

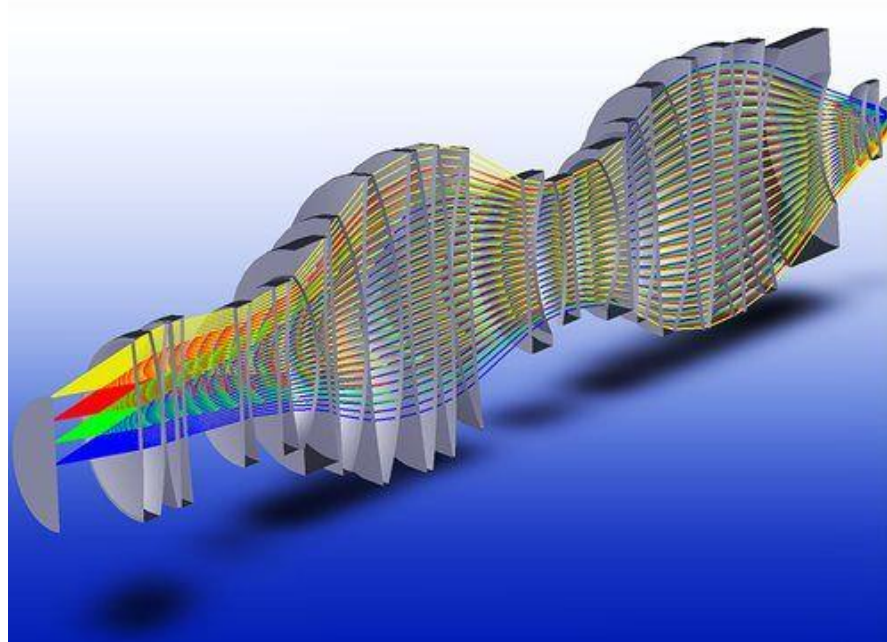
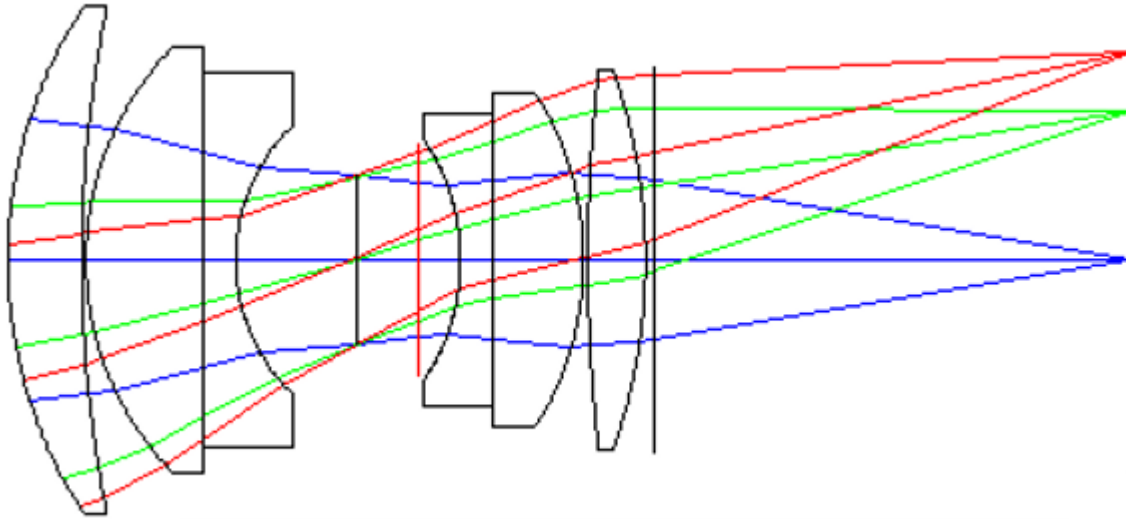
1100-1BO15, rok akademicki 2018/19

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 6

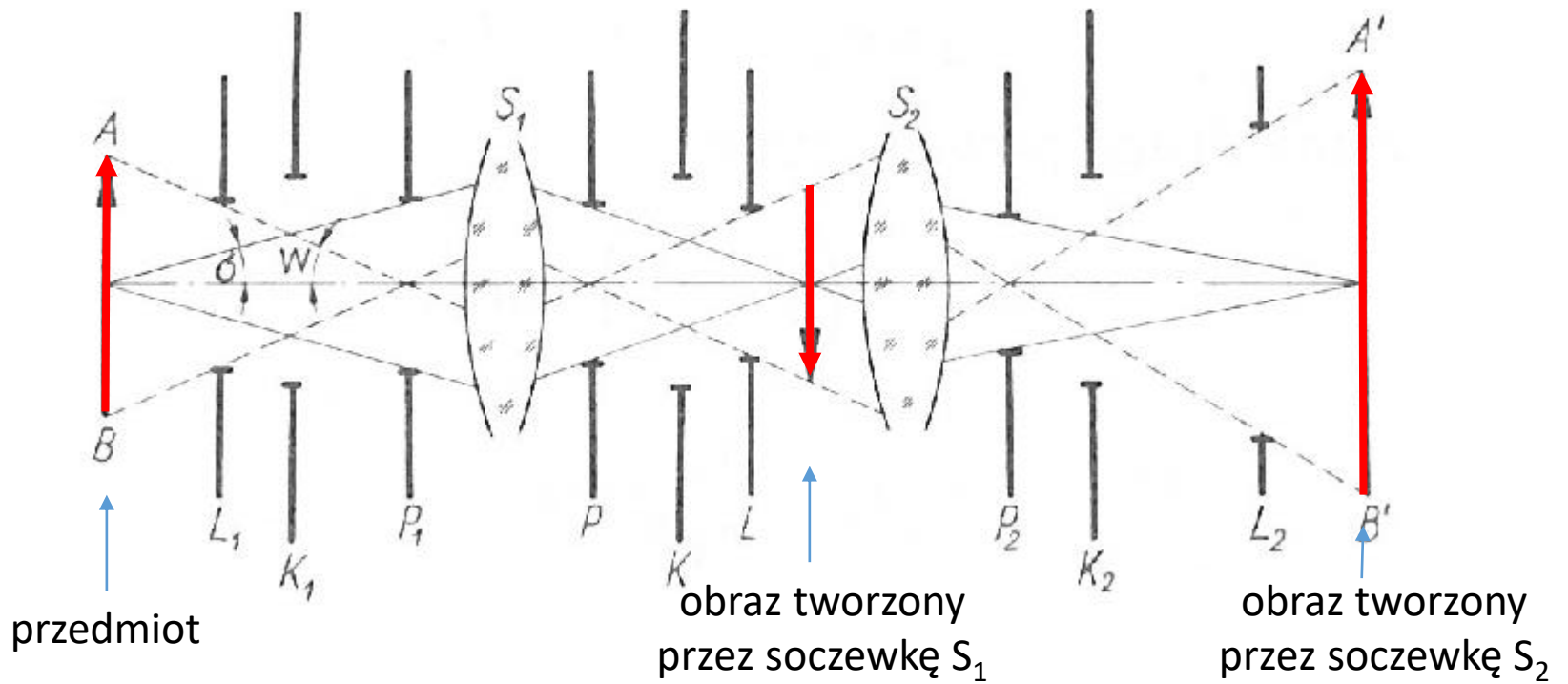
Optyka promieni



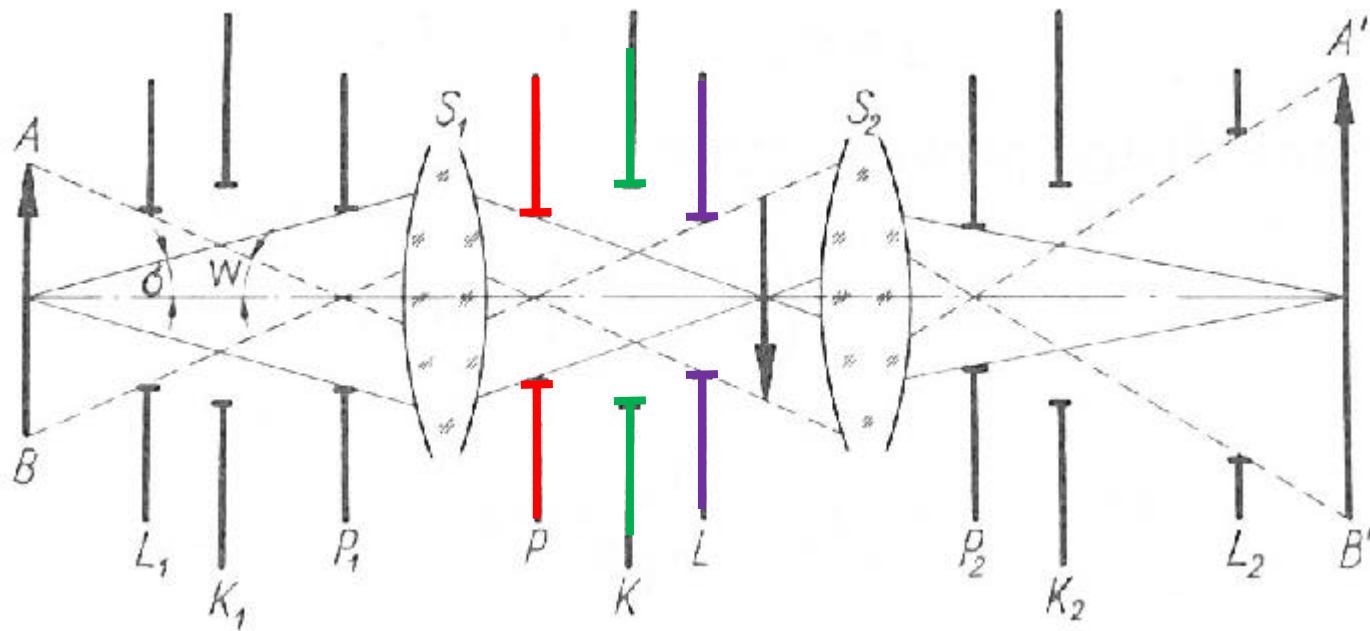
Diafragmy

- Pęk promieni świetlnych, przechodzący przez układ optyczny jest ograniczony przez przysłony (diafragmy) o dowolnym kształcie i symetrii, aczkolwiek staramy się, by miały kształt kołowy ze względu na typową symetrię układów optycznych.
- Przysłony mogą być wynikiem budowy układu optycznego (np. oprawa soczewki), intencjonalnego ograniczenia pęku promieni (np. otwór o regulowanej średnicy) lub warunków obserwacji (np. źrenica oka).
- Przysłony określają kształt pęku promieni wychodzących z punktowego źródła (punkt przedmiotu) oraz tworzących obraz tego źródła.
- Przysłony określają strumień świetlny przechodzący przez układ, a co za tym idzie jasność obrazu.
- Przysłony określają wpływ aberracji układu optycznego na tworzony obraz, bowiem pozwalają na uwzględnienie (bądź nie) promieni położonych daleko od osi optycznej.

Diafragmy

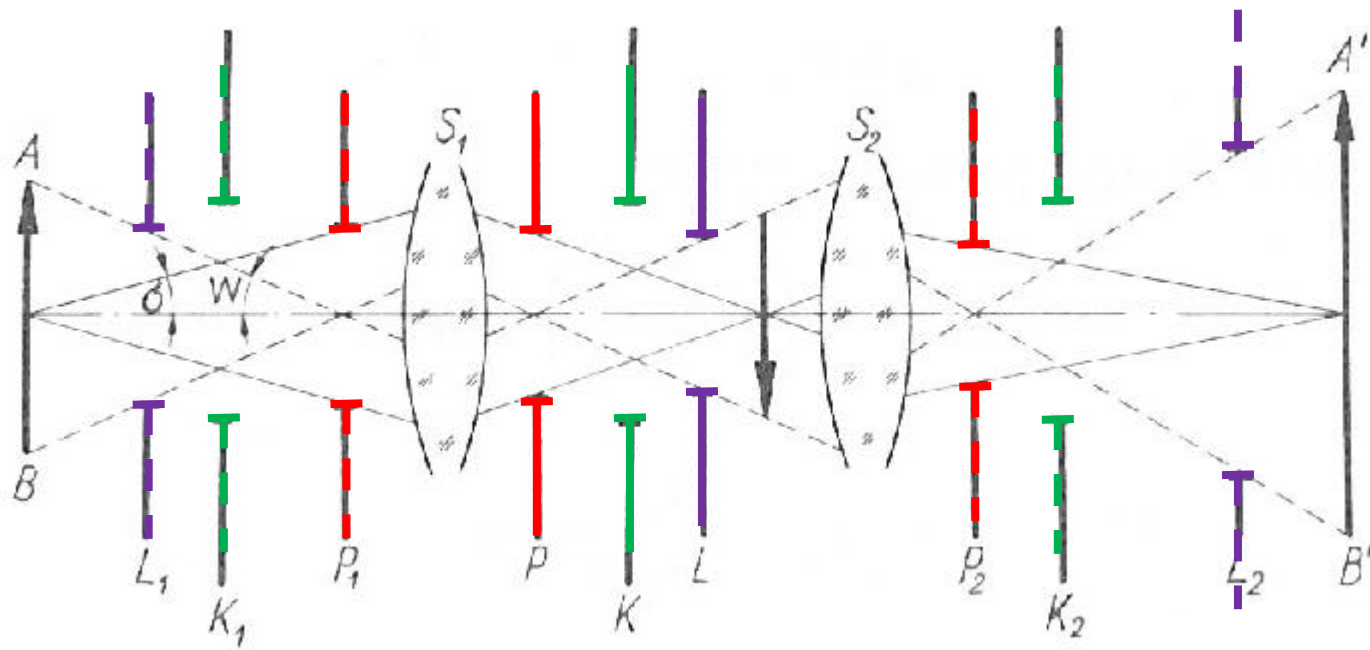


Diafragmy



3 diafragmy wewnątrz
układu optycznego

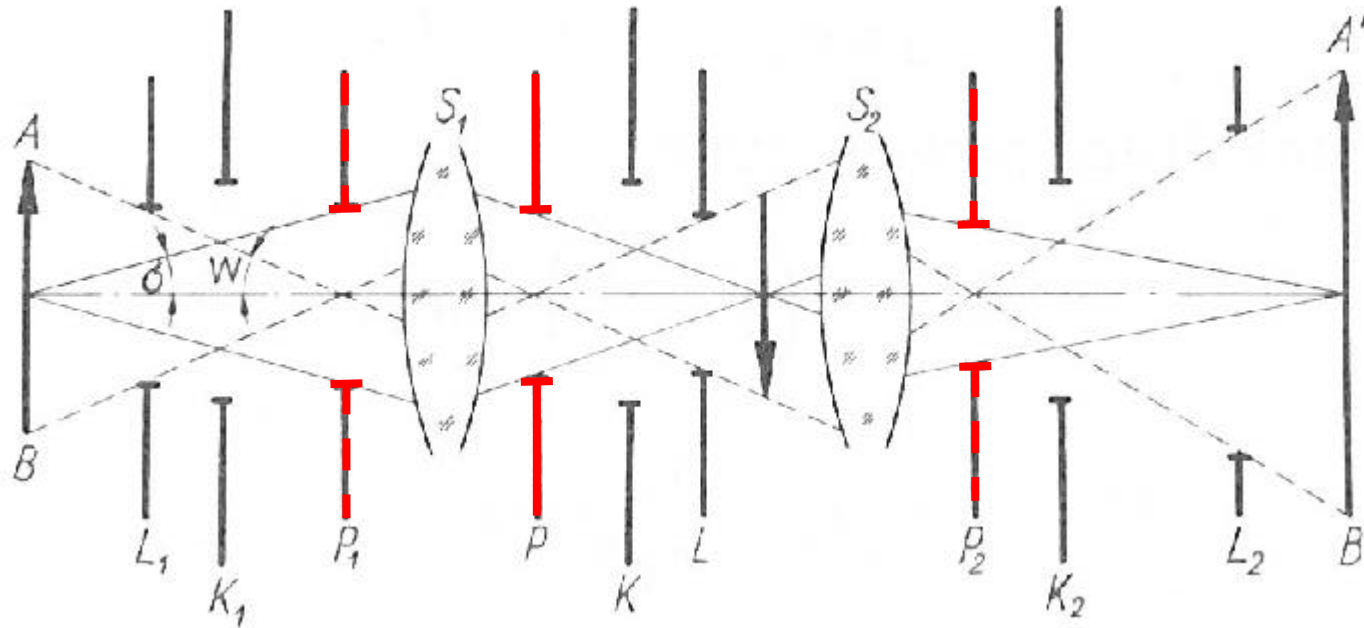
Diafragmy



obrazy diafragm w
przestrzeni przedmiotowej

obrazy diafragm w
przestrzeni obrazowej

Diafragmy



Diafragma aperturowa

Diafragma P , której obraz w przestrzeni przedmiotowej widać ze środka przedmiotu AB pod najmniejszym kątem δ i najbardziej ogranicza wiązkę światła padającego na układ.

Żrenica wejściowa

Obraz diafragmy aperturowej po stronie przedmiotu P_1 .

Żrenica wyjściowa

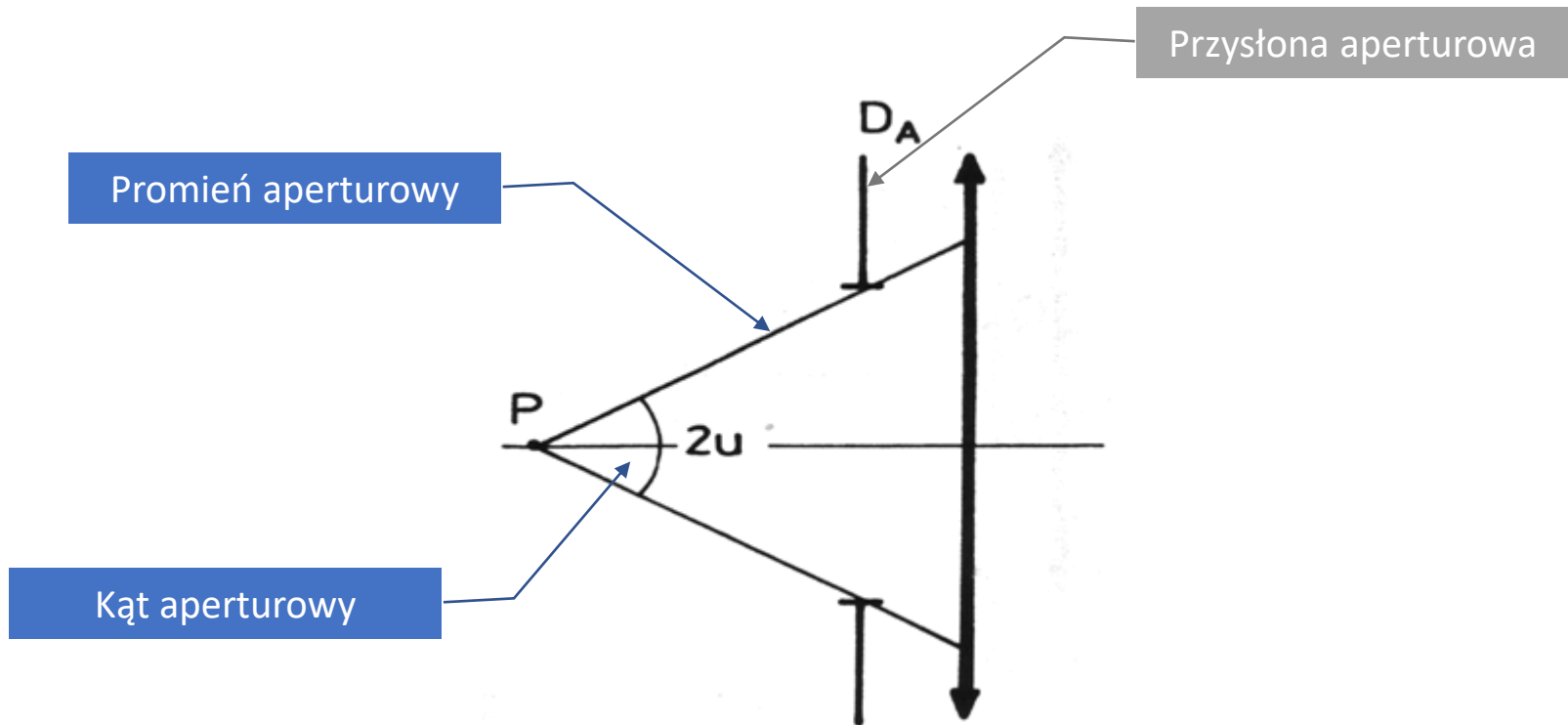
Obraz diafragmy aperturowej po stronie obrazowej P_2 .

Diafragma aperturowa wpływa na:

- Jasność obrazu
- Zdolność rozdzielczą
- Głębnię ostrości

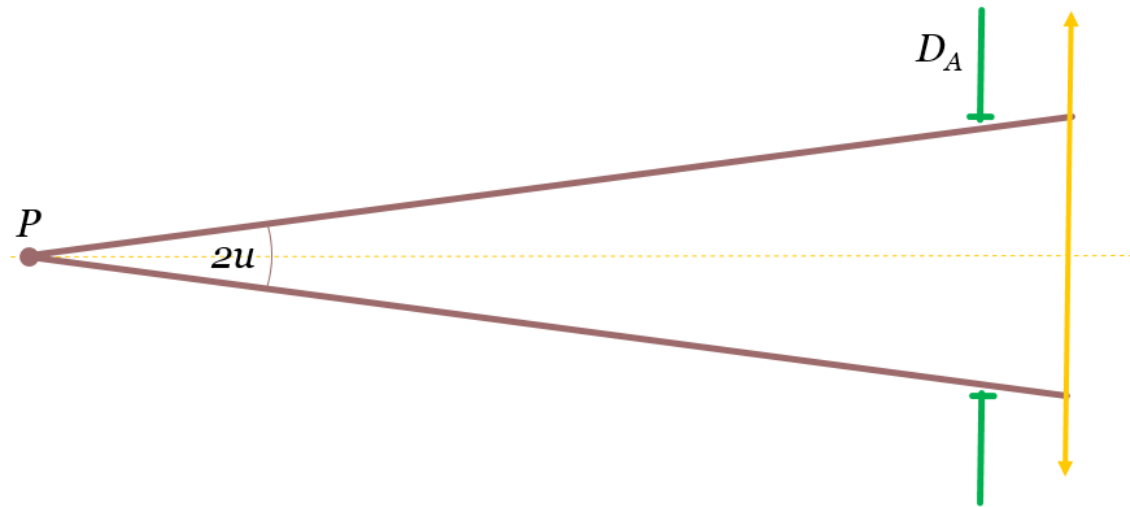
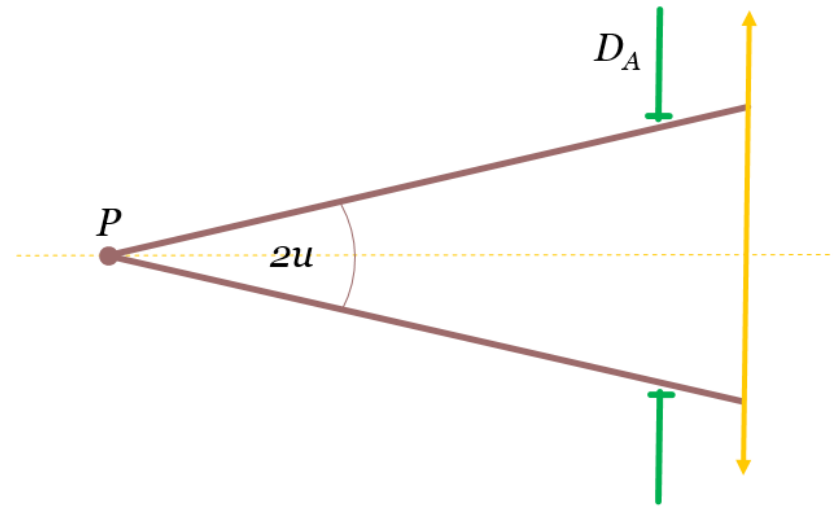
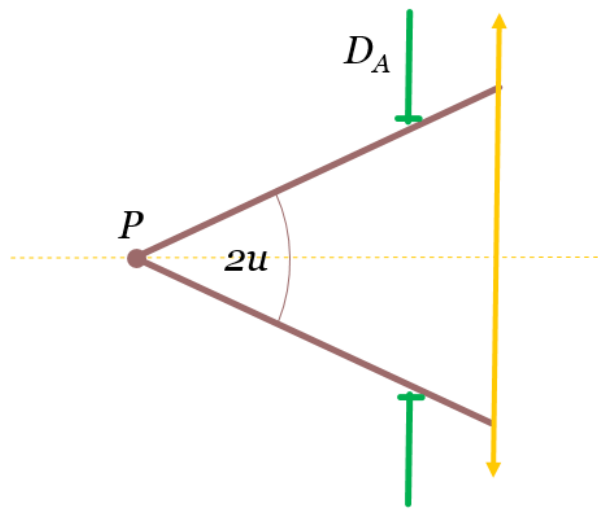
Diafragmy

Diafragma aperturowa

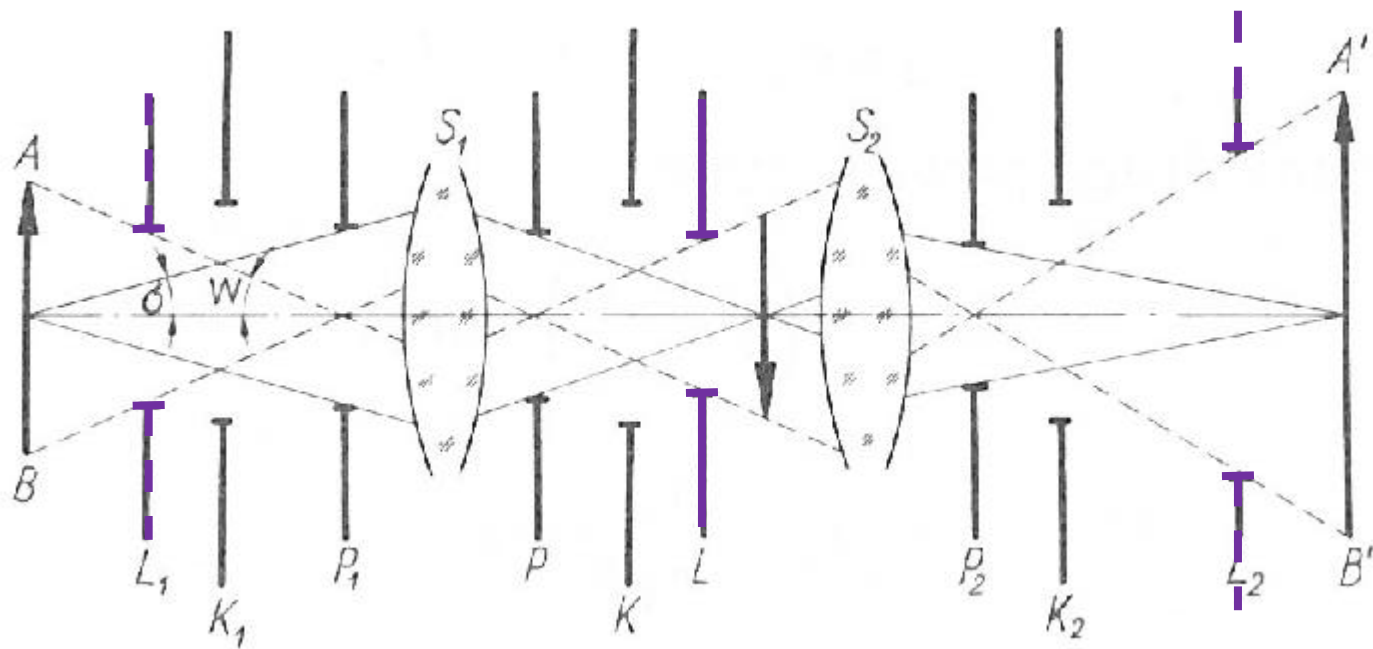


Diafragmy

Diafragma aperturowa



Diafragmy



Diafragma pola

Diafragma L , której obraz w przestrzeni przedmiotowej widać ze środka źrenicy wejściowej pod najmniejszym kątem w (kąt pola). Diafragma pola ogranicza pole widzenia.

Luka wejściowa

Obraz diafragmy pola po stronie przedmiotu L_1 .

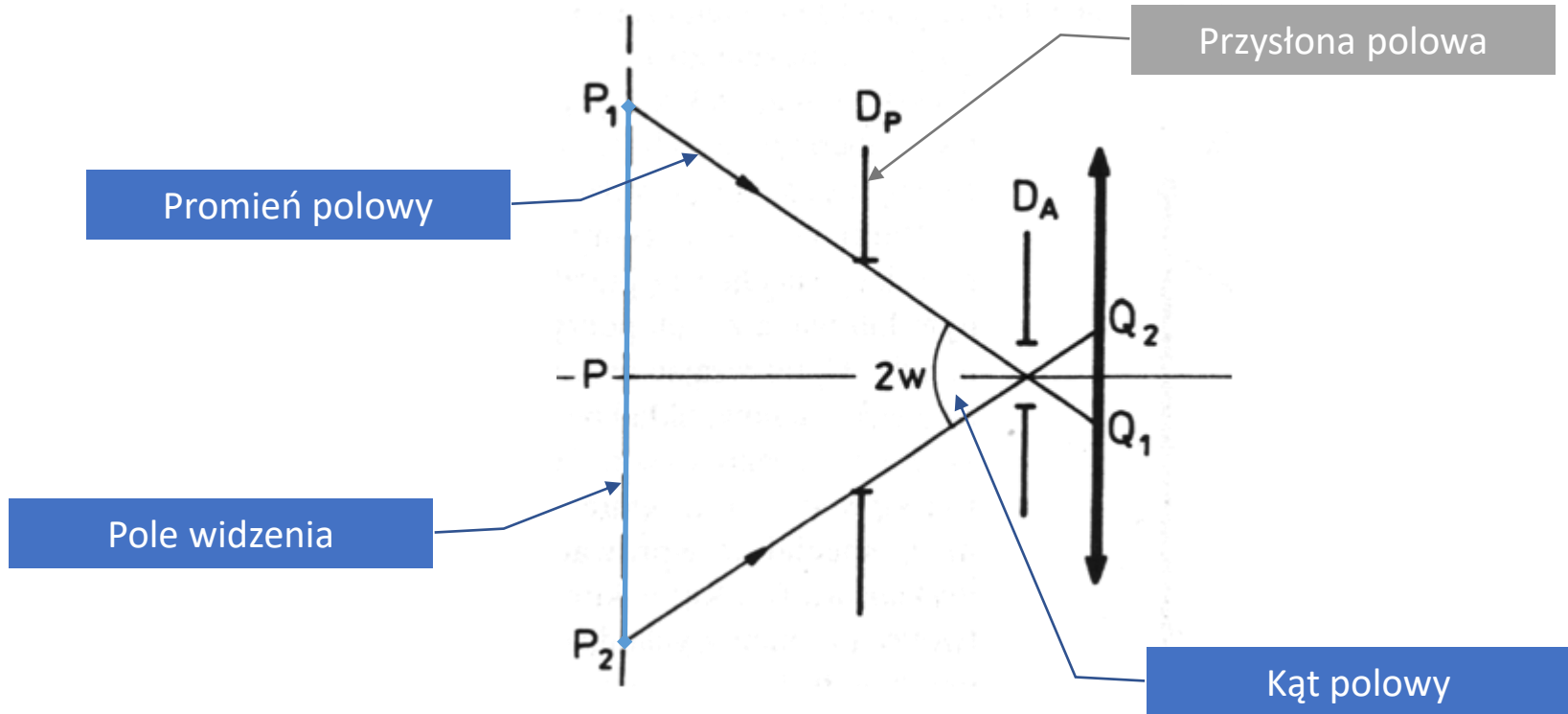
Luka wyjściowa

Obraz diafragmy pola po stronie obrazowej L_2 .

Luka wejściowa leży przeważnie w płaszczyźnie przedmiotu. Pole widzenia jest wtedy ostro ograniczone.

Diafragmy

Diafragma pola



Diafragmy

Liczba otworowa, Liczba przysłony

- Dla przedmiotu w nieskończoności promienie aperturowe biegną równoległe do osi optycznej.
- Liczba otworowa N to stosunek ogniskowej obrazowej do średnicy przysłony aperturowej D :

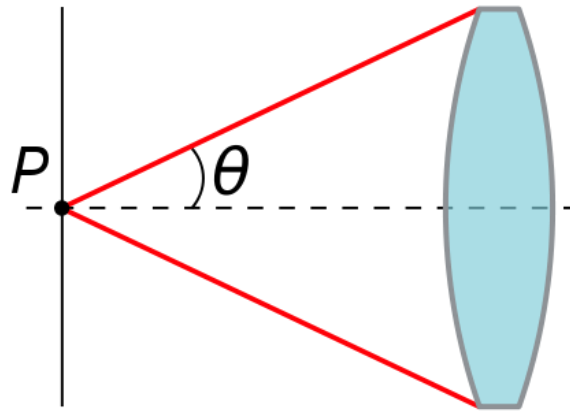
$$N = \frac{f'}{D}$$

- Otwór względny obiektywu definiuje się jako $1:N$.
- Oznaczenia na obiektywach: $f/\# = N$

Liczba przysłony	$f/1$	$f/1.4$	$f/2$	$f/2.8$	$f/4$	$f/5.6$	$f/8$	$f/11$	$f/16$	$f/22$	$f/32$	$f/45$	$f/64$	$f/90$	$f/128$...
------------------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	-----

Apertura numeryczna

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

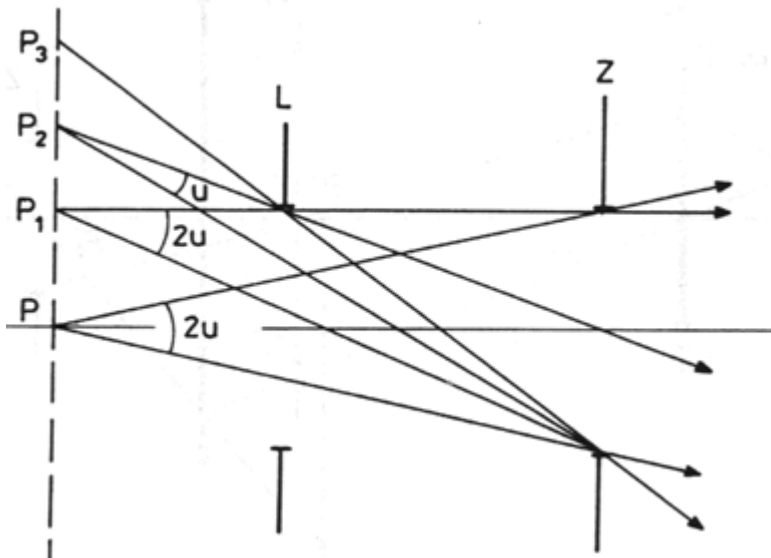


$$NA = n \sin(\theta)$$

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

Aberracje optyczne



slideplayer.com/slide/4681790/



photographylife.com/what-is-chromatic-aberration



photographylife.com/what-is-distortion



17MM

50MM

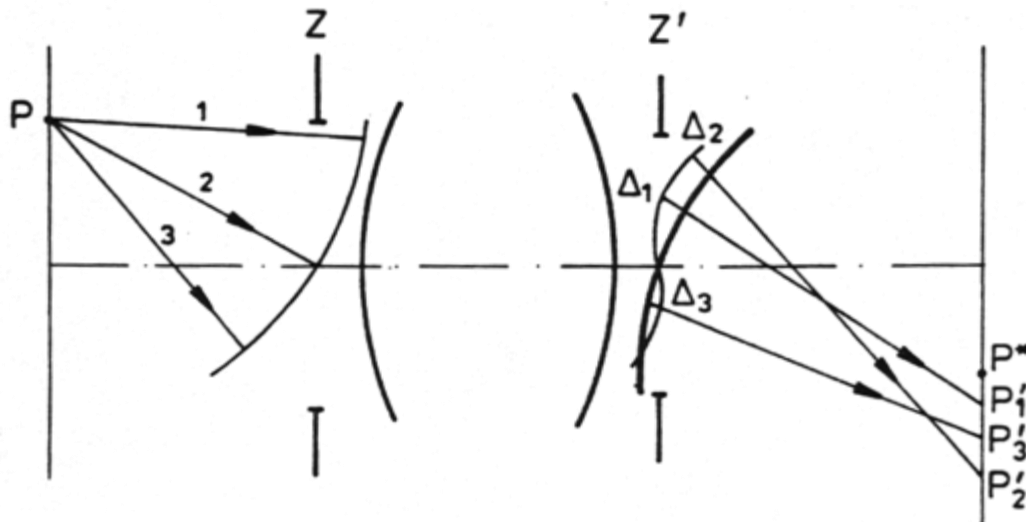
200MM

F5.6 1/200 ISO100

oohstloustudios.com

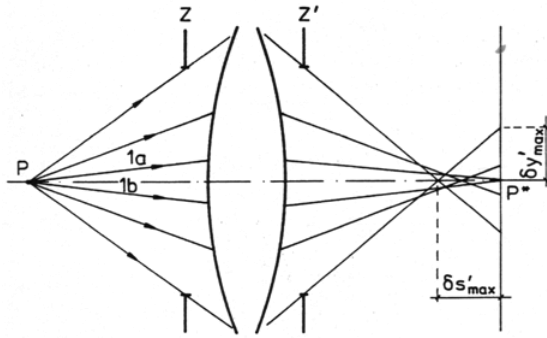
Aberracje optyczne

- Związane z nie spełnieniem warunku **stygmatyzmu** (różny bieg promieni w zależności od odległości od osi optycznej).
- Rodzaje: monochromatyczne, niemonochromatyczne.
- Po przejściu przez układ optyczny, czoło fali nie jest sferyczne, a obrazem punktu P jest **plamka aberracyjna**, której kształt i rozmiary zależą od układu optycznego i położenia przedmiotu.
- Punkt P^* jest (teoretycznym) obrazem bezaberracyjnym punktu P.
- Δ_i to **aberracje podłużne promienia**, $\delta l'_i = P'_i - P^*$ to **aberracje poprzeczne promienia**.

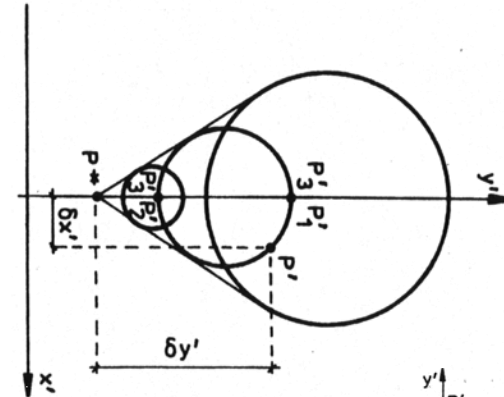


Aberracje monochromatyczne

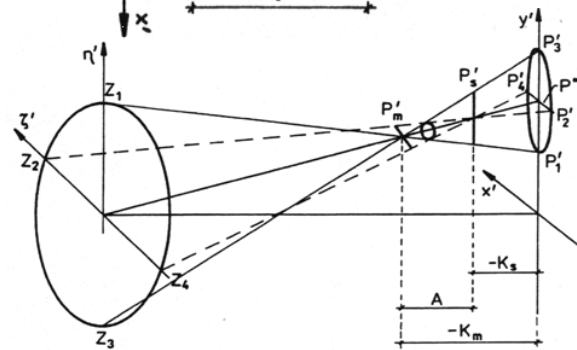
a) Sferyczna



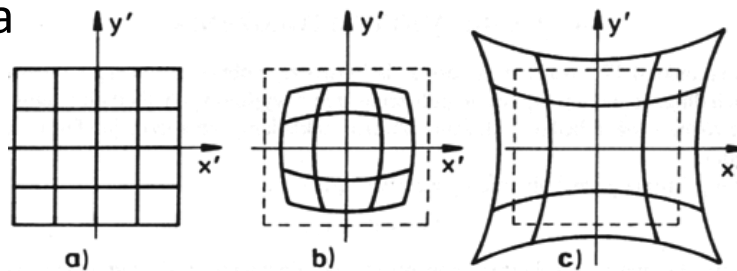
b) Koma



c) Astygmatyzm i krzywizna pola

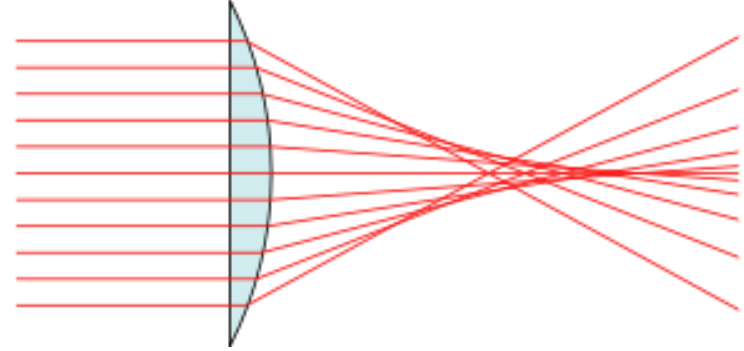
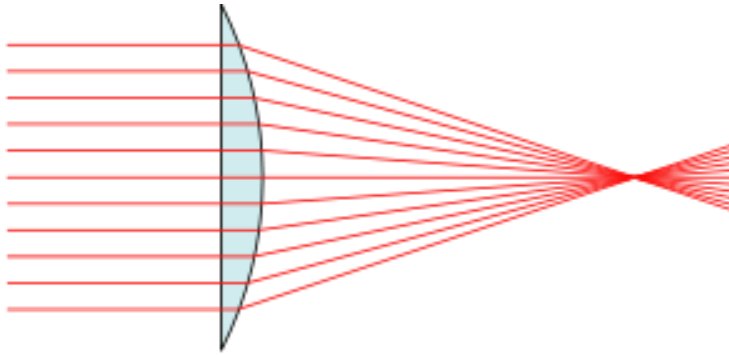


d) Dystorsja

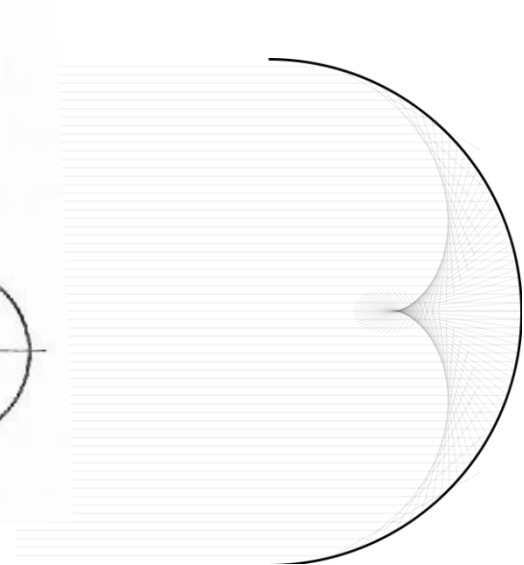
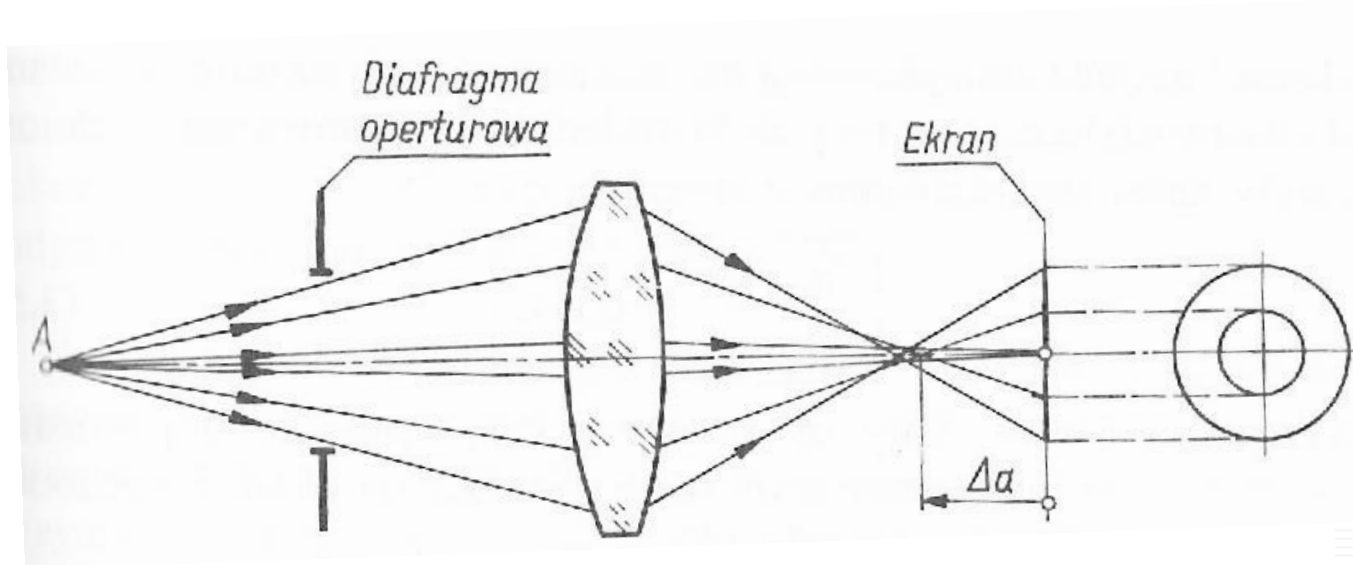


Aberracja sferyczna

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

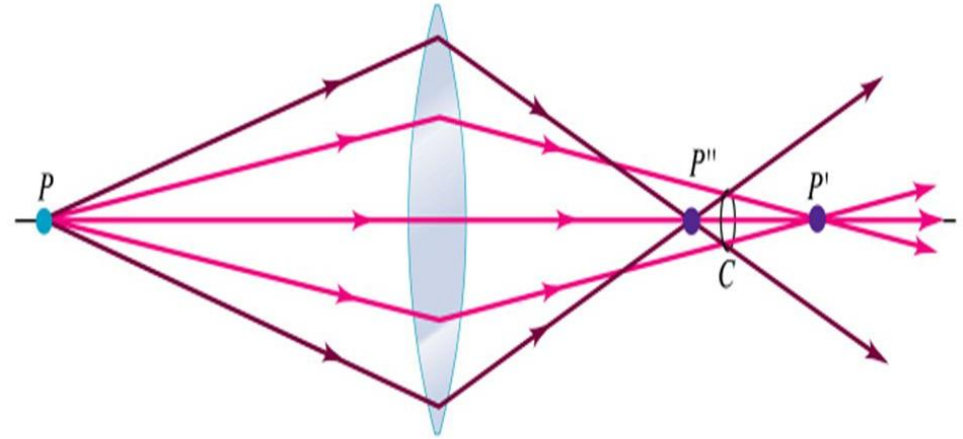
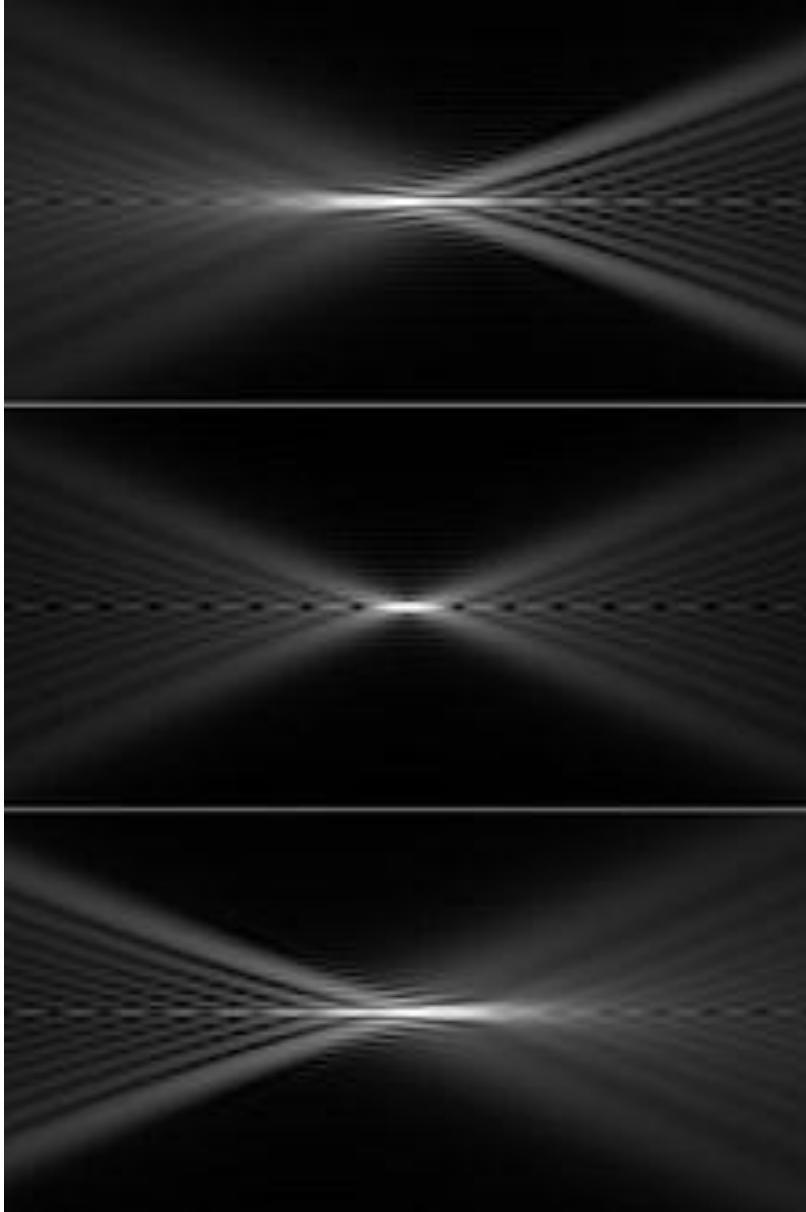


en.wikipedia.org



Zwierciadło
kaustyka

Aberracja sferyczna



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

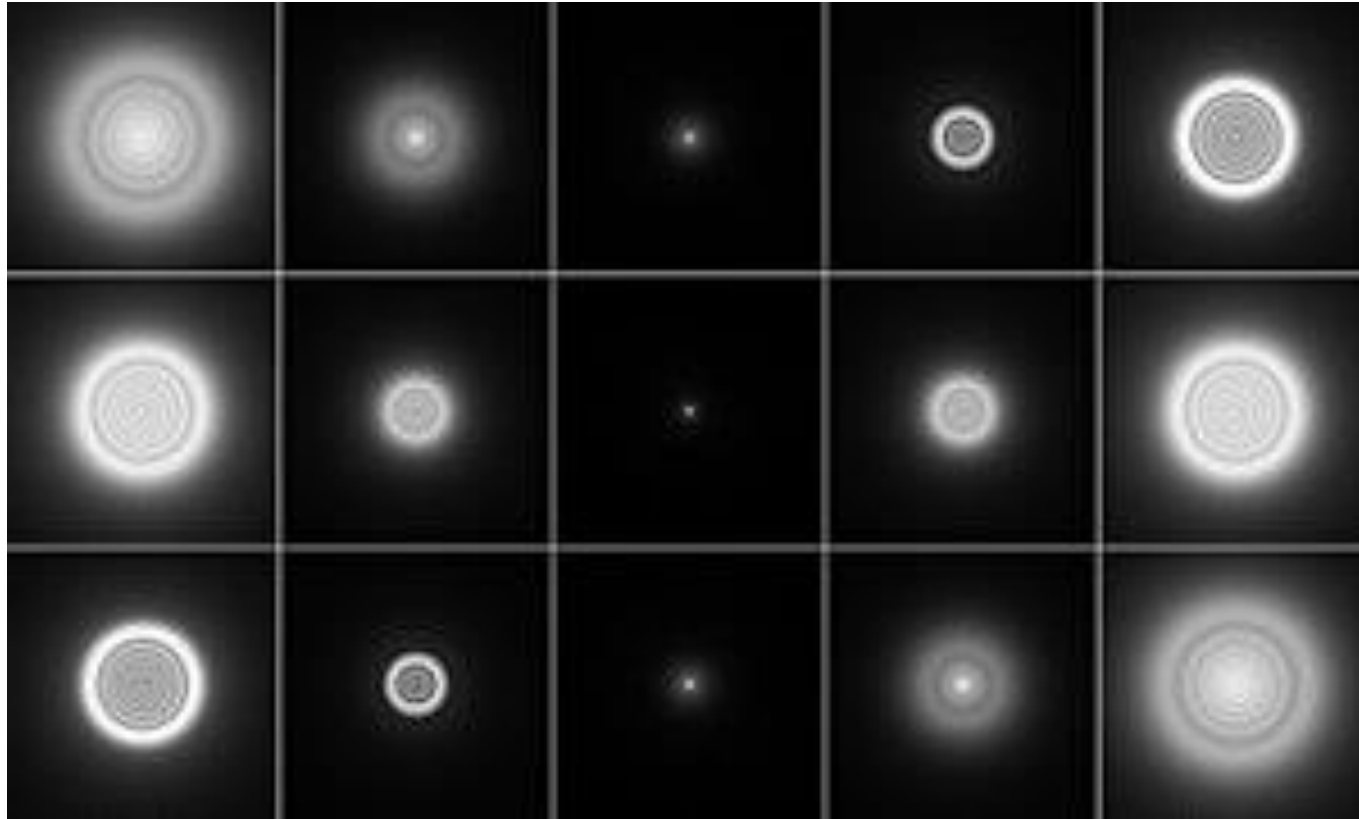
aberracja podłużna $P'-P''$

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

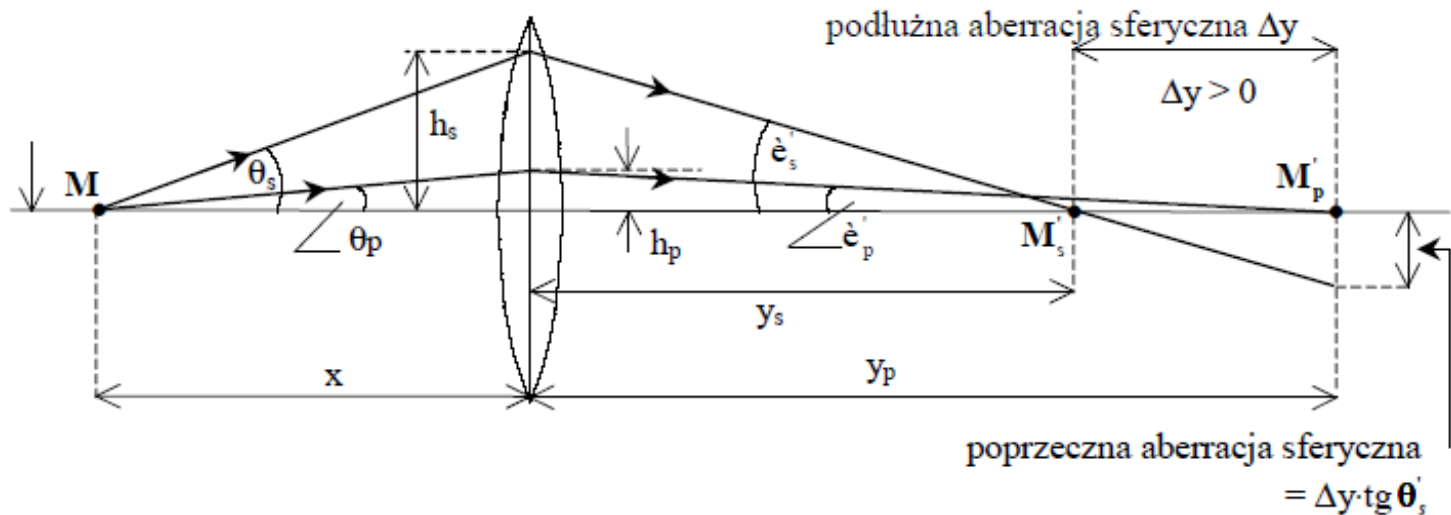
aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki)



en.wikipedia.org

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

Aberracja sferyczna



- Aberracja podłużna: $\Delta f = f_0 - f_h$

$$\Delta y = \underset{\text{promień przyosiowe}}{y(0)} - \underset{\text{promień skrajne}}{y(h)} = \frac{1}{2} \left(\frac{n}{n-1} \right)^2 \left(\frac{h}{f_0} \right)^2 f_0$$

h – połowa apertury

f_0 – ogniskowa soczewki dla promieni przyosiowych

- Aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki):

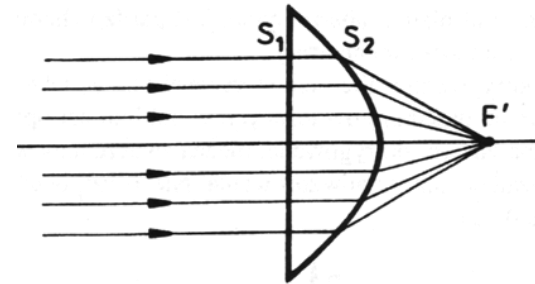
$$\frac{r_0}{\Delta f} = \frac{h}{f_h} \qquad r_0 = \frac{h}{f_h} \Delta f$$

Aberracja sferyczna

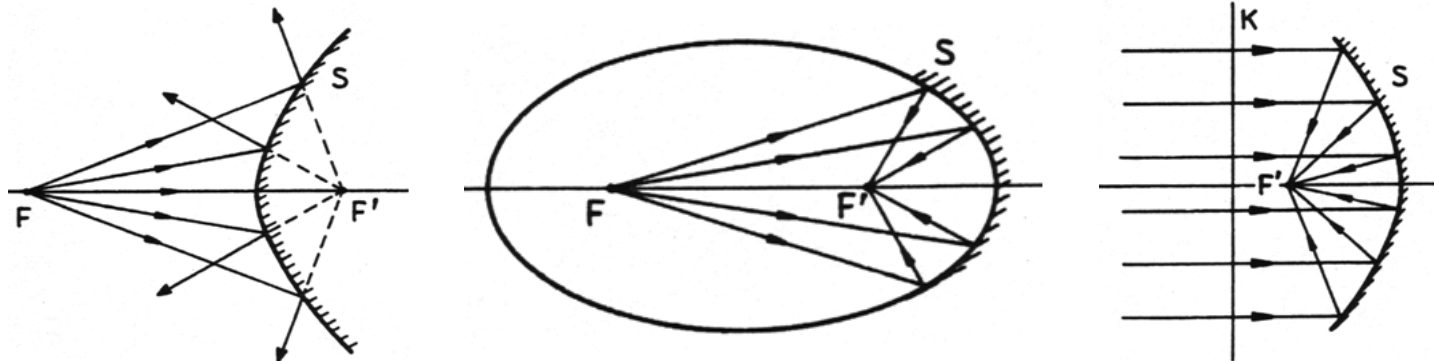
- Pojedyncza soczewka (cienka) o powierzchniach sferycznych, wykonana z materiału o współczynniku załamania n , znajdująca się w powietrzu, wykazuje najmniejszą aberrację sferyczną wtedy, gdy stosunek promieni jej krzywizn wynosi:

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

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

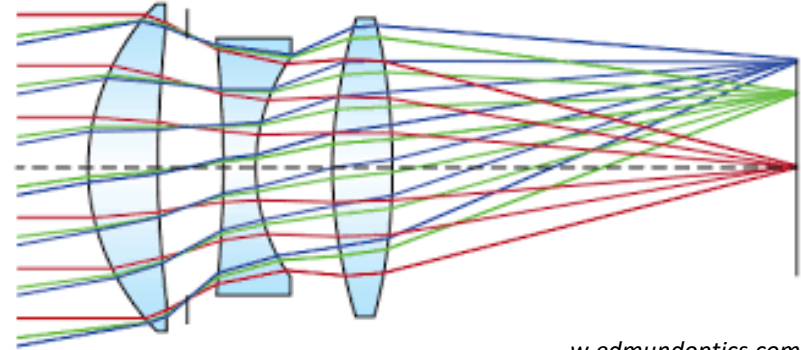
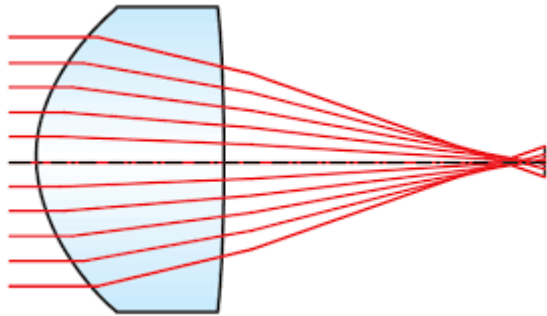


- Zwierciadła wolne od aberracji sferycznej (paraboloida):



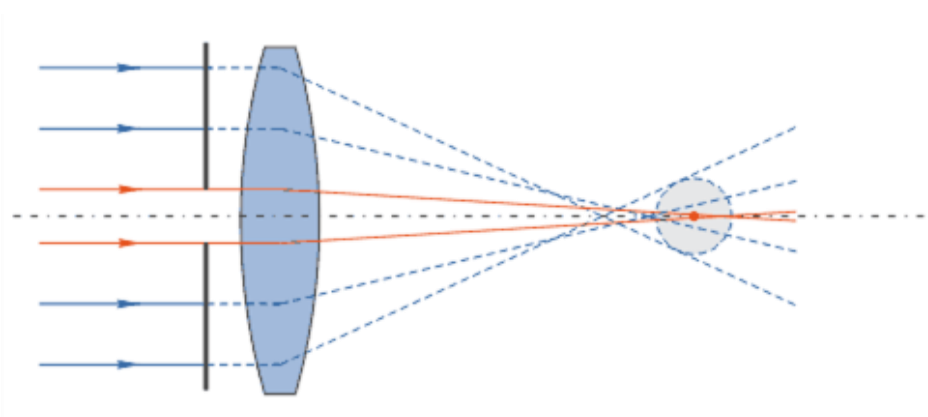
Aberracja sferyczna

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) y i drugiej potęgi promienia apertury ρ^2 .
- Punkty leżące w pobliżu brzegów kadru widoczne są z dodatkowym „ogonkiem”, przypominającym ogon komety.

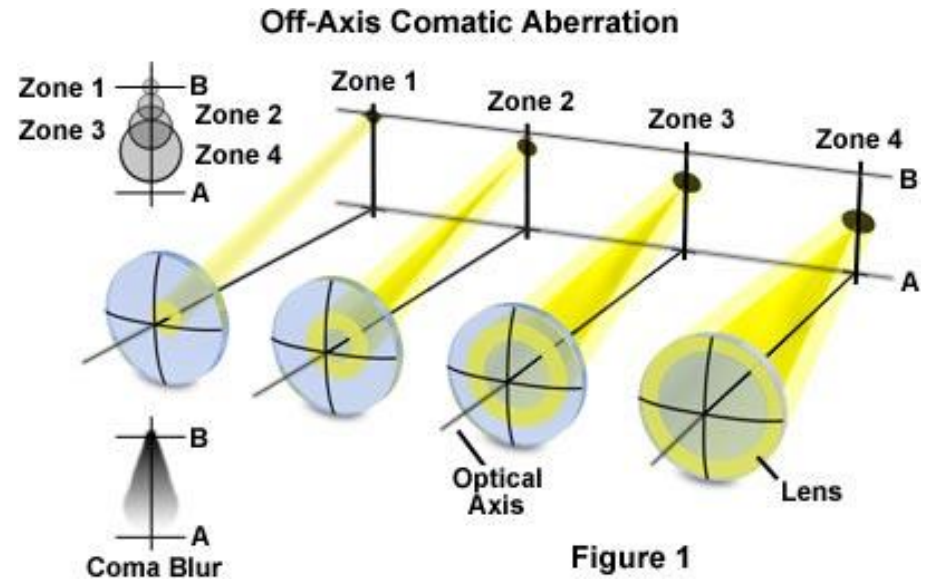
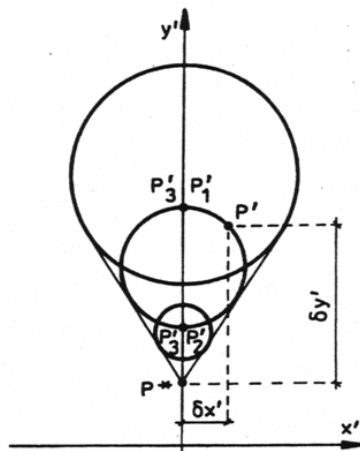
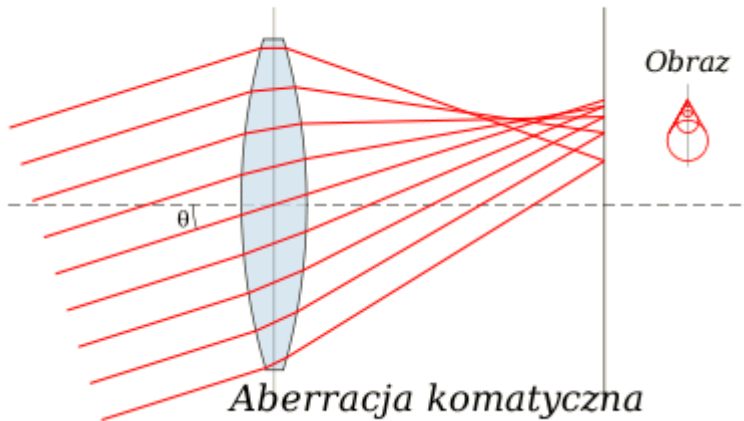
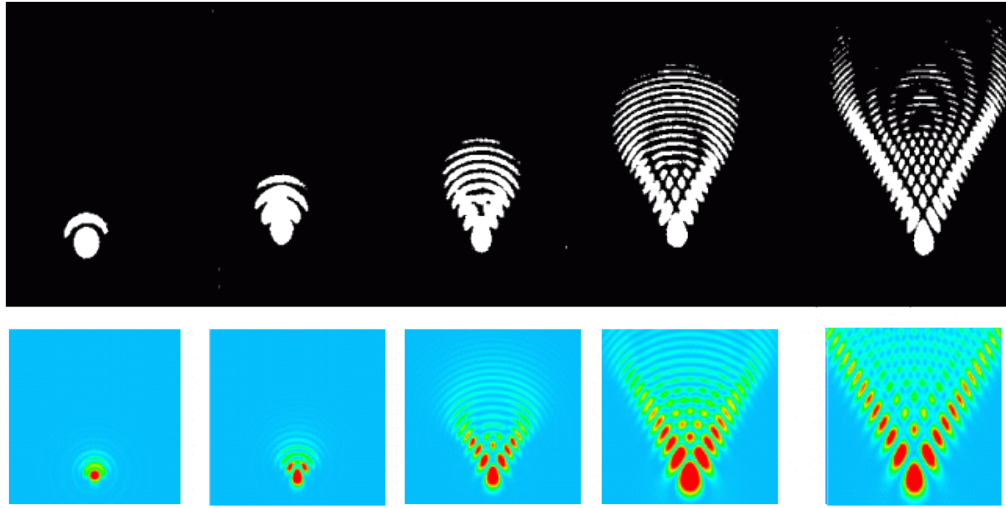


Figure 1

www.olympus-lifescience.com



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

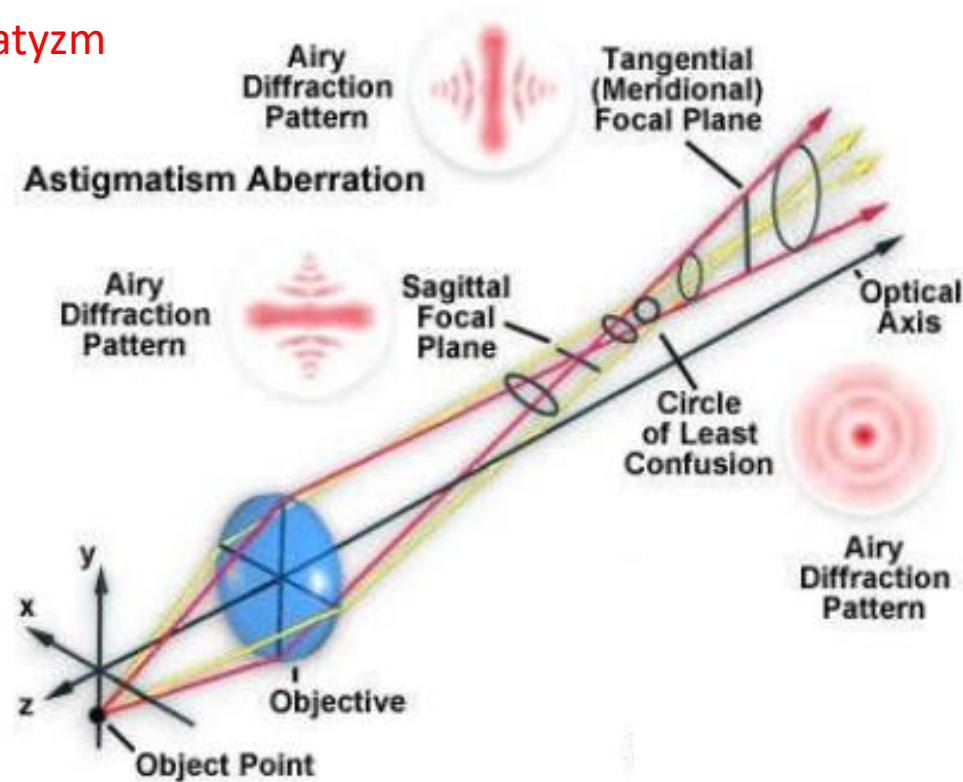


<http://www.umich.edu/~lowbrows/reflections/2007/dscobel.27.html>

Astygmatyzm i krzywizna pola

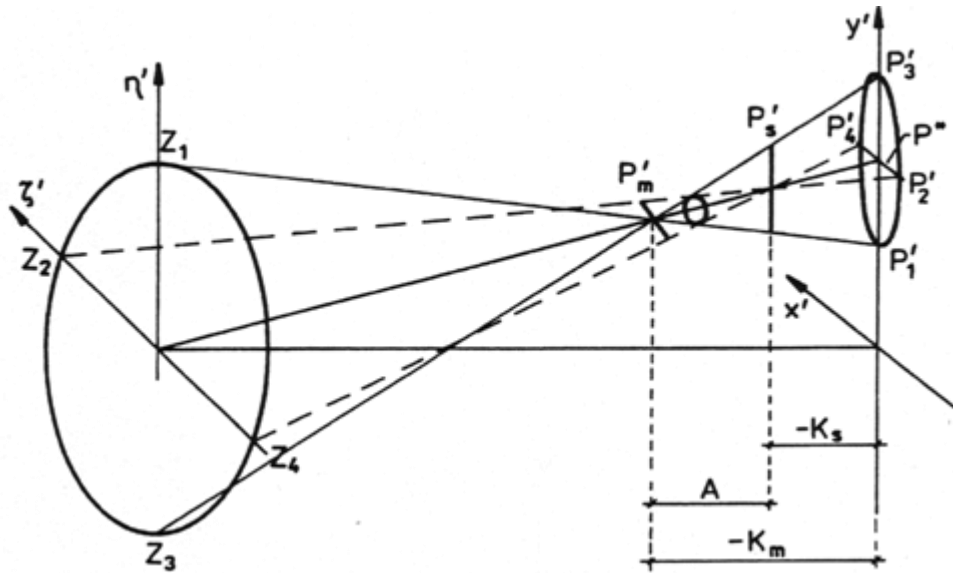
- Plamka aberracyjna jest **elipsą**.
- Efekt różnej mocy optycznej mierzonej w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach.
- Punkt skupienia promieni zależy od wyboru badanej płaszczyzny.
- W przykładzie rozważa się płaszczyzny $\Theta = 0^\circ$ i $\Theta = 180^\circ$.

Astygmatyzm



Astygmatyzm i krzywizna pola

Miara sstygmatyzmu



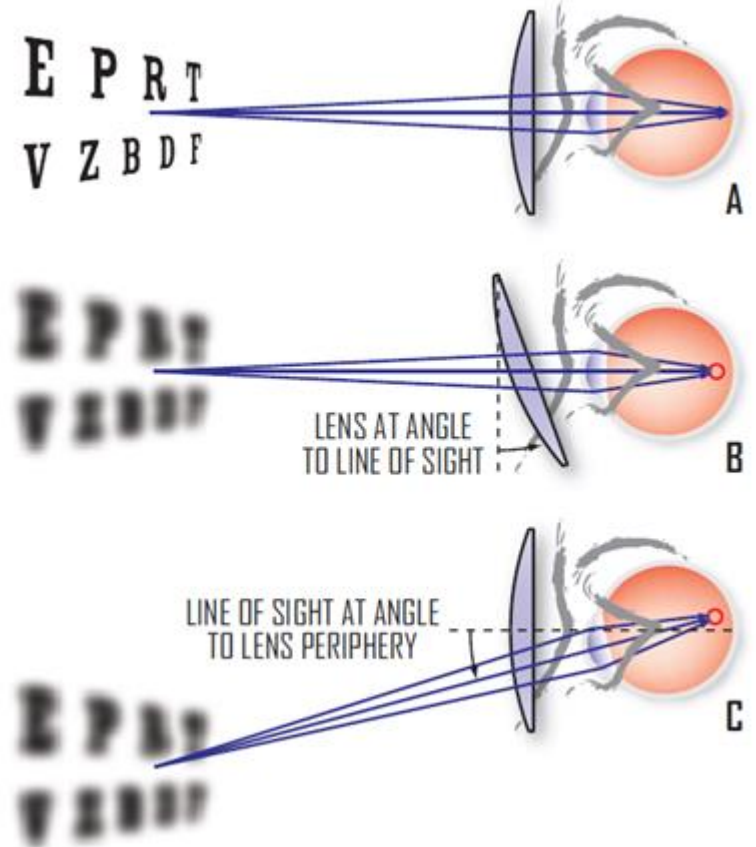
$$K = (K_m + K_s)/2$$

Astygmatyzm i krzywizna pola

Astygmatyzm



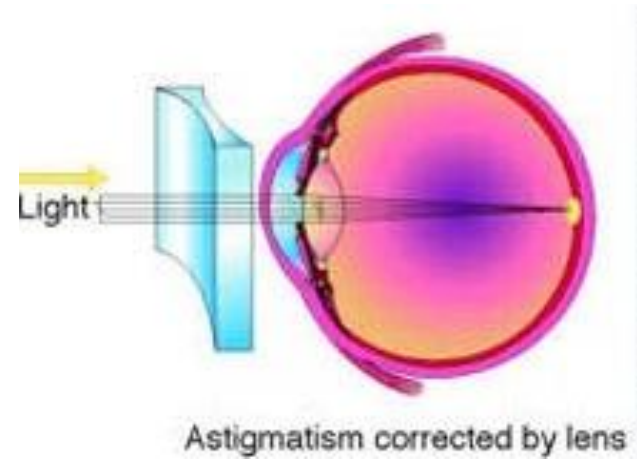
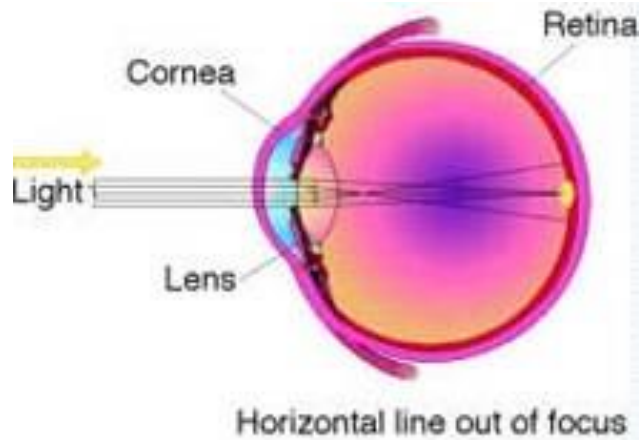
www.essilor.com.au/vision



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

Astygmatyzm i krzywizna pola

Astygmatyzm – korekcja

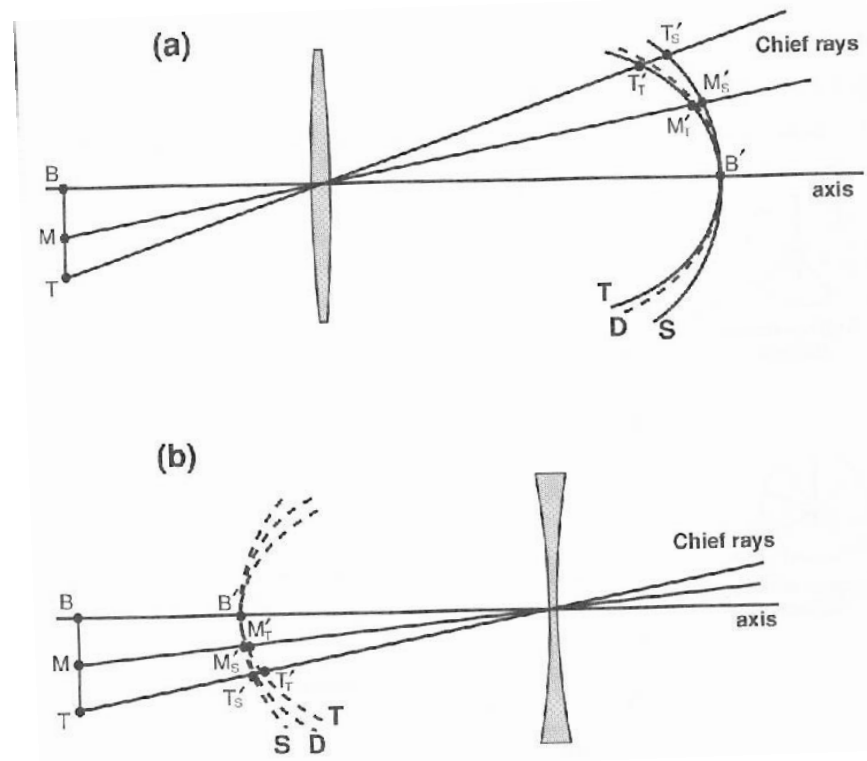


thekingno.com

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.
- Paraboloidę w pobliżu osi można aproksymować sferą. Promienie odpowiednich sfer będą wtedy równe:



Astygmatyzm i krzywizna pola

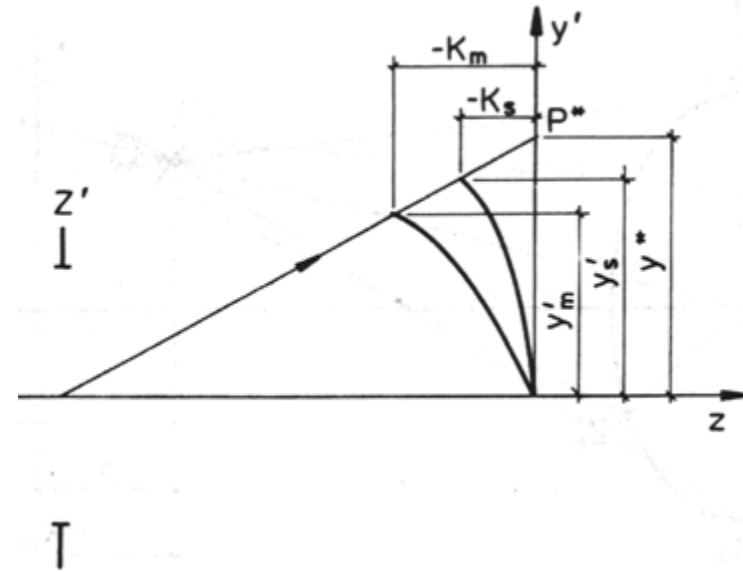
Krzywizna pola

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

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

- Średnia krzywizna pola: $1/R$.
- Wielkość $A = K_m - K_s$ nazywamy **astygmatyzmem**.
- 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



Astygmatyzm i krzywizna pola

Ocena stopnia astygmatyzmu

Original	Compromise
aio	aio
Horizontal Focus	Vertical Focus
aio	aio

