

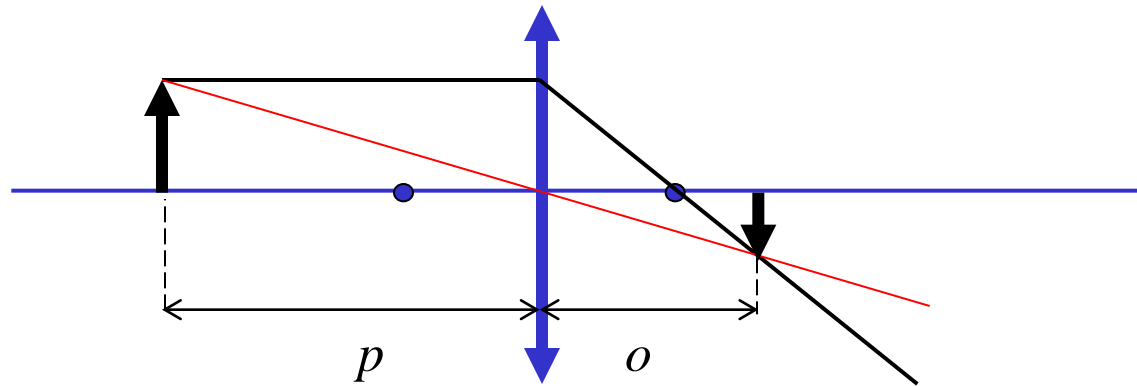
Optyka – kurs wyrównawczy
optyka geometryczna
przyrządy optyczne, aberracje

2011 r.

Przyrządy do obserwacji okiem

Gdy obserwujemy okiem, to ważne jest powiększenie kątowe

Powiększenie liniowe w przypadku teleskopu jest < 1

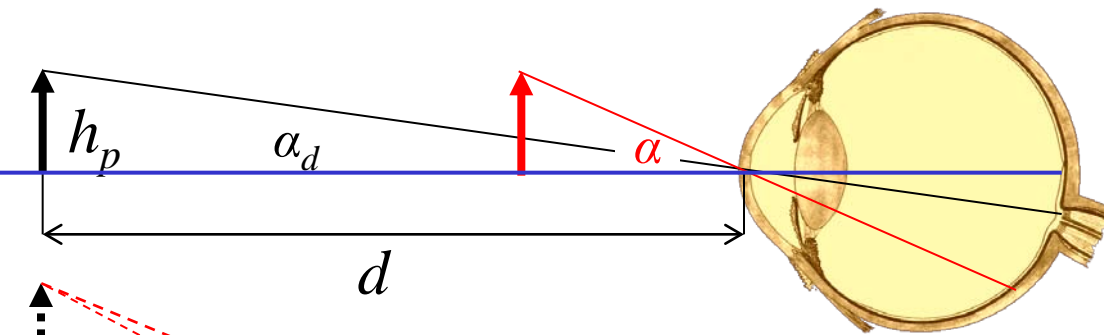


Powiększenie liniowe:

$$M = -\frac{o}{p}$$

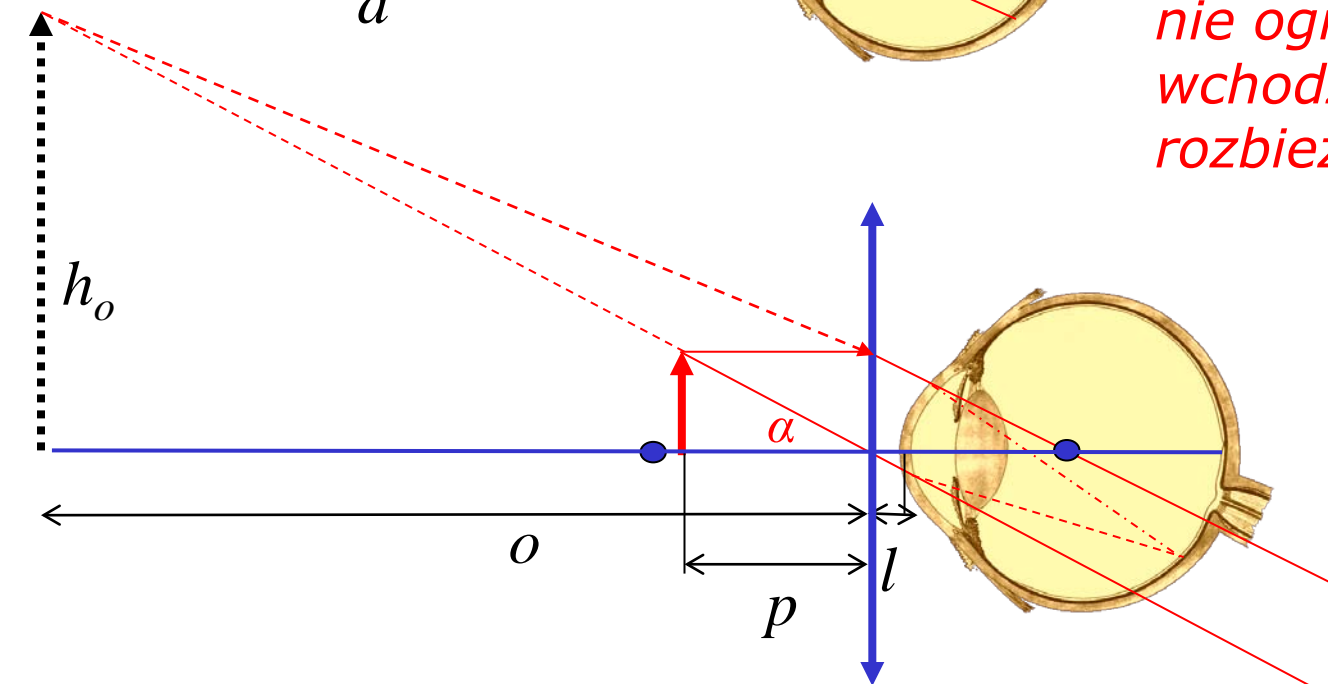
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f}$$

Powiększenie kątowe (PK) gdy obserwujemy okiem:



ogniskuje się na siatkówce, bo do oka wchodzi wiązka prawie równoległa

nie ogniskuje się, bo do oka wchodzi wiązka za bardzo rozbieżna



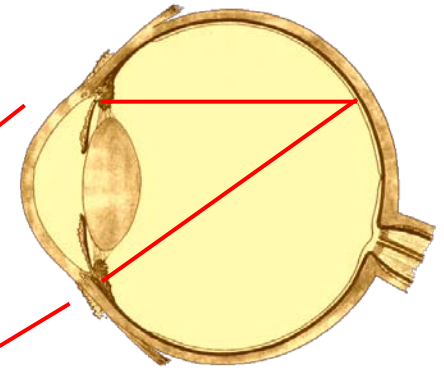
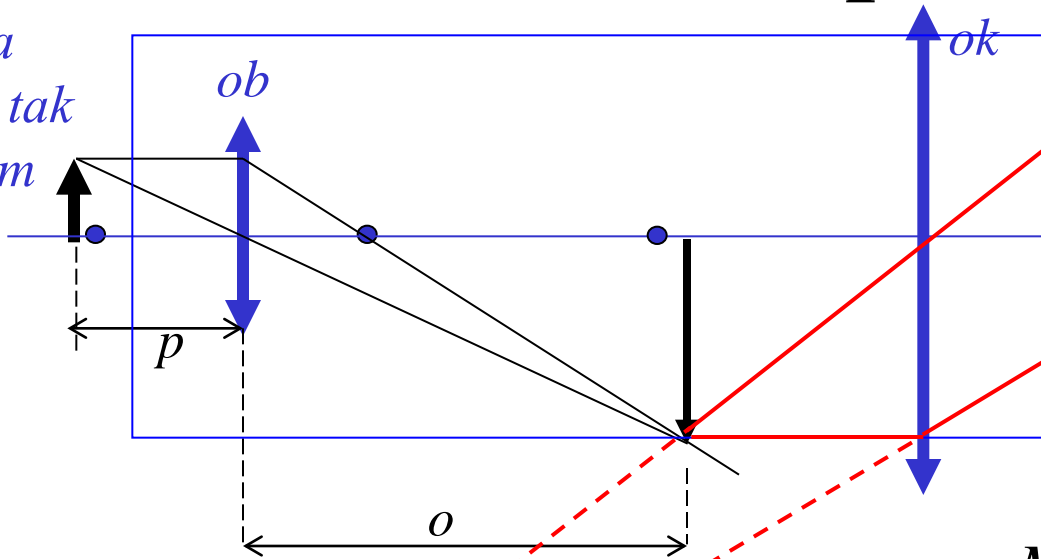
$d = 25 \text{ cm}$
– oko rozluźnione!

ogniskuje się, bo teraz wiązka jest prawie równoległa

$$PK = \frac{\alpha}{\alpha_d} = -\frac{h_o/o}{h_p/d} = \frac{o}{p} \frac{d}{o} \xrightarrow{p=f} \frac{d}{f} = \frac{25 \text{ cm}}{f[\text{cm}]}$$

Mikroskop

układ w ramce
się przesuwa
jako całość, tak
aby $o = 16 \text{ cm}$



$$M = -\frac{o}{p} \approx \frac{-16 \text{ cm}}{f_{ob}}$$

obiektyw 10X, $f_{ob} = 1,6 \text{ cm}$

obiektyw 100X, $f_{ob} = 0,16 \text{ cm}$

$$PC = \frac{-25 \text{ cm}}{f_{ok}} \frac{16 \text{ cm}}{f_{ob}}$$

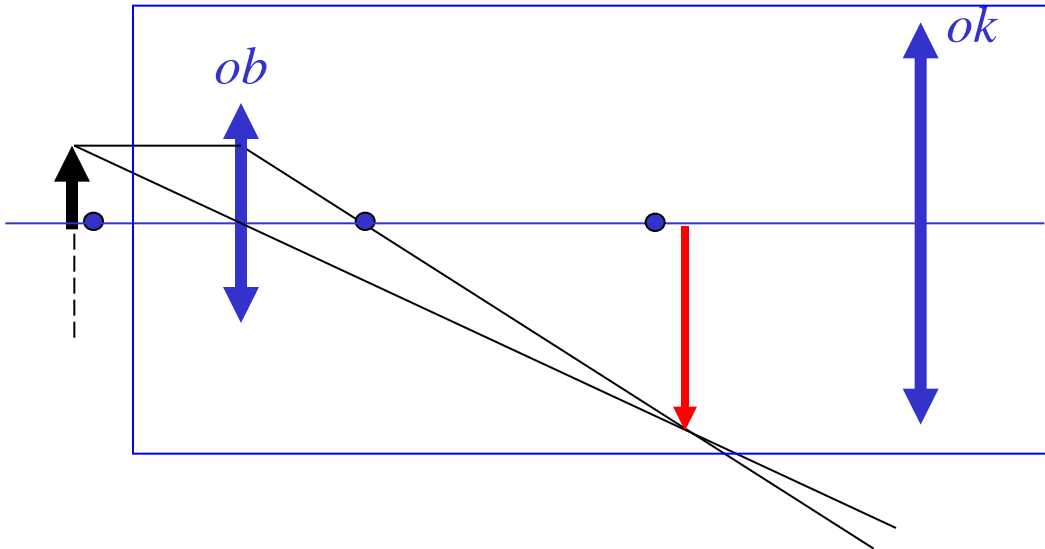
$$PK = \frac{25 \text{ cm}}{f_{ok}}$$

okular 10X, $f_{ok} = 2,5 \text{ cm}$

25 cm



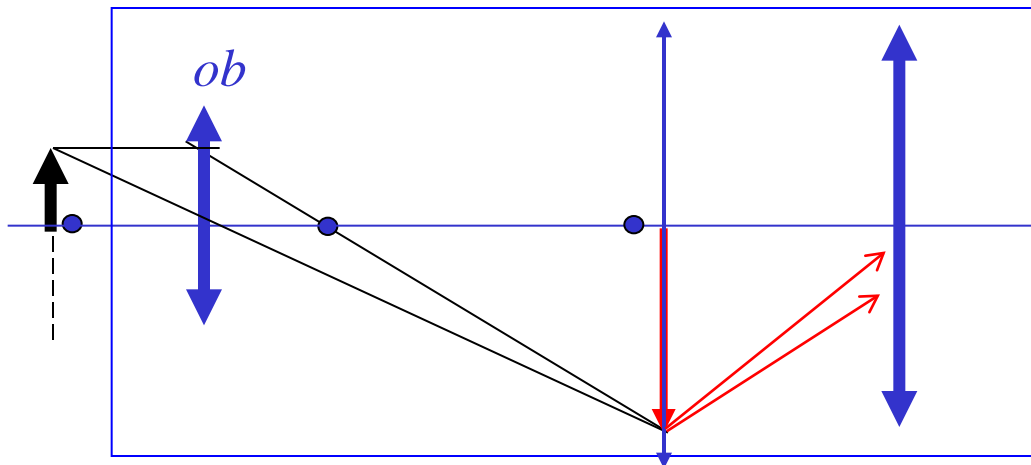
Soczewka polowa



mikroskop

<

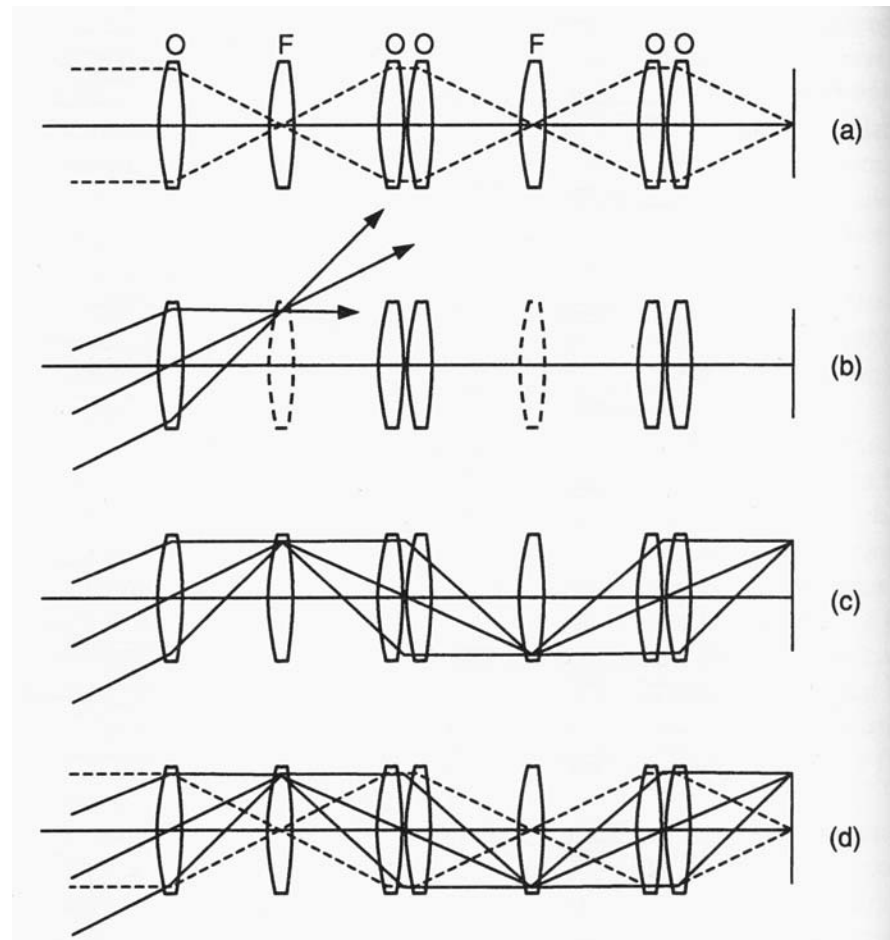
Przedmiotem dla okularu jest obraz wytworzony przez promienie biegnące od obiektywu. Większość z nich nie trafiłaby do okularu bez soczewki polowej.



Dla soczewki polowej:

$$p = o = 0, PL = 1$$

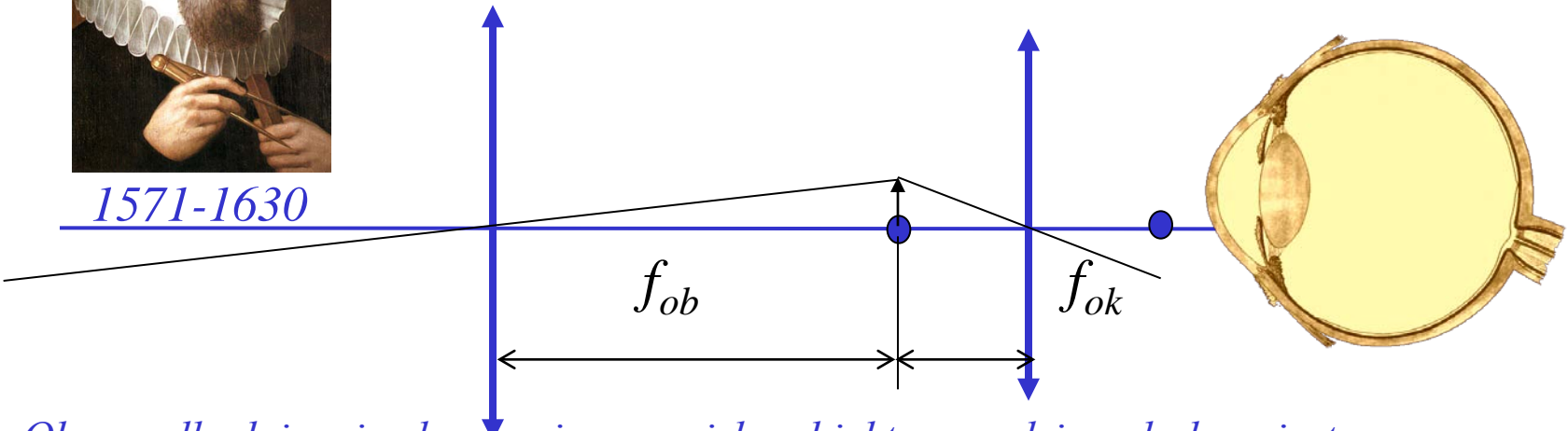
Peryskop





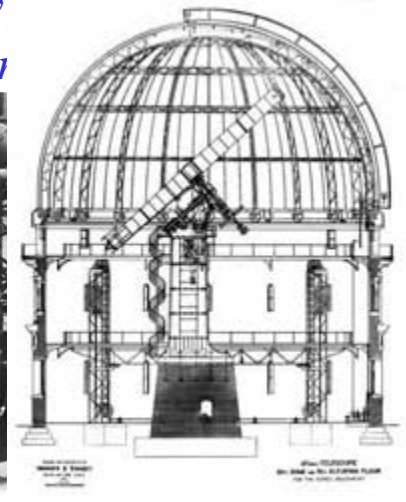
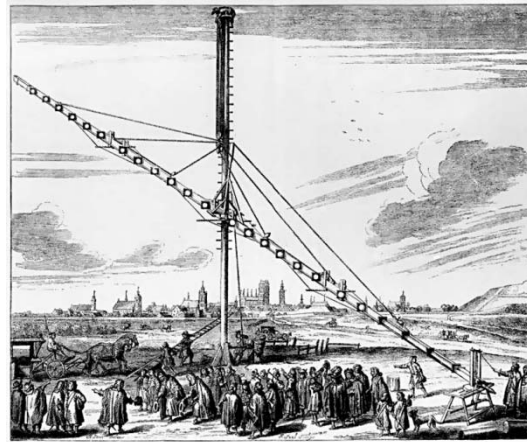
1571-1630

Teleskop Keplera 1611



Obraz odległej gwiazdy prawie w ognisku obiektywu, gdzie oglądany przez lupę. Powiększenie kątowe. , Heweliusz 1670 ($f_{ob}=45\text{ m}$ $\Phi=8'' = 0,21$)

$$PK = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

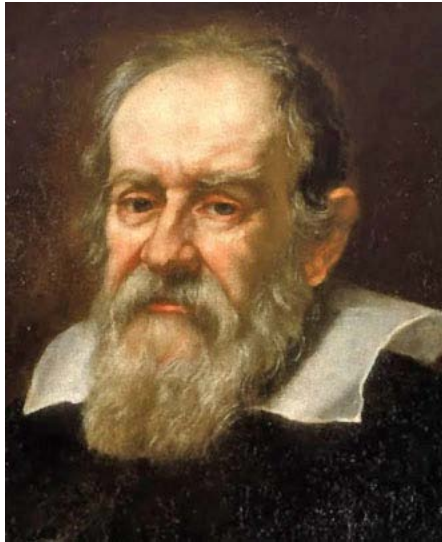
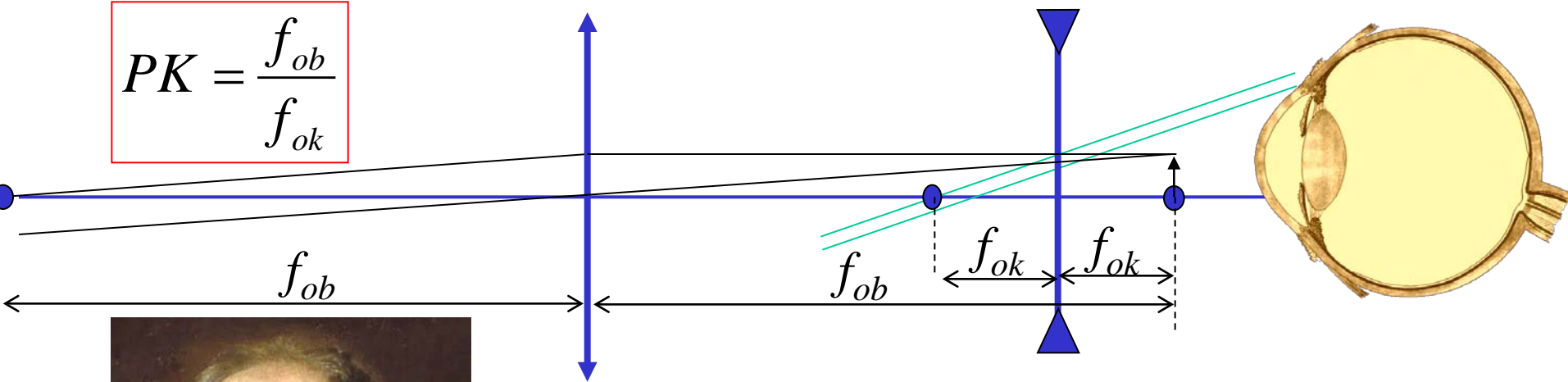


$f \approx 18\text{ m}$, $\Phi = 1.02\text{ m}$ - Yerkes observatory

Uwaga: Powiększenie liniowe jest mniejsze niż 1. Zyskujemy na większej ilości światła (bo średnica obiektywu większa niż źrenicy) oraz obraz jest większy na siatkówce.

Teleskop Galileusza (1609) +400 = rok astronomii

$$PK = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$



1564-1642

Obraz prosty, więc nadaje się do użycia na Ziemi.

Lornetka oznaczenia:

6x30 = powiększenie x apertura obiektywu w mm

Teleskop w laboratorium

Zwężanie lub rozszerzanie wiązki laserowej.

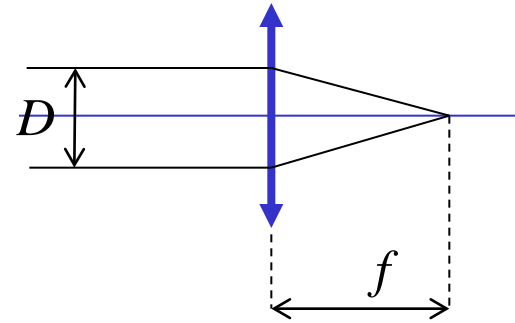
Teleskop Galileusza – nie ma obszaru o dużej gęstości energii

Dwa ważne pojęcia

Liczba otworowa (f-number) = $f/\# = f/D$

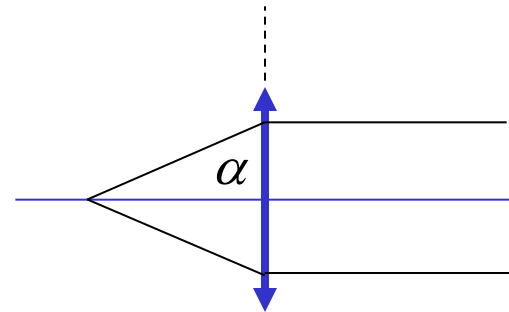
wiązka równoległa

→ Aparaty fotograficzne, monochromatory



Apertura numeryczna, $A = n \sin \alpha$

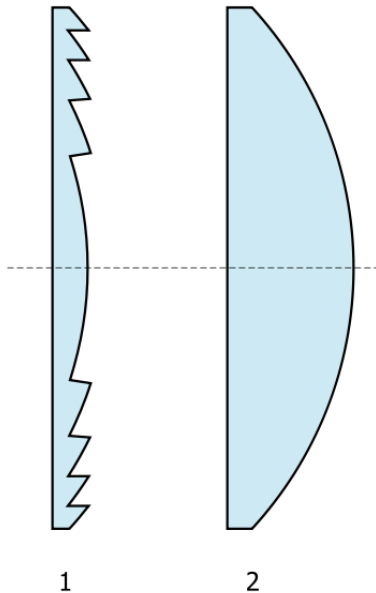
→ Mikroskop, światłowod



Soczewka Fresnela

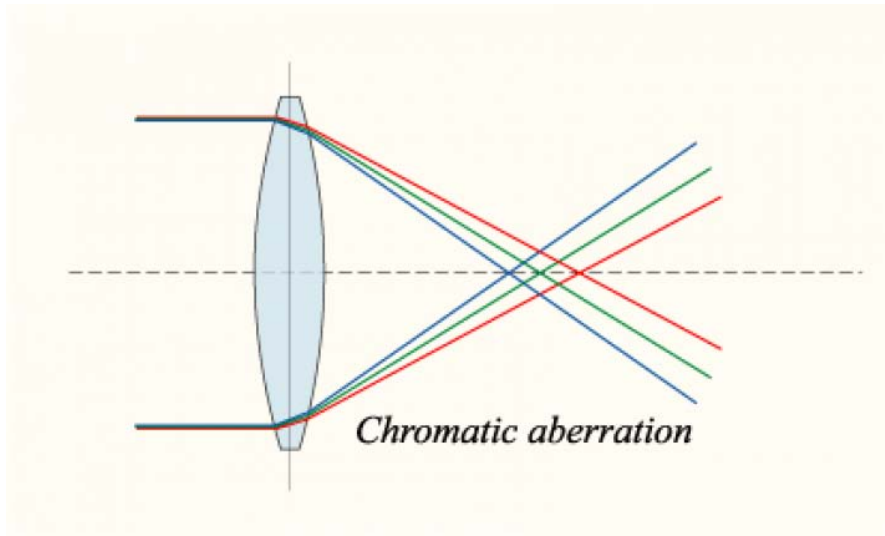
Jeżeli nie zależy na jakości obrazowania, to SF

Zastosowanie: latarnie morskie, reflektory samochodowe, teatralne, kolektory słoneczne, kondensator w rzutniku pisma



Aberracje

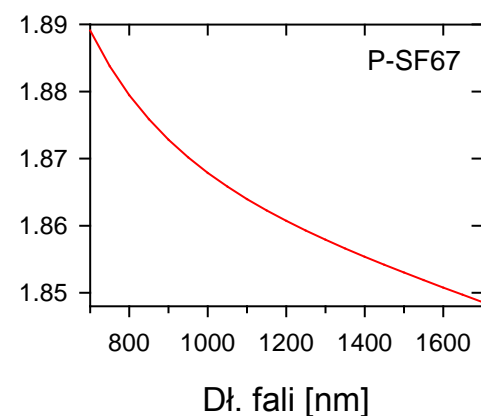
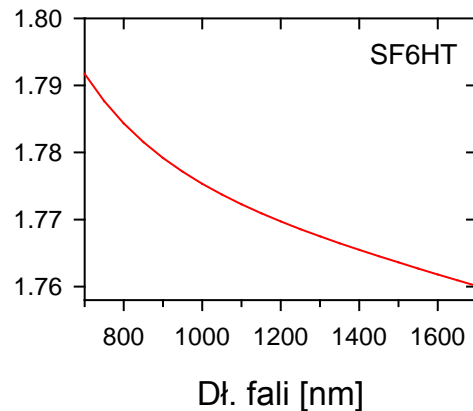
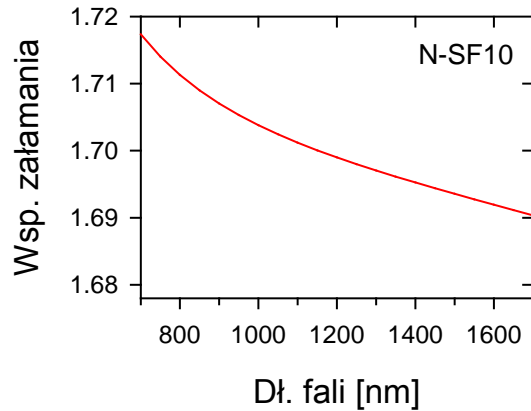
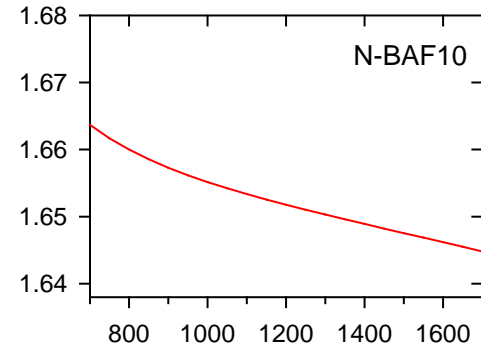
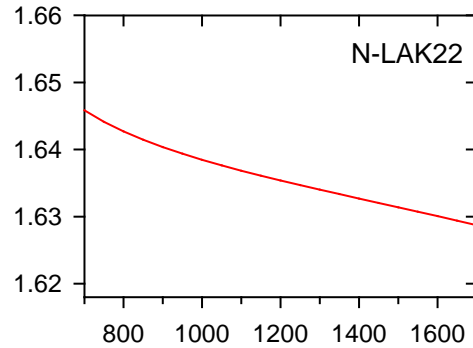
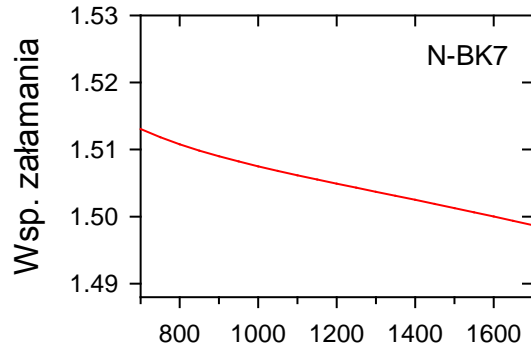
Aberracja chromatyczna:



Aberracja chromatyczna. Górne zdjęcie wykonane zostało z użyciem wbudowanego obiektywu (aparat cyfrowy Sony V3). Dolne zdjęcie wykonano z użyciem dodatkowego obiektywu szerokokątnego. Aberracja chromatyczna jest widoczna przy ostrzych, ciemnych krawędziach (szczególnie po prawej stronie). Obydwa zdjęcia pokazują tylko wycinek większego obrazu, tak aby uwypuklić efekt aberracji (tym silniejszy im dalej od środka zdjęcia).

Aberracja chromatyczna

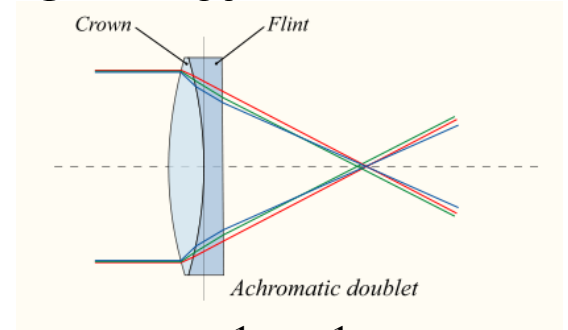
Przyczyna: współczynnik załamania zależy od λ :



Aberracja chromatyczna

Rozwiązanie: Dublet z różnych szkieł: 1 i 2.

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) = (n-1)G; \quad \frac{1}{F(\lambda)} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$



Zazwyczaj korekcja dla linii F (niebieskiej) i C (czerwonej) linii Fraunhofera: $\frac{1}{F_C} = \frac{1}{F_F}$

dla $d = 0$

$$\lambda_F = 486.1 \text{ nm}, \quad \lambda_C = 656.3 \text{ nm}$$

$$(n_{1C} - 1)G_1 + (n_{2C} - 1)G_2 = (n_{1F} - 1)G_1 + (n_{2F} - 1)G_2;$$

$$n_{1C}G_1 + n_{2C}G_2 = n_{1F}G_1 + n_{2F}G_2; \quad (n_{1C} - n_{1F})G_1 = -(n_{2C} - n_{2F})G_2$$

$$(n_{1C} - n_{1F}) \frac{n_{1D} - 1}{n_{1D} - 1} G_1 = -(n_{2C} - n_{2F}) \frac{n_{2D} - 1}{n_{2D} - 1} G_2 \quad \lambda_D = 589.2 \text{ nm}$$

$$V_1 = \frac{n_{1D} - 1}{n_{1F} - n_{1C}} \quad f_{1D} = \frac{1}{(n_{1D} - 1)G_1} \quad V_2 = \frac{n_{2D} - 1}{n_{2F} - n_{2C}} \quad f_{2D} = \frac{1}{(n_{2D} - 1)G_2}$$

$$f_{1D} V_1 = -f_{2D} V_2$$

V = liczba Abbego i f_D = ogniskowa,
- można znaleźć w tablicach danych dla szkieł optycznych

Aberracja chromatyczna

Rozwiązanie: Dublet z różnych szkieł.

$$f_{1D}V_1 = -f_{2D}V_2$$

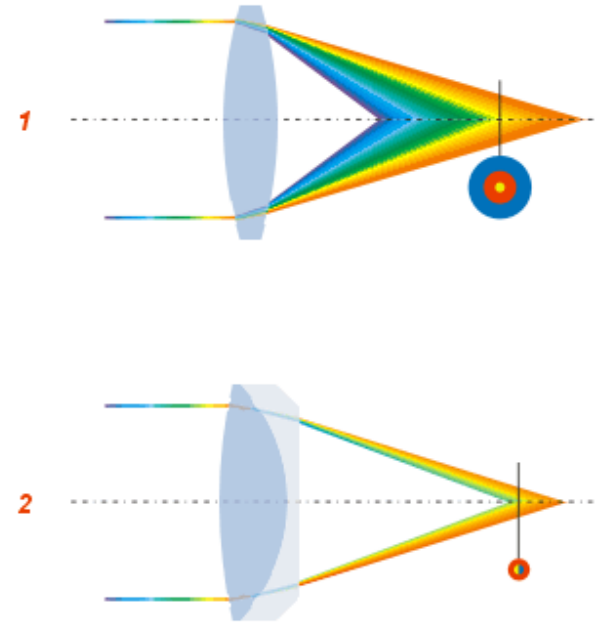
$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Zaprojektować dublet achromat $1/f = 1\text{m}^{-1}$

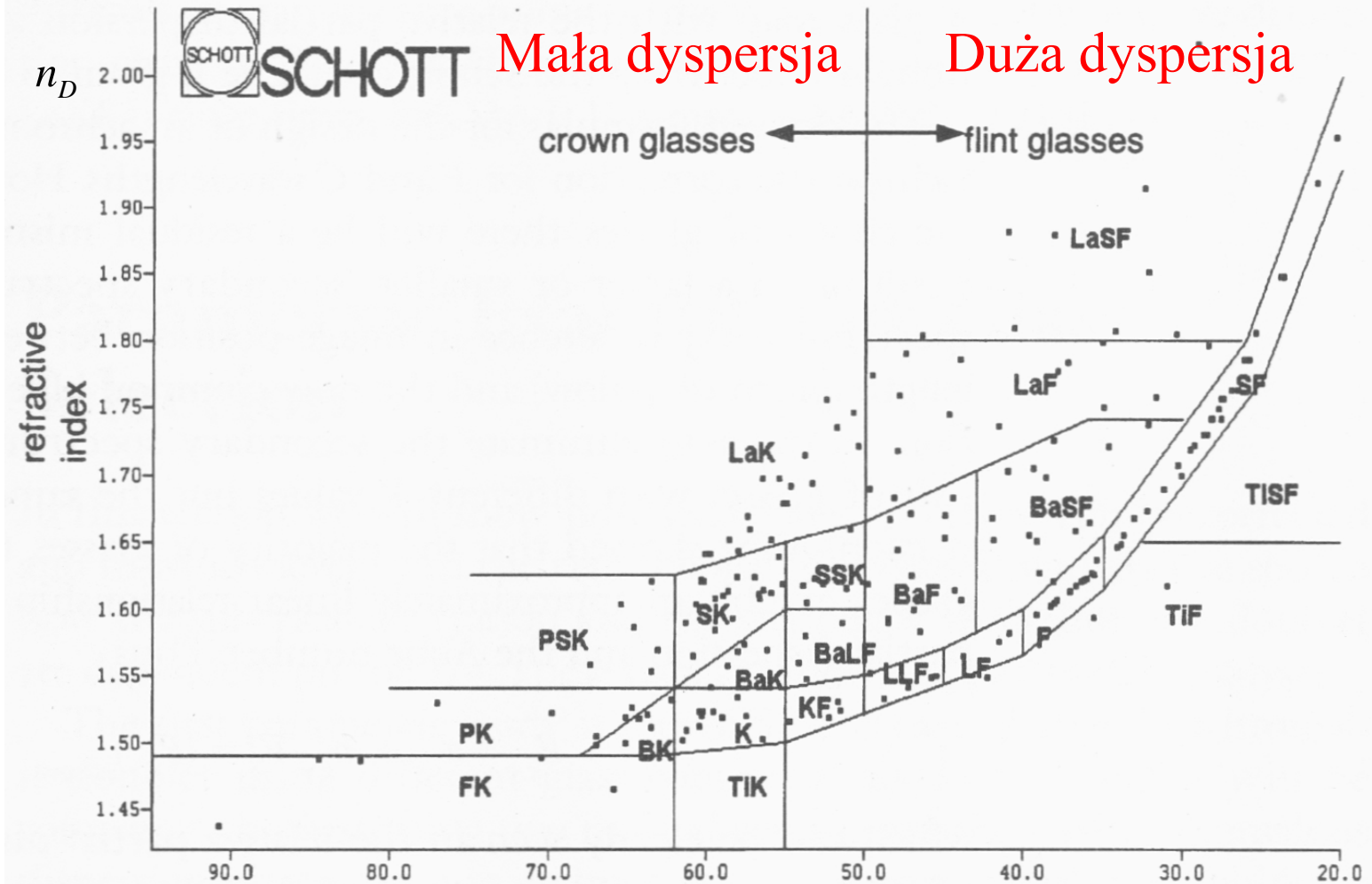
BK7: $n_D = 1,51680$ $V_D = 64,17$ (crown);

SF9: $n_D = 1,65446$ $V_D = 33,65$ (flint)

$1/f$ BK7: $2,103\text{ m}^{-1}$; $1/f$ SF9: $-1,103\text{ m}^{-1}$



Mapa Shotta – dostępne szkła



$$Abbe \# = V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Aberracja chromatyczna - historia



Isaac Newton (1642-1727) uważał, że wszystkie szkła mają tę samą dyspersję (krzywe dyspersji są przesunięte względem siebie), co uniemożliwia wykonanie achromatu. W efekcie skoncentrował się na teleskopach zwierciadlanych (reflektorach).



J. Dollond

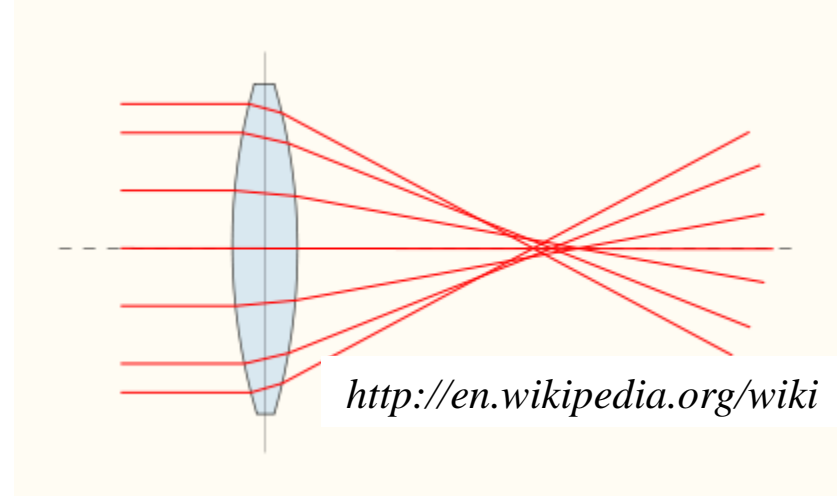
1733 – Chester Moor Hall (1703-1771, prawnik i astronom) pokazał, że z krownu i flintu można wykonać dublet achromatyczny. Sam nie był szlifierzem szkła i zlecił wykonanie różnym szlifierzom w Londynie. Obaj szlifierze byli zawałeni robotą i niezależnie podzlecili pracę J. Dollondowi, który się zorientował i w roku 1758 – **John Dollond** uzyskał patent, który utrzymał po wielkiej awanturze.

Aberracja sferyczna

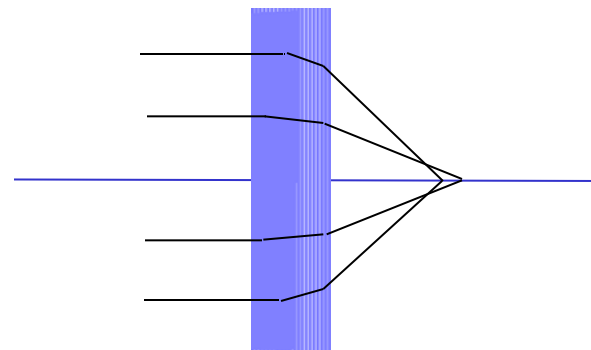
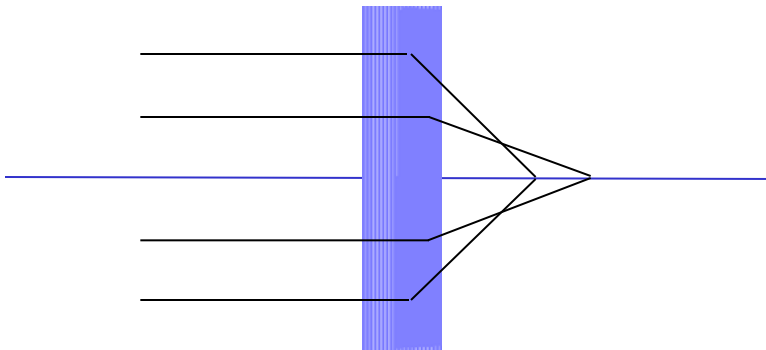
Miara AS: $1/f_{\text{peryf.}} - 1/f_{\text{przyoś}}$

Dla soczewki $AS=1,07 h^2/f$

Dla zwierciadła $AS=0,125 h^2/f$



AS zależy od kształtu soczewki, jej ustawienia i położenia przedmiotu i obrazu

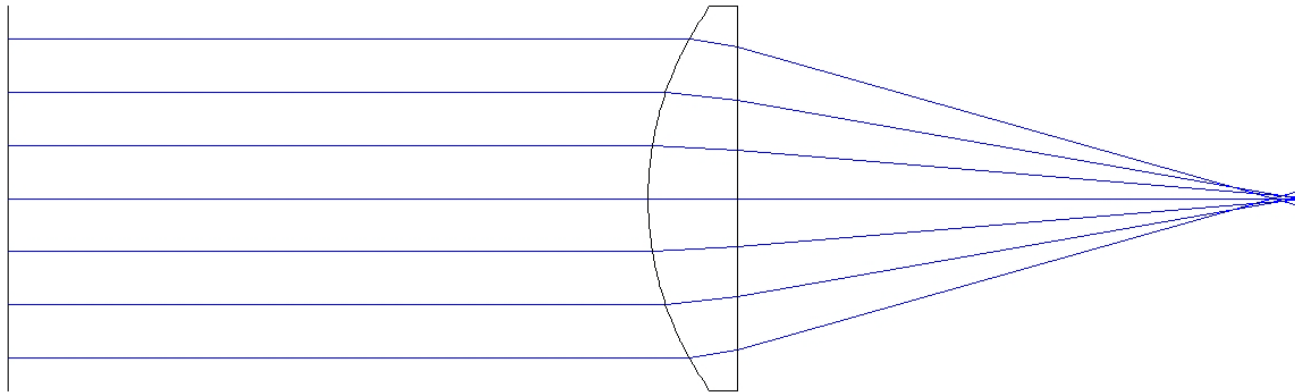


Aberracja sferyczna

Obliczenia: ZEMAX

Dr I. Gorczyńska

Pojedyncza soczewka:

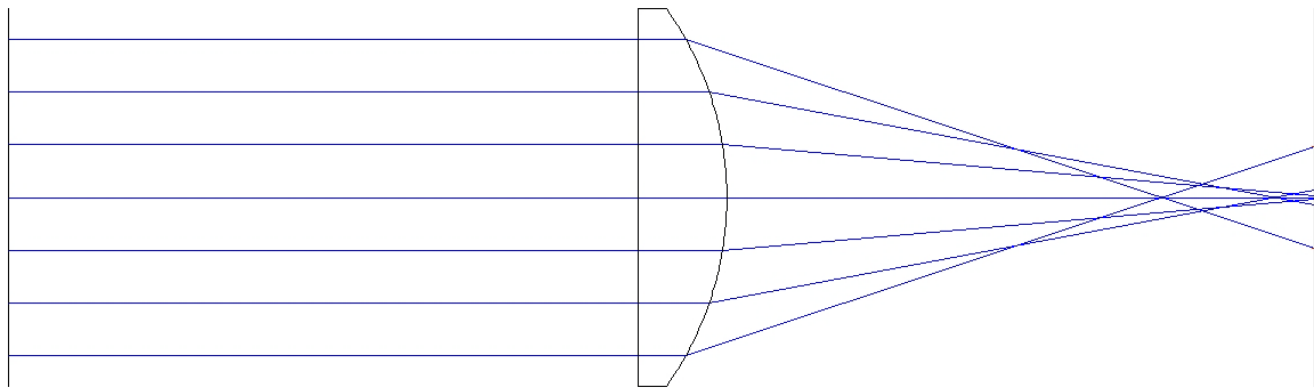


Ogniskowa soczewki: 50mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

Pojedyncza soczewka:

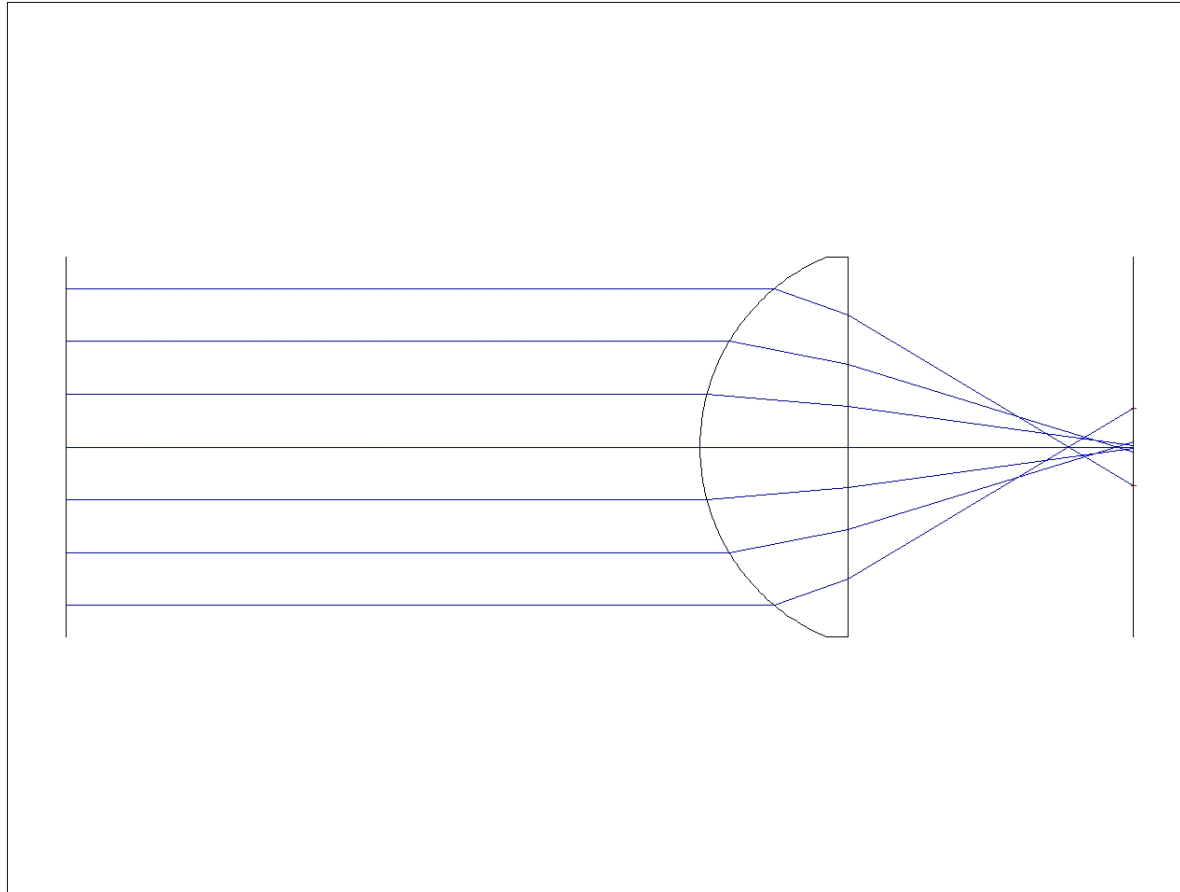


Ogniskowa soczewki: 50mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

Pojedyncza soczewka:

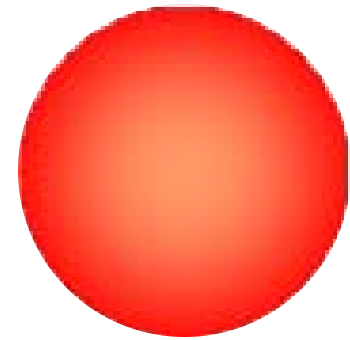
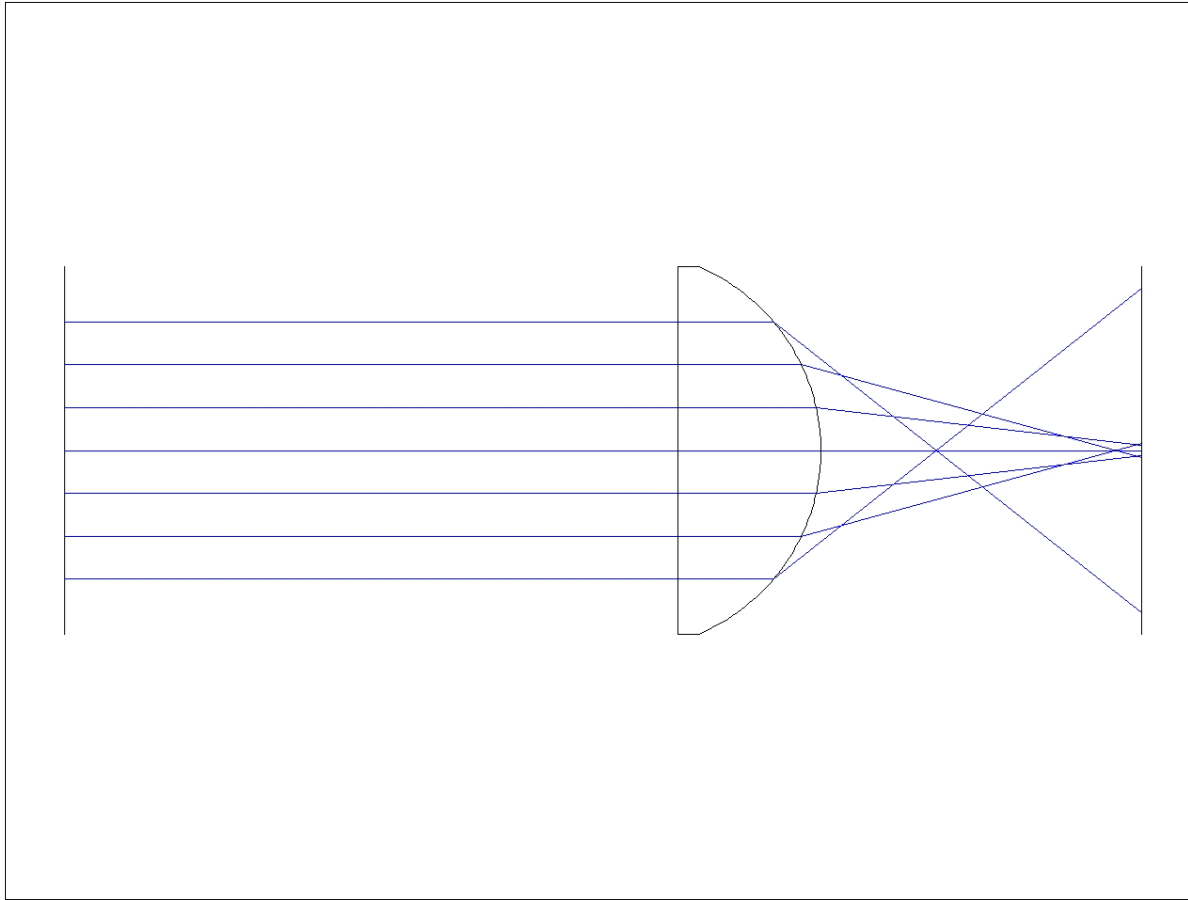


Ogniskowa soczewki: 25mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

Pojedyncza soczewka:

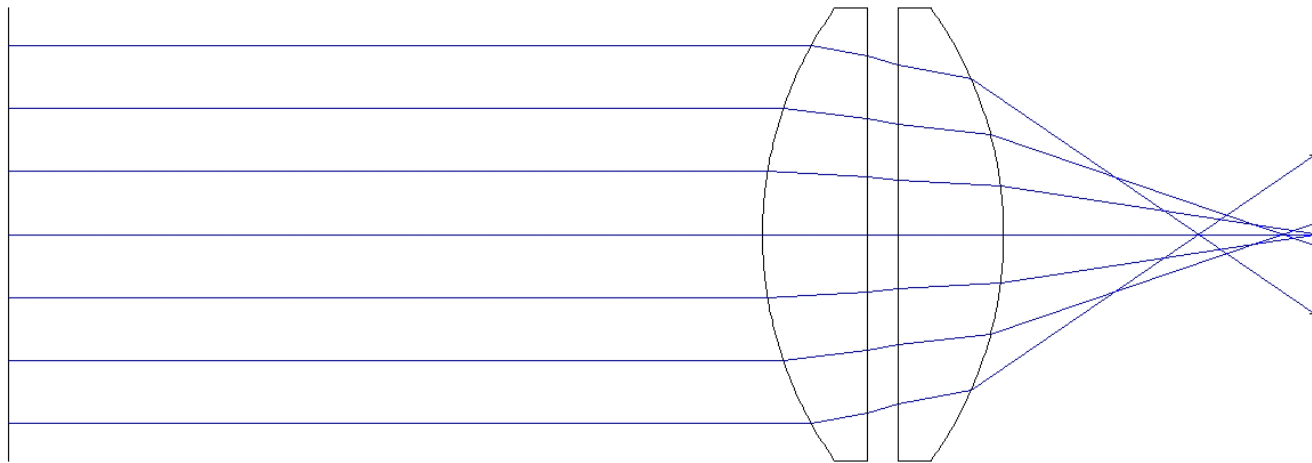


Ogniskowa soczewki: 25mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

2 soczewki:

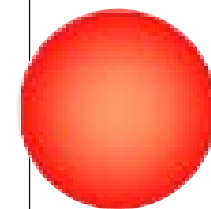
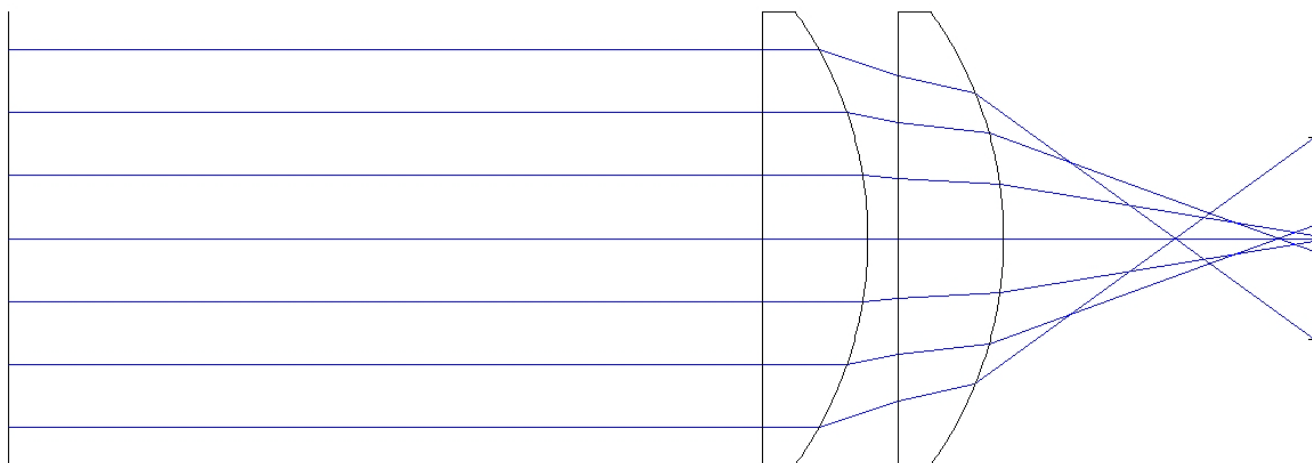


Ogniskowa soczewki: 50mm, 2 x, wypadkowa = 25 mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

2 soczewki:

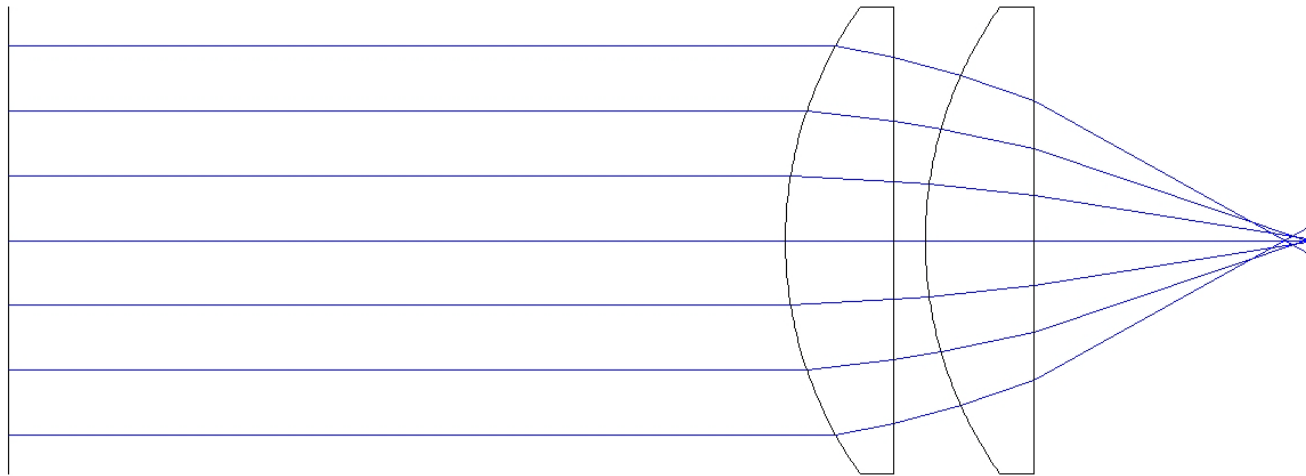


Ogniskowa soczewki: 50mm, 2 x , wypadkowa = 25 mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

2 soczewki:

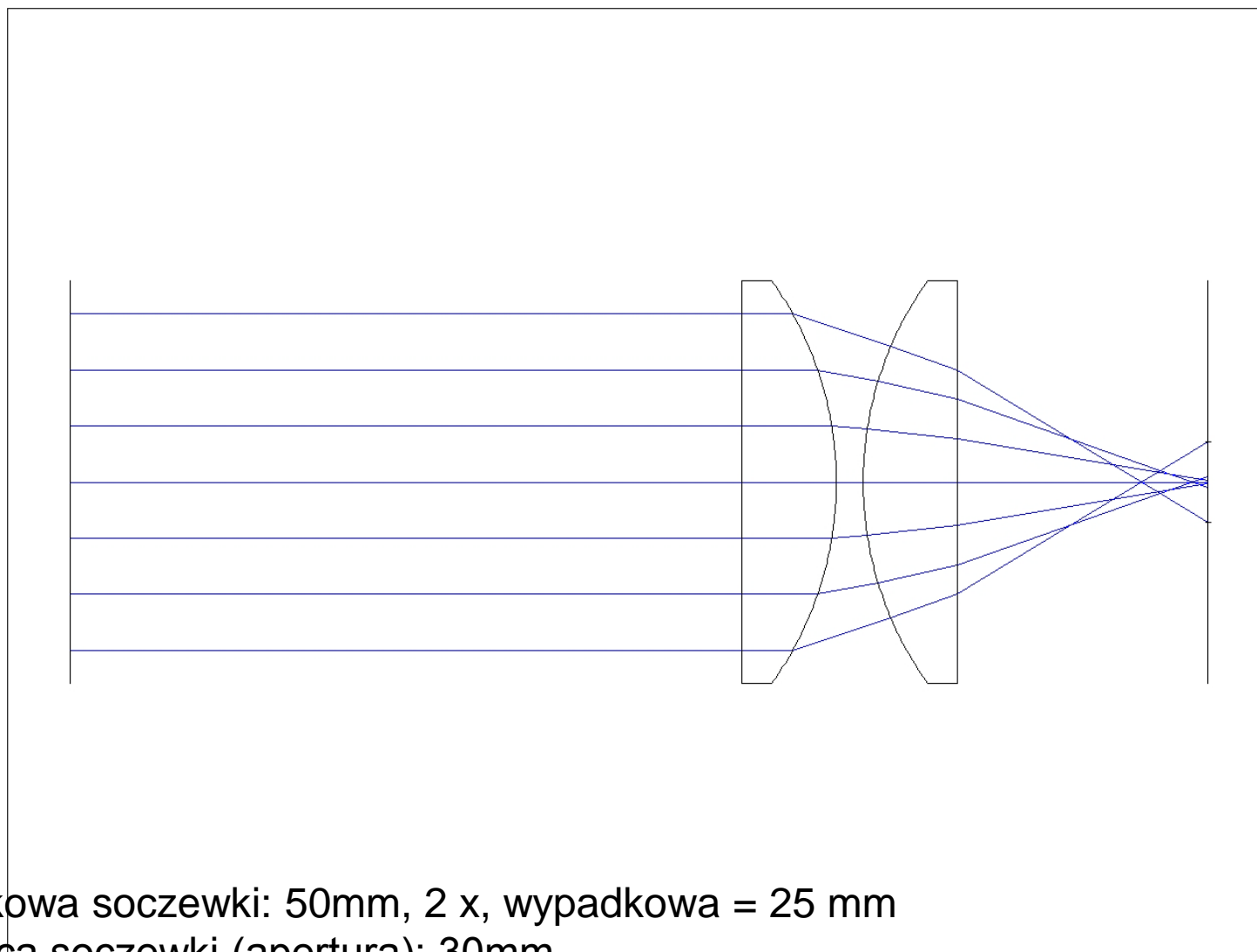


Ogniskowa soczewki: 50mm, 2 x, wypadkowa = 25 mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

2 soczewki:

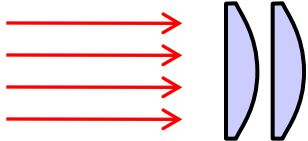
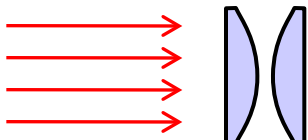


Ogniskowa soczewki: 50mm, 2 x, wypadkowa = 25 mm

Średnica soczewki (apertura): 30mm

Promień krzywizny soczewki: 25,8 mm; nieskończony, szkło BK7

2 soczewki:

	2.1
	2.7
	0.43
	1.23

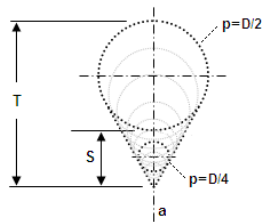
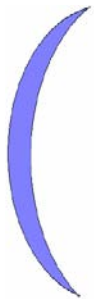
Koma

Różne powiększenia, dla różnych punktów pozaosiowych

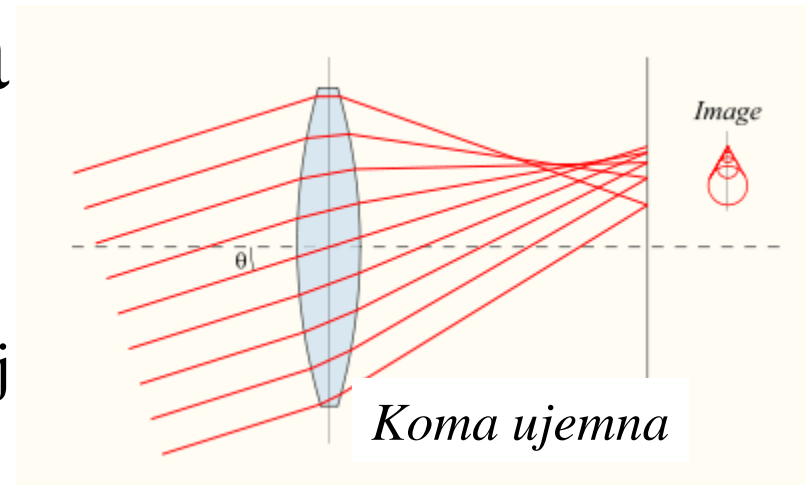
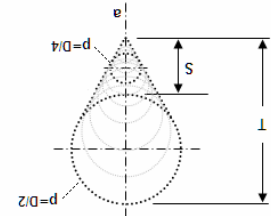
Zawsze towarzyszy aberracji sferycznej

Znak komy:

$K > 0$



$K < 0$

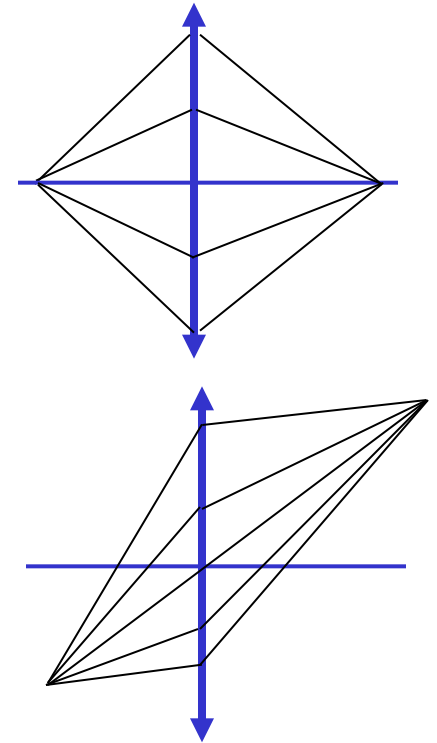
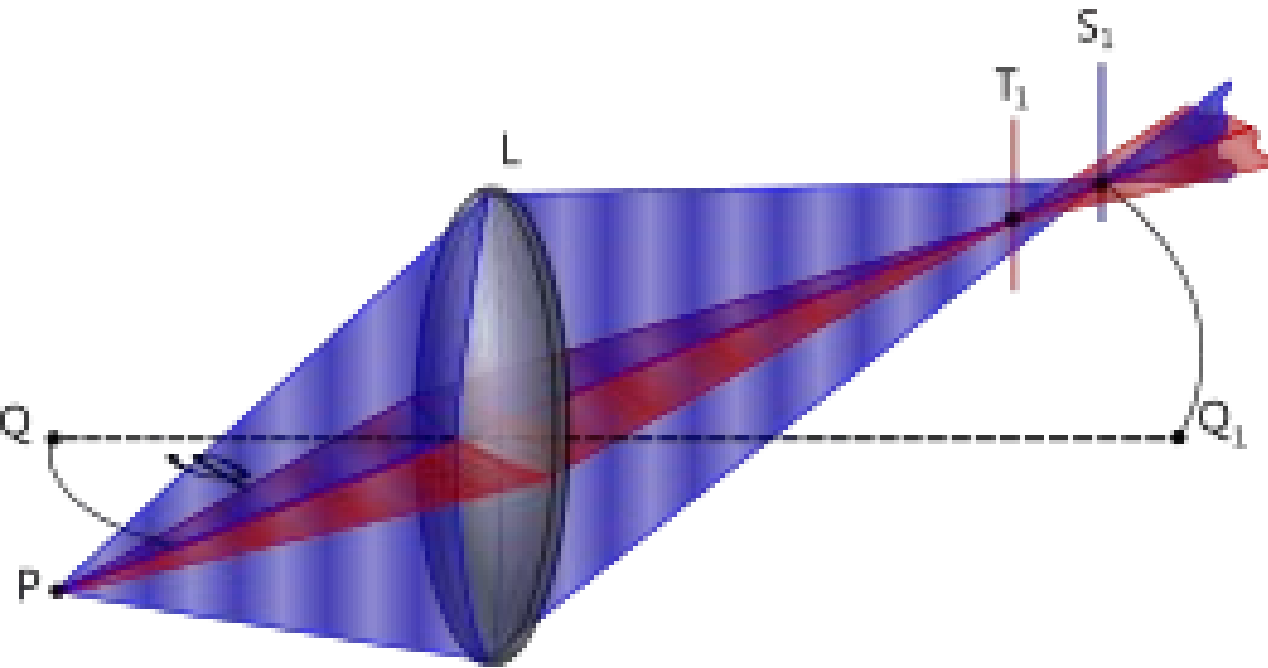


Zwierciadła też mają kome

Kome można zredukować wstawiając przesłone we właściwym miejscu

Astygmatyzm

Przy soczewce skręconej wokół osi poziomej promienie leżące w płaszczyźnie poziomej padają inaczej, niż te które leżą w płaszczyźnie pionowej



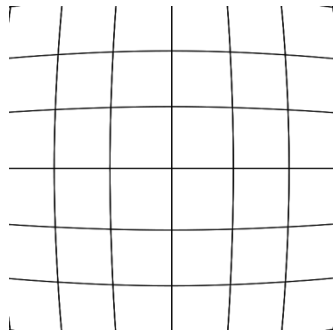
Uwaga: Nie mieszać z astygmatyzmem związany z niesferyczna budową (np. oka)

Dystorsja

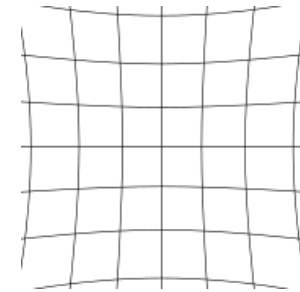
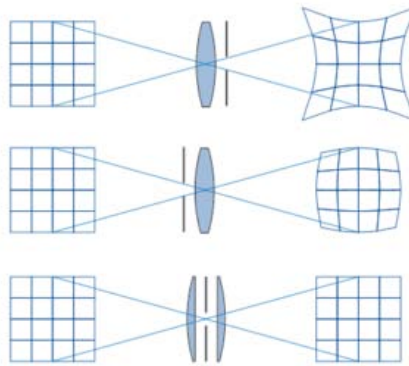
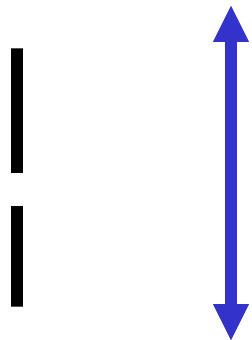
Powiększenie poprzeczne zależy od odległości od osi optycznej.
Wiązka jest wąska – brak aberracji sferycznej

maleje z odległością

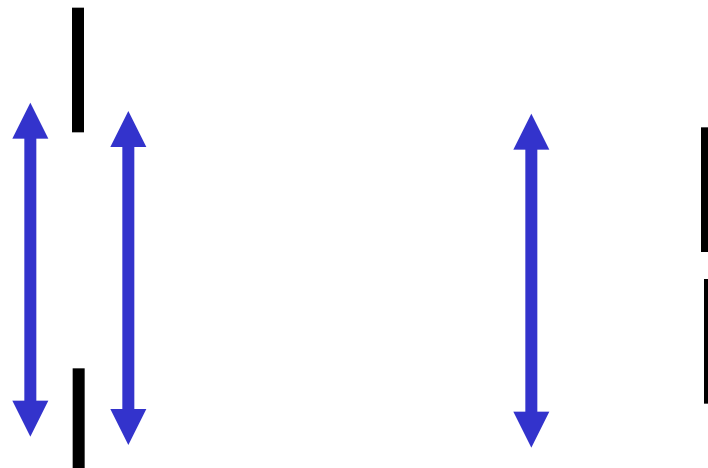
rośnie z odległością

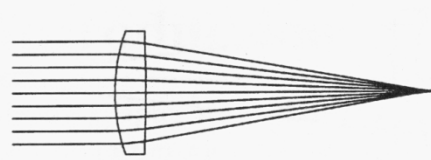


Beczka

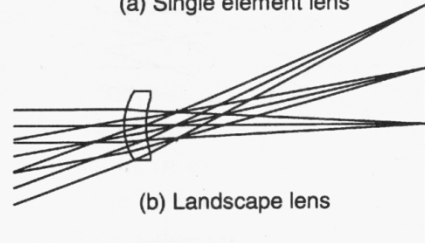


Poduszka





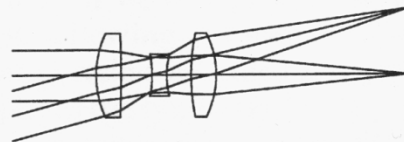
(a) Single element lens



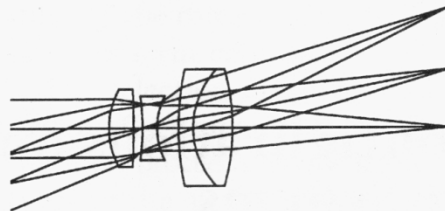
(b) Landscape lens



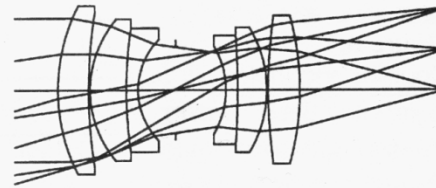
(c) Achromatic doublet



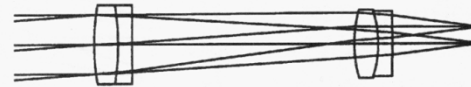
(d) Cooke triplet



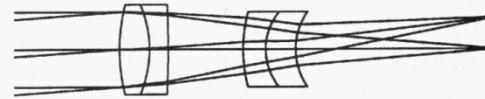
(e) Zeiss Tessar



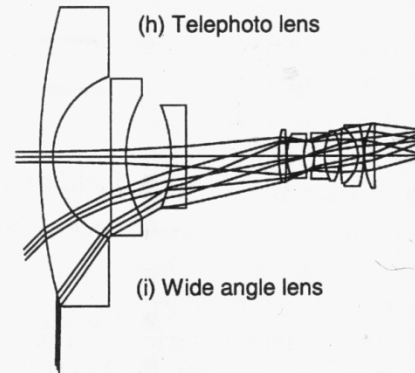
(f) Double Gauss



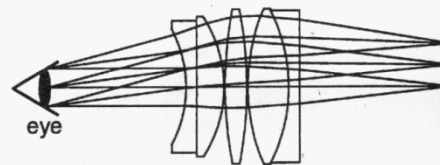
(g) Petzval lens



(h) Telephoto lens

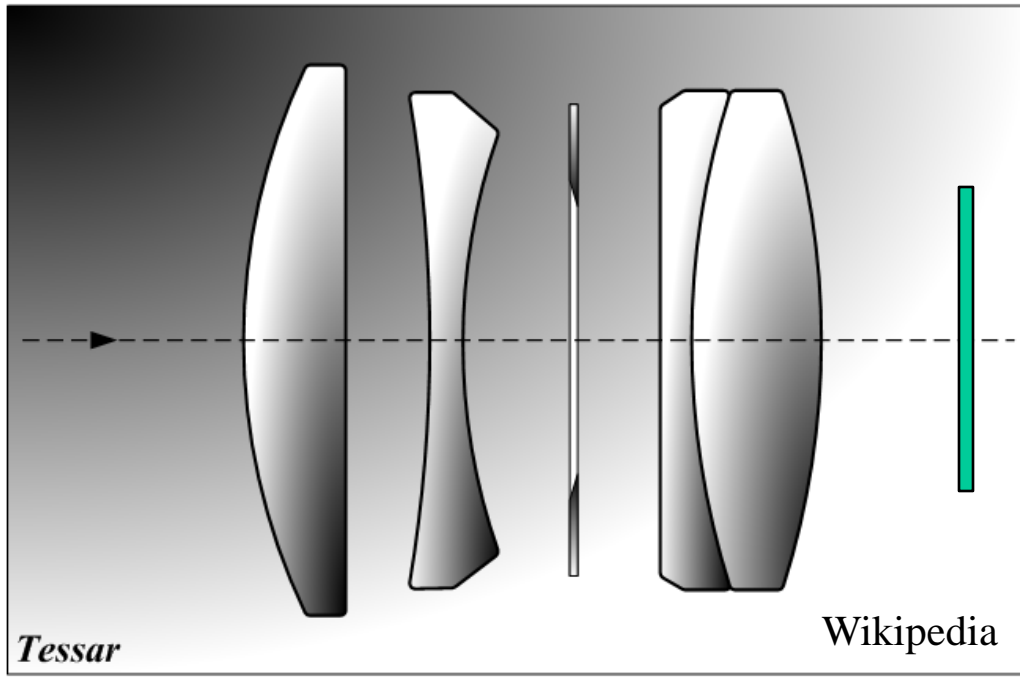


(i) Wide angle lens



(j) eyepiece

Przykład: Tessar



Konstruktor: Paul Rudolph

Patent: Zeiss

Apertura: $f/6.3$ (1902)

$f/4.5$ (1917)

$f/2.8$ (1930)

Aplanat koryguje:

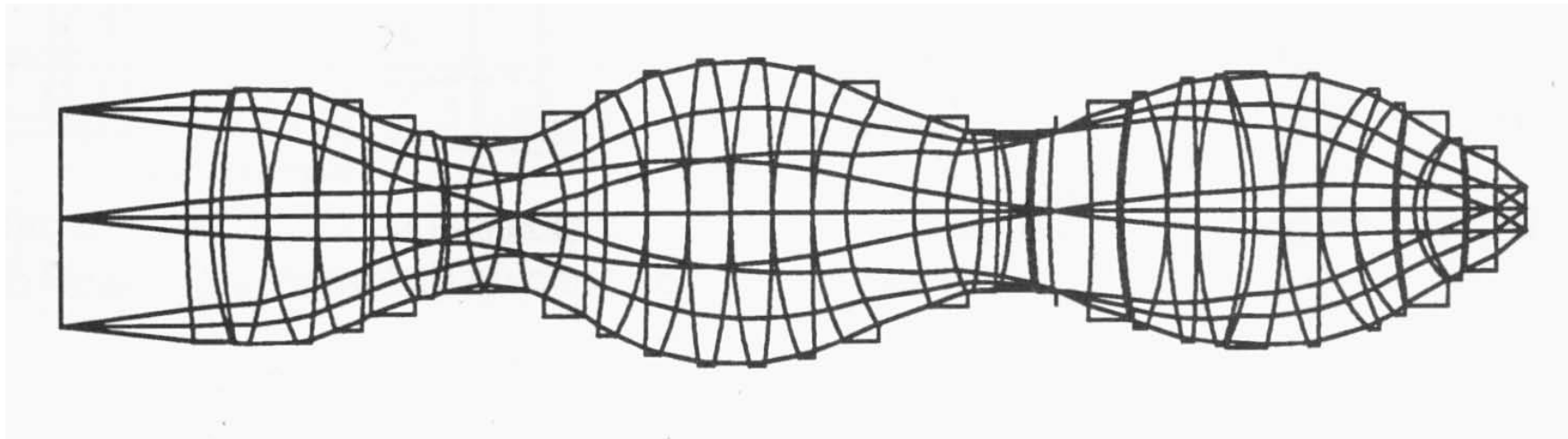
- aberrację sferyczną
- aberrację chromatyczną
- kome
- dystorsję

crown
 $n \approx 1.52$
 $f > 0$

flint
 $n \approx 1.65$
 $f < 0$

$f < 0$

Obiektyw do fotolitografii

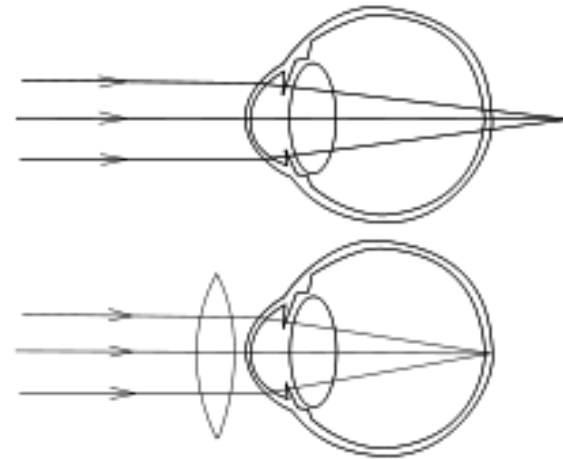
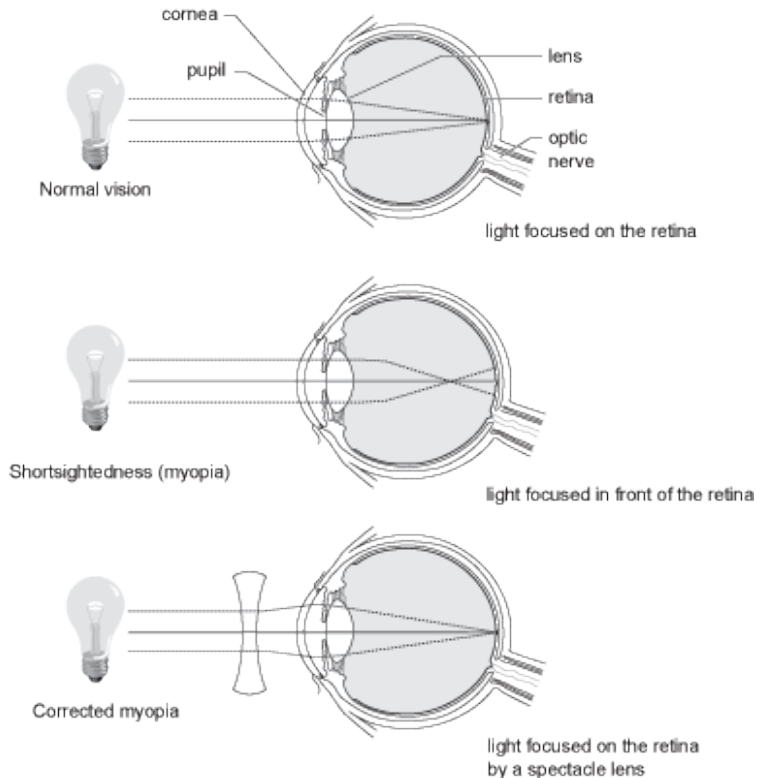


Wady oka

Krótkowzroczność (myopia) – za długa gałka

Nadwzroczność (hyperopia) – za krótka gałka

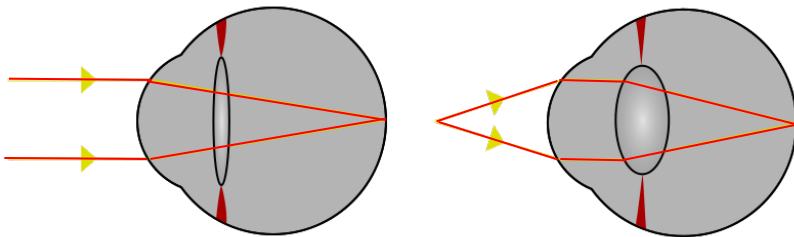
Astygmatyzm wady rogówki, rzadziej soczewki



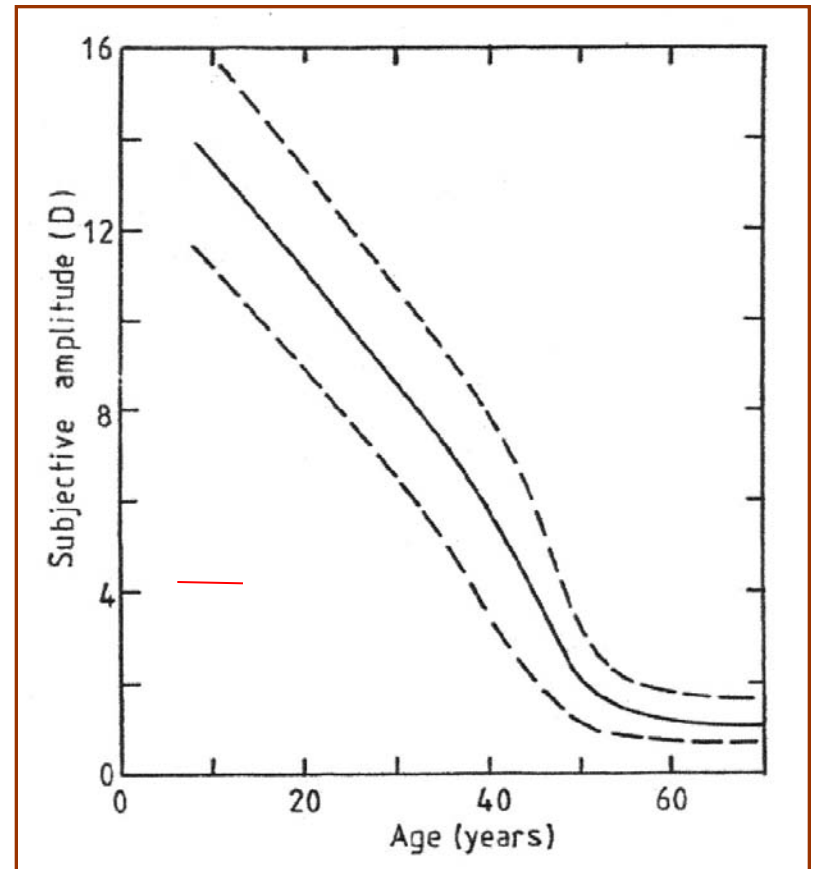
Wady oka

Starczowzroczność (presbyopia) utrata elastyczności soczewki

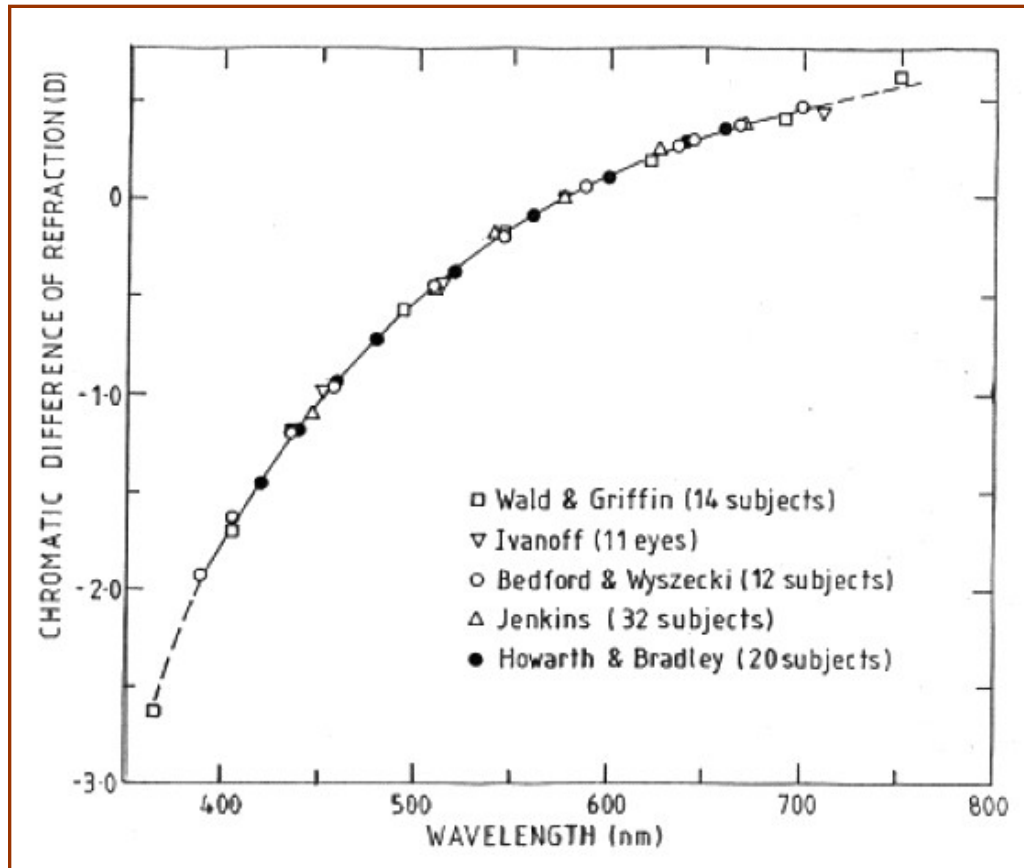
Oko: $f_1=17\text{ mm } \infty$, 14 mm dla 10 cm
 $f_2=22\text{ mm } \infty$, 19 mm dla 10 cm
całość $60D - 71D$, soczewka $20-31D$
 $\Delta\Phi = \text{od } 14D \text{ do } 2D$



akomodacja w 350 ms , jak dłużej,
to dyskomfort



Aberracja chromatyczna oka



Wykorzystuje się do dokładnego dobrania szkieł okularowych

