

1100-1B015, rok akademicki 2019/20

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 8

Koma

- Koma zależy liniowo od odległości przedmiotu od osi (wielkość pola) h i drugiej potęgi promienia apertury ρ^2 .
- Punkty leżące w pobliżu brzegów kadru widoczne są z dodatkowym „ogonkiem”, przypominającym ogon komety.

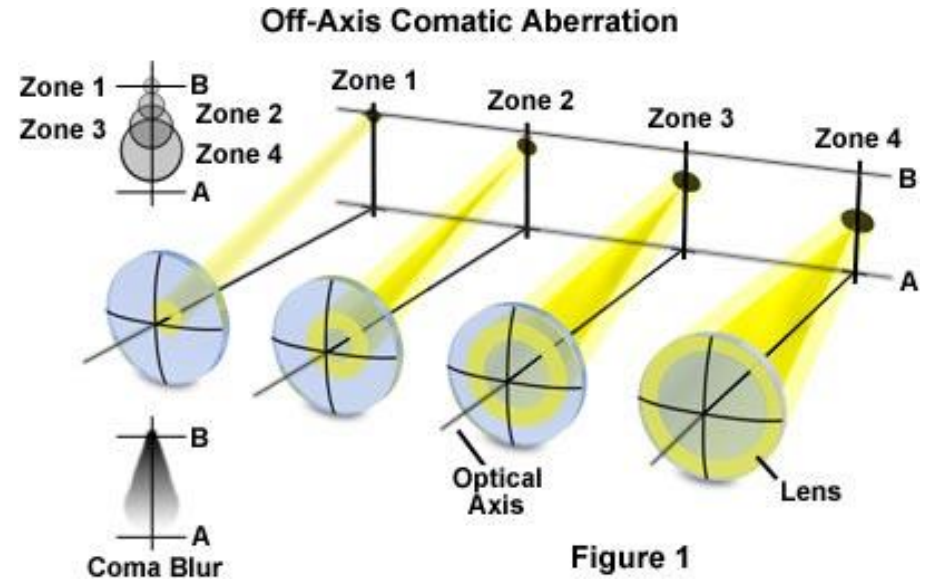
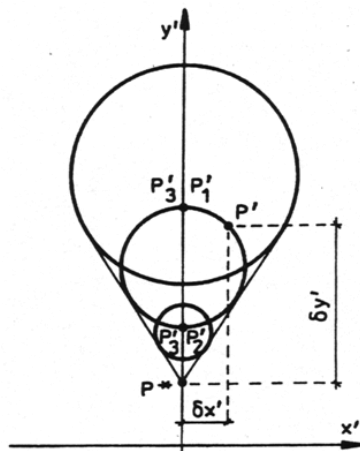
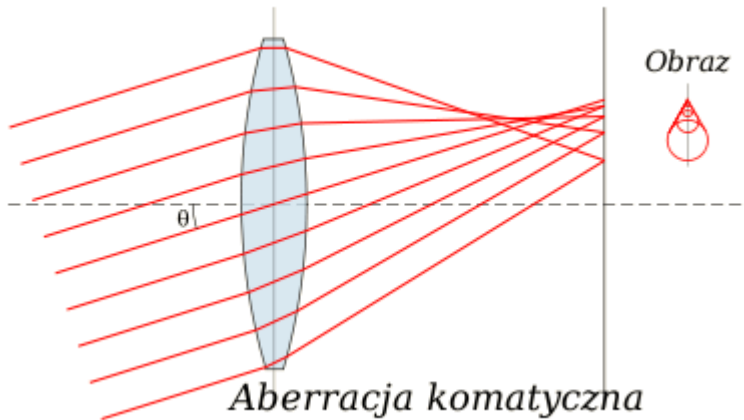
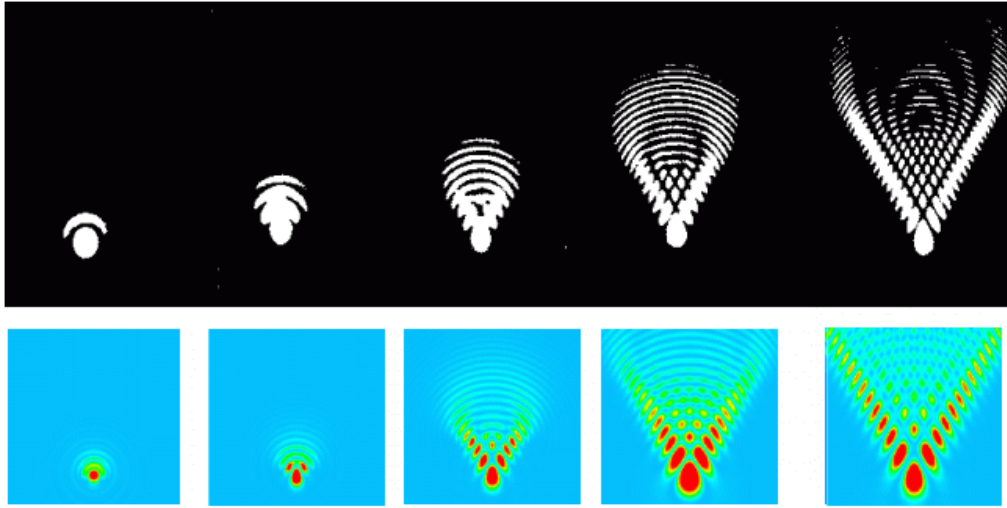


Figure 1

www.olympus-lifescience.com



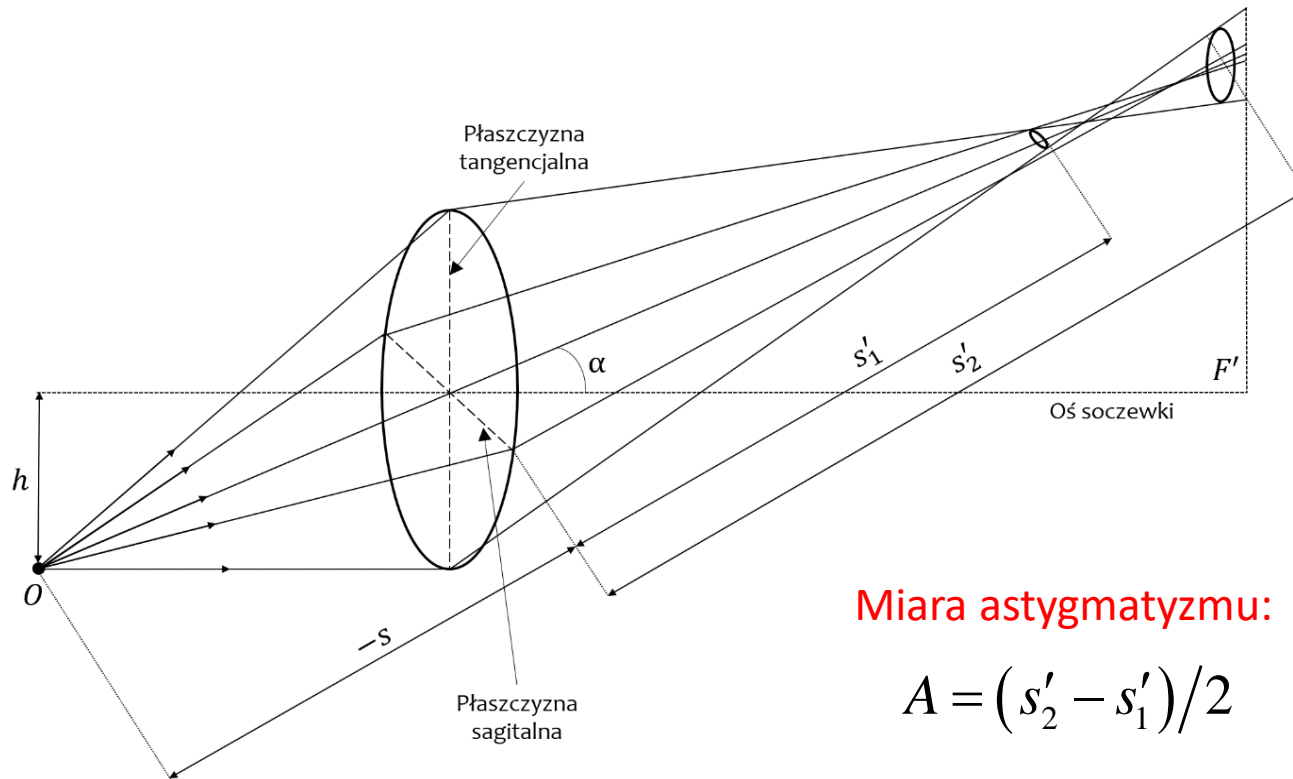
www.astro.uni.torun.pl/~kb



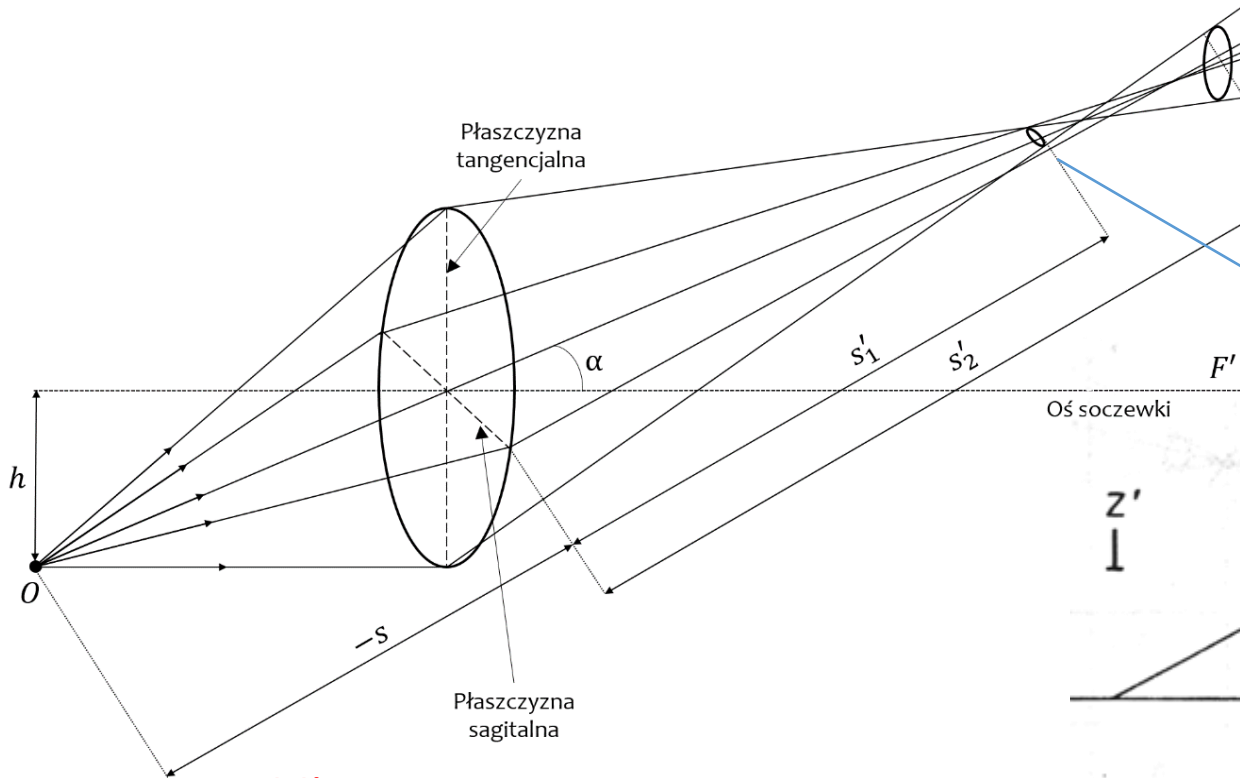
<http://www.umich.edu/~lowbrows/reflections/2007/dscobel.27.html>

Astygmatyzm i krzywizna pola

- Plamka aberracyjna jest **elipsą**.
- Efekt różnej mocy optycznej mierzonej w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach.
- Punkt skupienia promieni zależy od wyboru badanej płaszczyzny.
- W przykładzie rozważa się płaszczyzny $\Theta = 0^\circ$ i $\Theta = 180^\circ$.

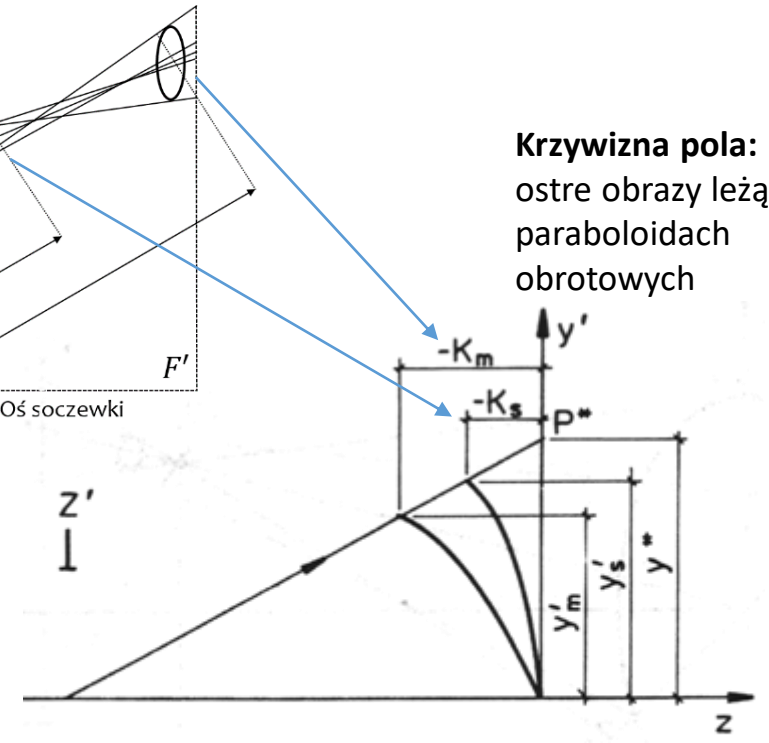


Astygmatyzm i krzywizna pola



Miara astygmatyzmu:

$$A = (s'_2 - s'_1)/2$$



Krzywizna pola:
ostre obrazy leżą na paraboloidach obrotowych

Miara astygmatyzmu:

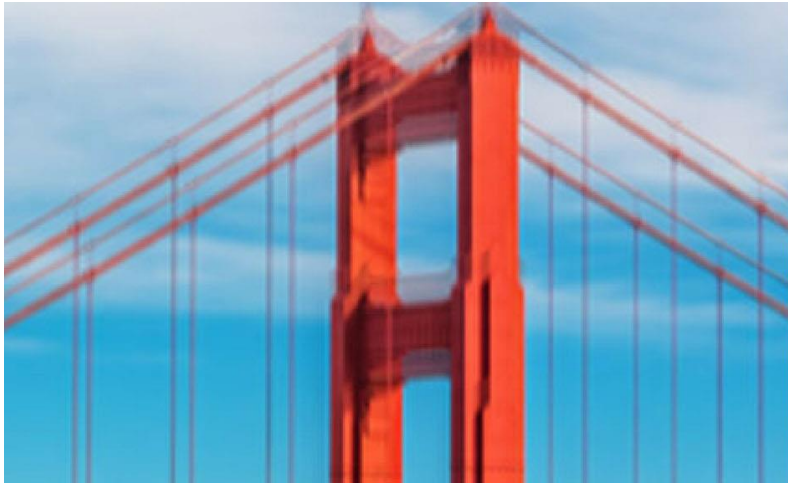
$$A = (K_m - K_s)/2$$

Zbiór najmniejszych plamek aberracyjnych leży na **powierzchni pośredniej** (pomiędzy „sferami” powierzchni obrazowych: merydionalnej i sagitalnej). Jej promień krzywizny można wyznaczyć ze wzoru:

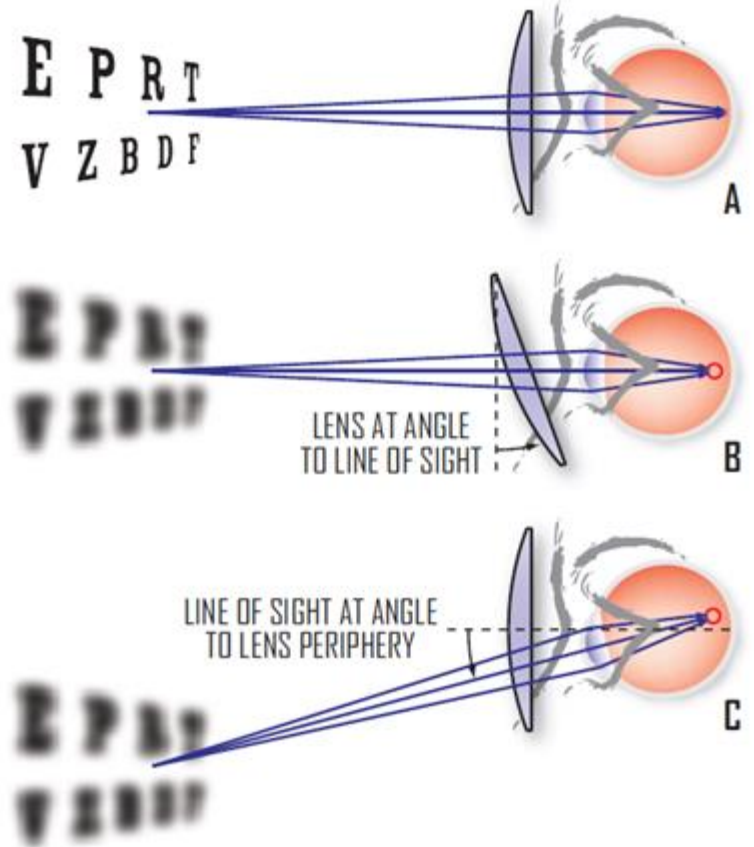
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_s} \right)$$

Astygmatyzm i krzywizna pola

Astygmatyzm



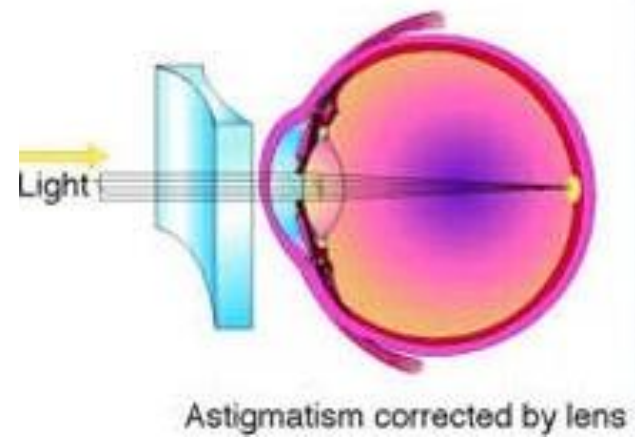
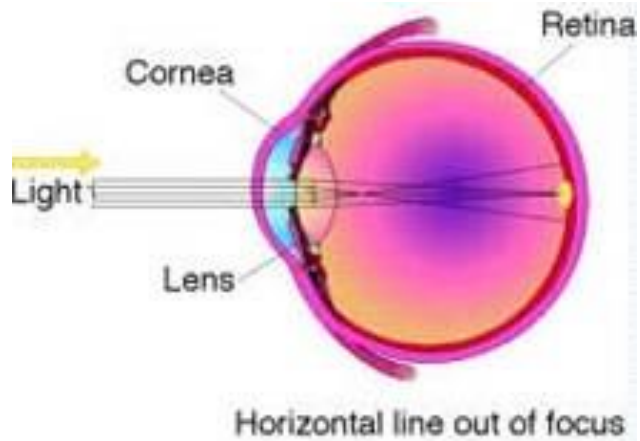
www.essilor.com.au/vision



www.charllaas.com/new-eye-test-technology/

Astygmatyzm i krzywizna pola

Astygmatyzm – korekcja

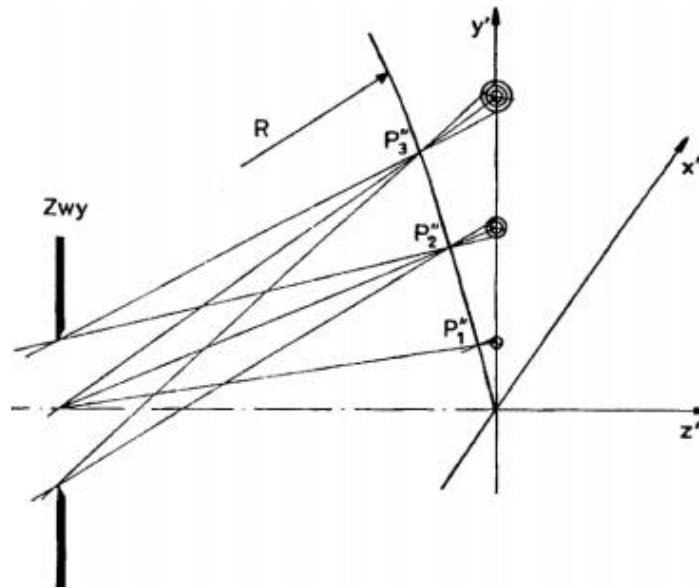


thekingno.com

Astygmatyzm i krzywizna pola

Krzywizna pola

- Dla różnych punktów przedmiotowych ogniska: merydionalne i sagitalne wyznaczają powierzchnie, które w ogólnym przypadku są paraboloidami obrotowymi.
- Są to powierzchnie obrazowe: merydionalna i sagitalna.



- Układ optyczny składający się z wielu soczewek może mieć skorygowaną krzywiznę pola, jeśli spełnia **warunek Petzwala**:

$$\sum_i \frac{\Phi_i}{n_i} = 0$$

Astygmatyzm i krzywizna pola

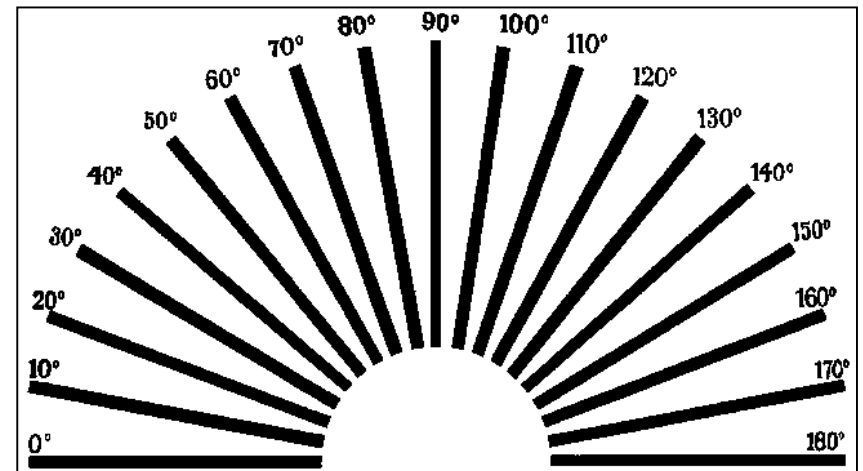
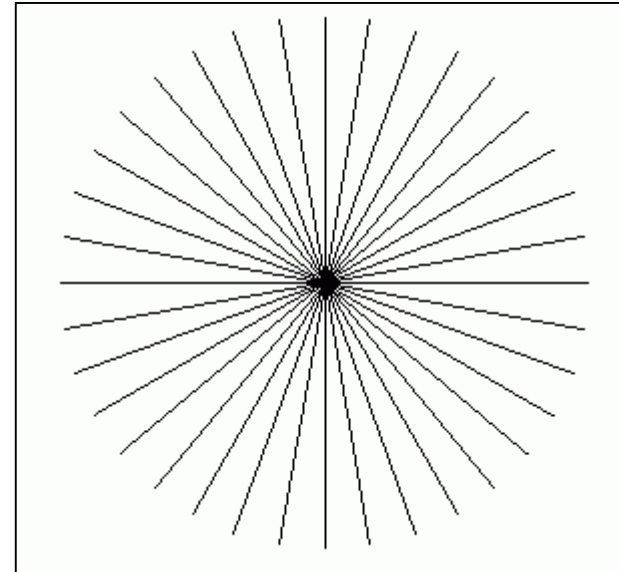
Krzywizna pola



Astygmatyzm i krzywizna pola

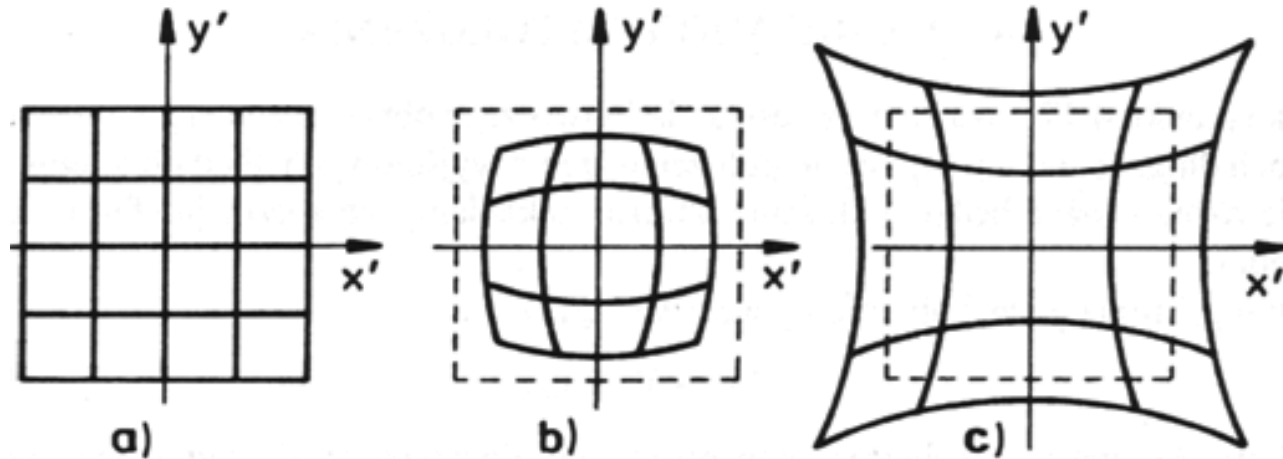
Ocena stopnia astygmatyzmu

Original	Compromise
aio	aio
Horizontal Focus	Vertical Focus
aio	aio



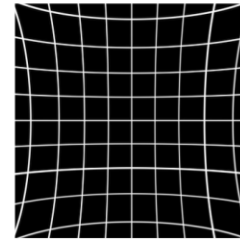
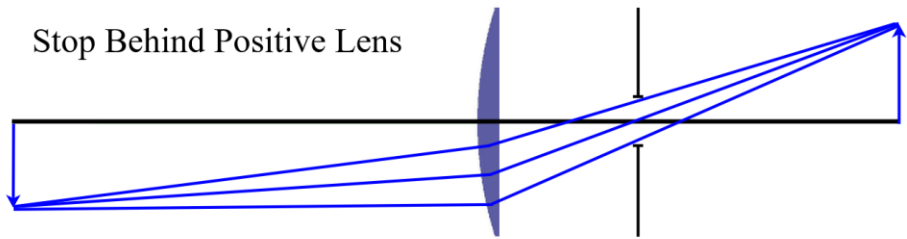
Dystorsja

- Zależy od wielkości pola widzenia.
- Dystorsja nie wpływa na ostrość obrazu lecz dokonuje zniekształcenia geometrycznego.



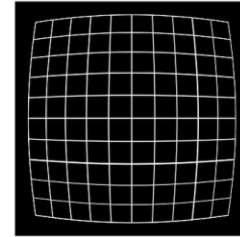
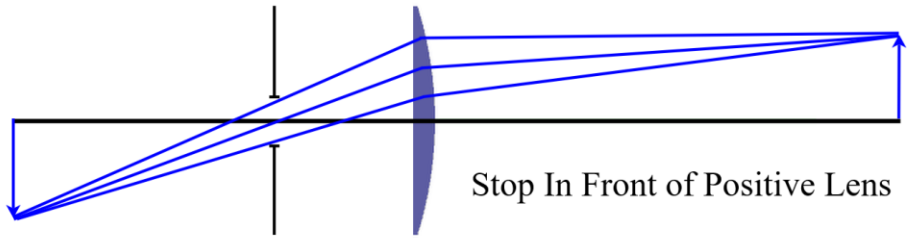
www.uni-koeln.de/~al001/radcor_files

Dystorsja



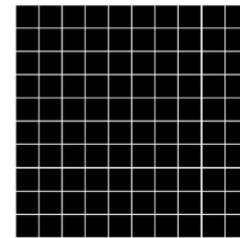
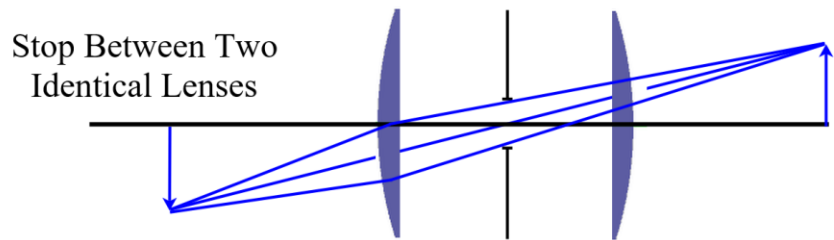
Pin-cushion distortion

+



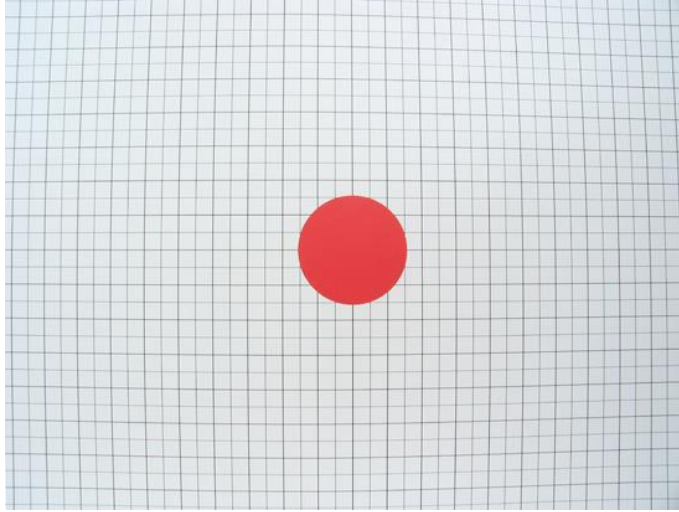
Barrel distortion

=



No distortion

Przykłady



17MM

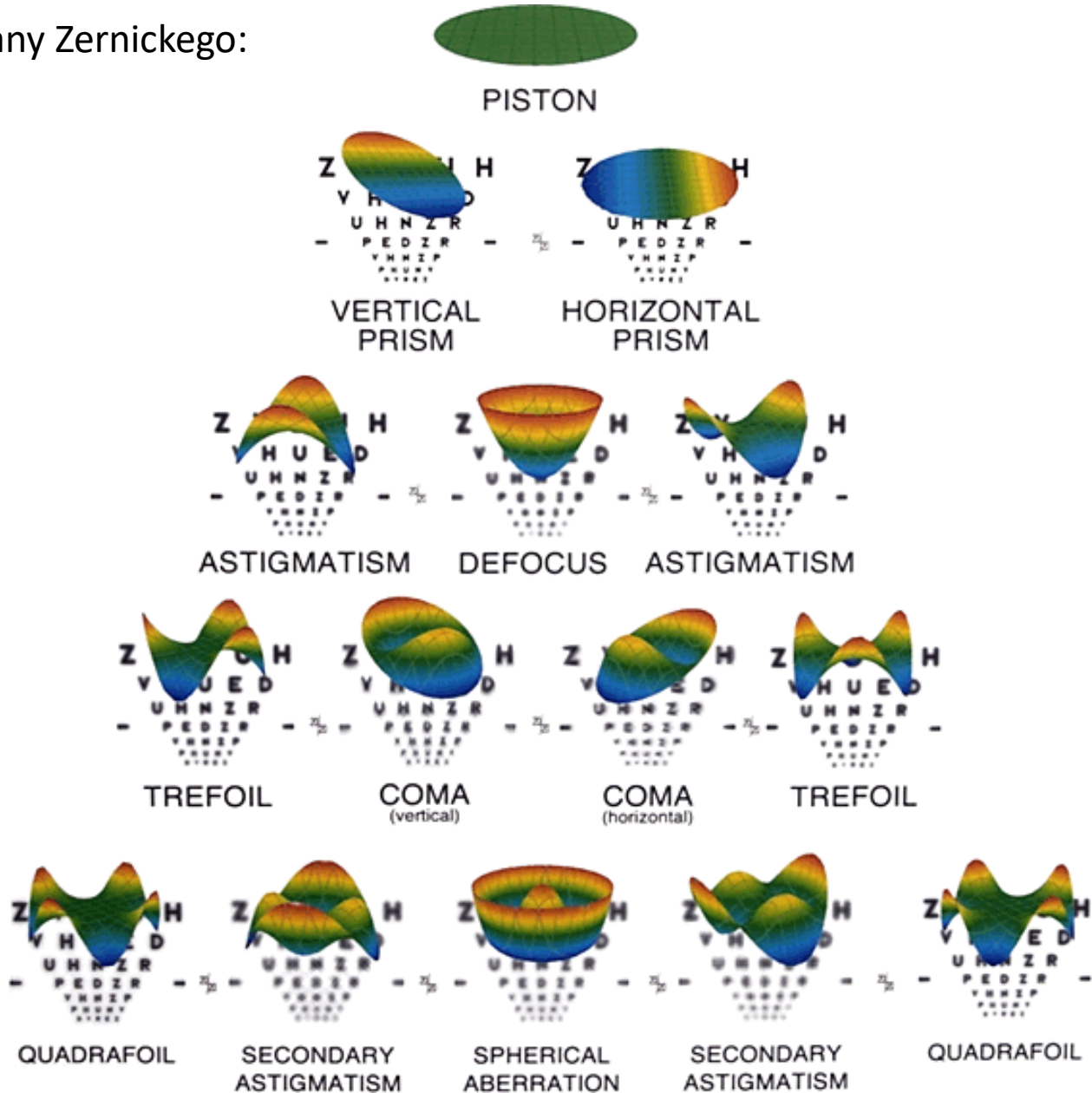
50MM

200MM

F5.6 1/200 ISO100

Aberracje monochromatyczne

Wielomiany Zernickego:



Aberracje monochromatyczne

Wielomiany Zernickego:

$$Z_n^m(\rho, \varphi) = R_n^m(\rho) \cos(m\varphi)$$

$$Z_n^{-m}(\rho, \varphi) = R_n^m(\rho) \sin(m\varphi)$$

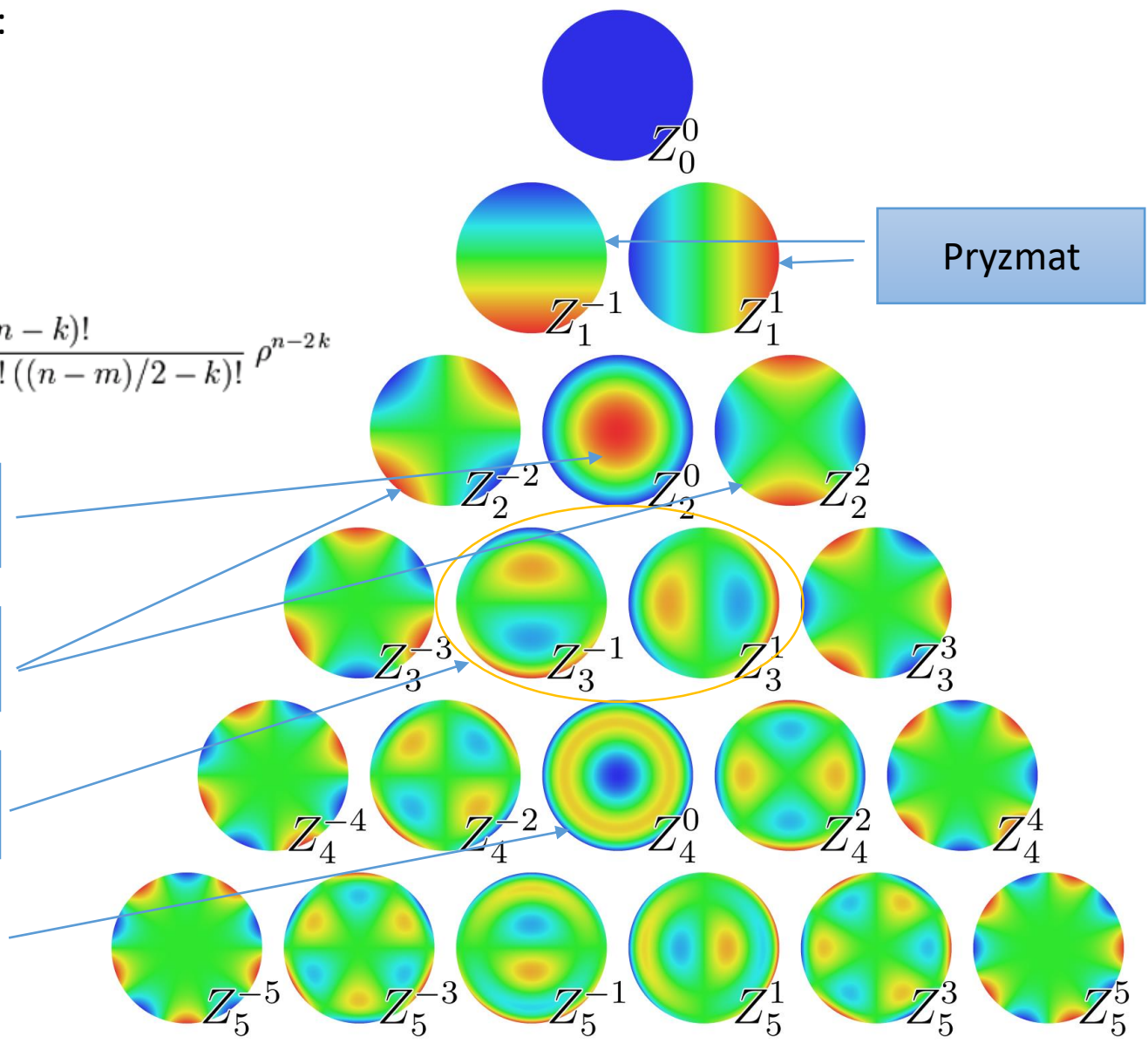
$$R_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! ((n+m)/2 - k)! ((n-m)/2 - k)!} \rho^{n-2k}$$

Rozogniskowanie

Astygmatyzm

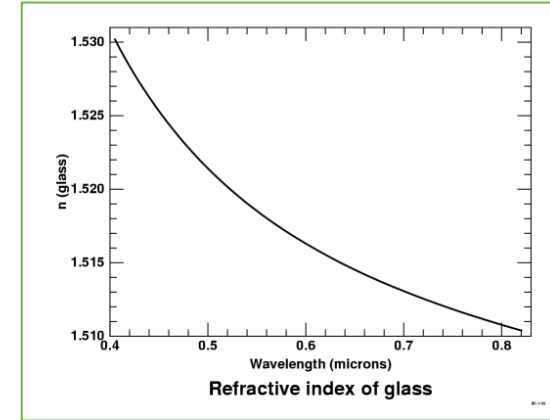
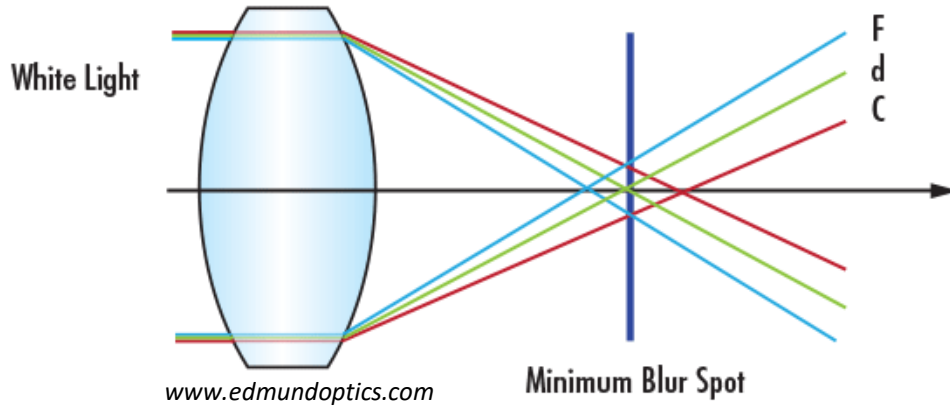
Koma

Aberracja sferyczna



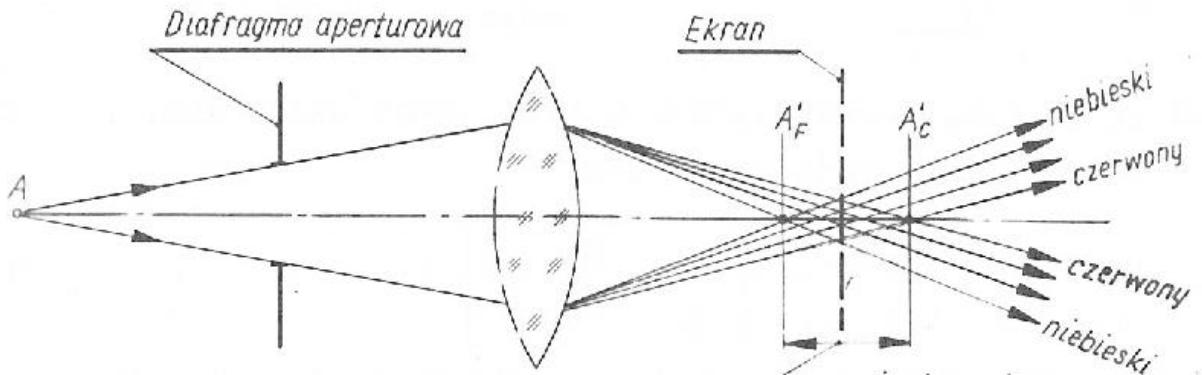
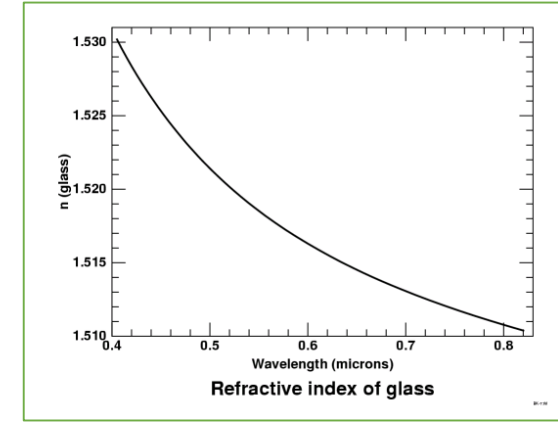
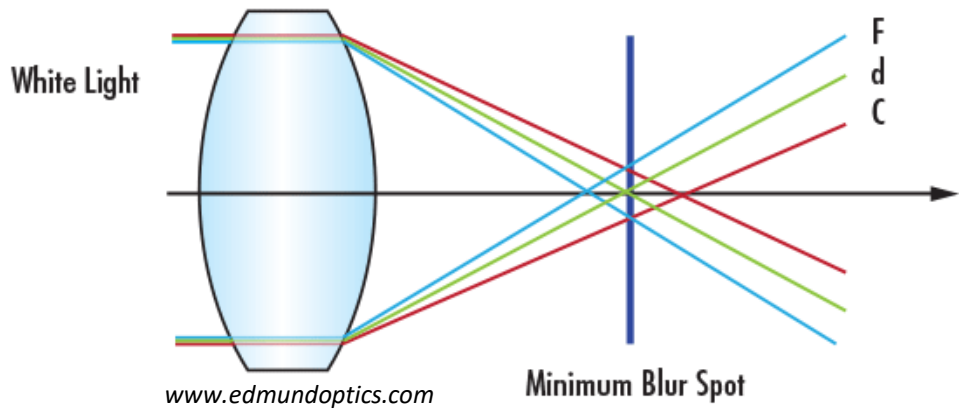
Aberracje chromatyczne

- chromatyzm położenia



Aberracje chromatyczne

- chromatyzm położenia



aberracja podłużna = $f_f - f_c$
(aberracja położenia)

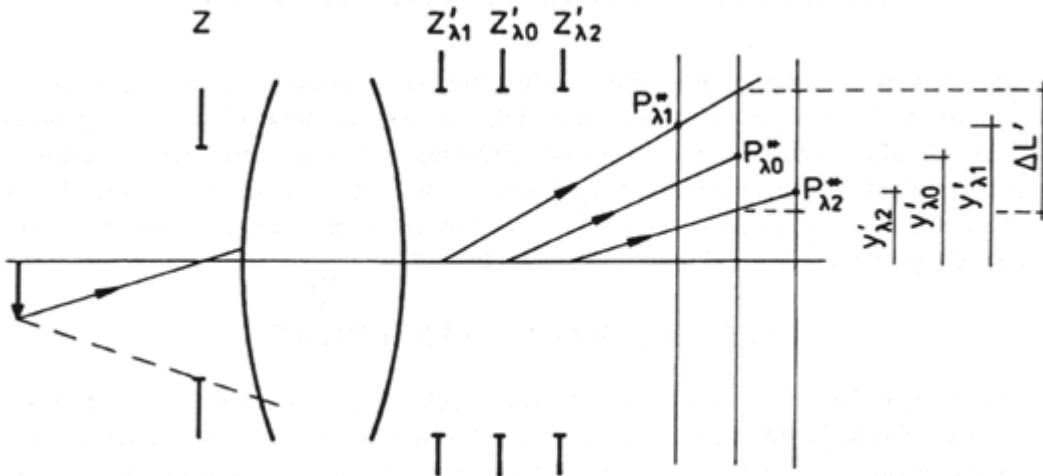
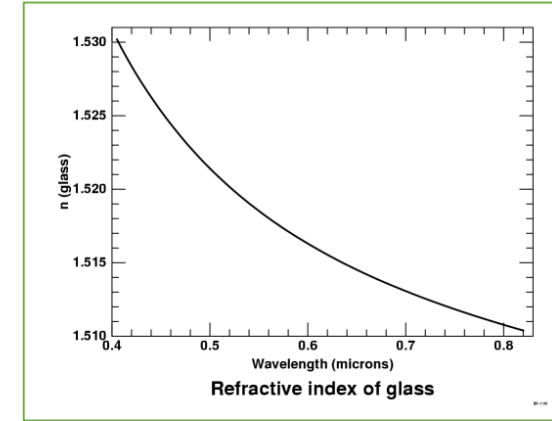
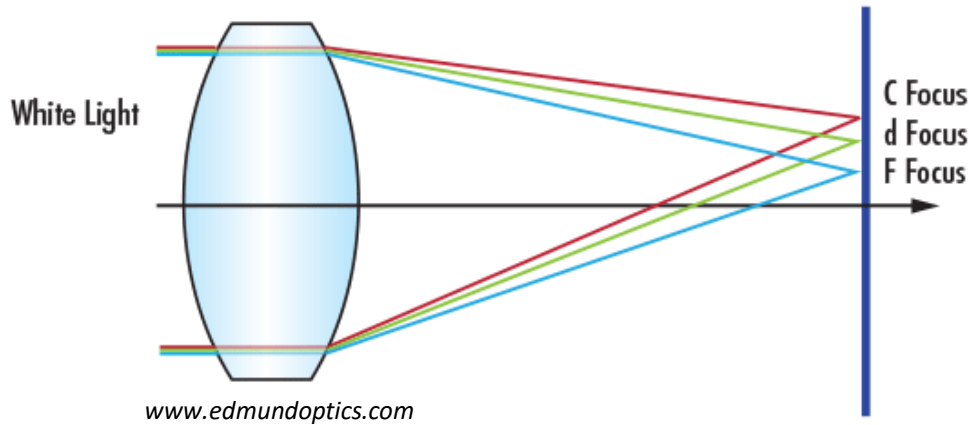
$$LCA = \frac{F}{v}$$

aberracja poprzeczna
(minimalna średnica plamki)

$$b = 2 \frac{f_c - f_f}{f_c + f_f} h$$

Aberracje chromatyczne

- chromatyzm powiększenia



$$\frac{\Delta y'}{y'} = \frac{y'_{\lambda_2} - y'_{\lambda_1}}{y'_{\lambda_0}}$$

$$\lambda_2 = \lambda_F (486,13 \text{ nm})$$

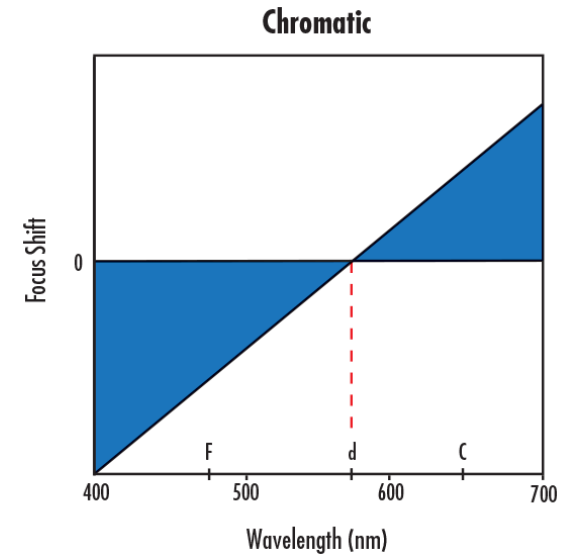
$$\lambda_1 = \lambda_C (656,27 \text{ nm})$$

$$\lambda_0 = \lambda_d (587,56 \text{ nm})$$

Aberracje chromatyczne



briankoberlein.com



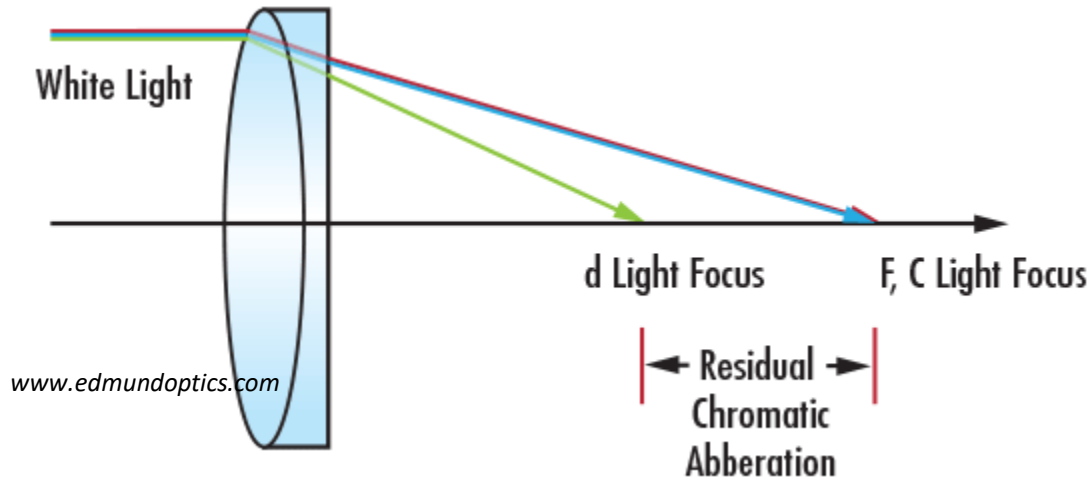
www.edmundoptics.com

www.picturecode.com

Aberracje chromatyczne

Pojedyncza soczewka jest obarczona aberracją chromatyczną

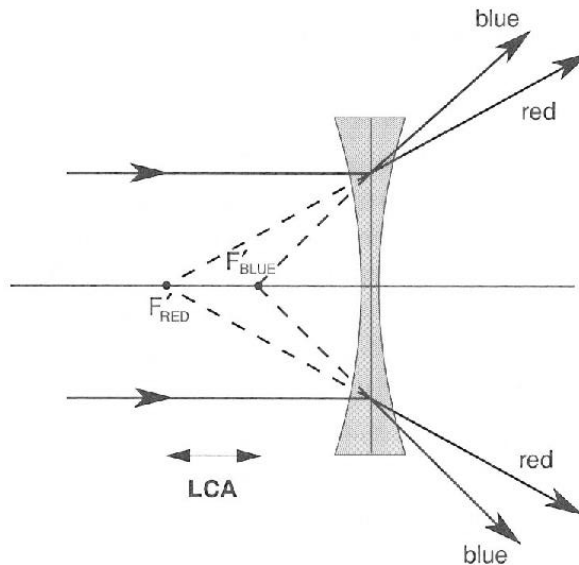
Dublet achromatyczny – korekcja aberracji chromatycznej



$$\frac{F_1}{v_1} + \frac{F_2}{v_2} = 0$$

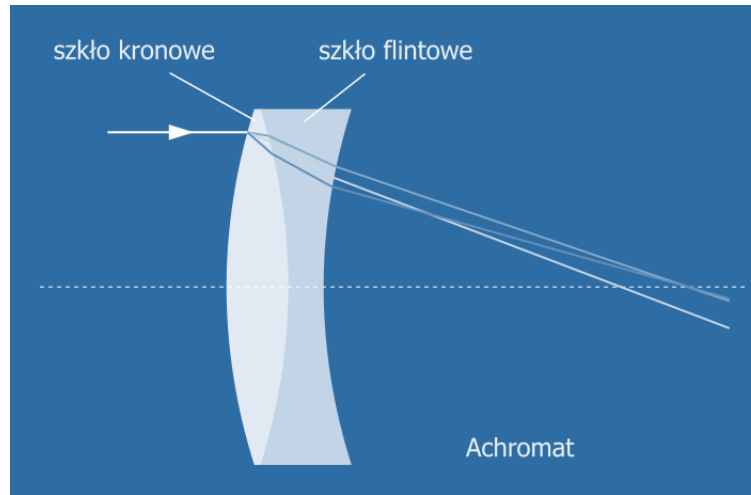
F – moc optyczna
 v – dyspersja

$$F_2 = -\frac{v_2}{v_1} F_1$$



Aberracje chromatyczne

Dublet achromatyczny – korekcja aberracji chromatycznej

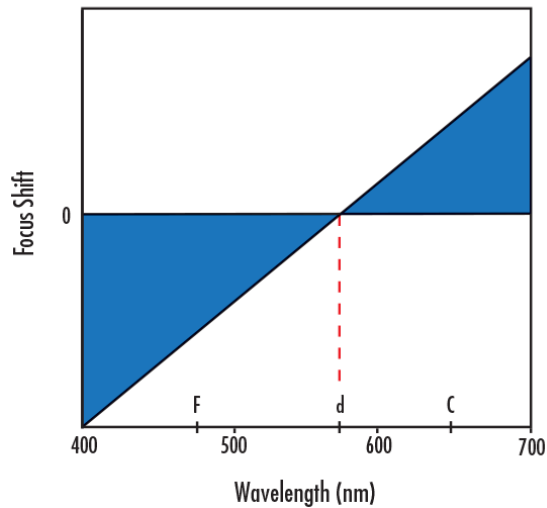


Szkło kronowe (crown) – szkło optyczne o dużej zawartości tlenku potasu (K_2O), charakteryzujące się dużą przejrzystością. Ma niski współczynnik załamania światła (1,45–1,6) i niską dyspersję (liczba Abbego ok. 60).

Flint – szkło optyczne o wysokiej zdolności rozszczepiania światła. Ma współczynnik załamania światła w granicach 1,55–1,9 i wysoką dyspersję (liczba Abbego 50–55).

Aberracje chromatyczne

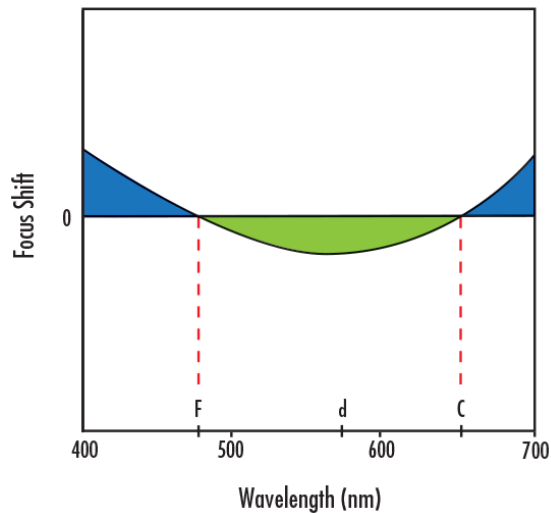
Chromatic



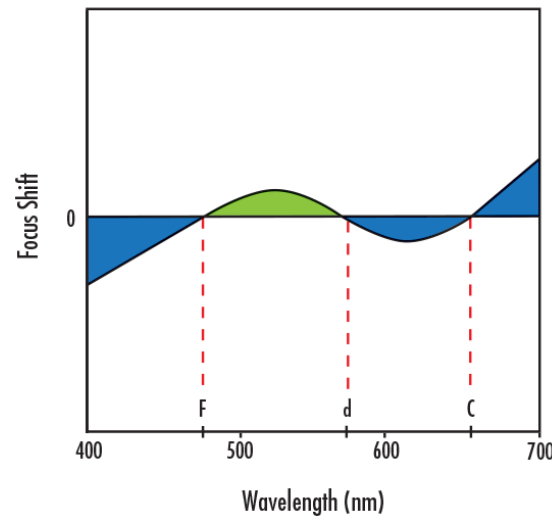
Układ optyczny korygujący aberrację chromatyczną dla dwóch długości fali – **achromat**, dla trzech – **apochromat**, dla czterech – **superachromat**.

Obie soczewki muszą być wykonane z różnych materiałów i mieć różnoimienne moce optyczne. Zwykle dąży się do tego, aby różnica współczynników dyspersji była duża, gdyż wtedy wystarczą mniejsze moce soczewek.

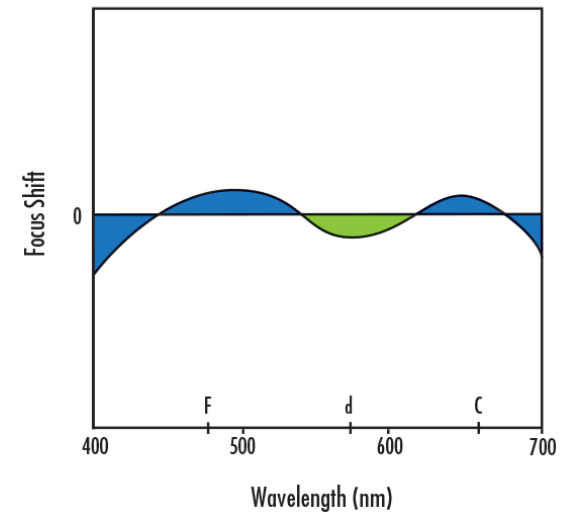
Achromatic



Apochromat



Superachromat



Aberracje chromatyczne

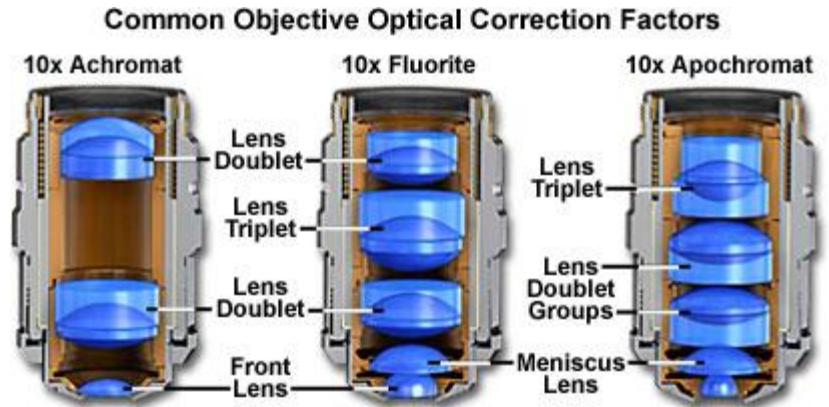
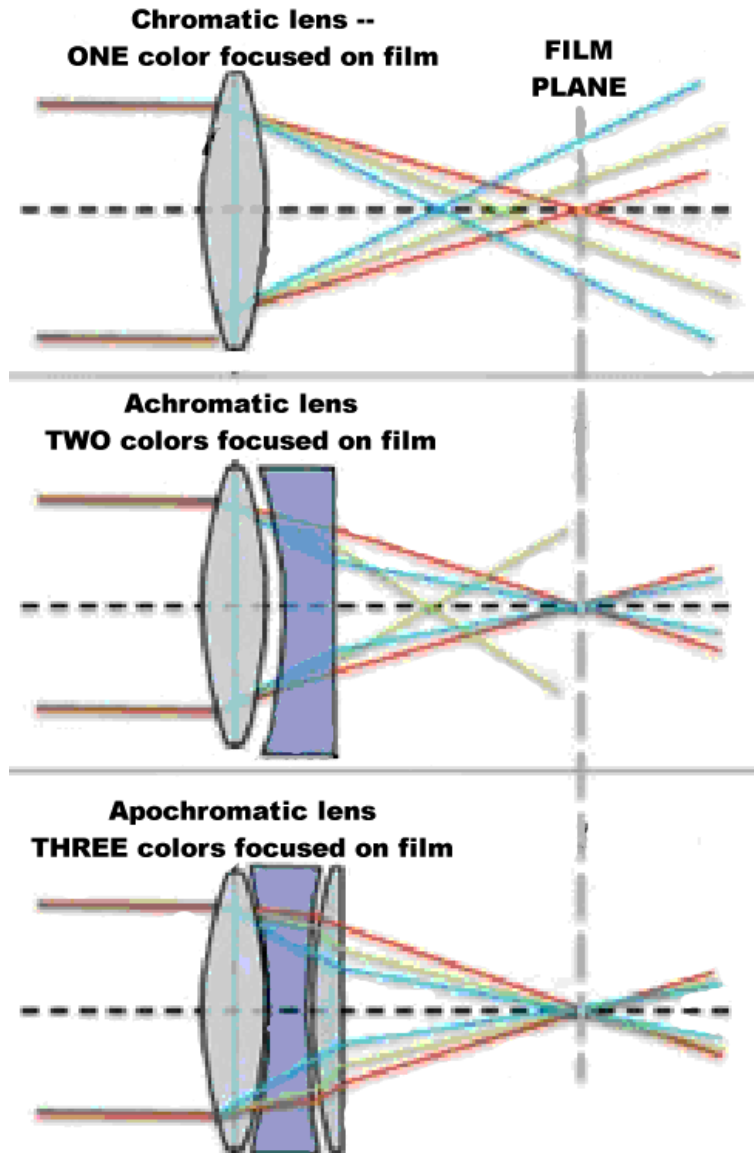
Skorygowanie chromatyzmu dla pewnej liczby długości fal nie gwarantuje korekcji dla pozostałej części widma. Powstaje tzw. *chromatyzm wtórny*.



Achromat

Apochromat

Aberracje chromatyczne

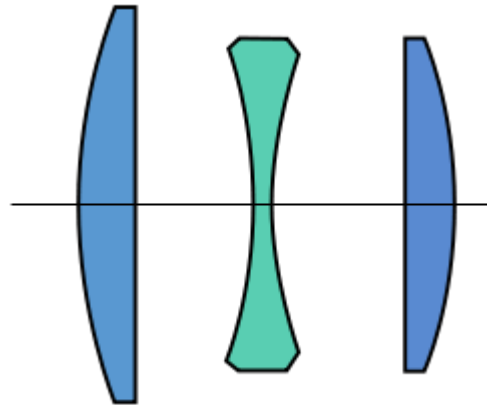


www.olympus-lifescience.com

Aberracje chromatyczne

Tryplet Cooke'a

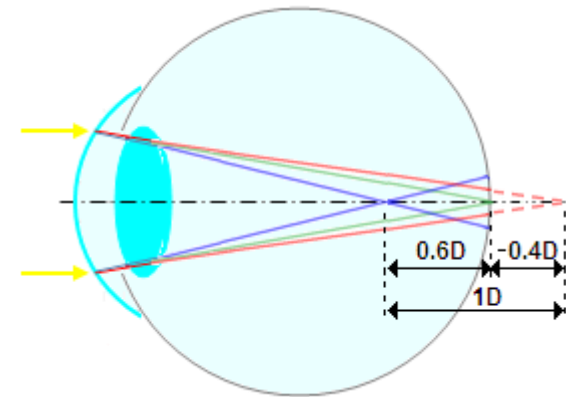
- Obiektyw zaprojektowany i opatentowany w roku 1893 przez Dennisa Taylora zatrudnionego przez Cooke of York (stąd nazwa).
- Pierwszy obiektyw eliminujący w znacznym stopniu większość aberracji.
- Składa się z rozpraszającej soczewki ze szkła flintowego i dwóch soczewek skupiających ze szkła kronowego.



Aberracje oka

- Aberracja sferyczna – istotna i różna w różnych przypadkach.
- Astygmatyzm – istotny i różny w różnych przypadkach.
- Koma – zanedbywalna.
- Chromatyzm – istotny.
- Aberracje wyższych rzędów – istotne w szczególnych warunkach obserwacji.
- Dystorsja – zanedbywalna.

- Mózg ludzki jest w stanie zaadaptować się do wielu aberracji, korygując obraz.

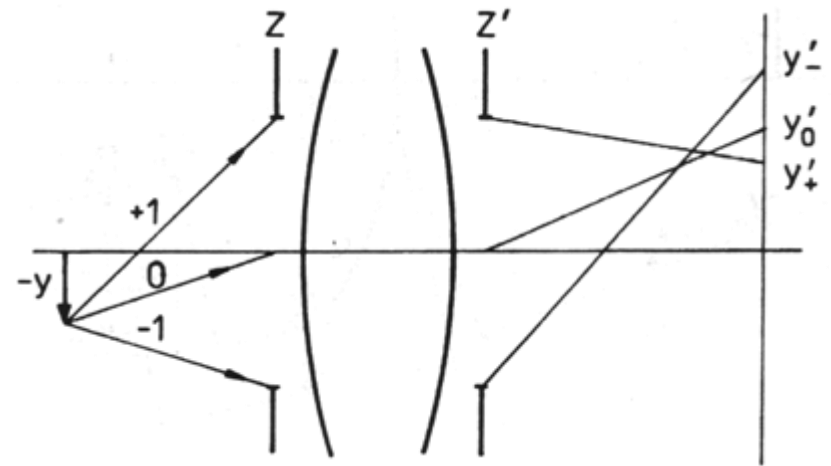


Aberracje a przysłony

- **Aberracje aperturowe** – przedmiot znajduje się na osi optycznej:
 - aberracja sferyczna,
 - chromatyzm położenia,
- Wielkość aberracji zależy od wielkości przysłony aperturowej.

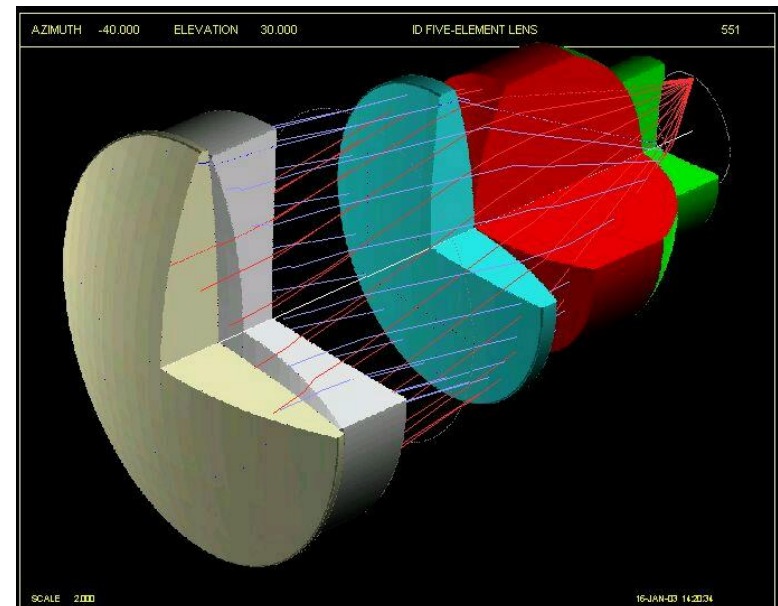
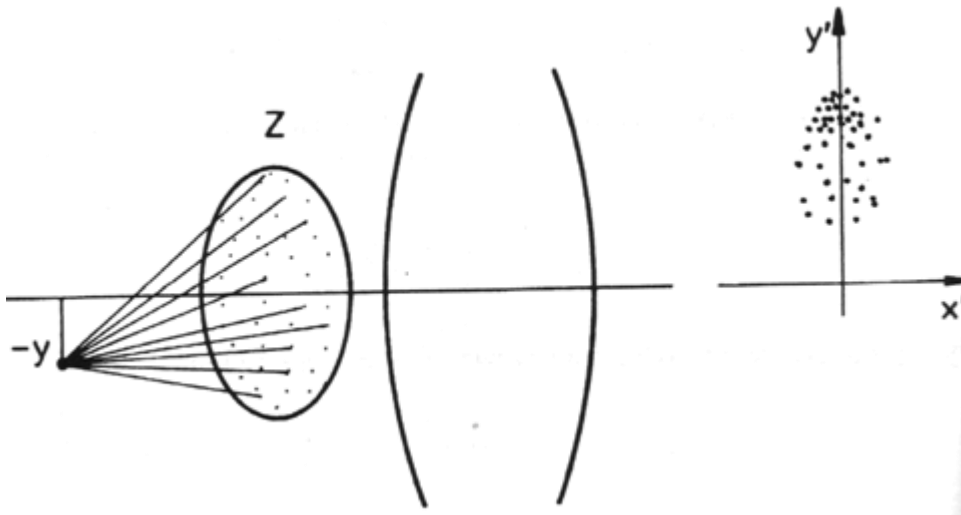
Aberracje a przestony

- **Aberracje polowe** – przedmiot leży poza osią optyczną układu:
 - koma,
 - krzywizna pola i astygmatyzm,
 - dystorsja,
 - **chromatyzm powiększenia**
- Wielkość aberracji zależy od odległości punktu przedmiotowego od osi (y), czyli od kąta polowego.



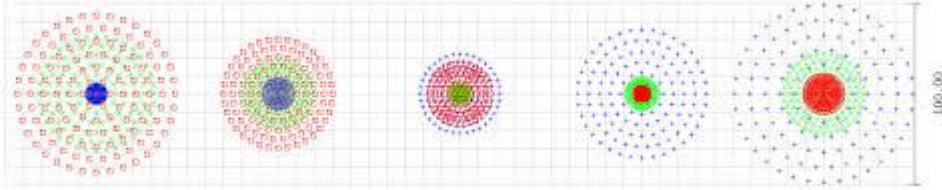
Aberracje - diagram śladowy

- Równomiernie rozłożony w kącie bryłowym pęk promieni wychodzący ze źródła punktowego prowadzony jest przez układ i „uderza” w ekran.
- Kształt plamki i rozkład punktów przebicia tych promieni określają rozkład energii w plamce aberracyjnej.

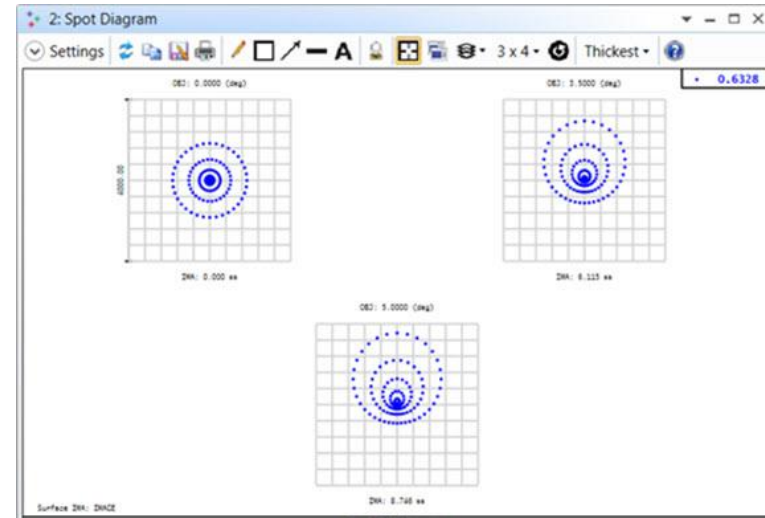


Aberracje - diagram śladowy

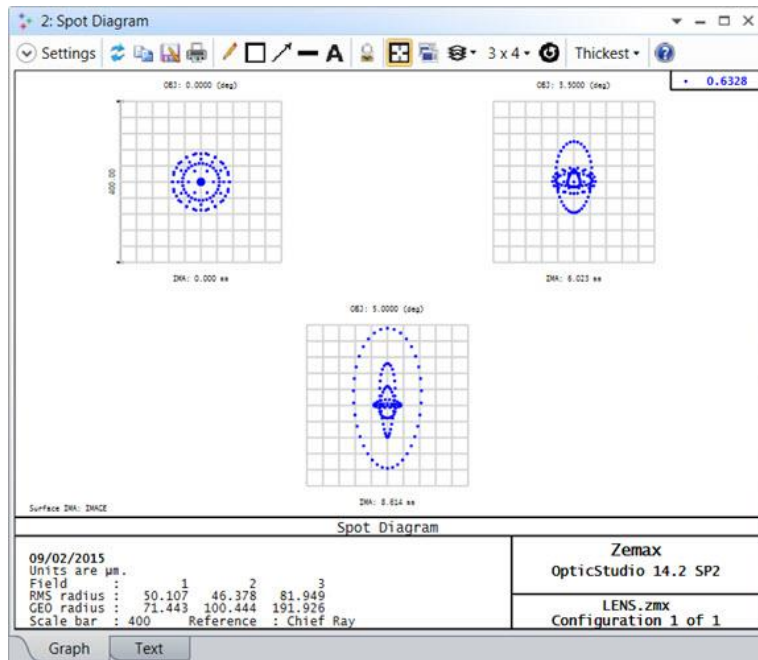
Aberracja chromatyczna



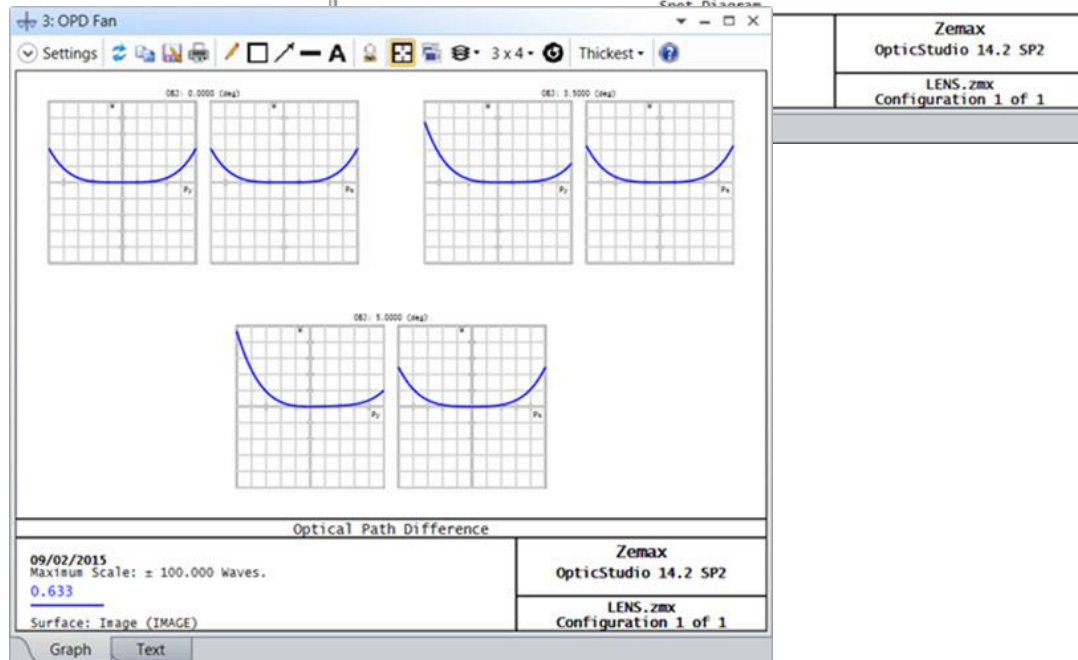
Coma



Astygmatyzm



Krzywizna pola



Zemax
OpticStudio 14.2 SP2
LENS.zmx
Configuration 1 of 1