

1100-1BO15, rok akademicki 2021/22

# **OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA**

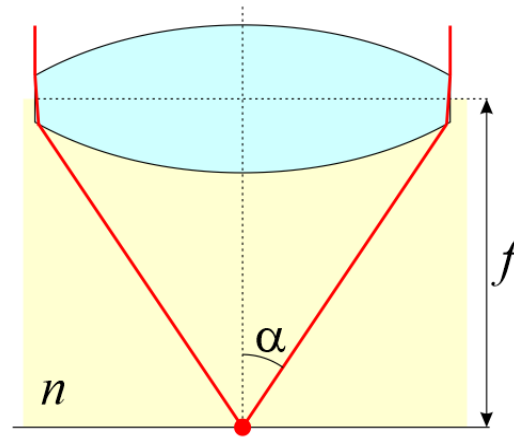
dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 8

# Diafragmy

## Apertura numeryczna

- Iloczyn współczynnika załamania ośrodka, w którym znajduje się przedmiot i sinusa kąta aperturowego.

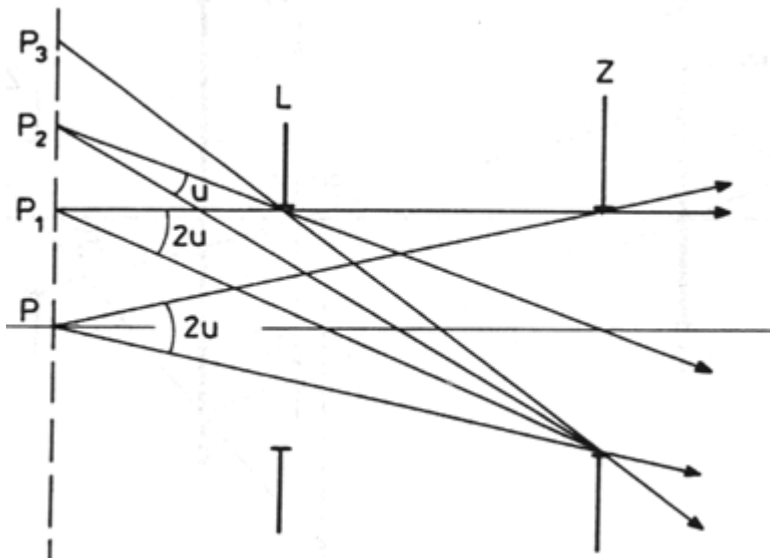


$$NA = n \sin(\theta)$$

# Diafragmy

## Winietowanie

- Dla dużej źrenicy wejściowej apertura dla przedmiotów punktowych poza osią układu zmniejsza się.
- Pęk promieni traci symetrię.
- Efektywne pole widzenia odpowiada zwykle winietowaniu nie większemu niż 50%.



[pl.wikipedia.org/wiki/Winietowanie](http://pl.wikipedia.org/wiki/Winietowanie)

# Aberracje optyczne



[slideplayer.com/slide/4681790/](http://slideplayer.com/slide/4681790/)



[photographylife.com/what-is-chromatic-aberration](http://photographylife.com/what-is-chromatic-aberration)



[photographylife.com/what-is-distortion](http://photographylife.com/what-is-distortion)



17MM

50MM

200MM

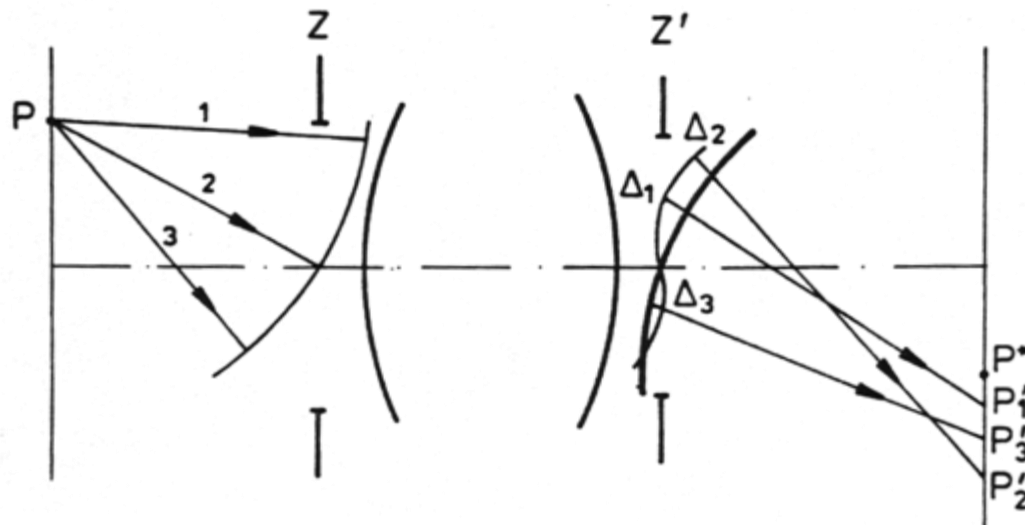
F5.6 1/200 ISO100

[oohstloustudios.com](http://oohstloustudios.com)

# Aberracje optyczne

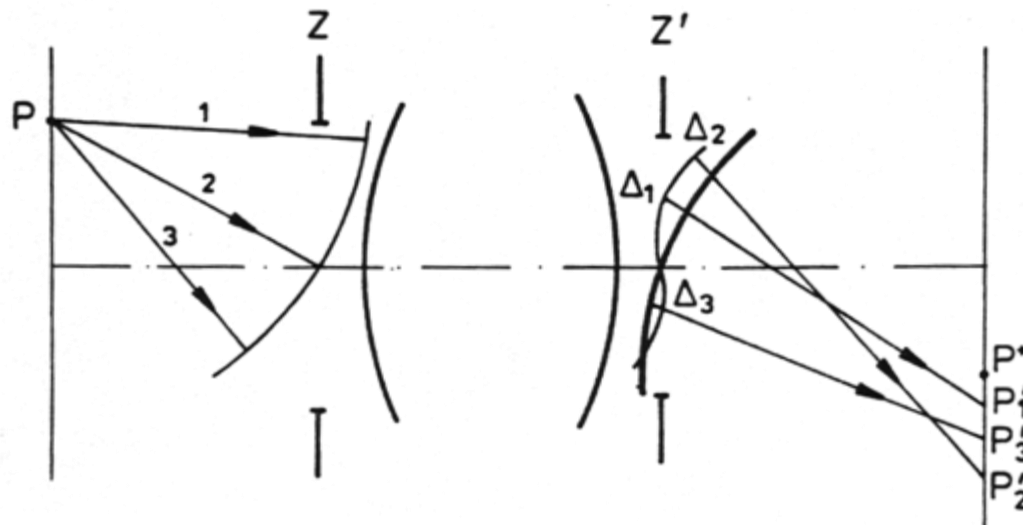
Idealny układ optyczny charakteryzuje się stygmatyzmem, co znaczy, że obrazem każdego punktu w przestrzeni przedmiotowej jest także punkt w przestrzeni obrazowej. Rzeczywiste układy optyczne posiadają **aberracje**, które powodują, że obrazem punktu jest pewien rozkład natężenia, który często można zwizualizować w płaszczyźnie obrazowej jako plamkę tzw. aberracyjną o nieregularnym kształcie, przy czym jej kształt i rozkład natężenia zależy od cech układu.

Można powiedzieć również, że układ optyczny przekształca falę sferyczną (kulistą), pochodzącą z punktowego źródła światła w falę nie-sferyczną



# Aberracje optyczne

- Związane z nie spełnieniem warunku **stygmatyzmu** (różny bieg promieni w zależności od odległości od osi optycznej).
- Rodzaje: monochromatyczne, niemonochromatyczne.
- Punkt  $P^*$  jest (teoretycznym) obrazem bezaberracyjnym punktu  $P$ .
- $\Delta_i$  to **aberracje podłużne** promienia,  $\delta l'_i = P'_i - P^*$  to **aberracje poprzeczne** promienia.



# Aberracje optyczne

Istnieją dwa najpopularniejsze opisy aberracji monochromatycznych: Seidela i Zernikego.

Opis Seidela polega na rozwinięciu funkcji sinus, występującej w analizie załamania promienia światła na powierzchni sferycznej, w szereg Taylora w przybliżeniu trzeciego rzędu.

$$\sin(\alpha) = x - \frac{x^3}{3!} + \dots$$

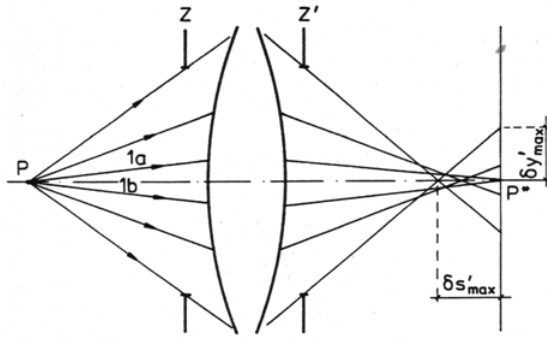
W wyniku, uzyskuje się wyrażenia na kilka znanych aberracji, które można łatwo zaobserwować w układach optycznych. Są to: *aberracja sferyczna, koma, astygmatyzm i krzywizna pola (związane ze sobą), oraz dystorsja.*

W ujęciu Zernikego, dokonuje się rozwinięcia opisu frontu falowego na wielomiany Zernikego, które opisują nieskończenie wiele aberracji coraz wyższych rzędów. Kilka aberracji niższych rzędów odpowiada aberracjom w opisie Seidela.

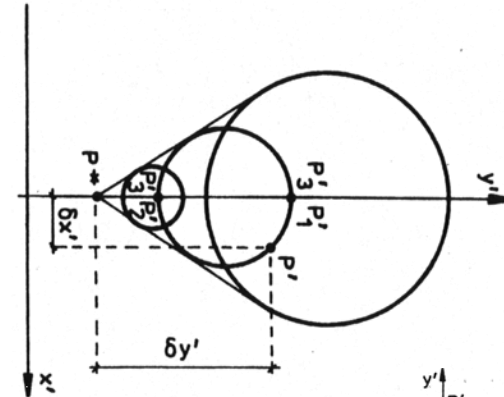


# Aberracje monochromatyczne

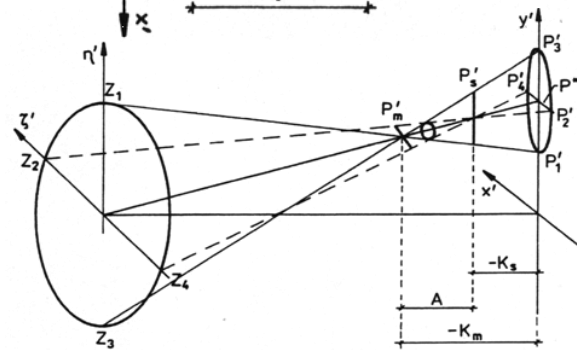
a) Sferyczna



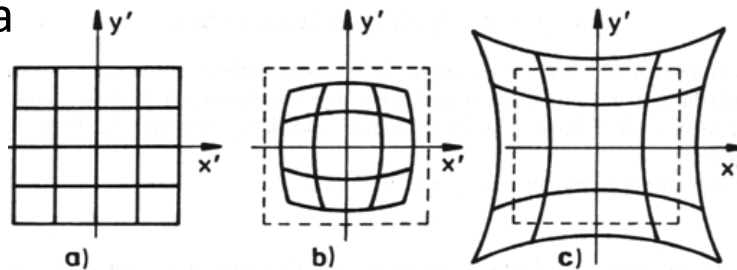
b) Koma



c) Astygmatyzm i krzywizna pola



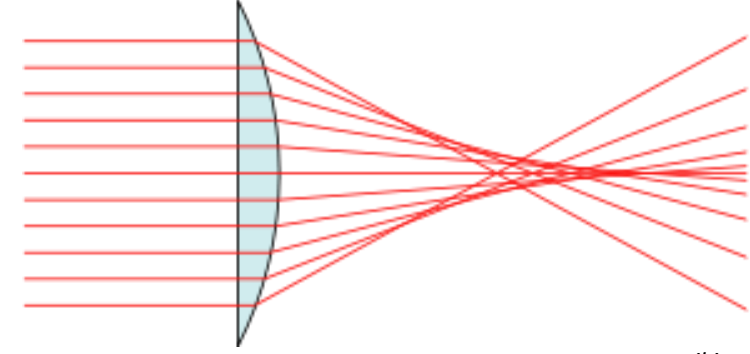
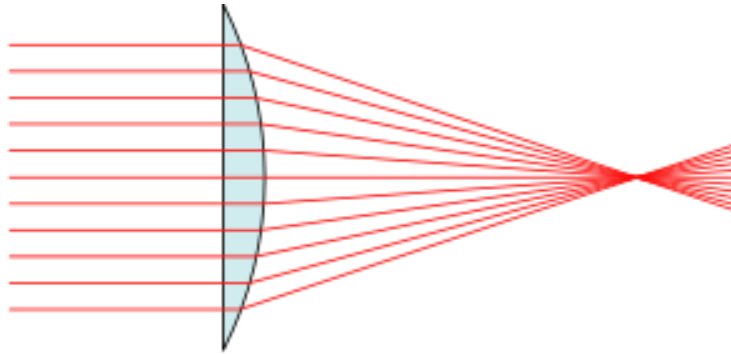
d) Dystorsja



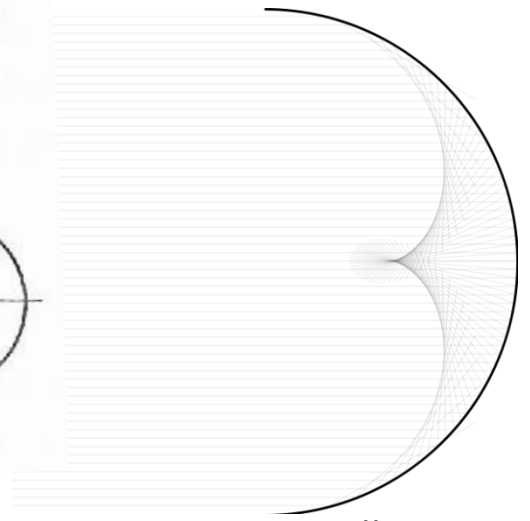
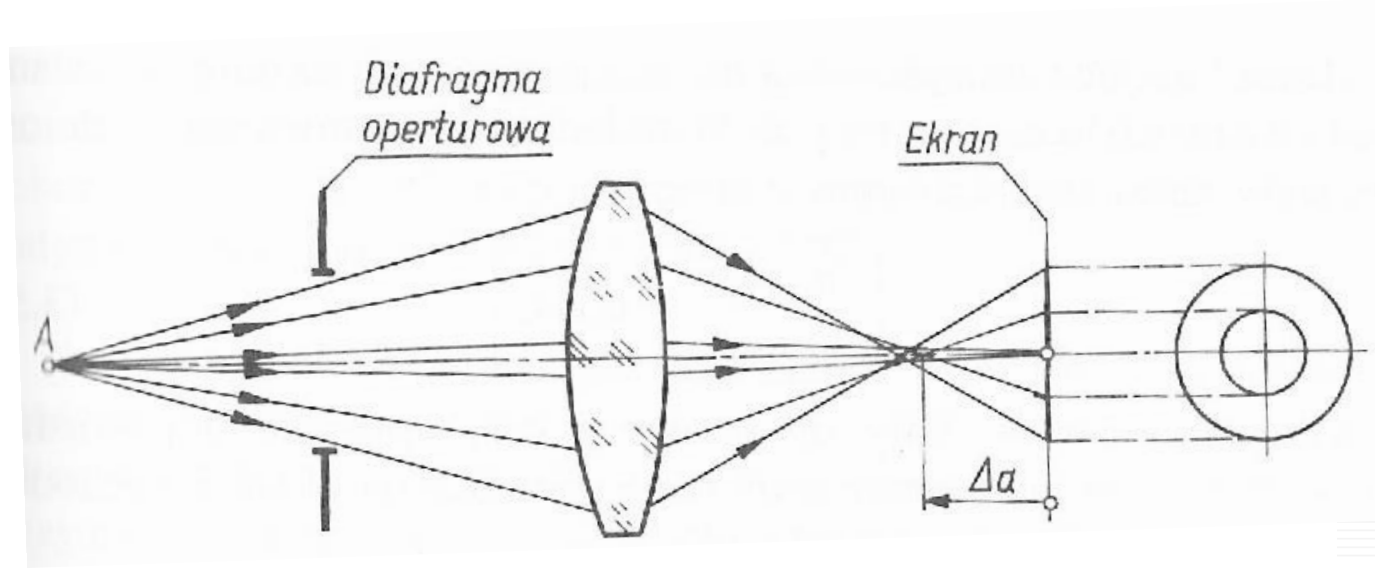


# Aberracja sferyczna

Jeżeli z punktu na osi optycznej wychodzi pęcz promieni światła jednobarwnego to po przejściu przez soczewkę skupiającą skupią się w różnych punktach

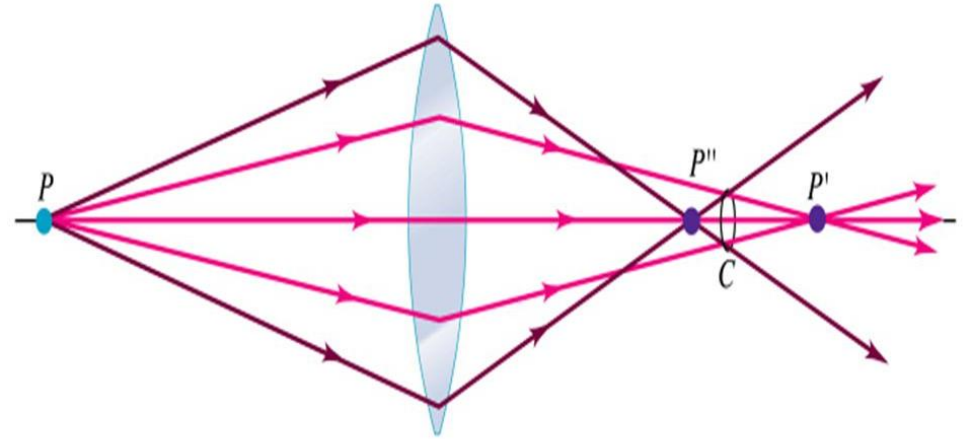
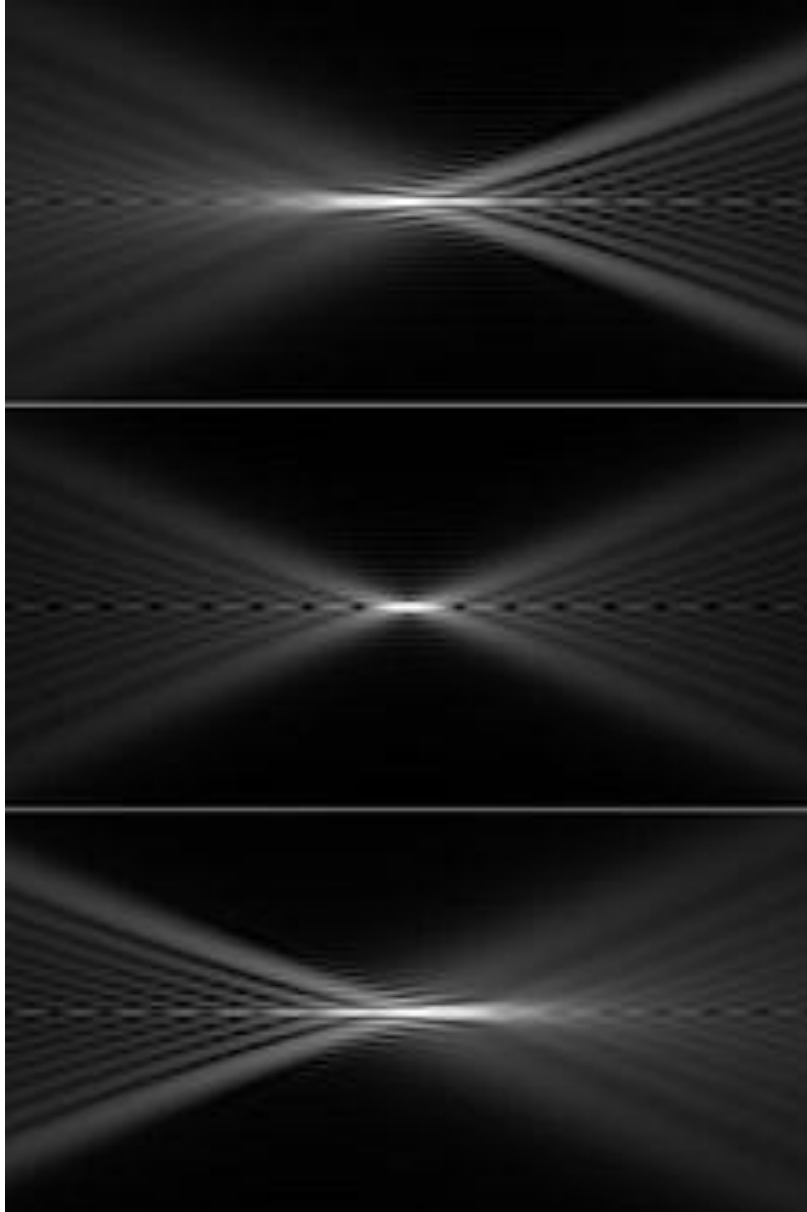


*en.wikipedia.org*



Zwierciadło kaustyka

# Aberracja sferyczna



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

aberracja podłużna  $P'-P''$

aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki)

Symulacja aberracji sferycznej w układzie optycznym z kołową aperturą oświetlaną z punktowego źródła oraz wynik jej korekcji. Przekroje w płaszczyznach równoległych do osi układu.

# Aberracja sferyczna

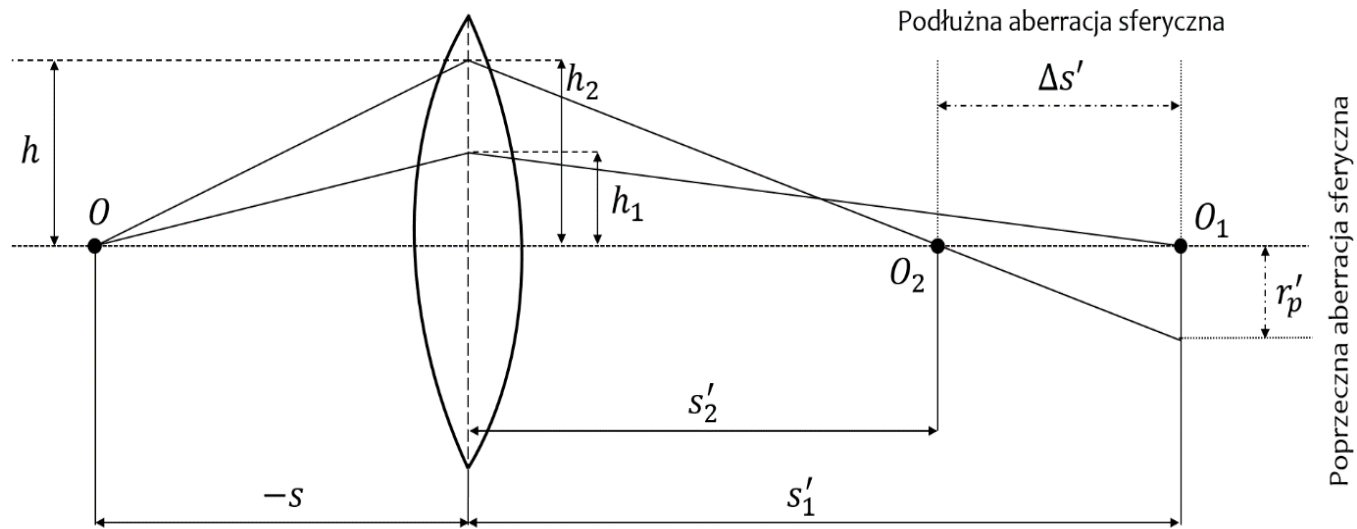
aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki)



*en.wikipedia.org*

Symulacja aberracji sferycznej w układzie optycznym z kołową aperturą oświetlaną z punktowego źródła oraz wynik jej korekcji. Przekroje w płaszczyznach prostopadłych do osi układu.

# Aberracja sferyczna



- Aberracja podłużna:  $\Delta f = f_0 - f_{h_{\max}}$
- Aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki):

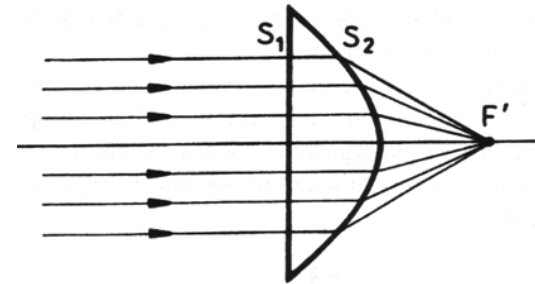
$$\frac{r_p}{\Delta f} = \frac{h_{\max}}{f_{h_{\max}}} \longrightarrow r_p = \Delta f \frac{h_{\max}}{f_{h_{\max}}}$$

# Aberracja sferyczna

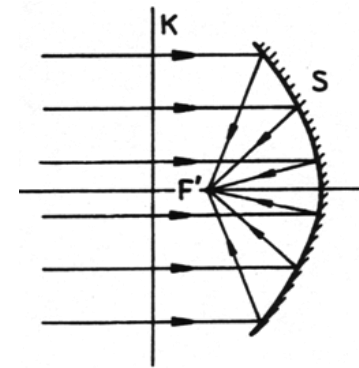
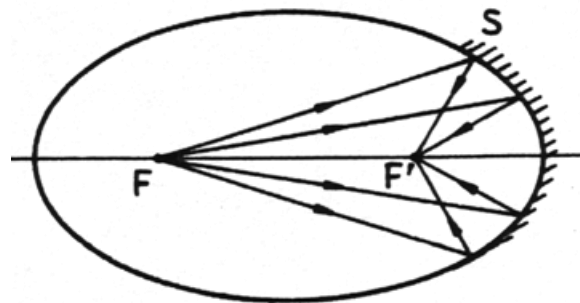
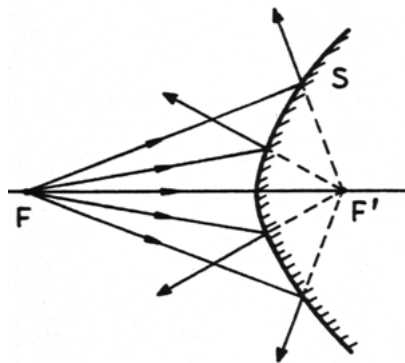
- Pojedyncza soczewka (cienka) o powierzchniach sferycznych, wykonana z materiału o współczynniku załamania  $n$ , znajdująca się w powietrzu, wykazuje najmniejszą aberrację sferyczną wtedy, gdy stosunek promieni jej krzywizn wynosi:

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{n(2n+1)}{2n^2-n-4}$$

- Można pokazać też, że pojedyncza soczewka płasko-wypukła będzie wolna od aberracji sferycznej dla równoległej wiązki przedmiotowej, gdy jej powierzchnia zakrzywiona jest hiperboloidą obrotową.

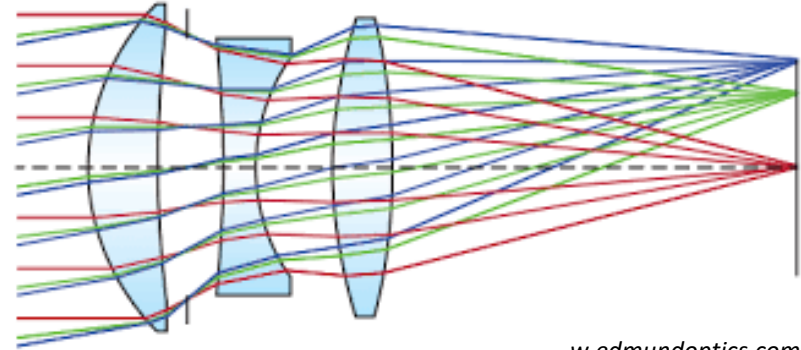
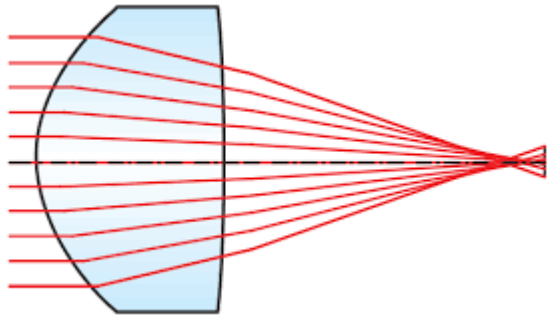


- Zwierciadła wolne od aberracji sferycznej (paraboloida):



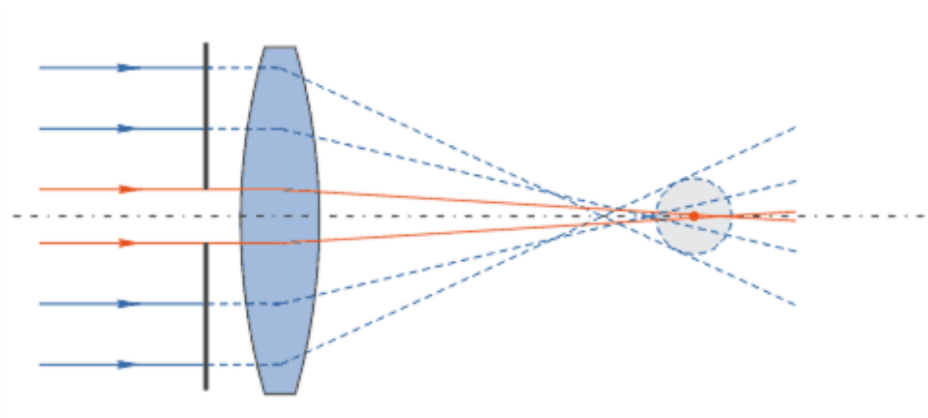
# Aberracja sferyczna

Soczewki asferyczne – korekcja aberracji sferycznej



*w.edmundoptics.com*

- Aberracja sferyczna jest większa przy większych aperturach, stąd jedna z metod to zmniejszenie źrenicy wejściowej układu.



# Koma

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

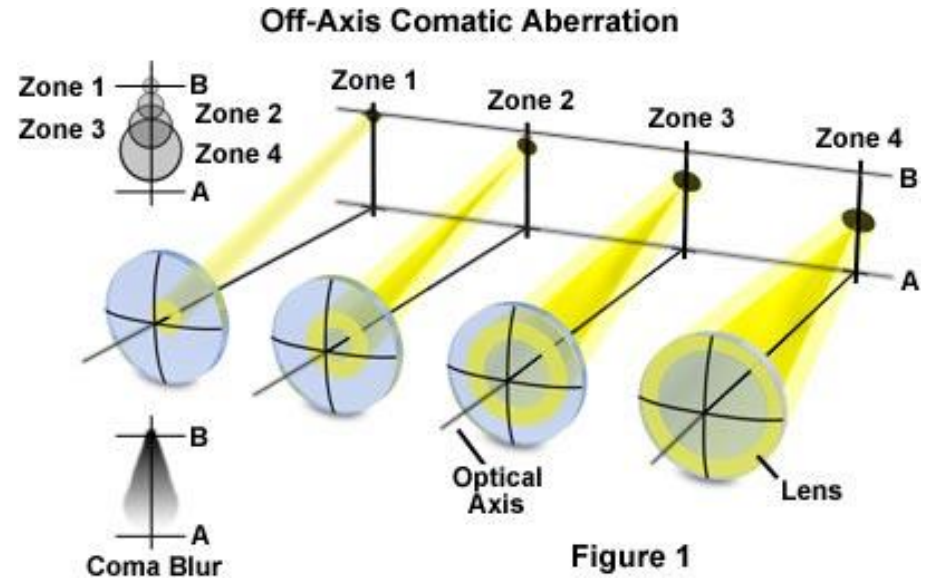
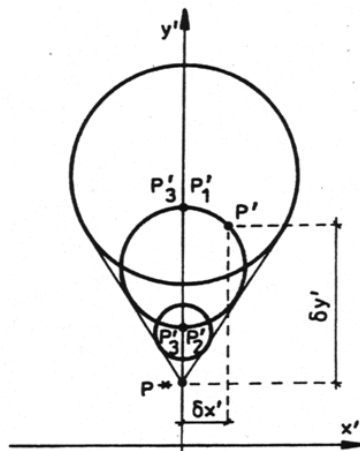
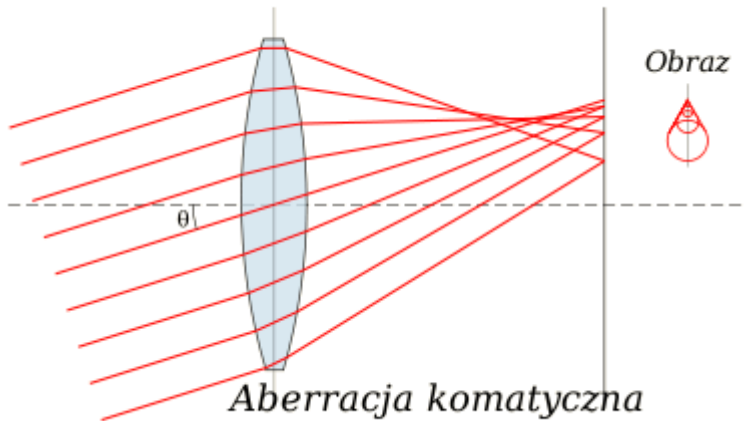
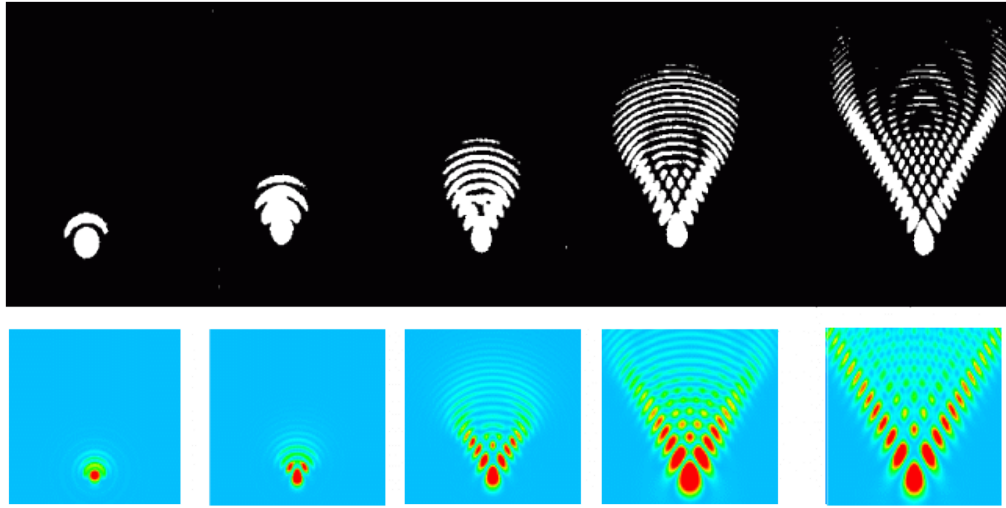


Figure 1

[www.olympus-lifescience.com](http://www.olympus-lifescience.com)





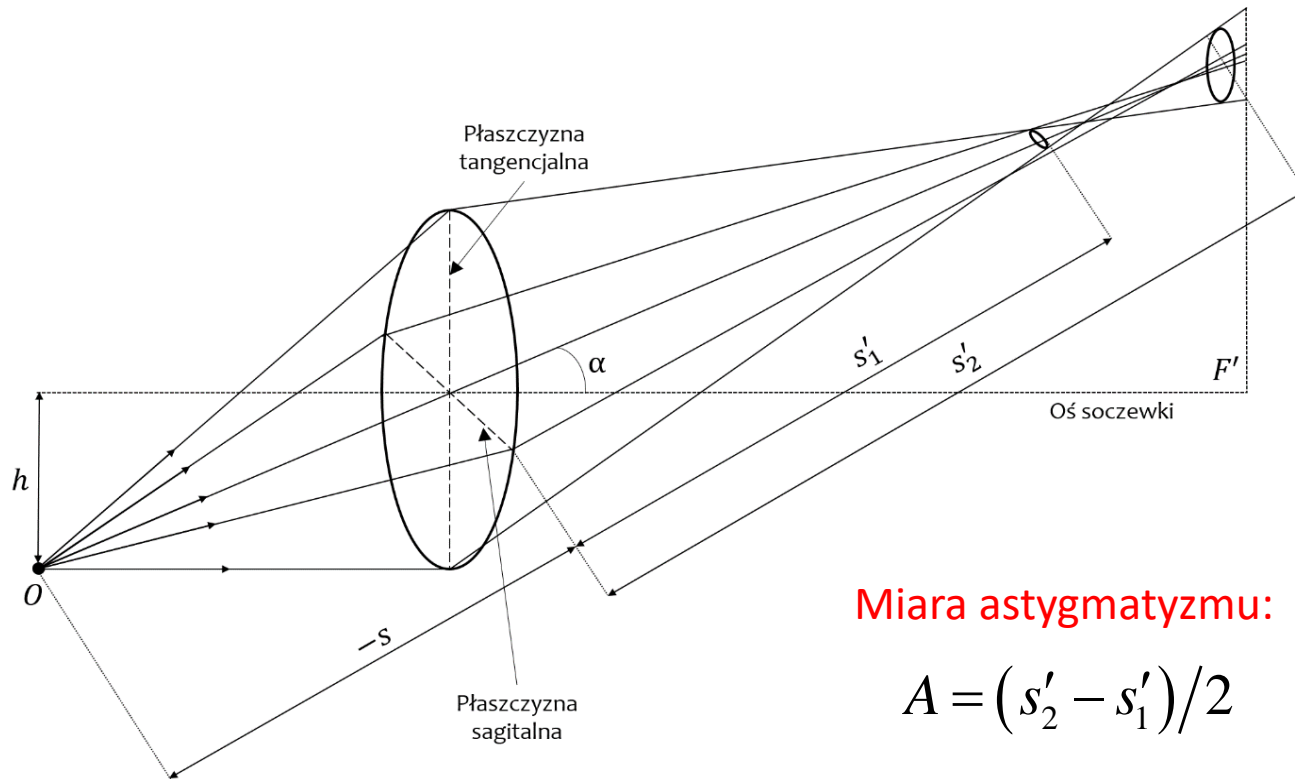
[www.astro.uni.torun.pl/~kb](http://www.astro.uni.torun.pl/~kb)



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

# Astygmatyzm i krzywizna pola

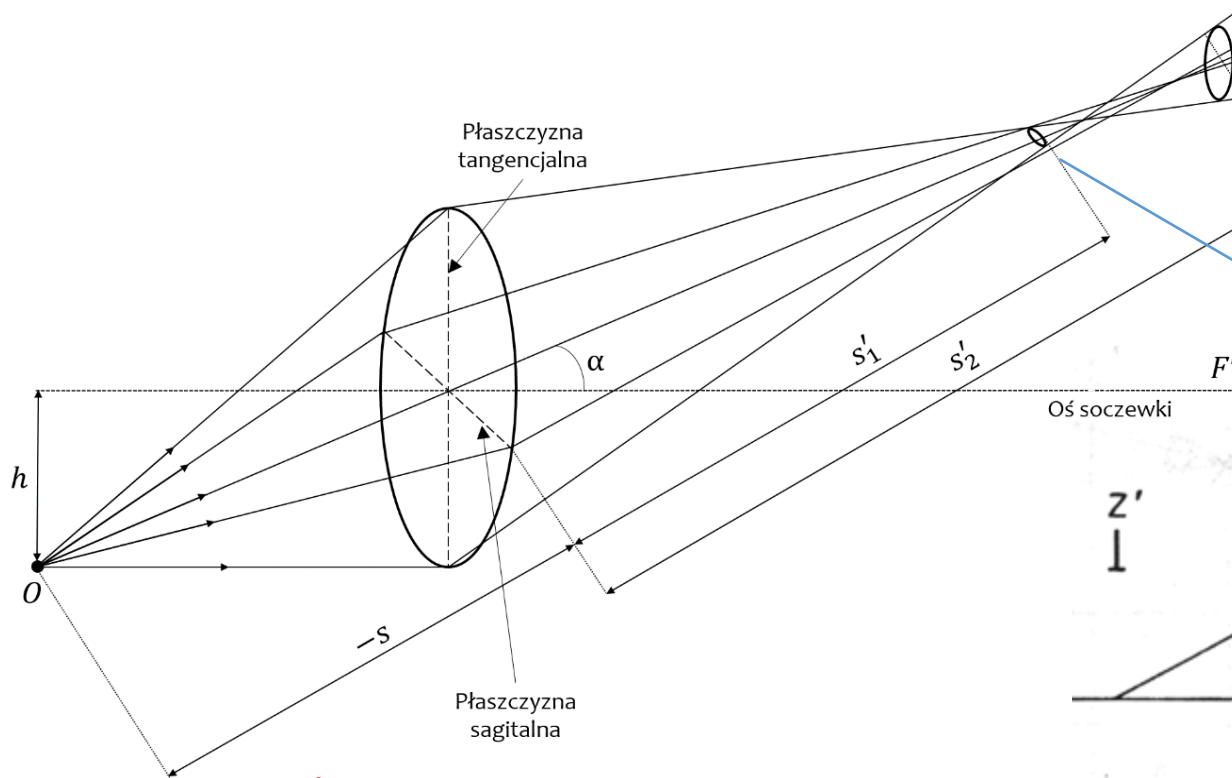
- Plamka aberracyjna jest **elipsą**.
- Efekt różnej mocy optycznej mierzonej w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach.
- Punkt skupienia promieni zależy od wyboru badanej płaszczyzny.
- W przykładzie rozważa się płaszczyzny  $\Theta = 0^\circ$  i  $\Theta = 180^\circ$ .



Miara astygmatyzmu:

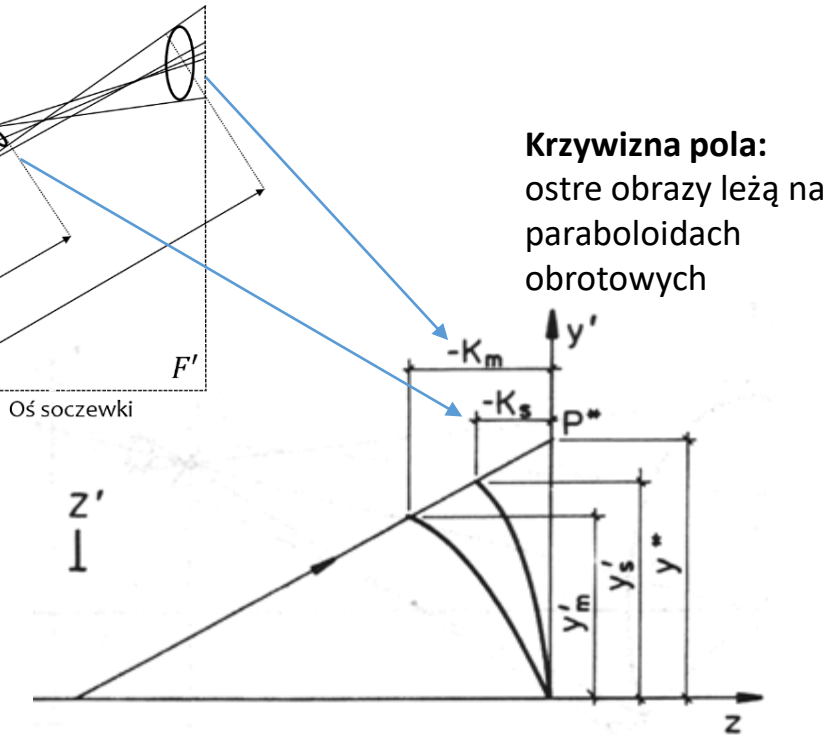
$$A = (s'_2 - s'_1) / 2$$

# Astygmatyzm i krzywizna pola



Miara astygmatyzmu:

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



Krzywizna pola:  
ostre obrazy leżą na  
paraboloidach  
obrotowych

Miara astygmatyzmu:

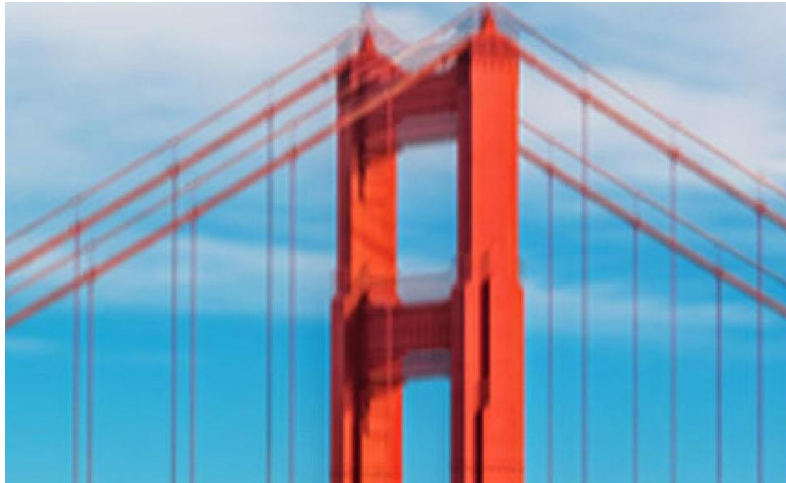
$$A = (K_m - K_s)/2$$

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

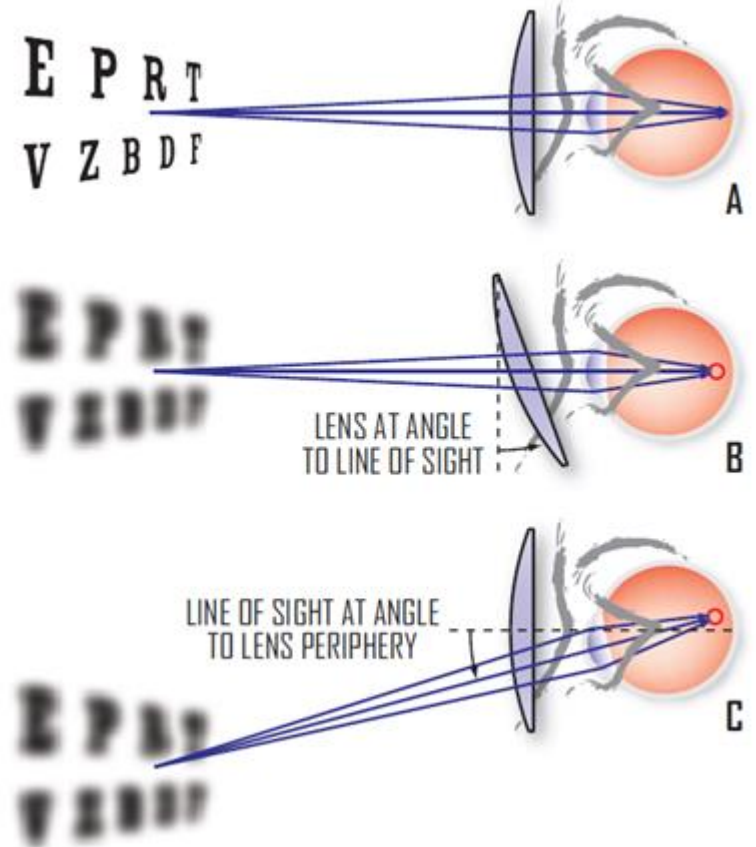
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_s} \right)$$

# Astygmatyzm i krzywizna pola

## Astygmatyzm



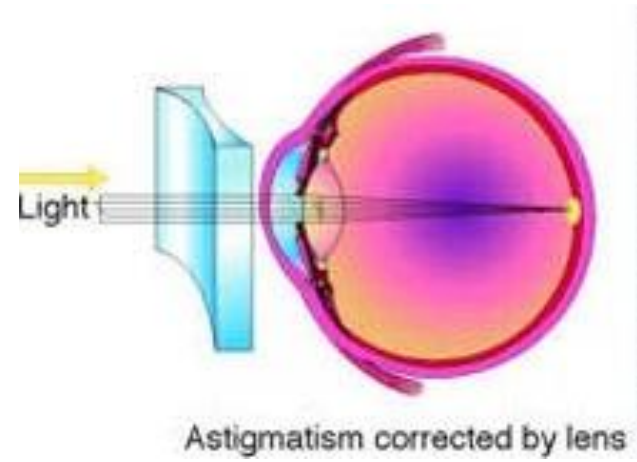
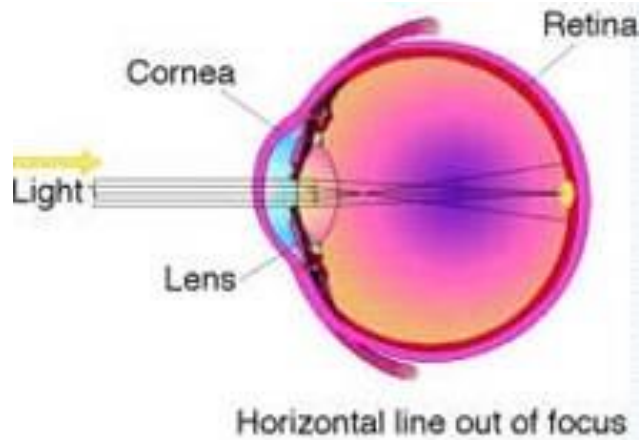
[www.essilor.com.au/vision](http://www.essilor.com.au/vision)



[www.charllaas.com/new-eye-test-technology/](http://www.charllaas.com/new-eye-test-technology/)

# Astygmatyzm i krzywizna pola

## Astygmatyzm – korekcja

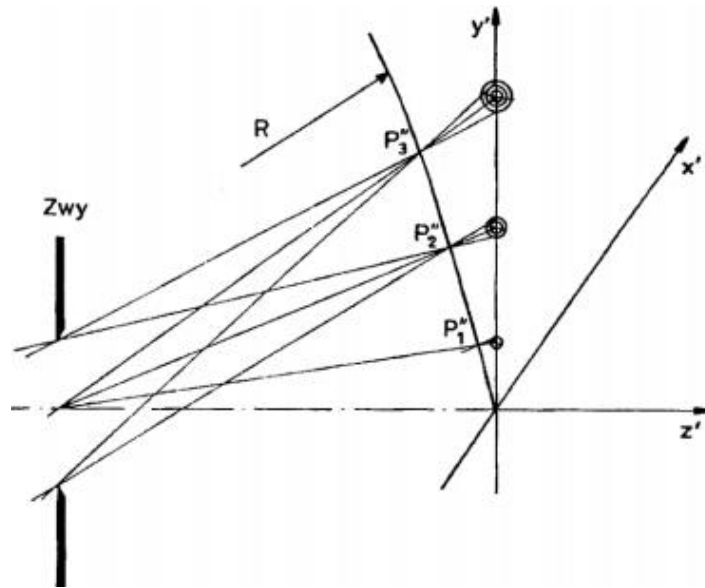


*thekingno.com*

# 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 Petzwała**:

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

# Astygmatyzm i krzywizna pola

Krzywizna pola

