

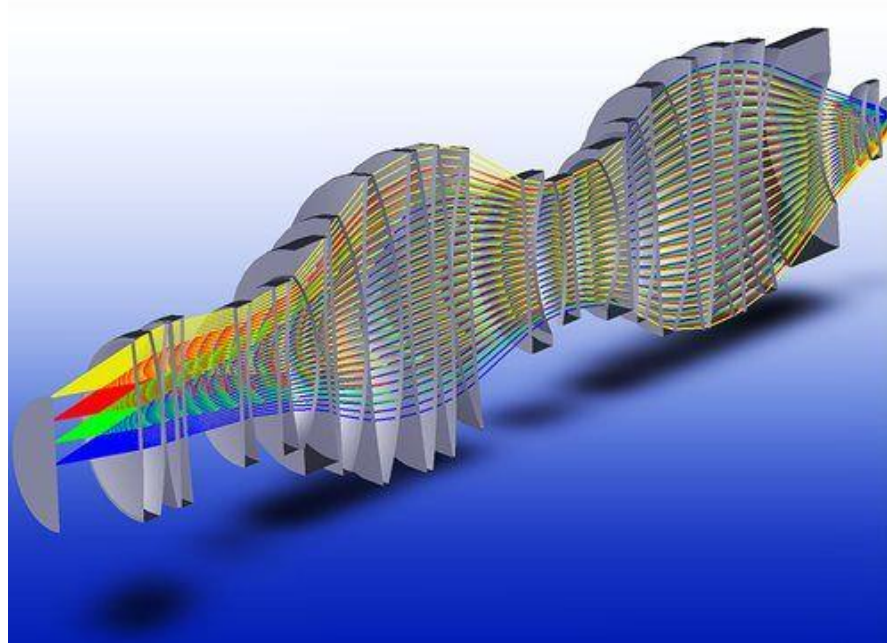
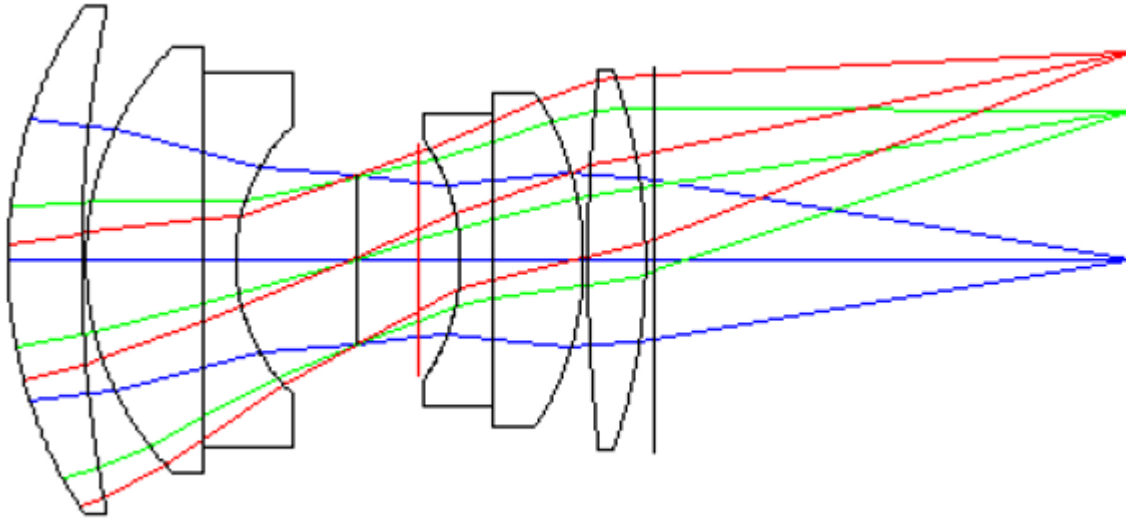
1100-1BO15, rok akademicki 2019/20

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 7

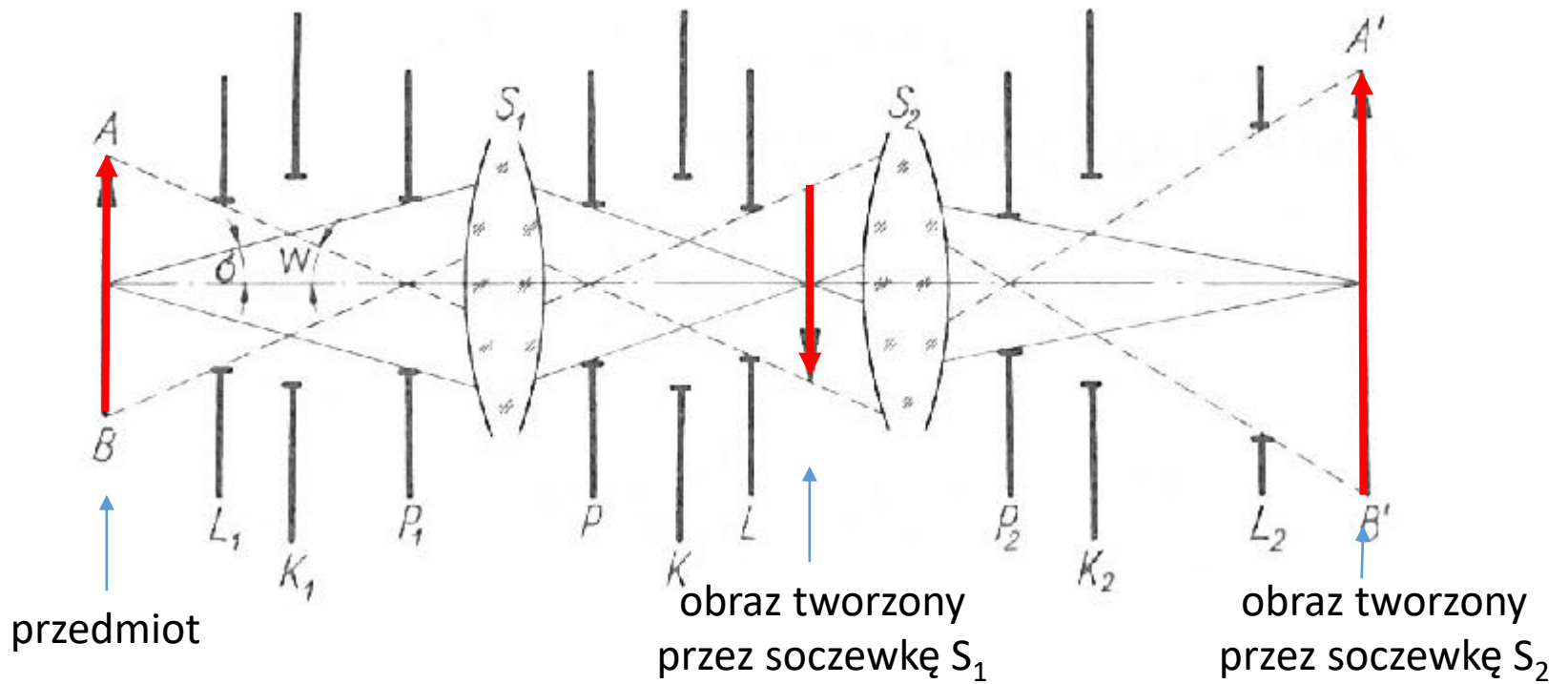
Optyka promieni



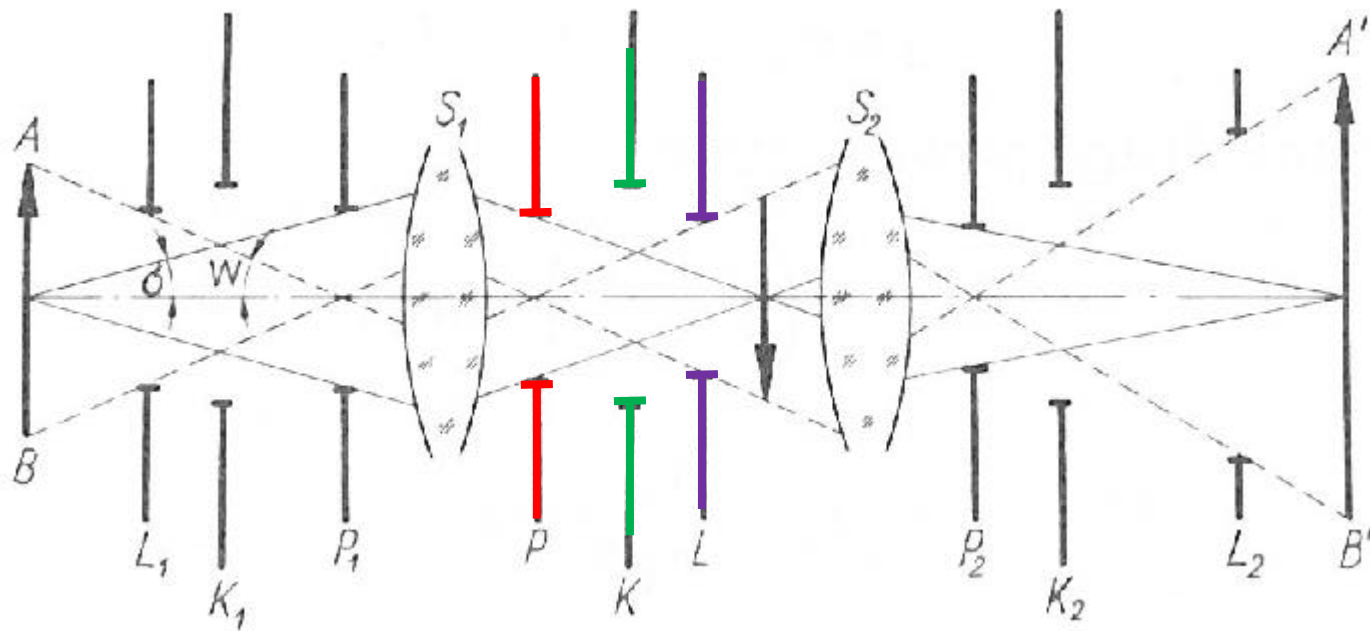
Diafragmy

- 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

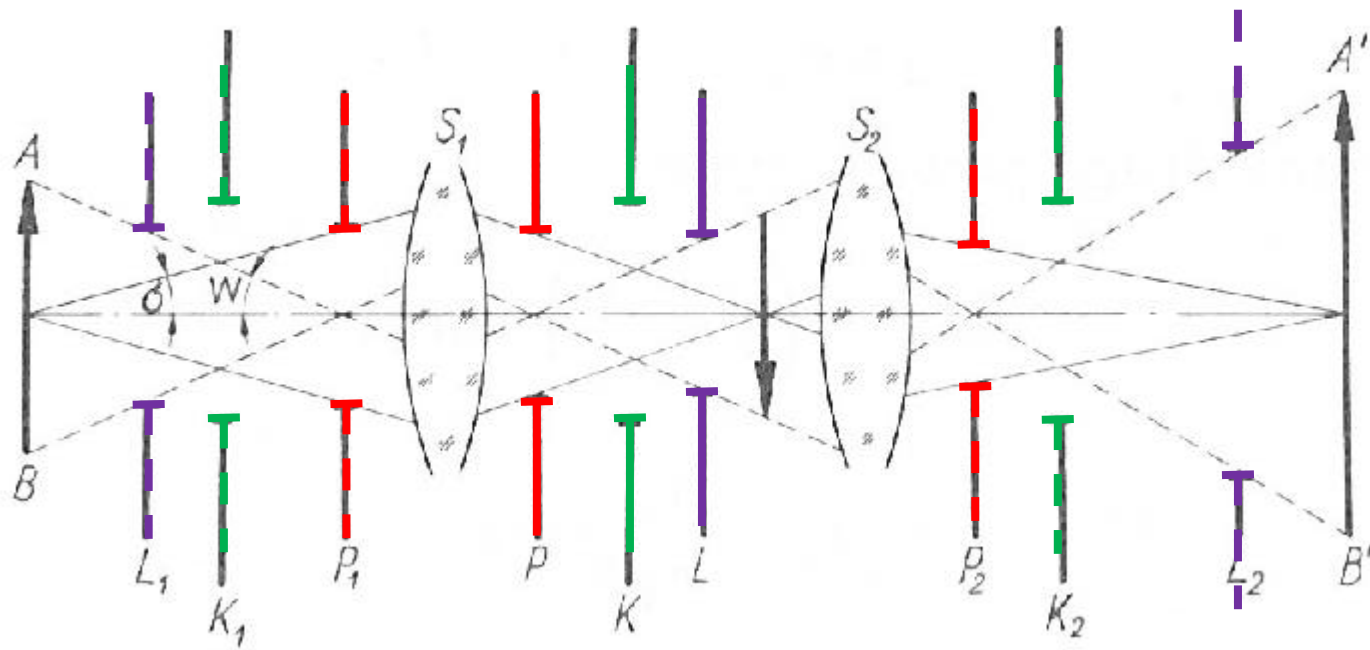


Diafragmy



3 diafragmy wewnątrz układu optycznego

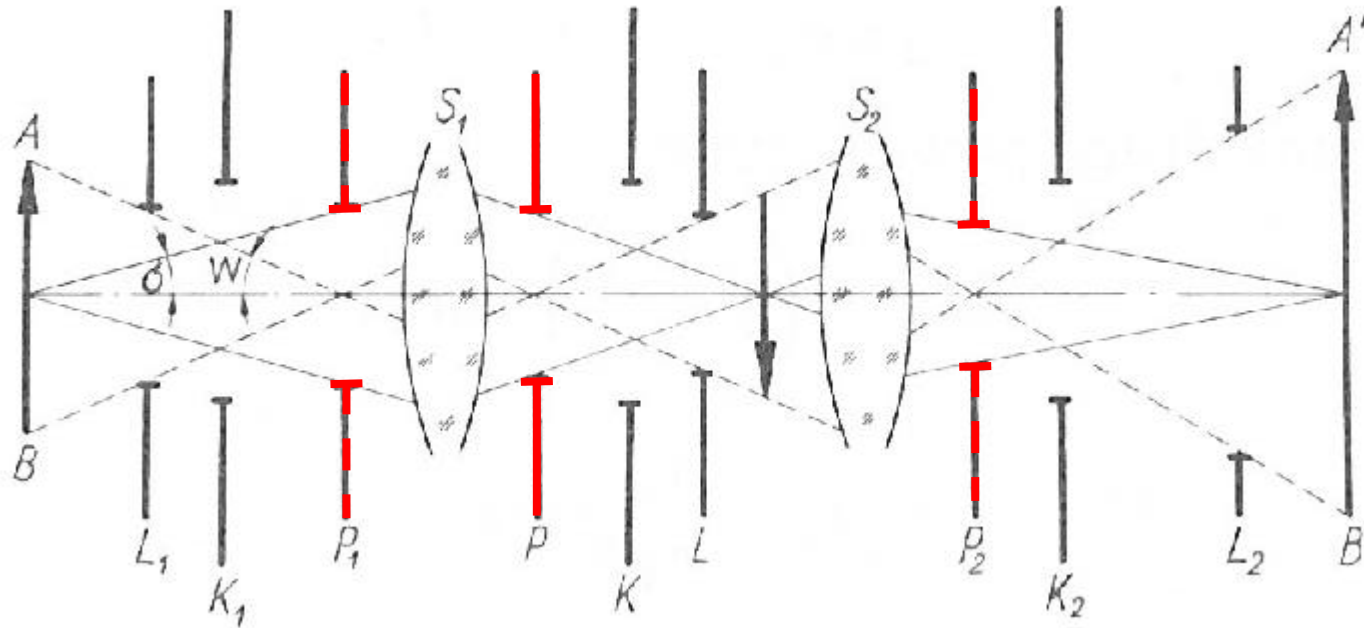
Diafragmy



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

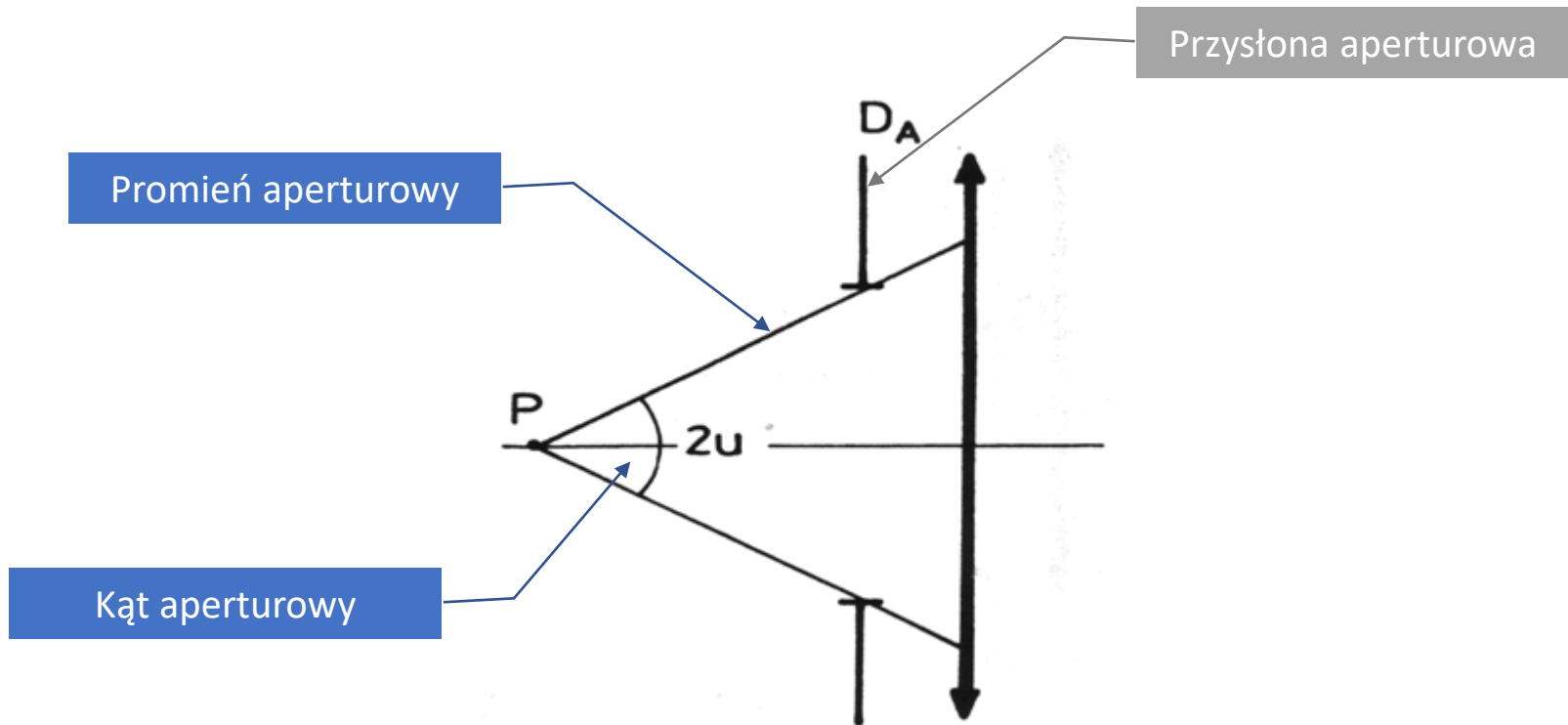
Obraz diafragmy aperturowej po stronie obrazowej P_2 .

Diafragma aperturowa wpływa na:

- Jasność obrazu
- Zdolność rozdzielczą
- Głębnię ostrości

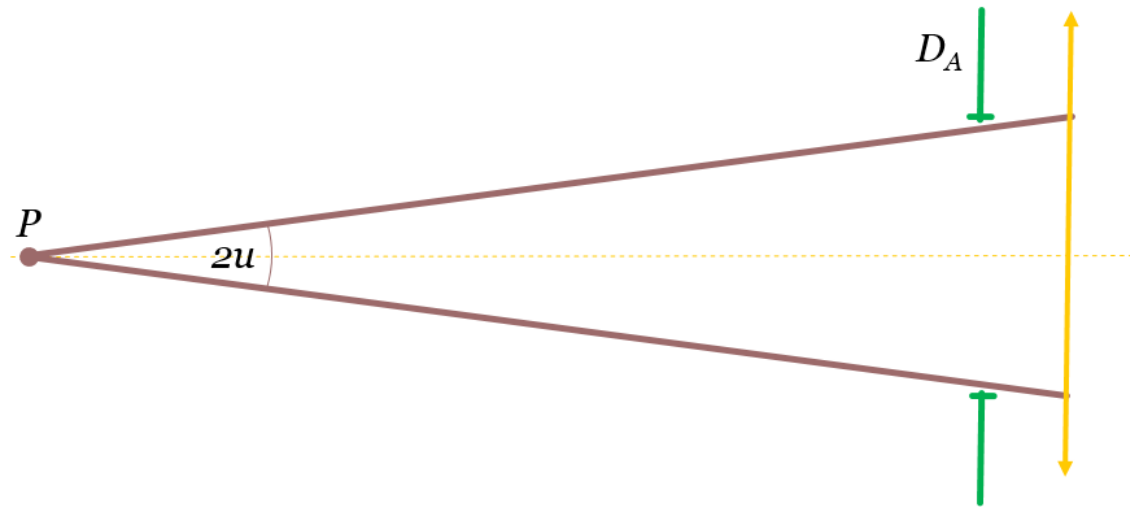
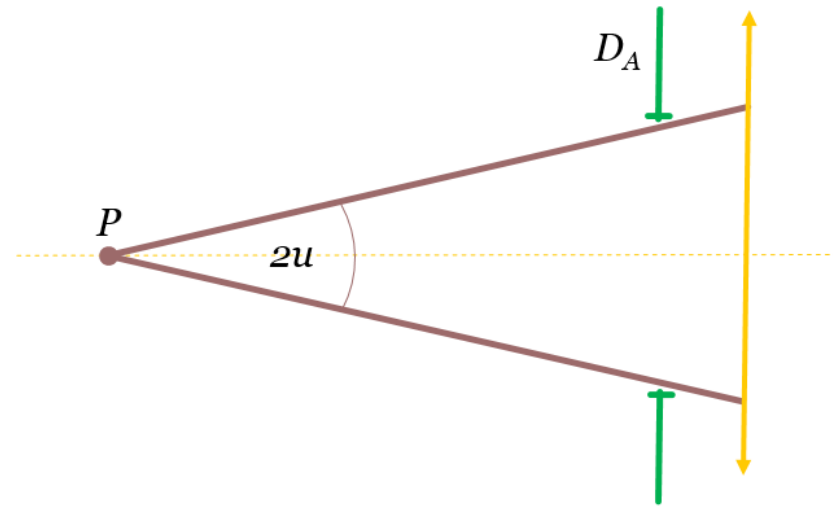
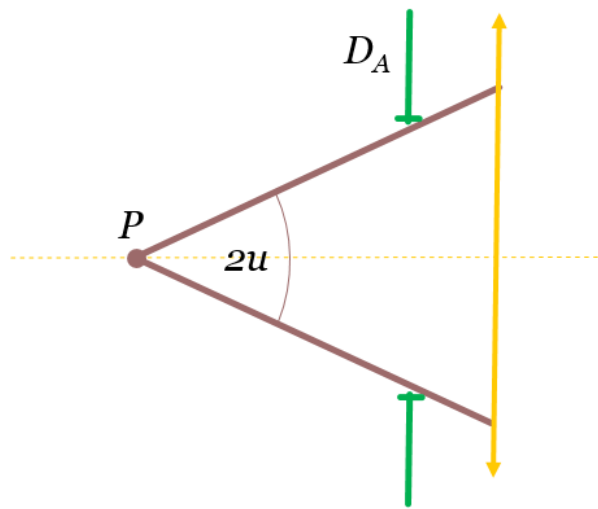
Diafragmy

Diafragma aperturowa

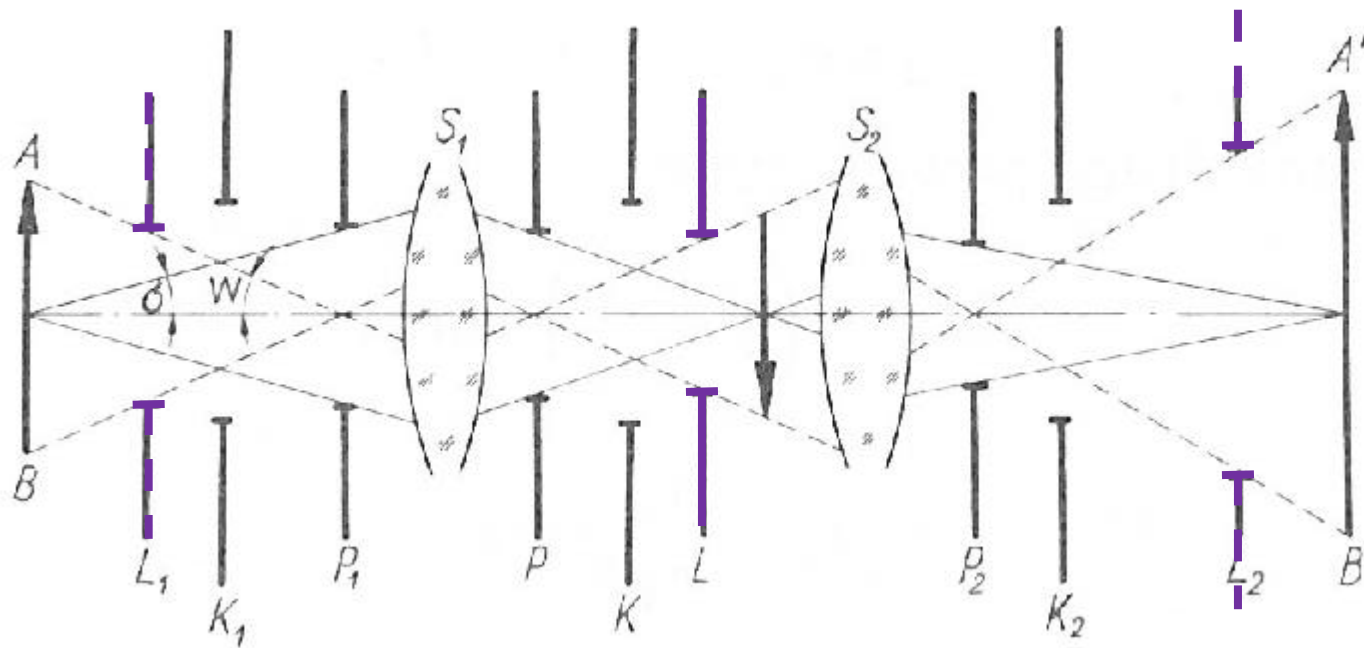


Diafragmy

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 .

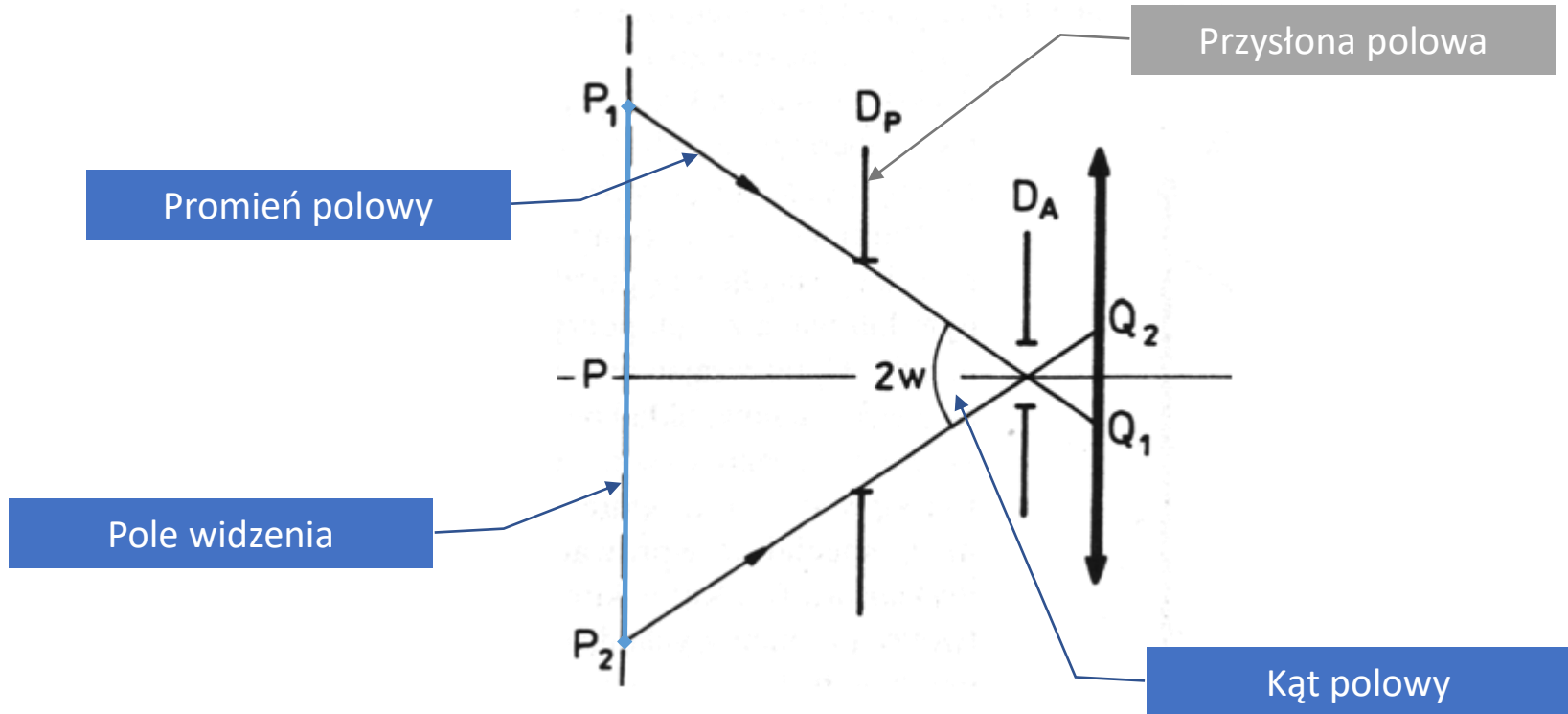
Luka wyjściowa

Obraz diafragmy pola po stronie obrazowej L_2 .

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

Diafragmy

Diafragma pola



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

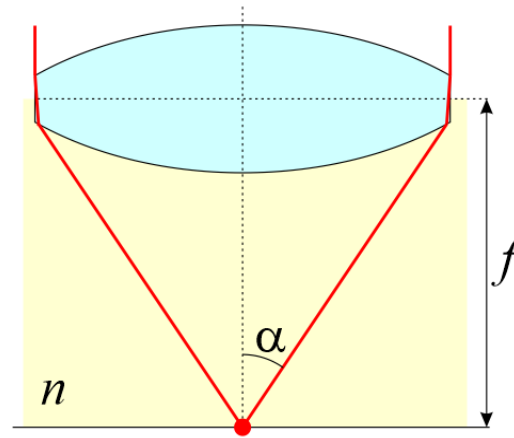
w przybliżeniu kolejne potęgi $\sqrt{2}$

Wartość przysłony $f/1$ oznacza, że ogniskowa obiektywu jest równa średnicy otworu przysłony. Każda następna pozycja oznacza ustawienie przysłony, przy którym do wnętrza obiektywu przepuszczana jest dwa razy mniejsza ilość światła.

Diafragmy

Apertura numeryczna

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

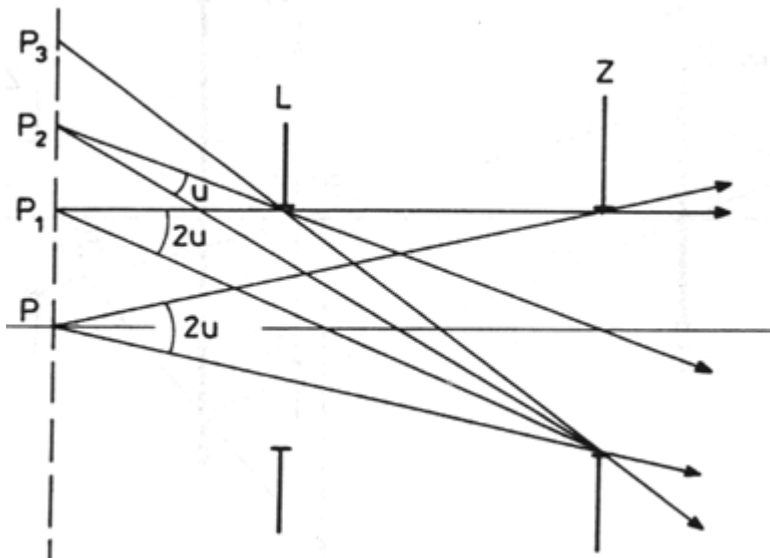


$$NA = n \sin(\theta)$$

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

Aberracje optyczne



slideplayer.com/slide/4681790/



photographylife.com/what-is-chromatic-aberration



photographylife.com/what-is-distortion



17MM

50MM

200MM

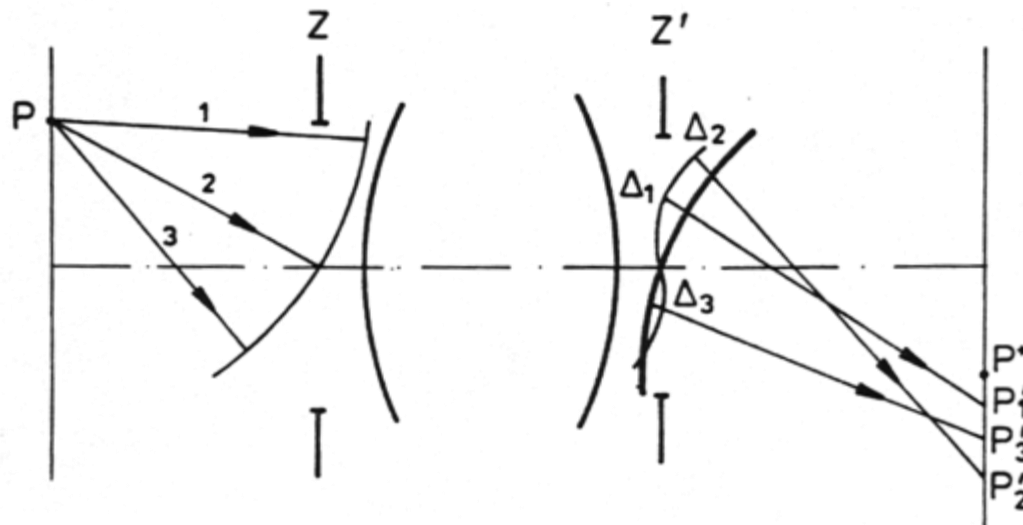
F5.6 1/200 ISO100

oohstloustudios.com

Aberracje optyczne

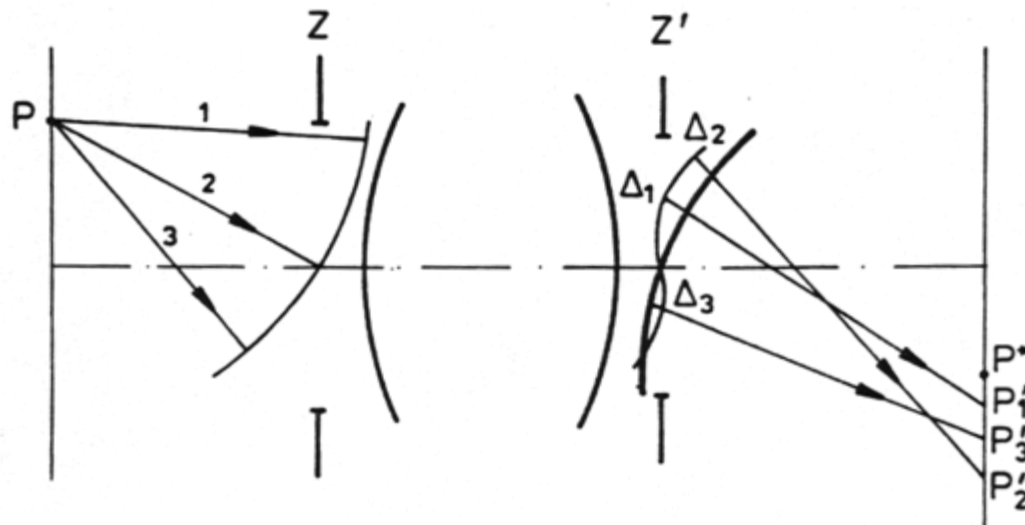
Idealny układ optyczny charakteryzuje się stygmatyzmem, co znaczy, że obrazem każdego punktu w przestrzeni przedmiotowej jest także punkt w przestrzeni obrazowej. Rzeczywiste układy optyczne posiadają **aberracje**, które powodują, że obrazem punktu jest pewien rozkład natężenia, który często można zwizualizować 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 .
- Δ_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.

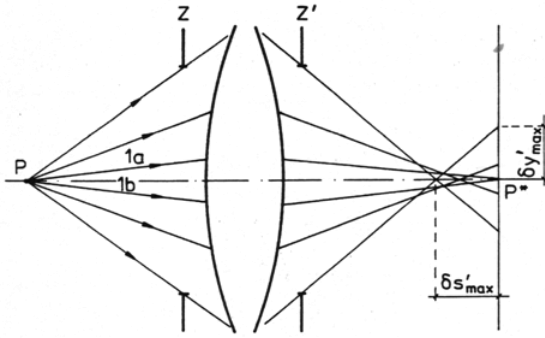
$$\sin(\alpha) = x - \frac{x^3}{3!} + \dots$$

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.*

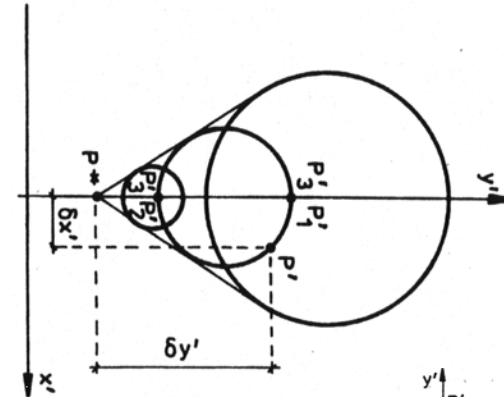
W ujęciu Zernikego, dokonuje się rozwinięcia opisu frontu falowego na wielomiany Zernikego, które opisują nieskończenie wiele aberracji coraz wyższych rzędów. Kilka aberracji niższych rzędów odpowiada aberracjom w opisie Seidela.

Aberracje monochromatyczne

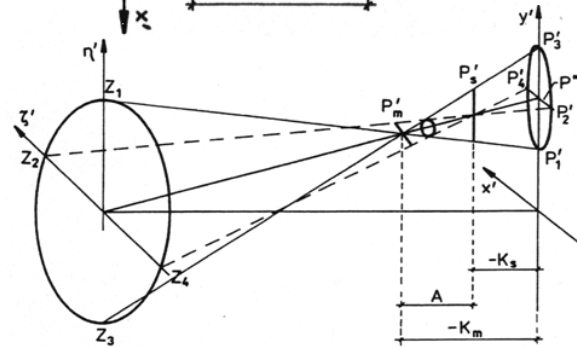
a) Sferyczna



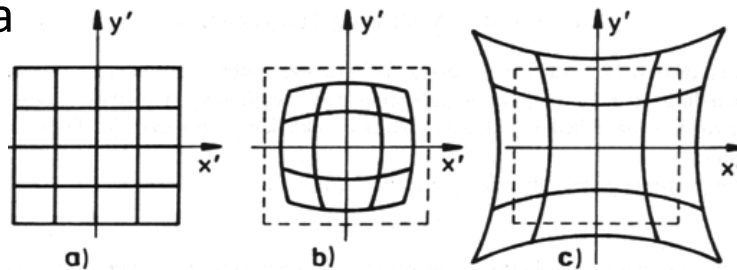
b) Koma



c) Astygmatyzm i krzywizna pola

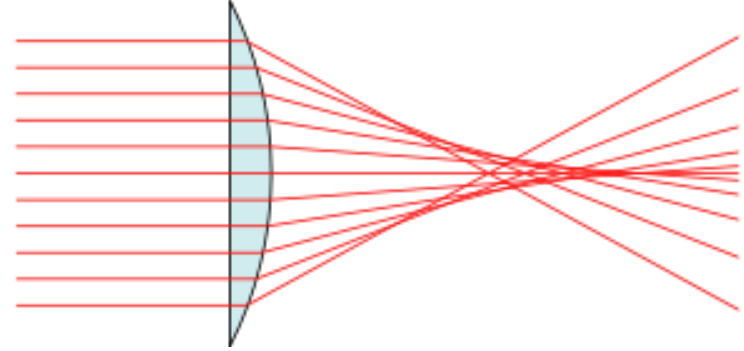
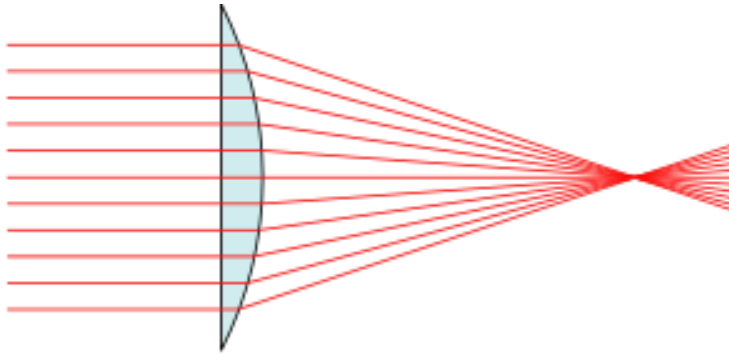


d) Dystorsja

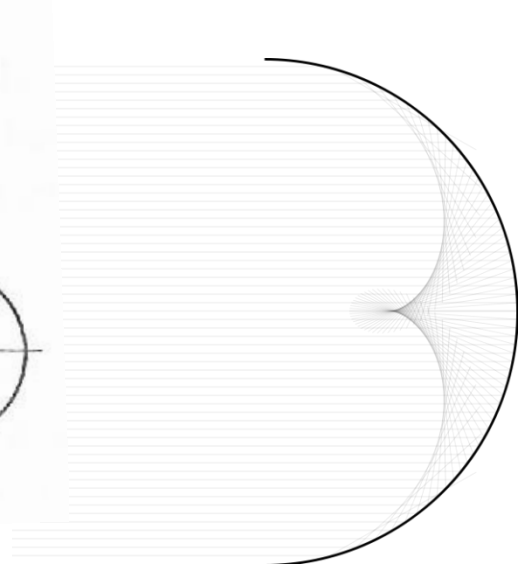
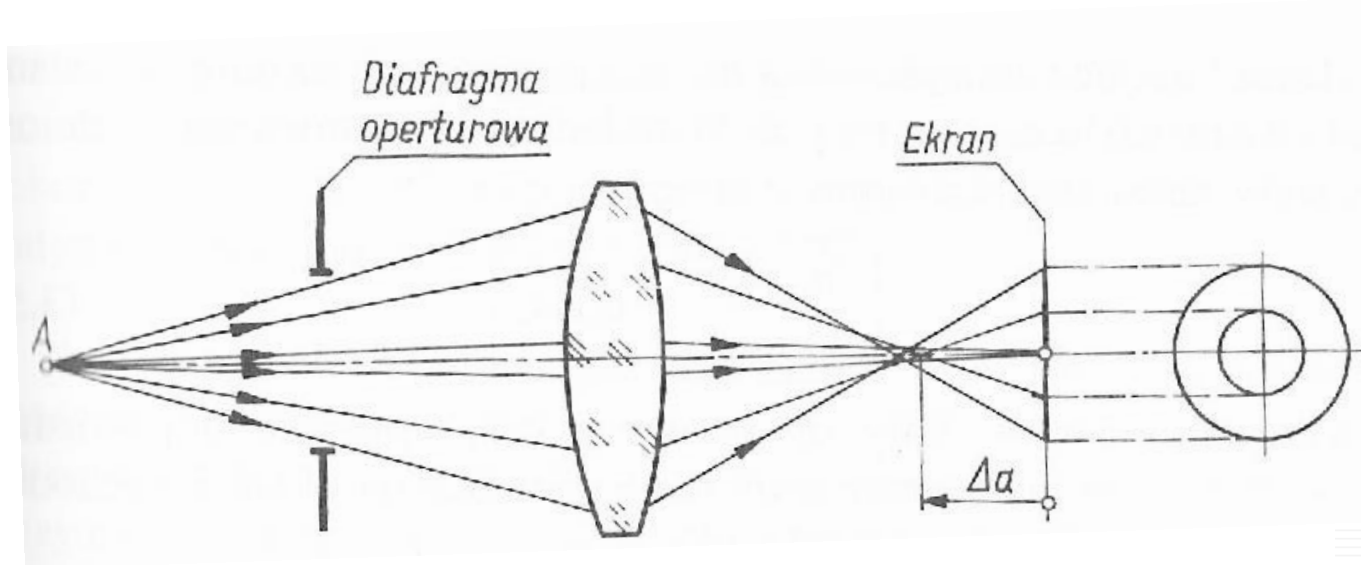


Aberracja sferyczna

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

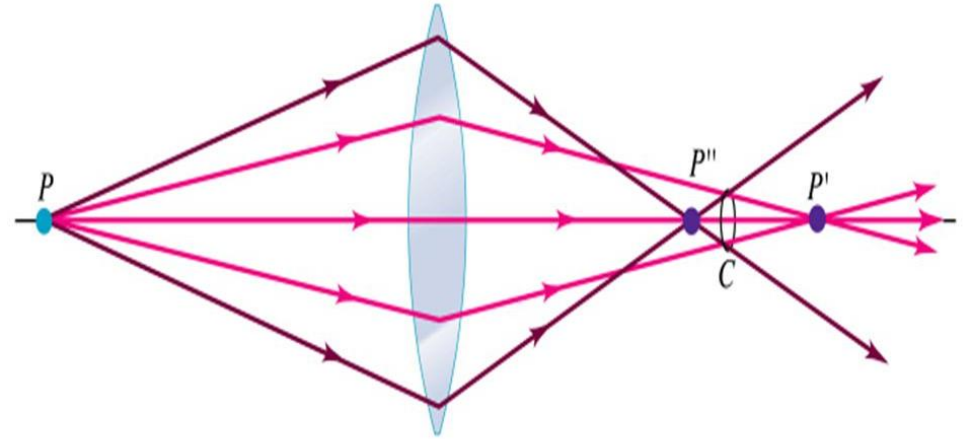
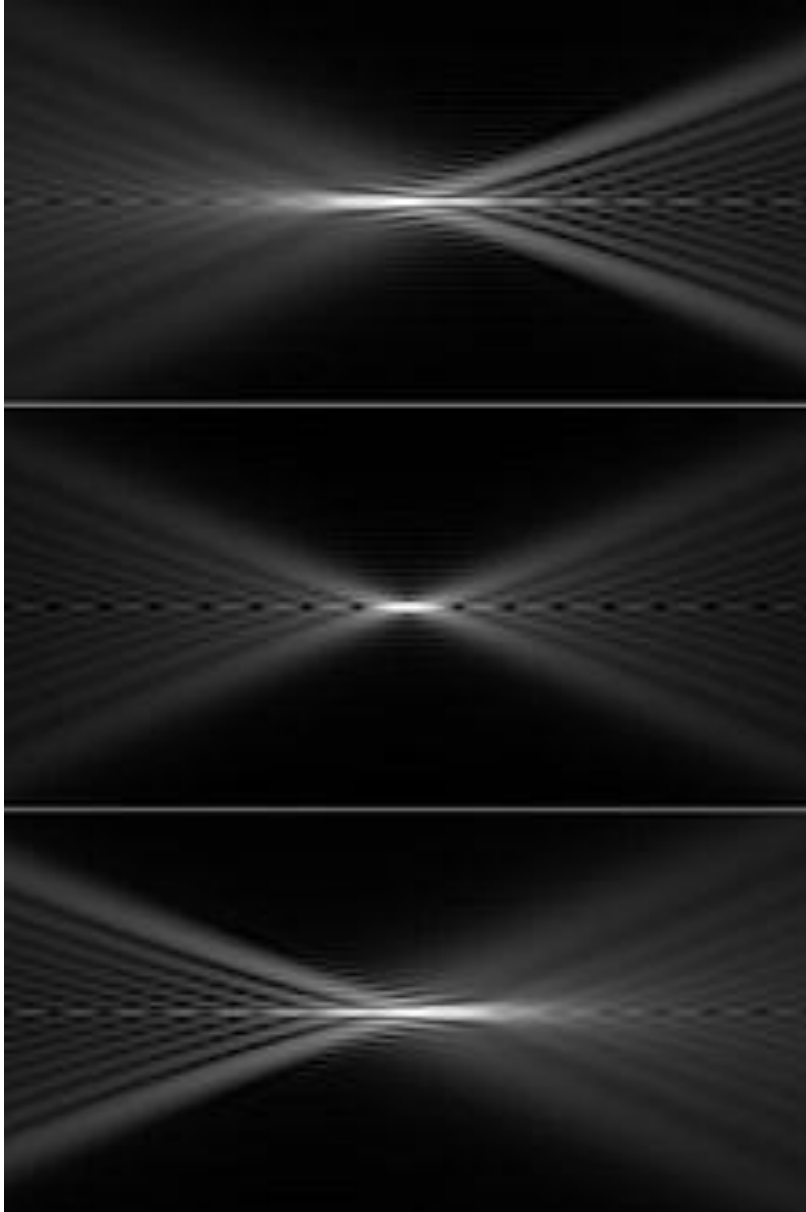


en.wikipedia.org



Zwierciadło
kaustyka

Aberracja sferyczna



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

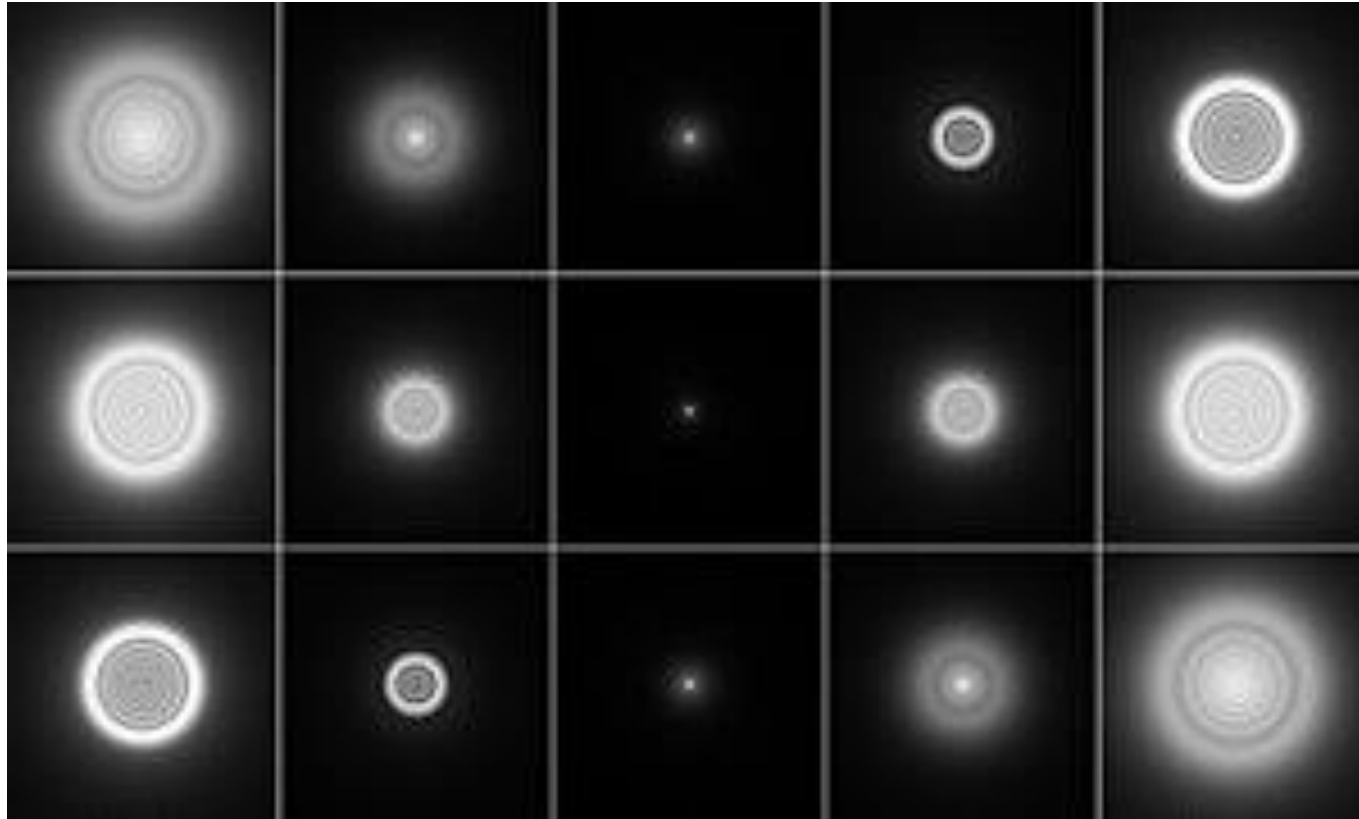
aberracja podłużna $P'-P''$

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

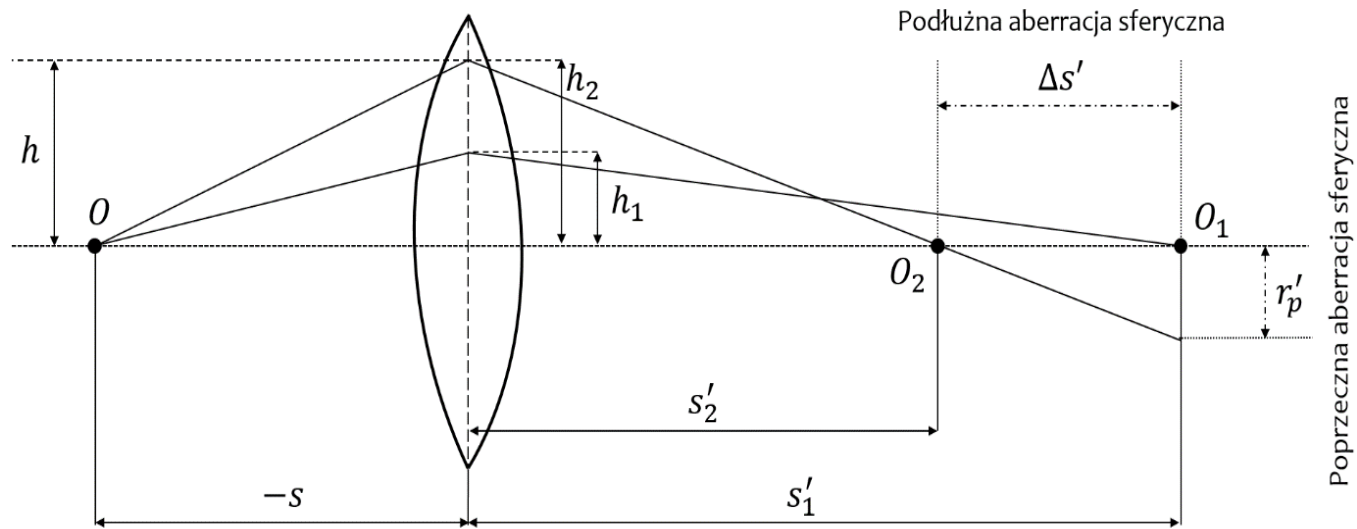
aberracja poprzeczna (minimalna średnica plamki)



en.wikipedia.org

Symulacja aberracji sferycznej w układzie optycznym z kołową aperturą oświetlaną z punkowego 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):

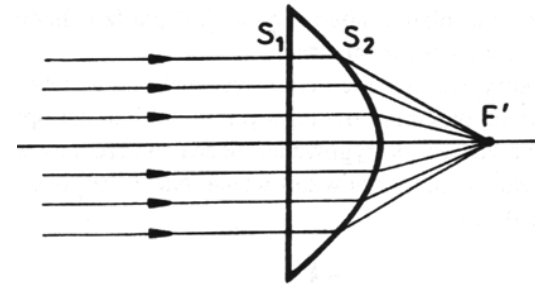
$$\frac{r_p}{\Delta f} = \frac{h_{\max}}{f_{h_{\max}}} \longrightarrow r_p = \Delta f \frac{h_{\max}}{f_{h_{\max}}}$$

Aberracja sferyczna

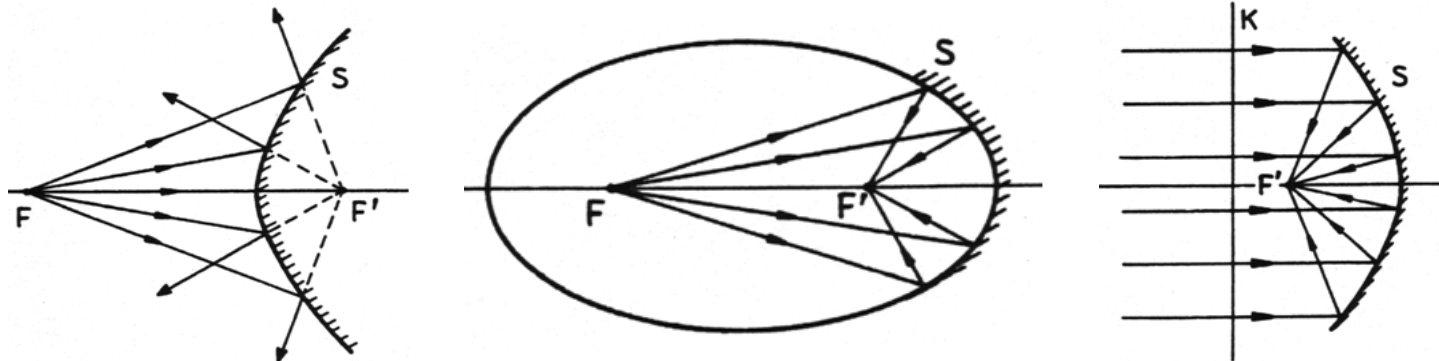
- Pojedyncza soczewka (cienka) o powierzchniach sferycznych, wykonana z materiału o współczynniku załamania n , znajdująca się w powietrzu, wykazuje najmniejszą aberrację sferyczną wtedy, gdy stosunek promieni jej krzywizn wynosi:

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

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

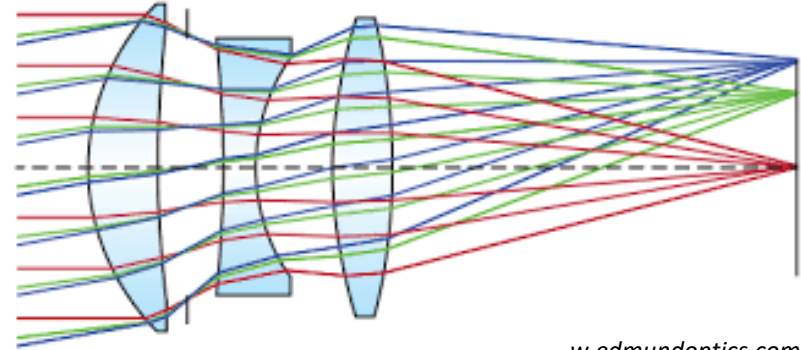
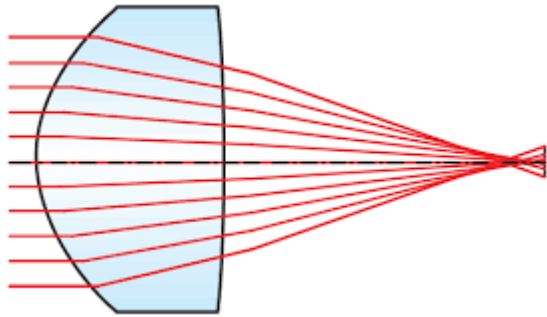


- Zwierciadła wolne od aberracji sferycznej (paraboloida):



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.

