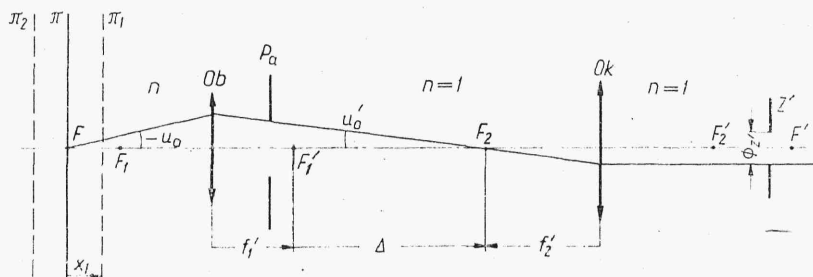


5.3.3. Głębia ostrości mikroskopu

Wyprowadzona zostanie najpierw pomocnicza zależność pozwalająca ustalić średnicę źrenicy wyjściowej mikroskopu, przy czym dla prostoty zakłada się, że mikroskop jest w stanie podstawowym. Wtedy obraz dany przez mikroskop znajduje się w nieskończoności ($1/L = 0$) i ognisko przedmiotowe okularu pokrywa się z obrazem danym przez obiektyw. Zgodnie z przebiegiem skrajnego promienia aperturowego (rys. 5.30) z uwagi na małą wartość kąta u'_0 średnica źrenicy wyjściowej mikroskopu $\Phi_{z'}$, niezależnie od jej położenia wyniesie

$$\Phi_{z'} = 2f'_2 u'_0$$



Rys. 5.30

Ponieważ korekcja obiektywów mikroskopowych zapewnia spełnienie warunku sinusów (2.115), to przy założeniu, że tylko dla przestrzeni przedmiotowej obiektywu współczynnik załamania może być różny od 1, wtedy

$$\beta_{ob} = \frac{n \sin u_0}{\sin u'_0} \approx \frac{A_0}{u'_0}$$

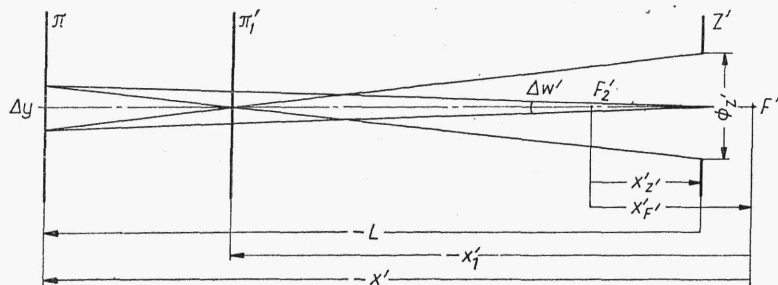
Uwzględniając wzór (5.32) ostatecznie

$$\Phi_{z'} = \frac{500 A_0}{G} \quad (5.35)$$

Jeżeli powiększenie mikroskopu dobrane jest zgodnie z warunkiem (5.34), wówczas średnica źrenicy wyjściowej mikroskopu może się zmieniać między 0,5 i 1 mm. Z taką małą średnicą źrenicy wyjściowej związane jest zmniejszenie się, w porównaniu z obserwacją bez przyrządu kąta aperturowego u'_m w przestrzeni obrazowej oka i zgodnie z zależnością (2.148) wielokrotne obniżenie natężenia oświetlenia E' w płaszczyźnie siatkówki. Pociąga to za sobą konieczność stosowania specjalnych układów oświetlających tak podwyższających luminancję L przedmiotu, aby uzyskać odpowiednią wartość E' .

Przechodząc do zagadnień głębi ostrości niech Z' (rys. 5.31) jest źrenicą wyjściową mikroskopu, π' płaszczyzną obrazu sprzężoną z siatkówką oka obserwatora, F' — ogniskiem obrazowym mikroskopu, zaś F'_2 — ogniskiem obrazowym okularu. Obrazy punktów płaszczyzny π'_1 , będą tworzyły w płaszczyźnie odwzorowania π' plamki Δy , które widoczne są przez obserwatora pod kątem $\Delta w'$ przy czym jak widać z rysunku

$$\Delta w' = -\frac{\Delta y}{L} = \Phi_{z'} \left(\frac{1}{L} - \frac{1}{x'_1 + x'_{F'} - x'_{z'}} \right) \quad (5.36)$$



Rys. 5.31

Jeżeli przez Δw_g oznaczony będzie maksymalny kątowy wymiar plamki, który można dopuścić w określonych warunkach obserwacji, to warunkiem położenia płaszczyzny π_1 w głębi ostrości układu jest $|\Delta w'| \leq \Delta w_g$, co zgodnie z wyrażeniem (5.36) dla obserwatora akomodującego na odległość nieskończenie dużą ($1/L = 0$) daje nierówność

$$\frac{\Phi_{z'}}{|x'_1|} \leq w_g \quad (5.37)$$

przy czym ponieważ przysłona aperturowa P_a (rys. 5.30) mikroskopu najczęściej znajduje się w pobliżu ogniska obrazowego obiektywu, pominięto tu odległość $x'_{F'}$ — x'_z , która jest mała w porównaniu z x'_1 .

Z warunku $1/L = 0$ wynika, że płaszczyzna przedmiotu pokrywa się z ogniskiem przedmiotowym F mikroskopu (rys. 5.30) i jeżeli znana jest z nierówności (5.37) graniczna odległość x_{1g} , to jej odpowiadające przesunięcie x_{1g} płaszczyzny π_1 sprzężonej z π'_1 mierzone względem π opisane będzie równaniem Newtona

$$x_{1g} = -\frac{nf_m'^2}{x_{1g}} \quad (5.38)$$

gdzie: f'_m — ogniskowa mikroskopu, zaś n — współczynnik załamania przestrzeni przedmiotowej.

Ale ponieważ zgodnie z zależnością (5.29) między powiększeniem wizualnym mikroskopu a jego ogniskową istnieje związek $G = 250/f'_m$, to biorąc pod uwagę ponadto wzory (5.37), (5.38) oraz (5.35) odległość między granicznymi płaszczyznami π_1 i π_2 przestrzeni przedmiotowej wyznaczającymi przedział głębi ostrości mierzony w milimetrach wyniesie

$$2x_{1g} = \frac{n 250 \Delta w_g}{G A_0} \quad (5.39)$$

Dobierając powiększenie $G = 500 A_0$ zgodnie z dolną granicą warunku (5.34) otrzymuje się

$$2x_{1g} = \frac{n \Delta w_g}{2 A_0^2} \text{ mm} \quad (5.40)$$

Wtedy (p. 5.3.2 i 3.3.2) obrazem punktu leżącego w płaszczyźnie π i danego przez układ bezaberracyjny jest plamka Δw_g , której środkowe maksimum widoczne jest przez obserwatora pod kątem $4'$.

Jeżeli dla przykładu założy się, że dopuszczalnym warunkiem położenia płaszczyzny π_1 , w głębi ostrości mikroskopu jest dwukrotnie większa średnica plamki obrazu punktu, wówczas $\Delta w_g = 4'$ i z wyrażenia (5.40) po zmianie minut na radiany otrzymuje się

$$2x_{1g} = \frac{n 0,6}{A_0^2} \mu\text{m}$$

W skrajnym przypadku dla obiektywu immersyjnego $100\times$, $A_{0\max} = 1,4$, $n = 1,5$ i $2x_{1g} = 0,46 \mu\text{m}$. Dla obiektywu o powiększeniu $10\times$ $n = 1$, $A_0 = 0,25$, więc $2x_{1g} = 10 \mu\text{m}$. Z uwagi na tak małą głębłą ostrości mikroskopy wymagają precyzyjnych mechanizmów ustalających ich położenia względem przedmiotu.

Przytoczone tu dane liczbowe wskazują jednak tylko na rząd tych wielkości, gdyż trudno poza przedmiotami punktowymi ustalić wartości kąta Δw_g . Ogólnie zależą one od rodzaju przedmiotu (rozkładu w nim intensywności) oraz stopnia koherencji oświetlenia. Teoretycznie należałoby to zagadnienie rozpatrywać w kategoriach spadku kontrastu obrazu (zmniejszenie się modułu funkcji przenoszenia) w zależności od częstości przestrzennych przedmiotu. Większość przedmiotów jednak charakteryzuje się dość złożonym widmem częstości, co praktycznie uniemożliwia ogólne rozwiązanie zagadnienia.

5.3.4. Mikroskopy biologiczne

W zależności od przeznaczenia i związanych z tym wymagań dotyczących jakości odwzorowania, stosowanego powiększenia, dodatkowego wyposażenia itp. mikroskopy można podzielić na pewne grupy. Do najczęściej spotykanych należą mikroskopy biologiczne, metalograficzne, warsztatowe, projekcyjne i stereoskopowe. Większość podstawowych elementów mikroskopów jest wspólna dla wszystkich typów, lecz z uwagi na różne wymagania ich budowa jest różna. Z uwagi na zakres powiększeń i wyposażenia mikroskopy biologiczne obok metalograficznych należą do najbardziej złożonych i dlatego zostaną omówione w pierwszej kolejności.

Specyfika obserwacji biologicznych wymaga najpierw ogólnej oceny preparatu przy względnie dużym polu widzenia i małym powiększeniu, a następnie po wybraniu interesującego fragmentu przejścia do obserwacji szczegółów pod dużym powiększeniem. Wiąże się z tym konieczność szybkiej zmiany powiększenia i dostosowania zgodnie z warunkiem (5.34) odpowiedniej apertury obiektywu. Teoretycznie można byłoby zrealizować układ, który miałby odpowiednio dużą aperturę w całym zakresie powiększeń, lecz praktycznie niemożliwe jest skonstruowanie obiektywu, który by jednocześnie przenosił pole niezbędne przy małych powiększeniach i miał aperturę stosowaną przy największych ich wartościach. Dlatego zmiana powiększenia odbywa się przez wymianę obiektywów, zamocowanych najczęściej w uchwycie rewolwerowym, których konstrukcja powinna zapewniać dla danego powiększenia okularu właściwą relację między powiększeniem mikroskopu a jego aperturą (zależność 5.34). Ewentualna zmiana powiększenia okularu jest zabiegiem pomocniczym, umożliwiającym dopasowanie powiększenia zgodnie z nierównością (5.34) do indywidualnych cech obserwatora.