

Optyka instrumentalna

wykład 8

23 kwietnia 2018

poniedziałek

Wykład 7

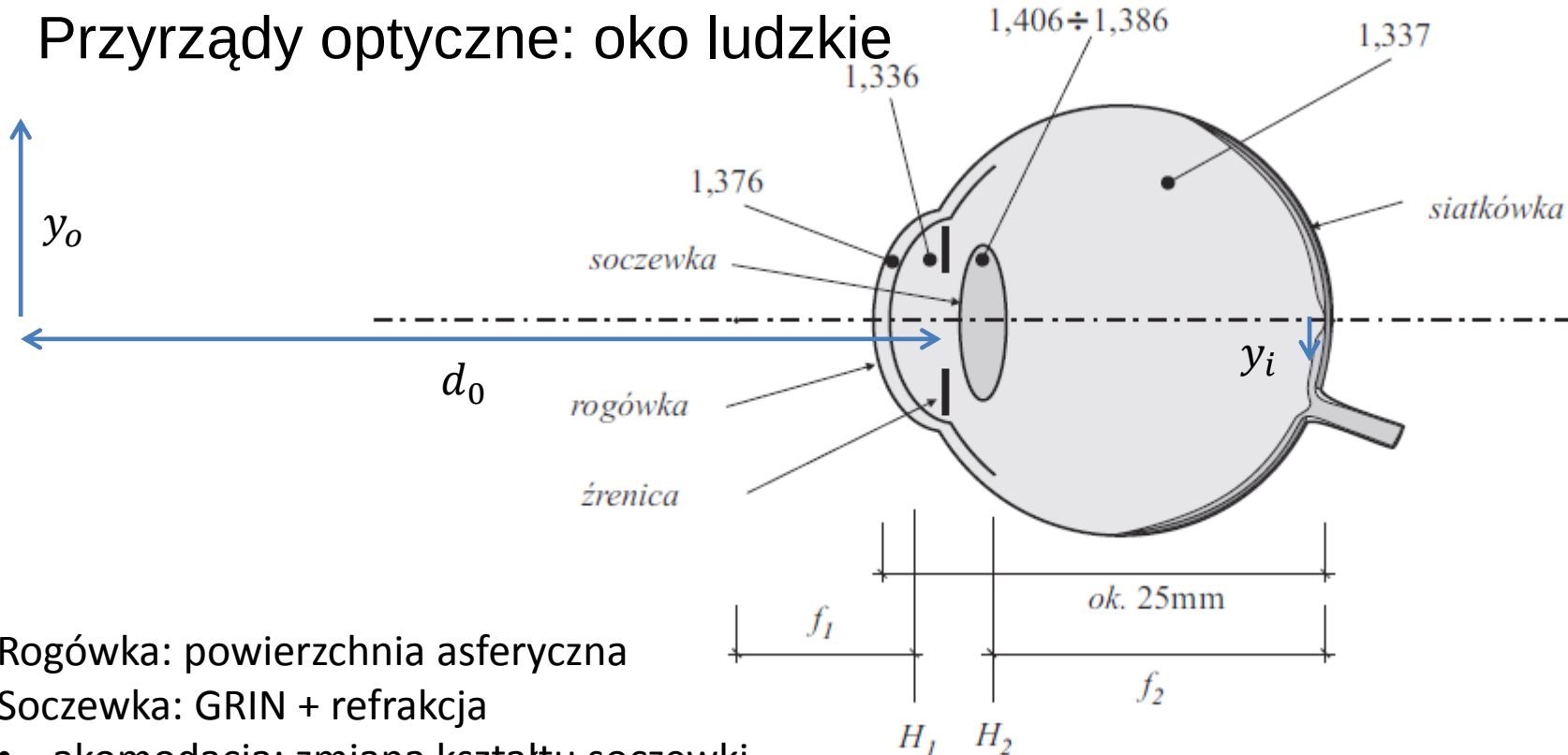
Optyka geometryczna cd.

- Aberracje geometryczne
 - Koma
 - Astygmatyzm
 - Krzywizna pola, dystorsja (polowe)
- Aberracja chromatyczna
- Miary jakości obrazowania
 - PSF – funkcja rozmycia punktu
 - MTF – funkcja transferu modulacji

- Apertura, źrenica wejściowa, wyjściowa
- Przesłona polowa
- Jakość układu optycznego: apertura numeryczna, apertura względna (*f-number*, $f/1$, $f/4$, $f/16$)

- Śledzenie promieni (*ray tracing*)

Przyrządy optyczne: oko ludzkie



Rogówka: powierzchnia asferyczna

Soczewka: GRIN + refrakcja

- akomodacja: zmiana kształtu soczewki
 - Odległość przedmiotu: 10 cm – ∞
 - Krótko/daleko wzroczność

Rozmiar źrenicy wejściowej: 2 – 8 mm

Siatkówka:

- czopki (średnica 2 μm , widzenie cz.-b.)
- pręciki (średnica 6 μm , widzenie kolorowe – 3 rodzaje pręcików)

Odległość dobrego widzenia $d_0 = 250$ mm

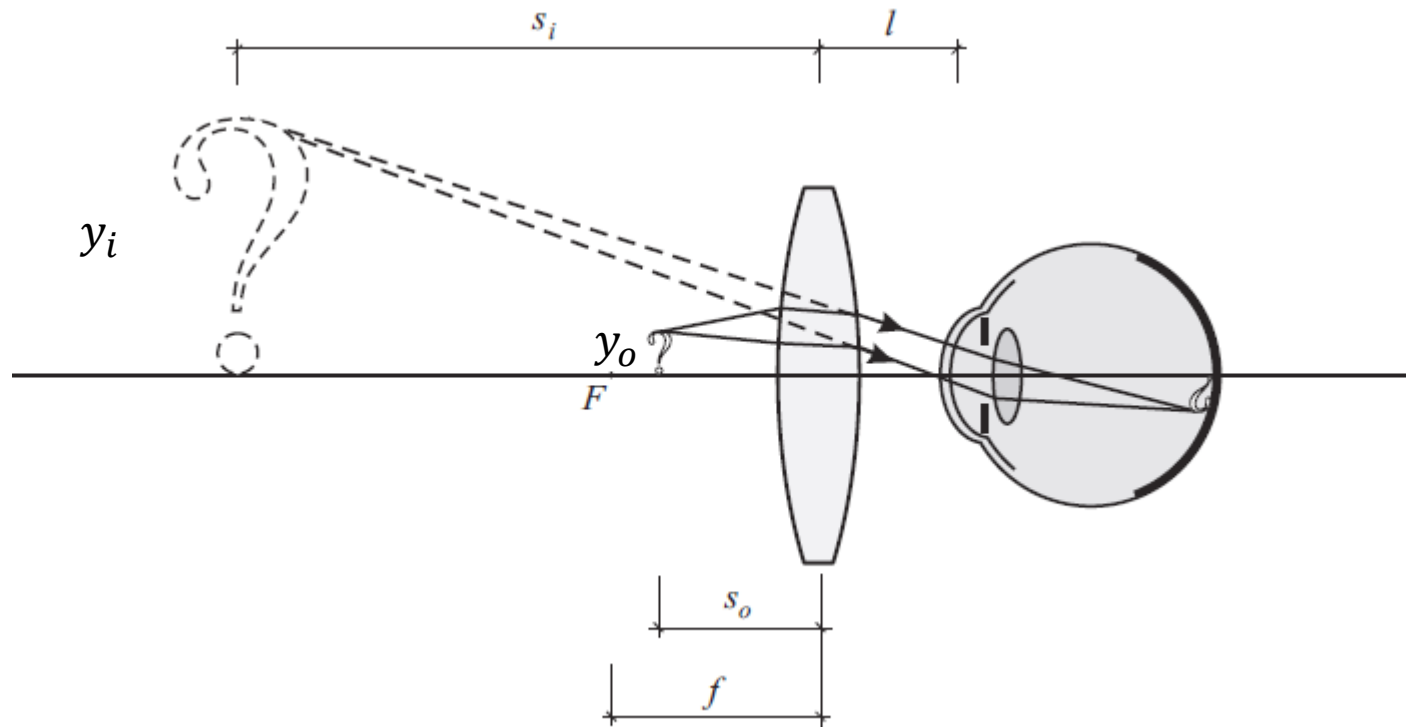
Zdolność rozdzielcza

$$\text{Wyznaczymy: } \frac{y_i}{y_0} \simeq \frac{f_2}{d_0} \simeq -\frac{1}{10}$$

Odległość między czopkami 10 μm \Rightarrow
zdolność rozdzielcza ok. 0,1 mm

Kątowa zdolność rozdzielcza ok. 1'

Lupa



Powiększenie (kątowe)

$$m_L = \frac{y_i/L}{y_o/d_o}, \quad (L = s_i + l, \text{ odległość obrazu od oka})$$

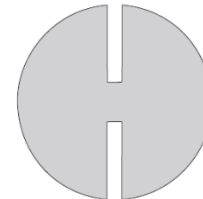
$$\frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o} = 1 - \frac{s_i}{f} = 1 + \frac{L-l}{f}$$

$$m_L = \frac{d_o}{L} \left[1 + \frac{L-l}{f} \right]$$

- „Lutowanie”, $l = f$ $m_L = d_o/f$
- „Zegarmistrz”, $l \approx 0$ $m_L = d_o \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{f} \right)$
 - Dla $L \approx d_o$ $m_L = 1 + \frac{d_o}{f}$
- „Wygodne”, $L = \infty$ $m_L = \frac{d_o}{f}$

Powiększenie 2-3 (ograniczone przez aberracje)

Soczewka Coddingtona: $m_L = 10$



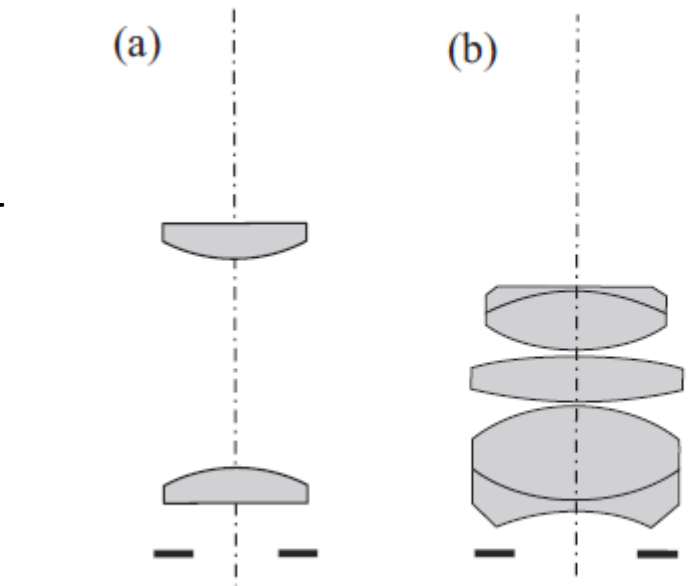
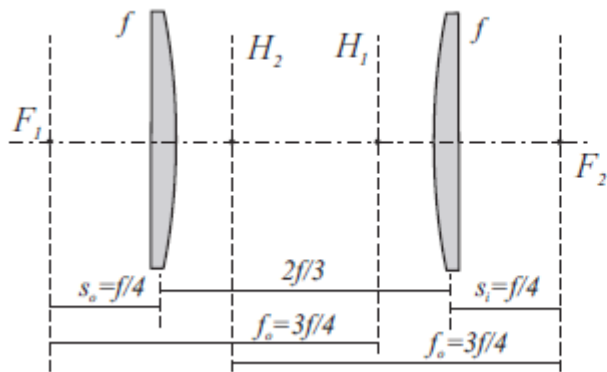
Okular

Przedmiot w skończonej odległości – obraz pozorny w nieskończoności

Powiększenie (jak dla lupy)

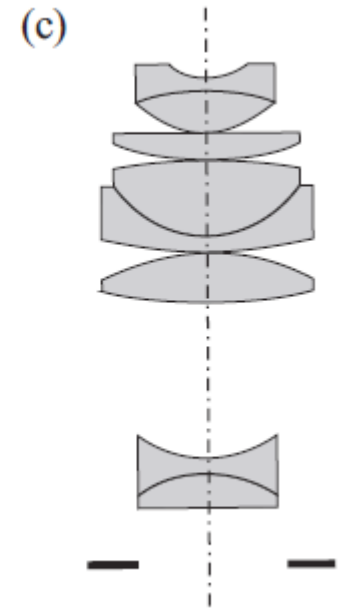
$$M_{\text{ok}} = \frac{d_0}{f} = \frac{0,25 \text{ m}}{f}$$

Prosty przykład (Ramsden, XIX w.)

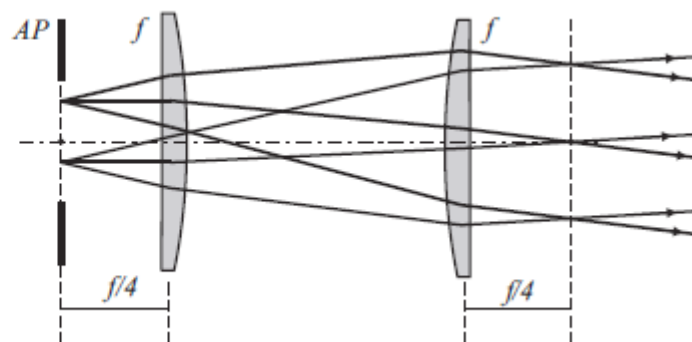


Ramsden

Erfle



Nagler II



Istotne parametry: powiększenie (x5 – x20), położenie źrenicy wyjściowej, jakość obrazowania

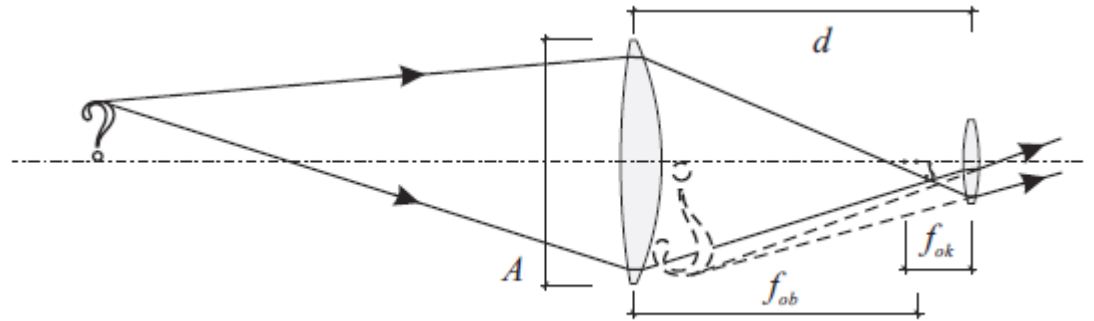
Luneta

Oberwacja odległych obiektów

Obiektyw (obraz rzeczywisty)

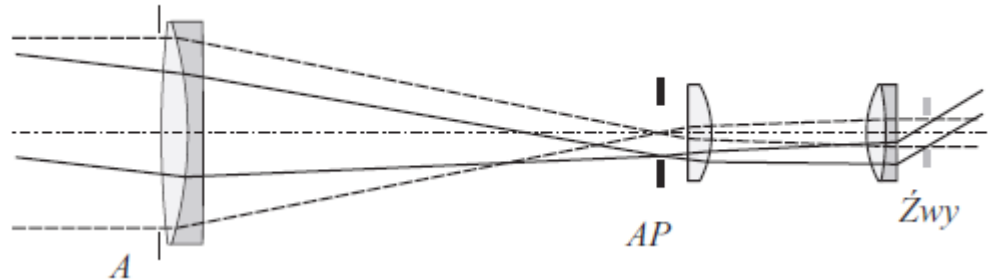
Okular (obraz pozorny)

Luneta afokalna: $f_{ok} + f_{ob} = d$
 (nieskończoność – obraz rzeczywisty – nieskończoność)



Rozdzielczość kątową

$$M_\alpha = \frac{\alpha_i}{\alpha_o} = -f_{ob}/f_{ok}$$



Zaprojektujmy lunetę:

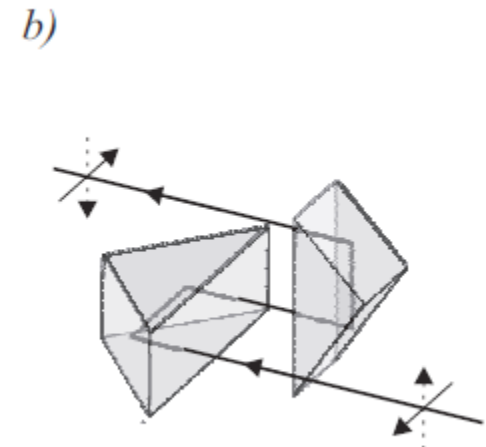
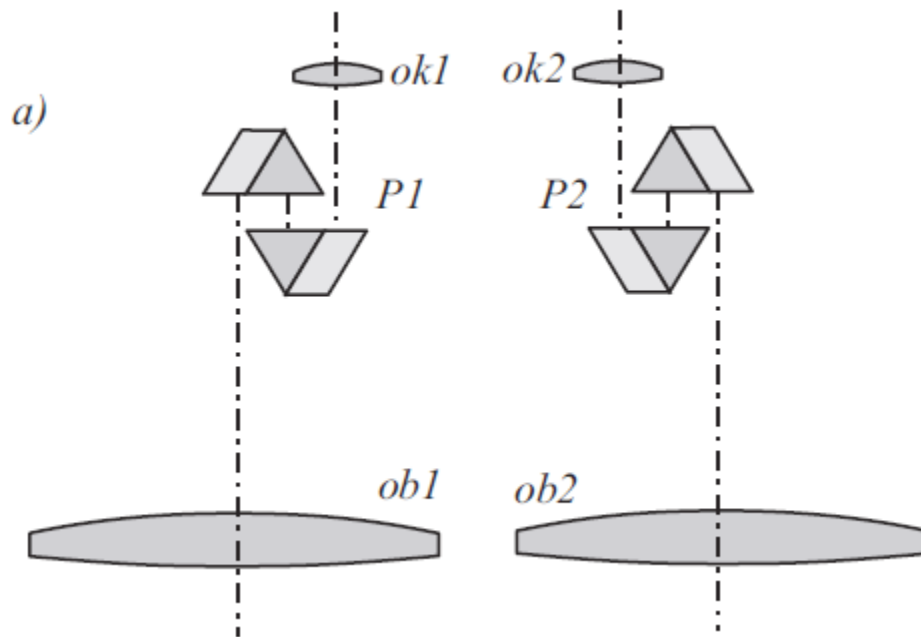
Założenia: $M_\alpha = 50$, standardowy okular $10\times \Rightarrow f_{ok} = 2,5\text{ cm}$

Obiektyw: achromat o $f_{ob} = 125\text{ cm}$.

Średnica soczewki: $10\text{ cm} \Rightarrow \frac{A_{\text{żwy}}}{A} = \frac{f_{ok}}{f_{ob}} \Rightarrow \text{średnica ż. wyjściowej } 2\text{ mm}$
 mała!

Lornetka

Luneta + odwracanie obrazu

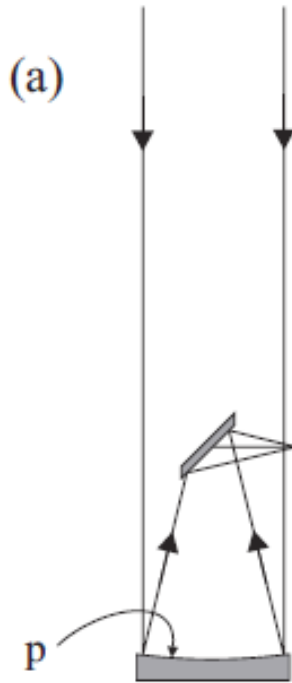


Pryzmat Porro (podwójny)

Powiększenie typowo 10x
Ograniczone przez stabilność ręki!

Teleskopy zwierciadlane

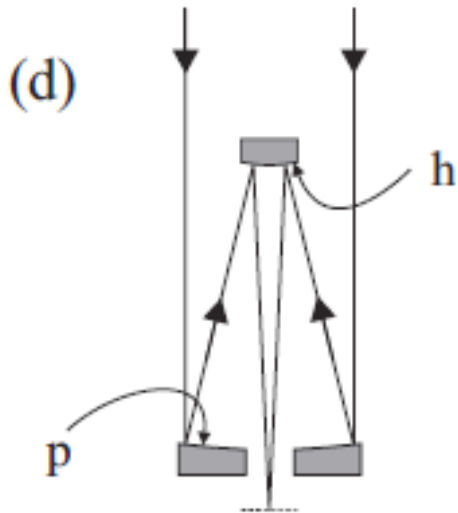
Luneta refrakcyjna: ograniczona apertura soczewki (z przyczyn mechanicznych)



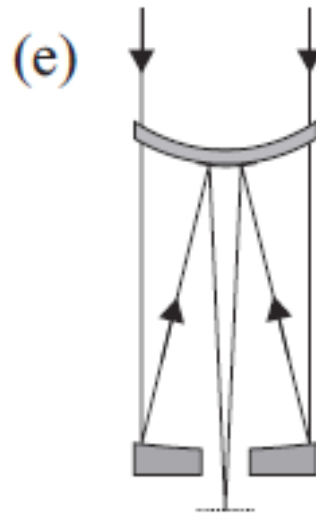
Newtona – lustro paraboloidalne, bardzo silne aberracje poza osią.

Newton i Schmidt – konieczny bardzo długi tubus.

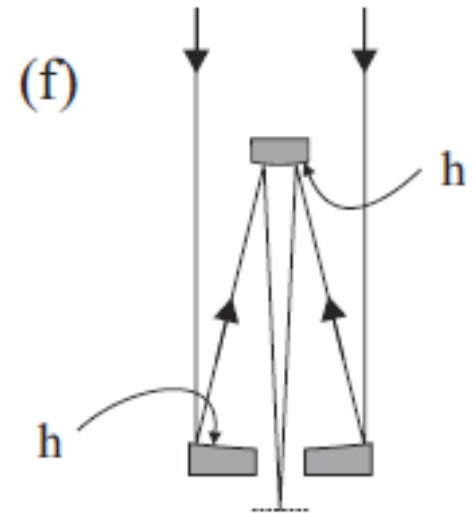
Teleskopy zwierciadlane



Cassegrain – moc optyczna rozłożona na 2 lustra (paraboloidalne i hiperboloidalne). Silne aberracje (koma)



Maksutow-Cassegrain: lustro sferyczne, sferyczna płytką korygująca aberrację sferyczną, na płytkę napylone wtórne lustro Cassegrain.



Ritchey-Chretien – 2 lustra hiperboloidalne, mała koma, dominuje astygmatyzm i krzywizna pola.

Mikroskop optyczny

Przedmiot w pobliżu ogniska obiektywu, obraz pośredni z powiększeniem M_{ob} .

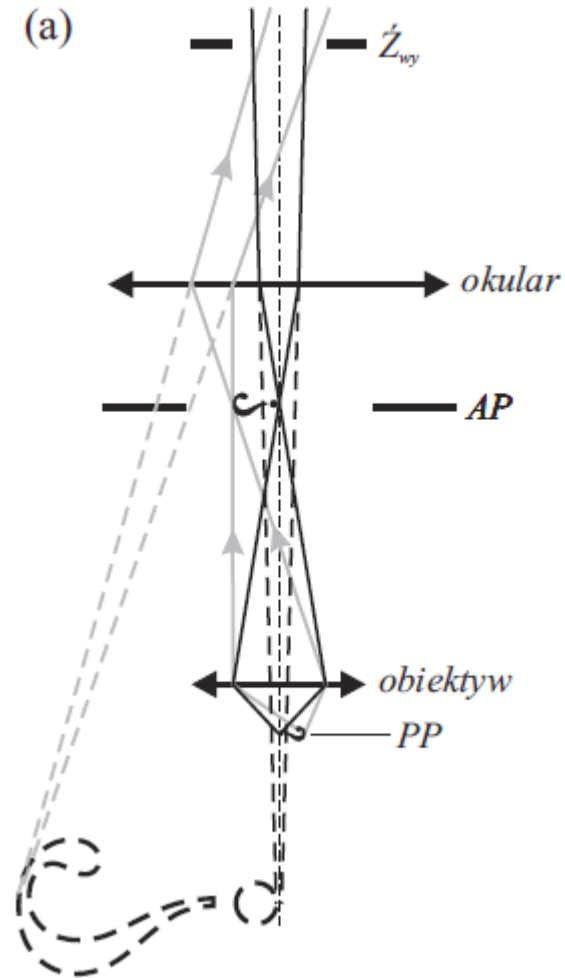
Okular o powiększeniu M_{ok} .

Całkowite powiększenie

$$M = M_{ob} \cdot M_{ok}.$$

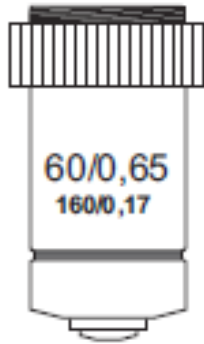
W klasycznym mikroskopie standardowa odległość pomiędzy kołnierzem obiektywu o pośrednią płaszczyznę obrazową (160 – 200 mm, w zależności od producenta)

Obiektyw skorygowany na nieskończoność: konieczna dodatkowa soczewka w tubusie (*tube lens*) aby wytworzyć obraz.

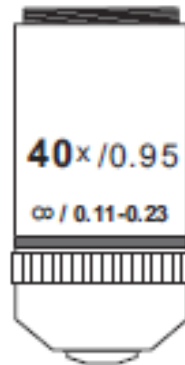


Obiektywy mikroskopowe

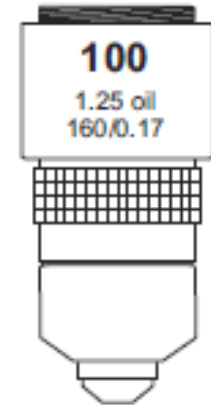
(a)



(b)



(c)



Powiększenie (5 x – 100 x)

Apertura numeryczna: 0.1 – 0.8 (bez imersji) – 1.4 (imersyjne).

Ograniczenie dyfrakcyjne rozdzielczości:

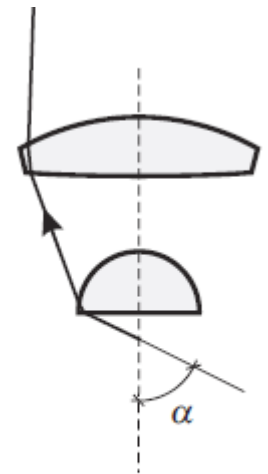
$$\delta x = \frac{1.22\lambda_0}{NA}$$

Odległość obrazu pośredniego: 160 – 200 mm lub ∞

Grubość szkiełka nakrywkowego (typowo 0.14, przemysłowe: 0, ew. pierścień regulacyjny)

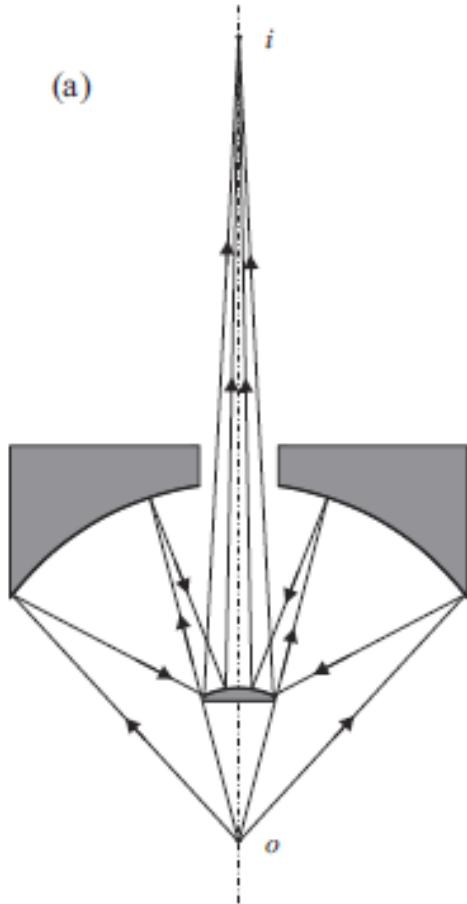
Odległość robocza (WD): 0.1 – 100 mm.

Ew. inne informacje (rodzaj imersji, sposób korekcji aberracji: achromat, apochromat...)

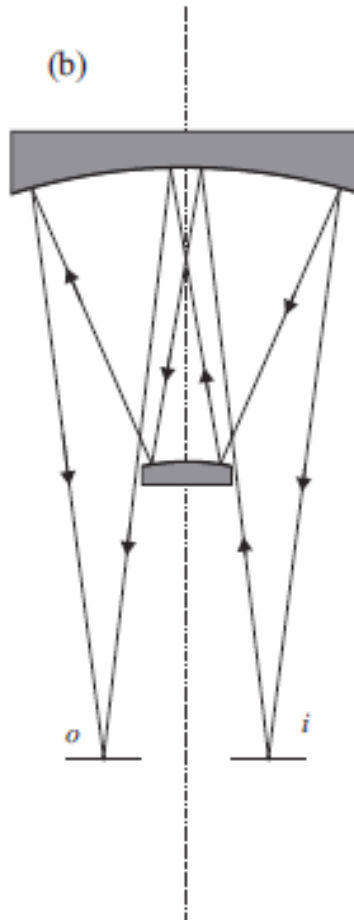


$$NA = n \sin \alpha$$

Obiektywy zwierciadlane



Schwarzschilda (lustra sferyczne współśrodkowe, korekcja komy i astygmatyzmu)



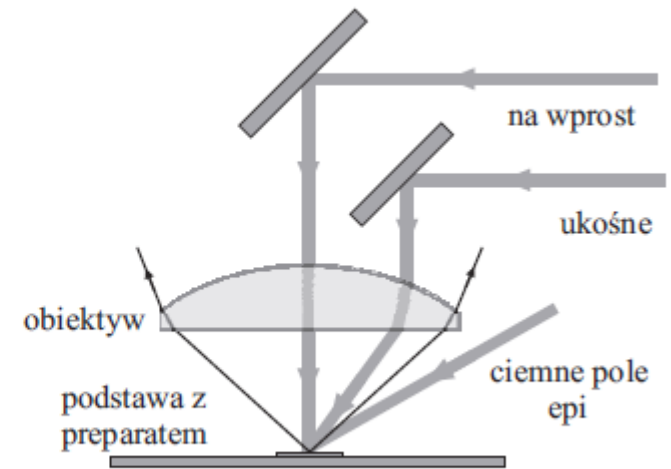
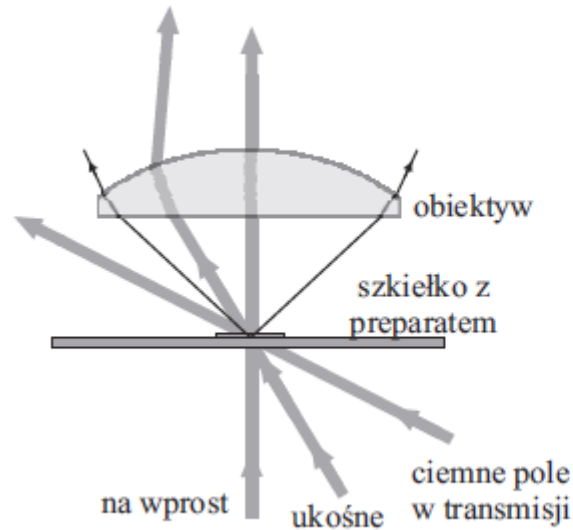
Offnera (pozaosiowy)

Zastosowanie:
Ultrafiolet, podczerwień

Brak aberracji
chromatycznej

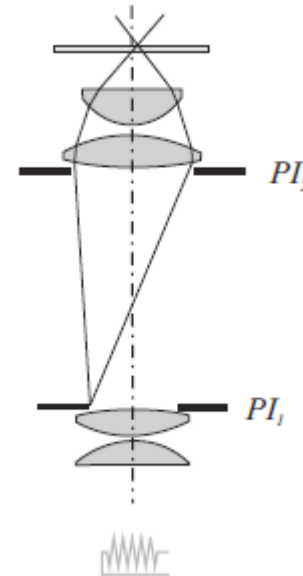
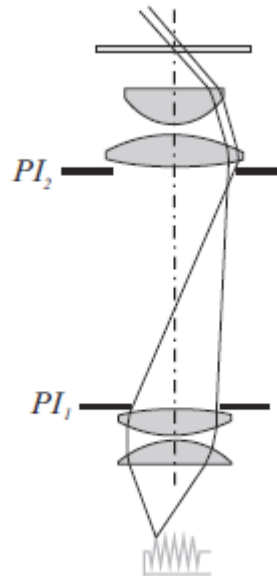
Oświetlenie

Oświetlacze:
transmisyjne (dia)
odbiciowe (epi)



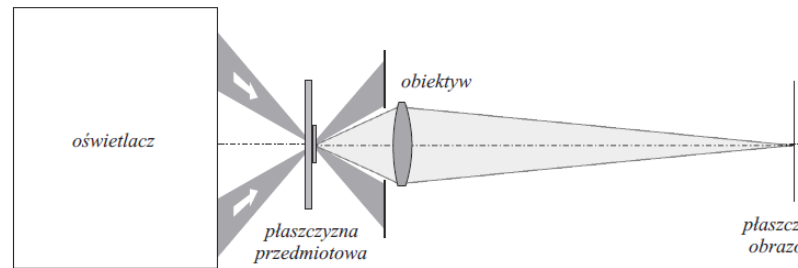
Oświetlacz Kohlera

- Równomierne oświetlenie
- Możliwość regulacji średnicy oświetlonego obszaru



Techniki mikroskopowe

- Standardowa, z oświetleniem transmisyjnym lub odbiciowym.
- Ciemnego pola (tylko światło rozproszone rejestrowane przez obiektyw).



- Polaryzacyjna (próbka pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami, widoczne elementy próbki zmieniające polaryzację. Konieczny obiektyw bez dwójłomności).
- Mikroskop z kontrastem fazowym (interferencja światła z próbki z przesuniętą w fazie wiązką oświetlającą – obrazowanie obiektów fazowych: całkowicie przezroczystych. Nobel 1953: Frits Zernike, Holandia)
- Mikroskop Nomarskiego (differential interference contrast, DIC): pomiar gradientu drogi optycznej w próbce.

