

1100-1BO15, rok akademicki 2018/19

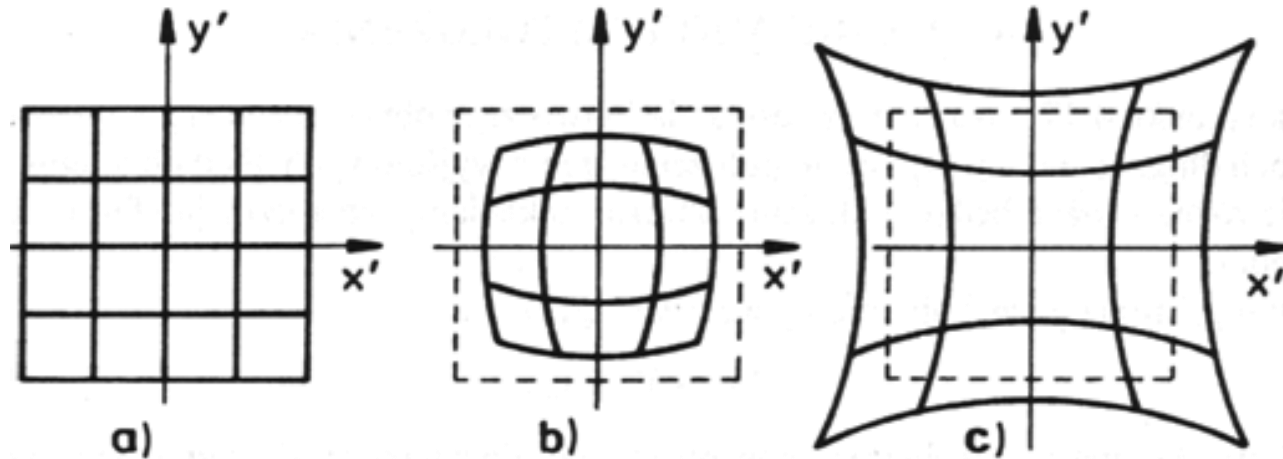
OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 7

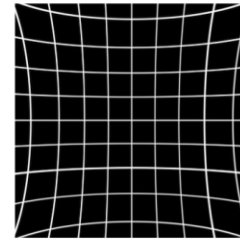
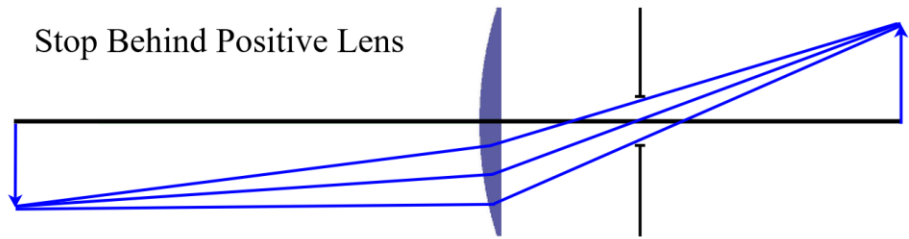
Dystorsja

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



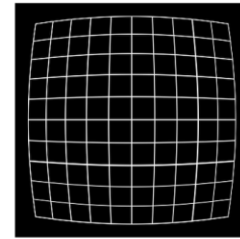
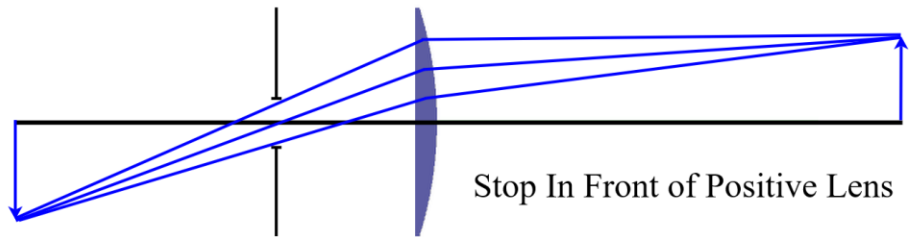
www.uni-koeln.de/~al001/radcor_files

Dystorsja



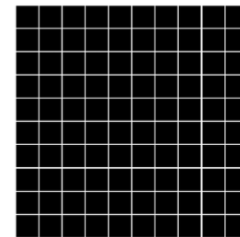
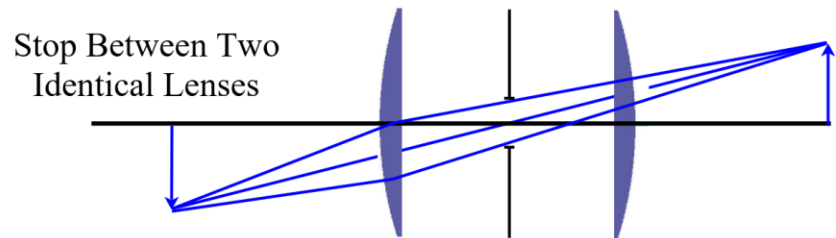
Pin-cushion distortion

+



Barrel distortion

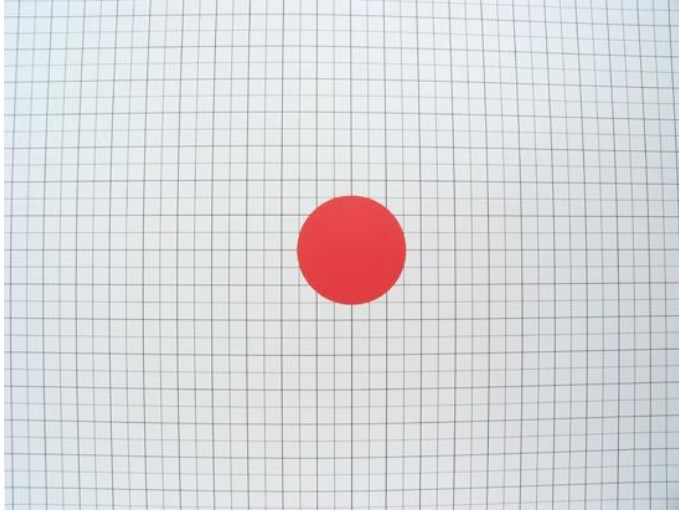
=



No distortion

Dystorsja

Przykłady



17MM

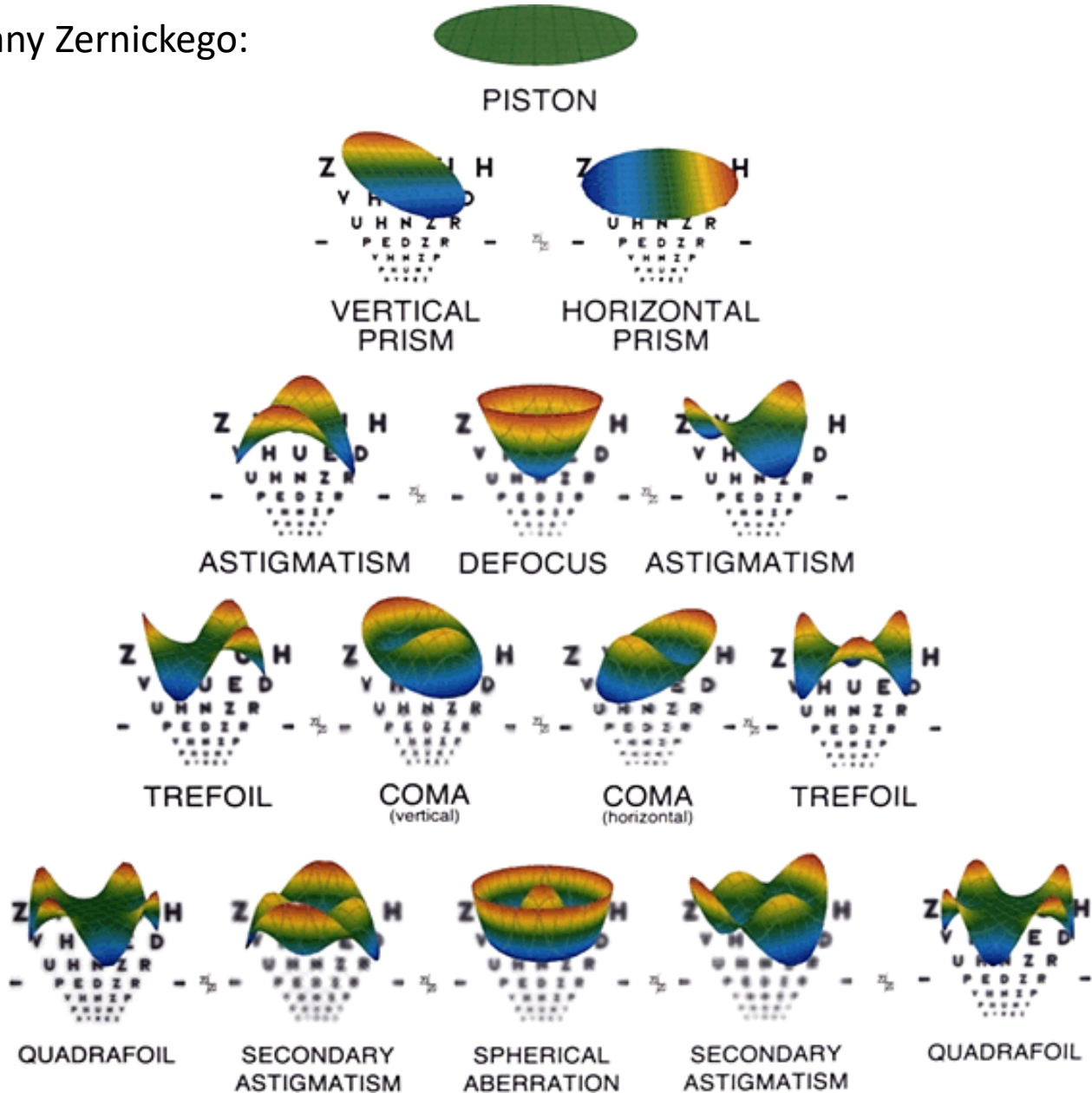
50MM

200MM

F5.6 1/200 ISO100

Aberracje monochromatyczne

Wielomiany Zernickego:



Aberracje monochromatyczne

Wielomiany Zernickego:

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

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

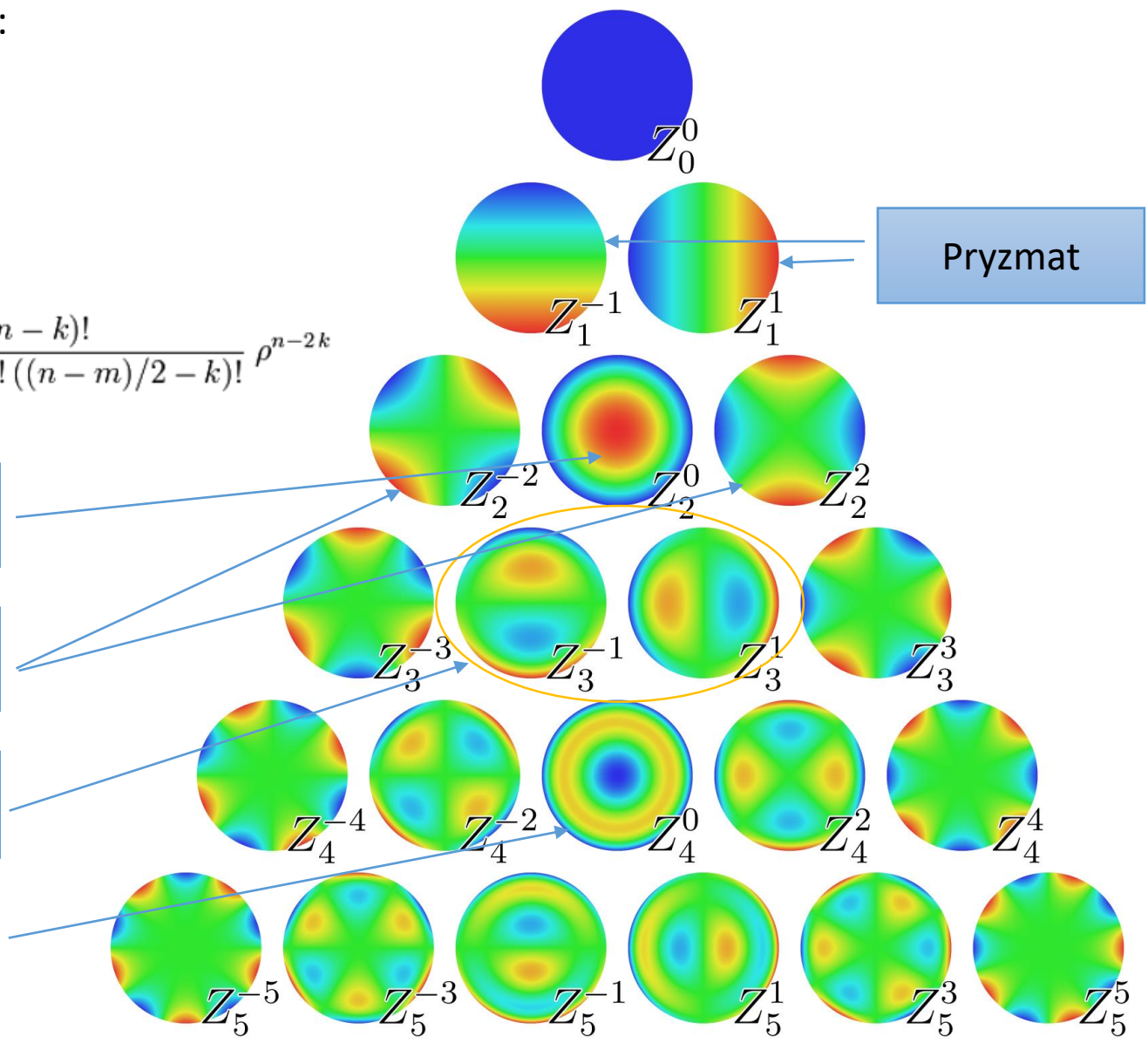
$$R_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! ((n+m)/2 - k)! ((n-m)/2 - k)!} \rho^{n-2k}$$

Rozogniskowanie

Astygmatyzm

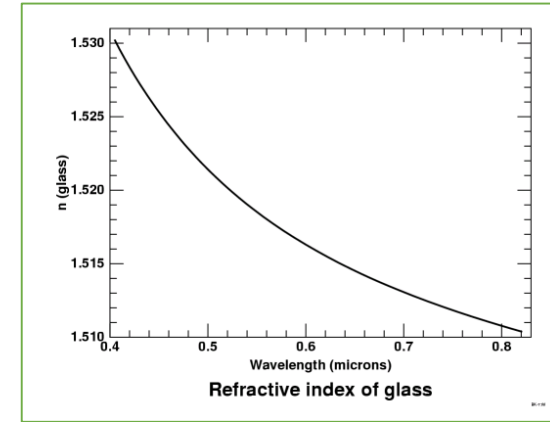
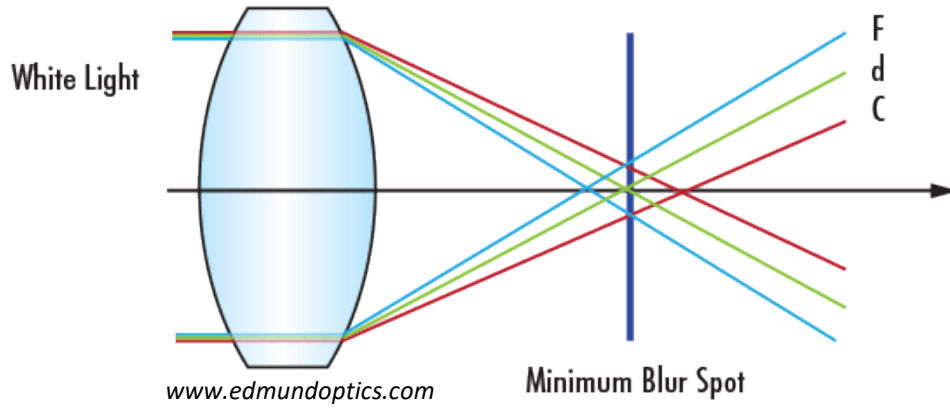
Koma

Aberracja sferyczna



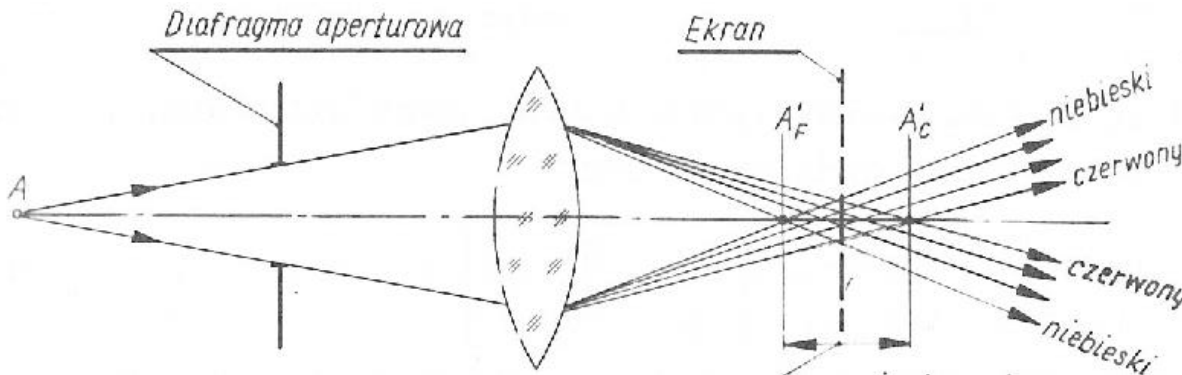
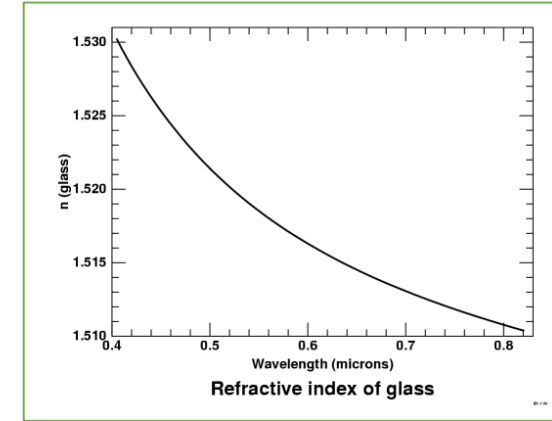
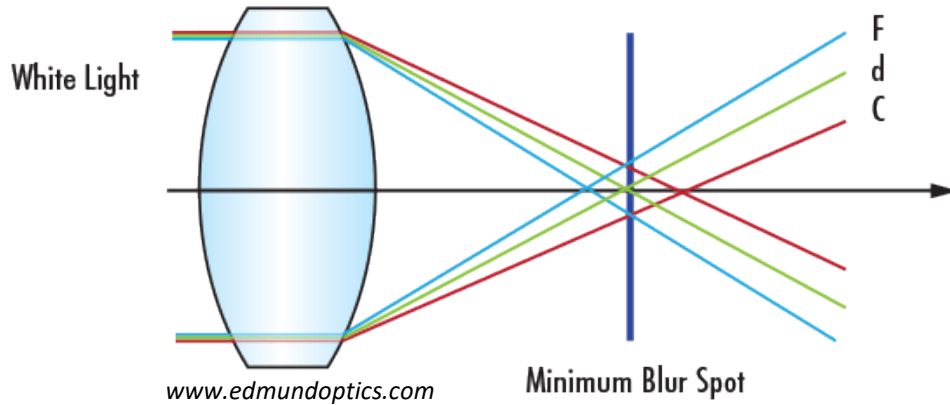
Aberracje chromatyczne

- chromatyzm położenia



Aberracje chromatyczne

- chromatyzm położenia



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

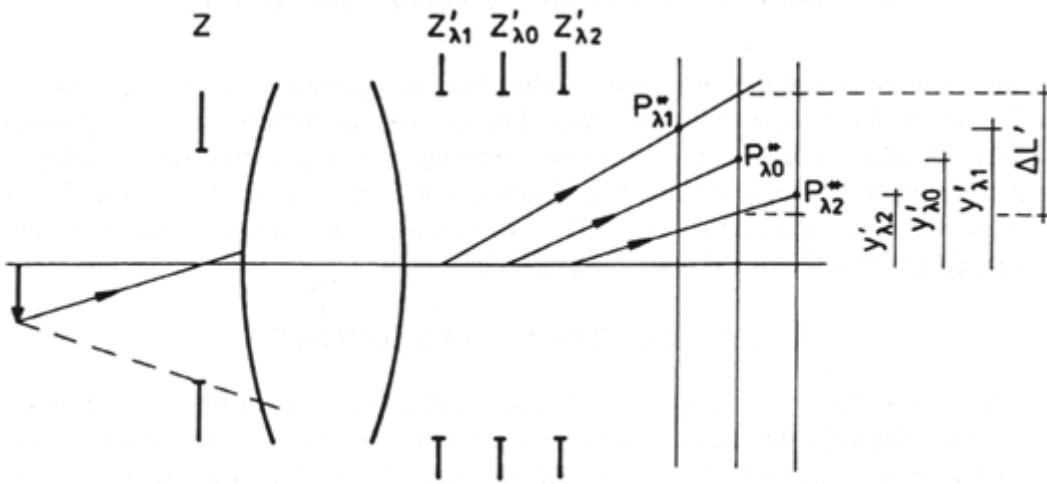
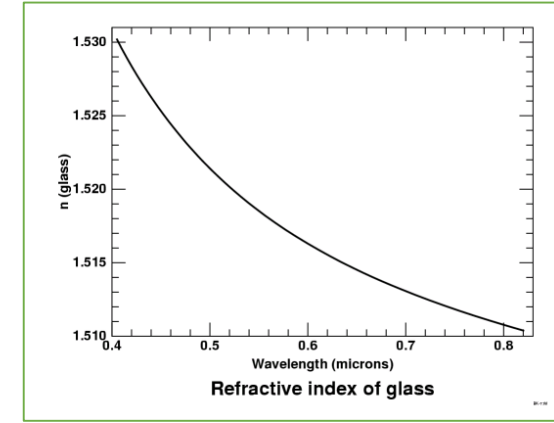
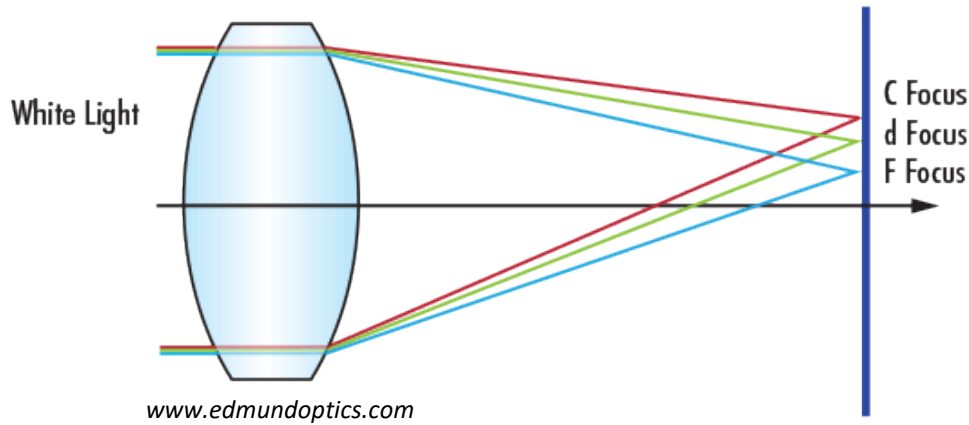
$$LCA = \frac{F}{v}$$

aberracja poprzeczna
(minimalna średnica plamki)

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

Aberracje chromatyczne

- chromatyzm powiększenia



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

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

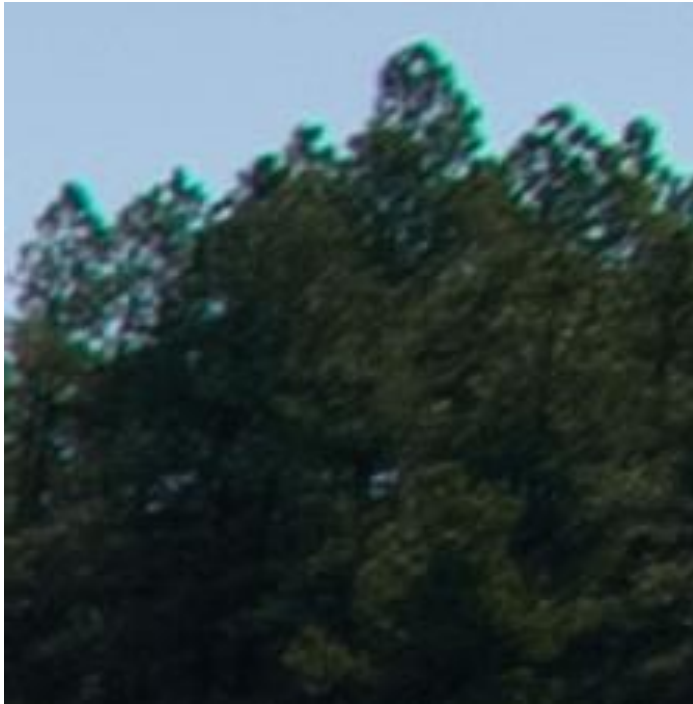
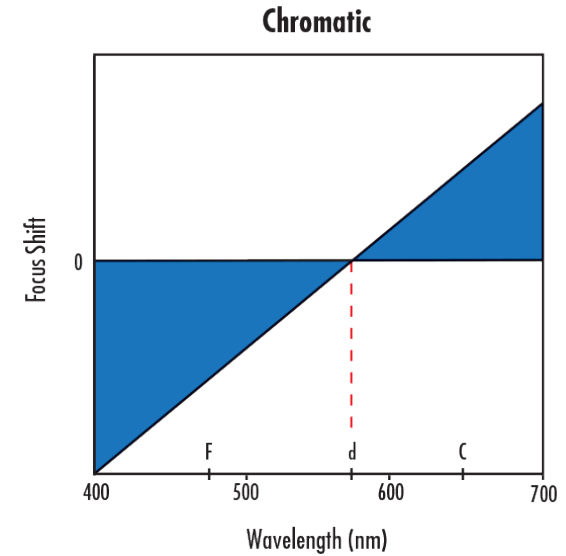
$$\lambda_1 = \lambda_C (656,27 \text{ nm})$$

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

Aberracje chromatyczne



briankoberlein.com



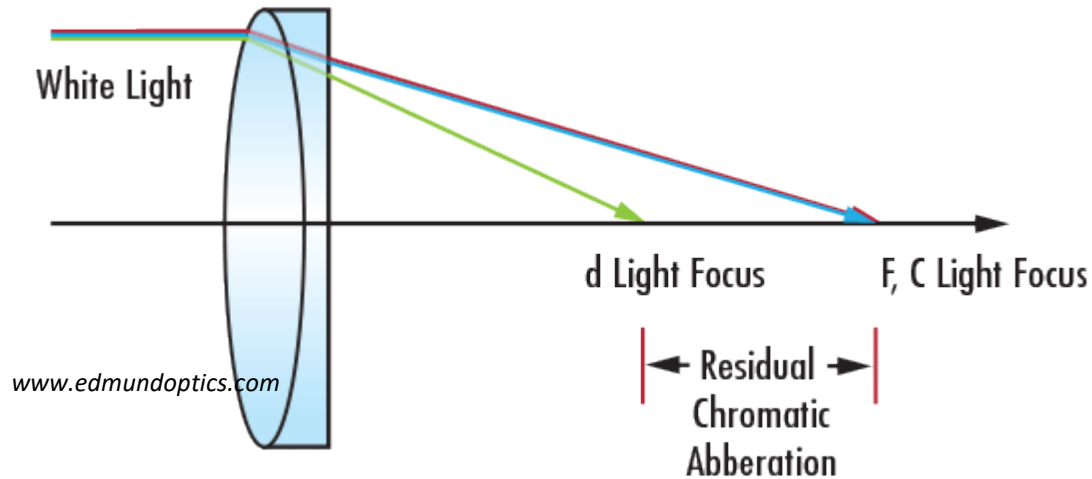
www.edmundoptics.com

www.picturecode.com

Aberracje chromatyczne

Pojedyncza soczewka jest obarczona aberracją chromatyczną

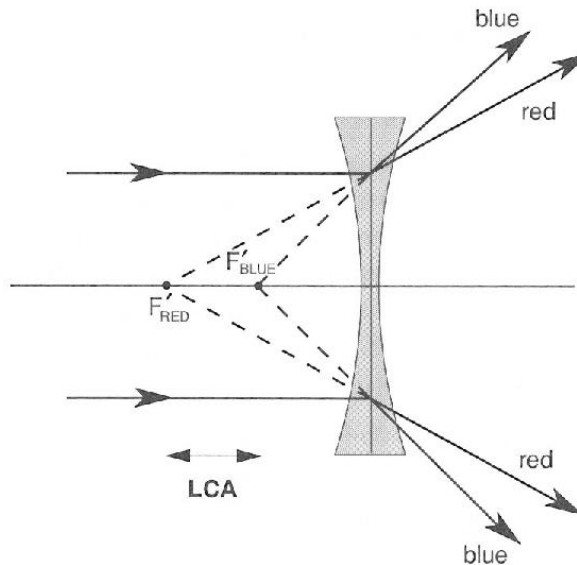
Dublet achromatyczny – korekcja aberracji chromatycznej



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

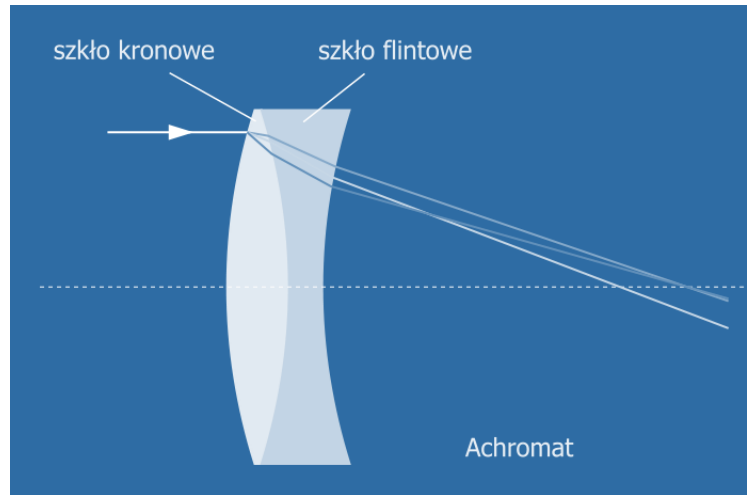
F – moc optyczna
 v – dyspersja

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



Aberracje chromatyczne

Dublet achromatyczny – korekcja aberracji chromatycznej

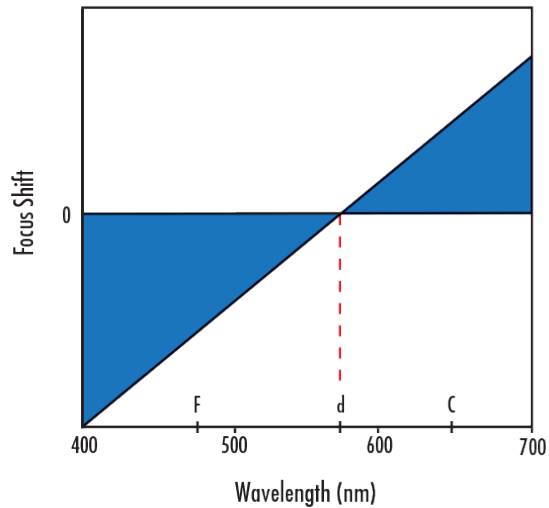


Szkło kronowe (crown) – szkło optyczne o dużej zawartości tlenku potasu (K_2O), charakteryzujące się dużą przejrzystością. Ma niski współczynnik załamania światła (1,45–1,6) i niską dyspersję (liczba Abbego ok. 60).

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

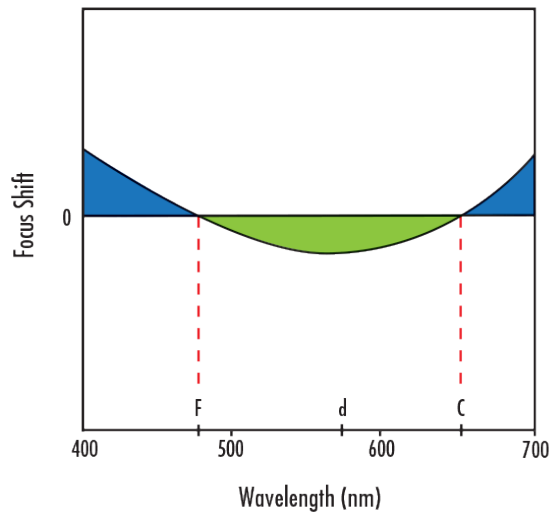
Chromatic



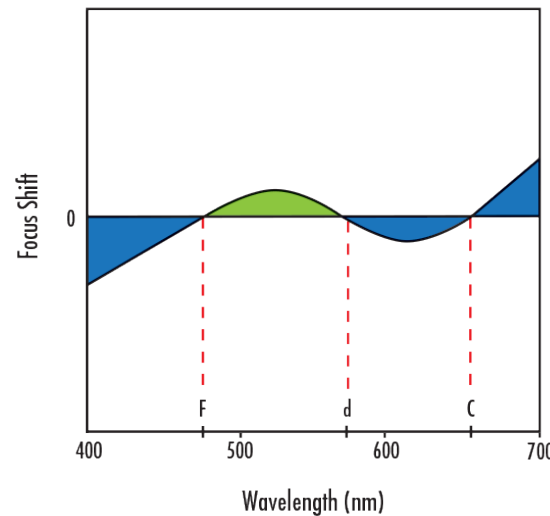
Układ optyczny korygujący aberrację chromatyczną dla dwóch długości fali – **achromat**, dla trzech – **apochromat**, dla czterech – **superachromat**.

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.

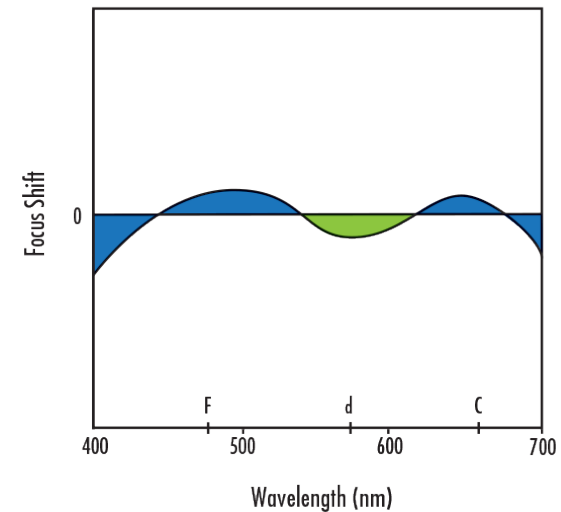
Achromatic



Apochromat



Superachromat



Aberracje chromatyczne

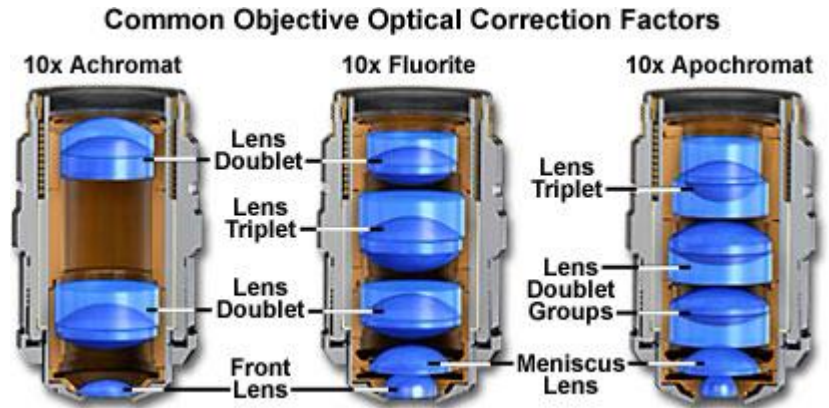
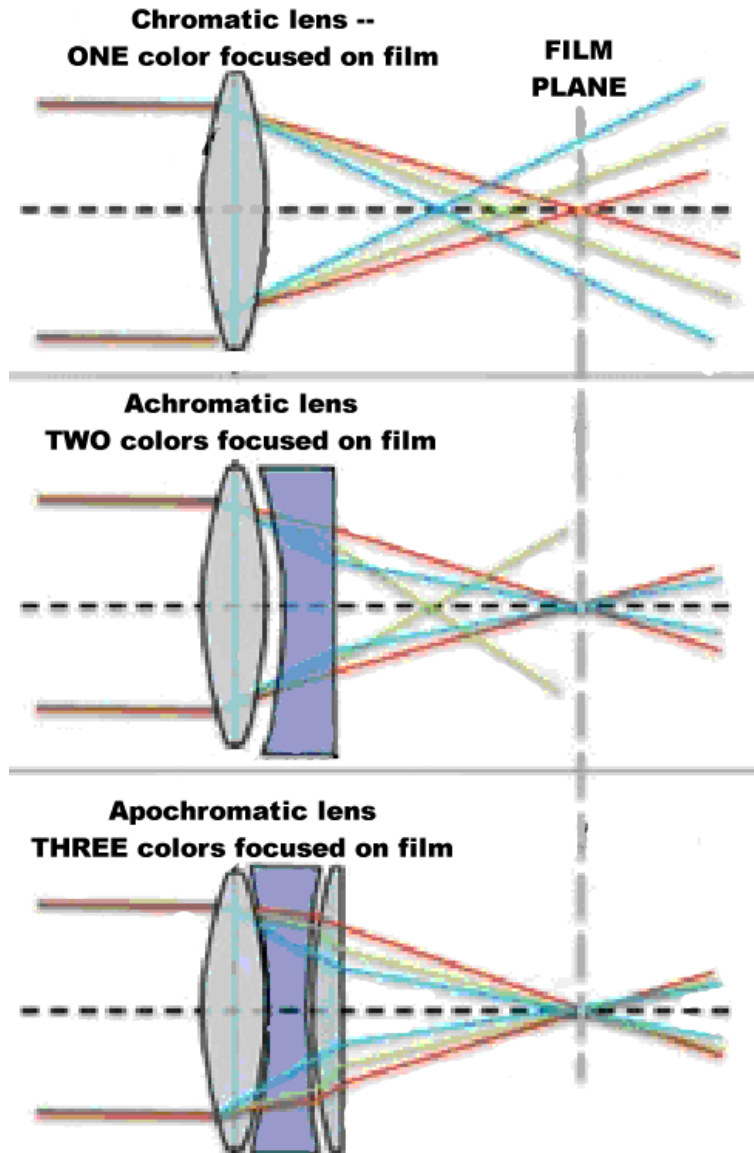
Skorygowanie chromatyzmu dla pewnej liczby długości fal nie gwarantuje korekcji dla pozostałej części widma. Powstaje tzw. *chromatyzm wtórny*.



Achromat

Apochromat

Aberracje chromatyczne

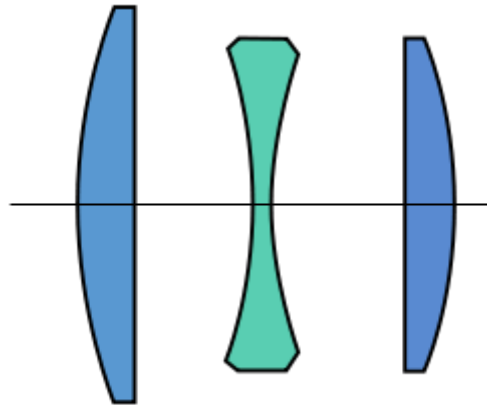


www.olympus-lifescience.com

Aberracje chromatyczne

Tryplet Cooke'a

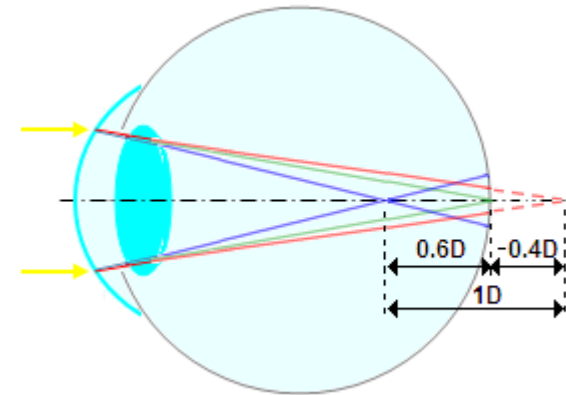
- Obiektyw zaprojektowany i opatentowany w roku 1893 przez Dennisa Taylora zatrudnionego przez Cooke of York (stąd nazwa).
- Pierwszy obiektyw eliminujący w znacznym stopniu większość aberracji.
- Składa się z rozpraszającej soczewki ze szkła flintowego i dwóch soczewek skupiających ze szkła kronowego.



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.

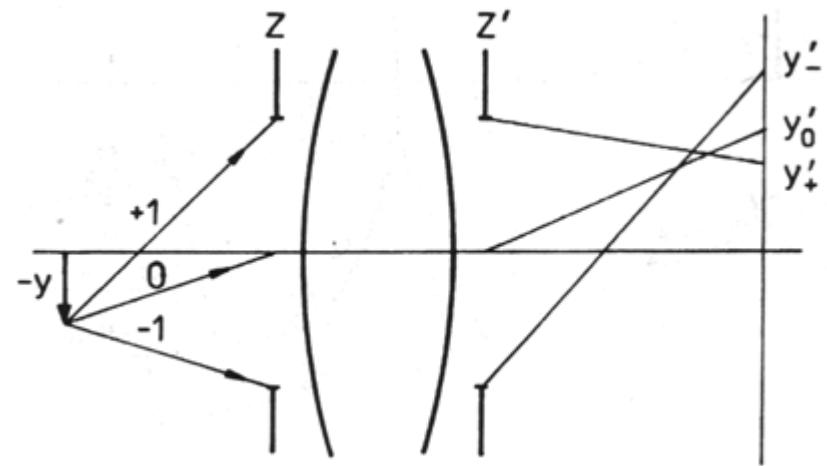


Aberracje a przysłony

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

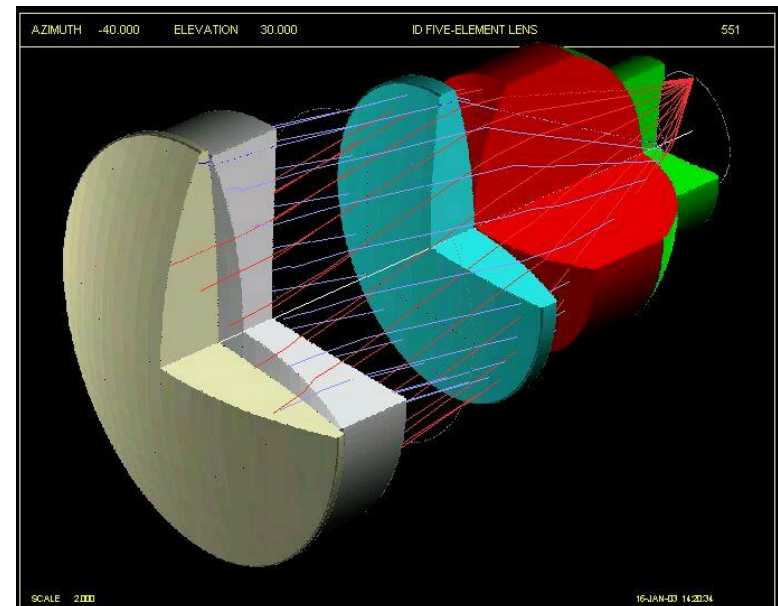
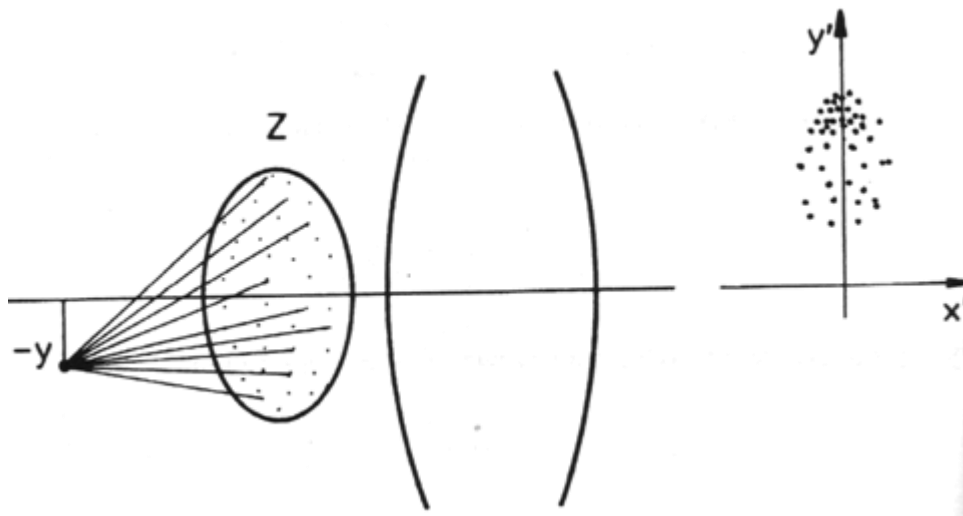
Aberracje a przestony

- **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.



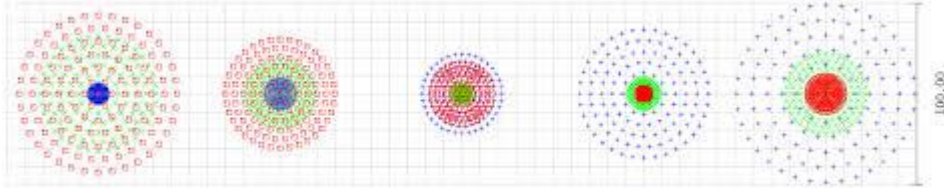
Aberracje - diagram śladowy

- 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.

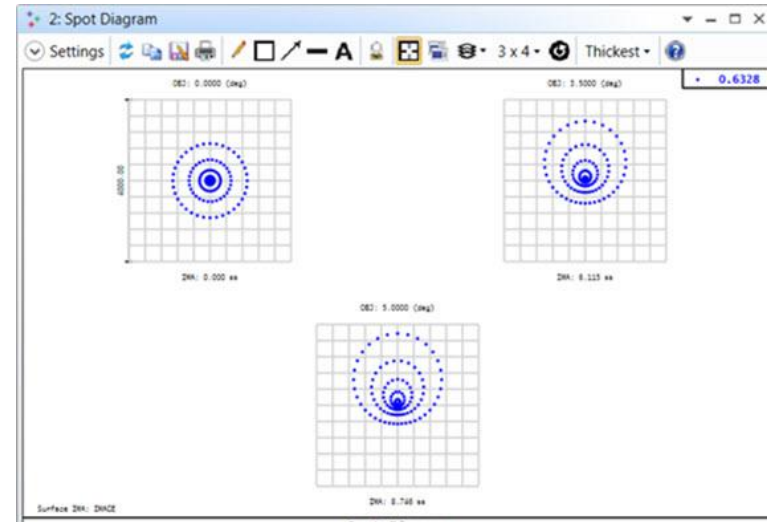


Aberracje - diagram śladowy

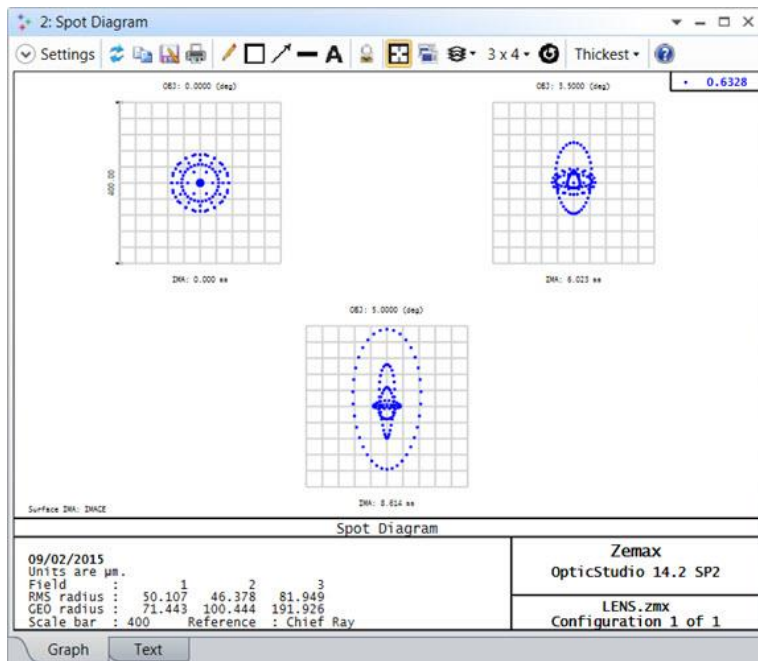
Aberracja chromatyczna



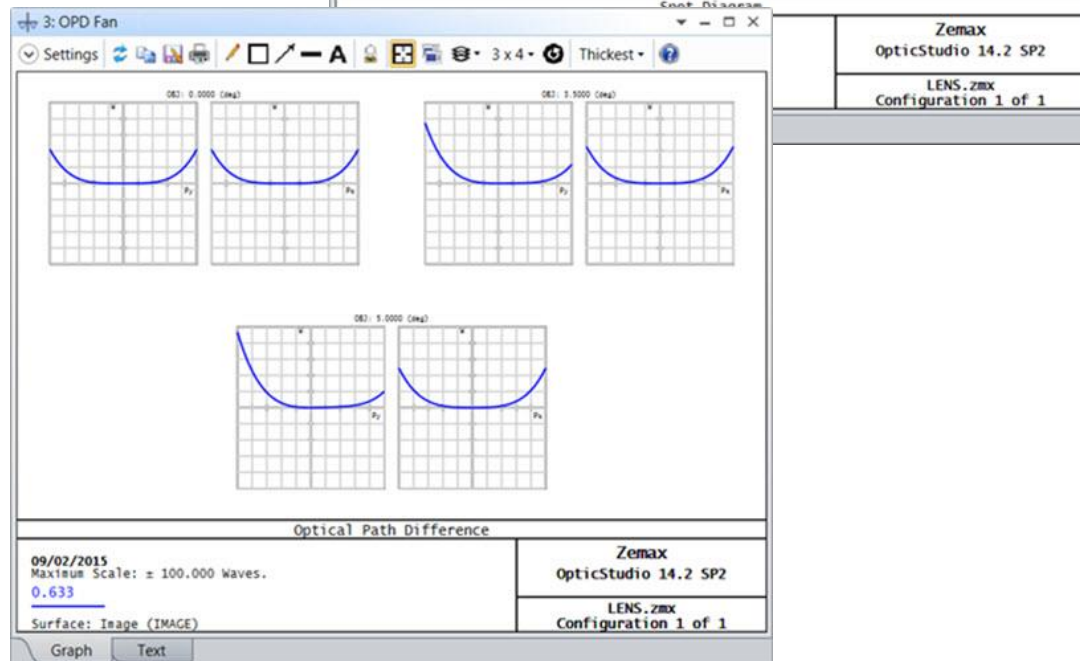
Coma



Astygmatyzm

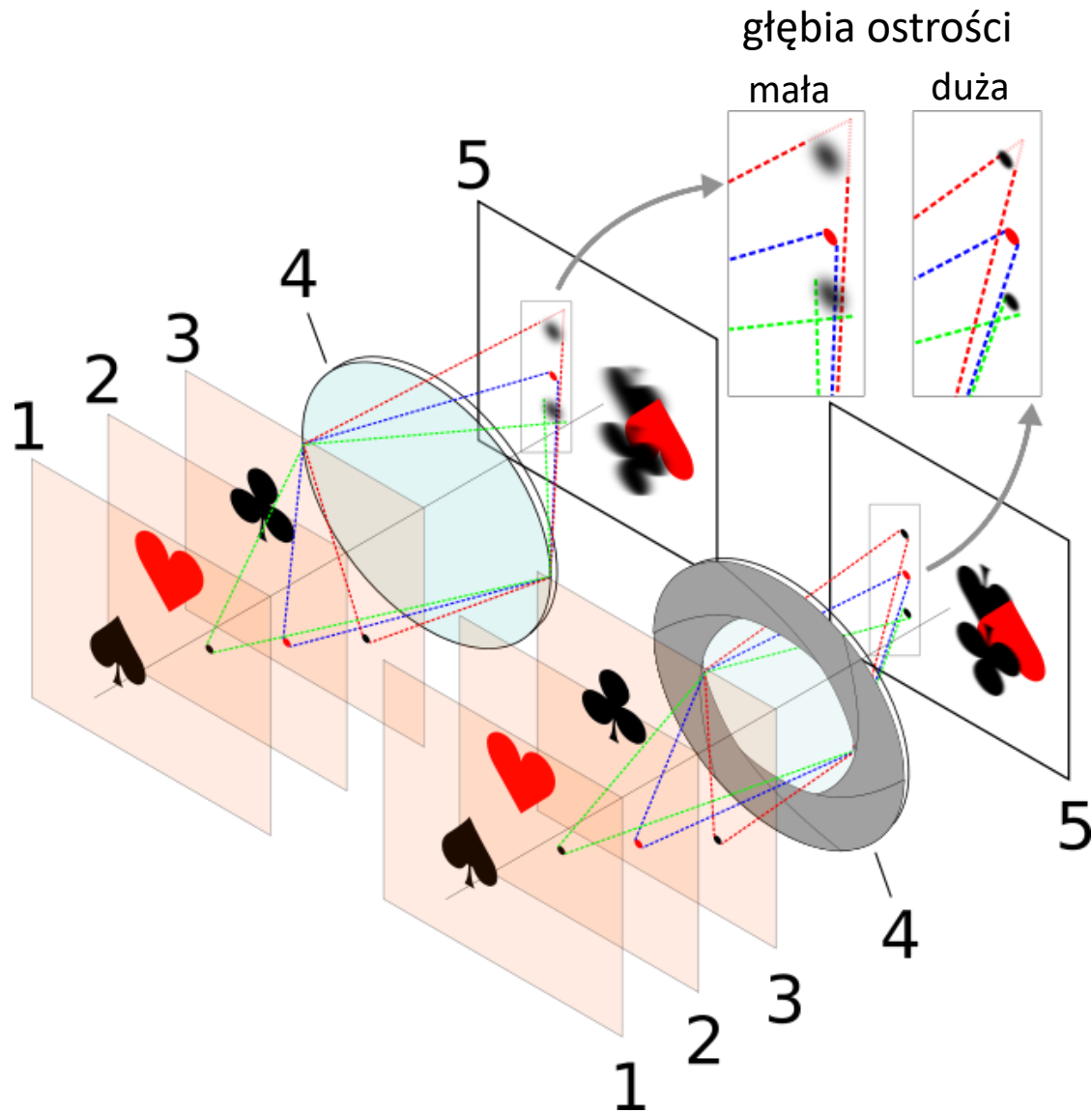


Krzywizna pola



Zemax
OpticStudio 14.2 SP2
LENS.zmx
Configuration 1 of 1

Głębina ostrości

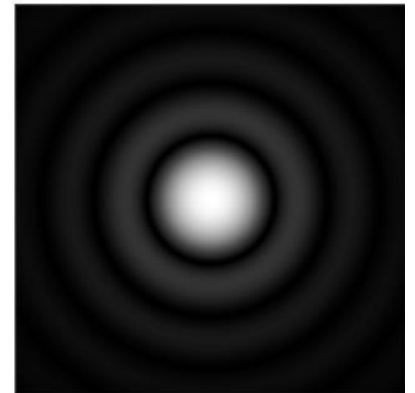


Głębina ostrości

- im mniejsza przysłona, tym większa głębina ostrości
- im odległość ustawienia ostrości obiektywu mniejsza, tym mniejsza głębina ostrości
- im krótsza ogniskowa tym większa głębina ostrości
- w fotografii: odległość hiperfokalna H – odległość od aparatu gdzie dla danej przysłony ostre są wszystkie obiekty począwszy od tej odległości aż do nieskończoności)

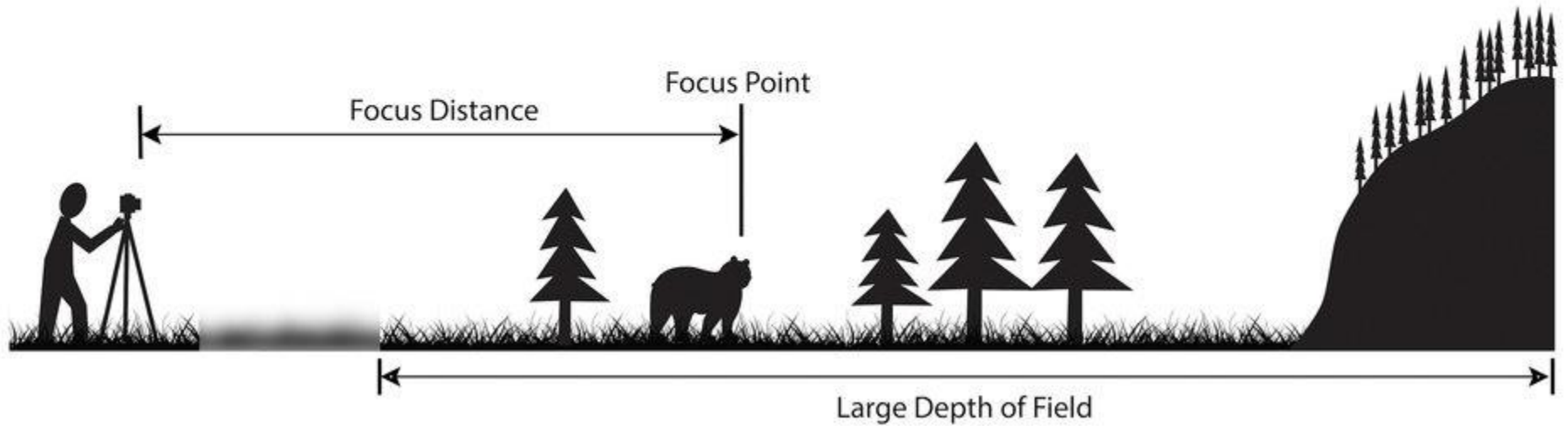
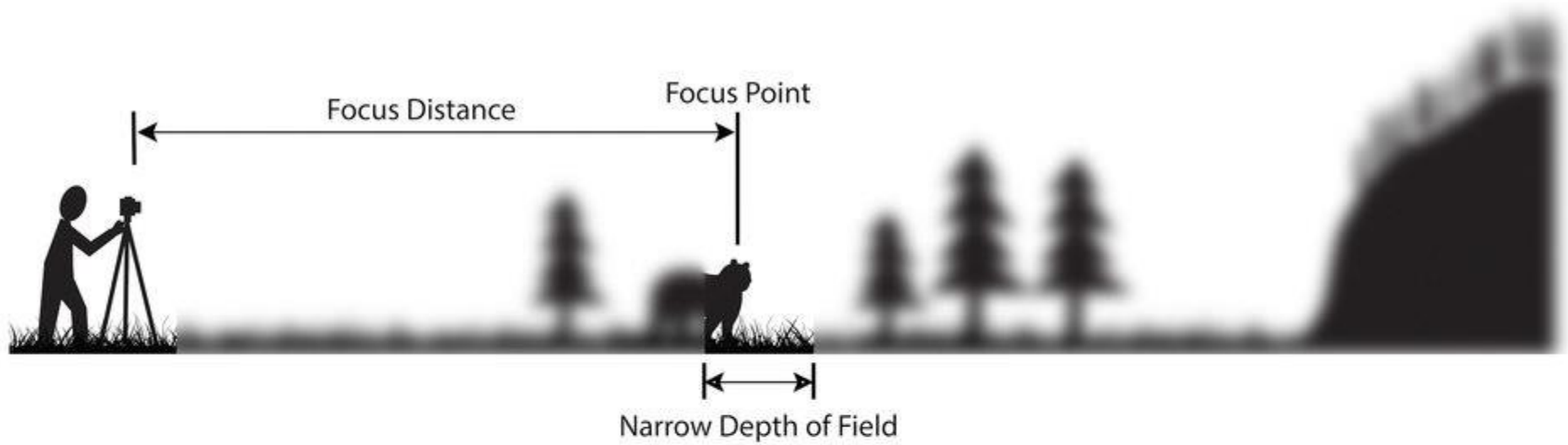
$$H \cong \frac{f^2}{Nc}$$

N – liczba przysłony, c – krążek rozmycia (Airy)



photographylife.com

Głębia ostrości



Głębia ostrości

pl.pinterest.com/pin/816347869928675932/



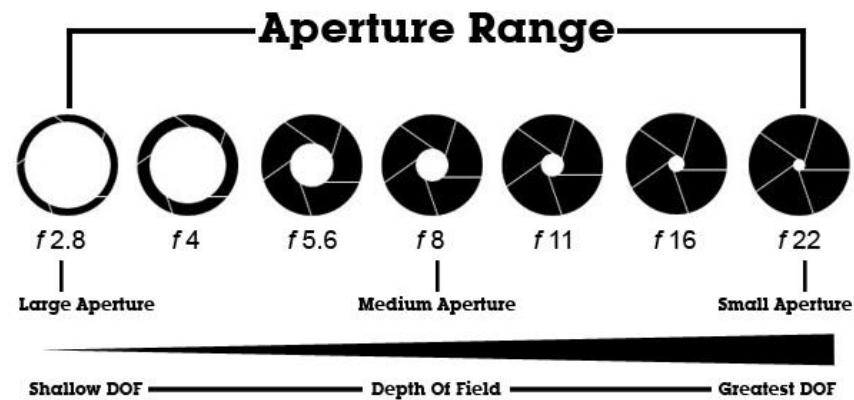
f/1.8



f/4.5



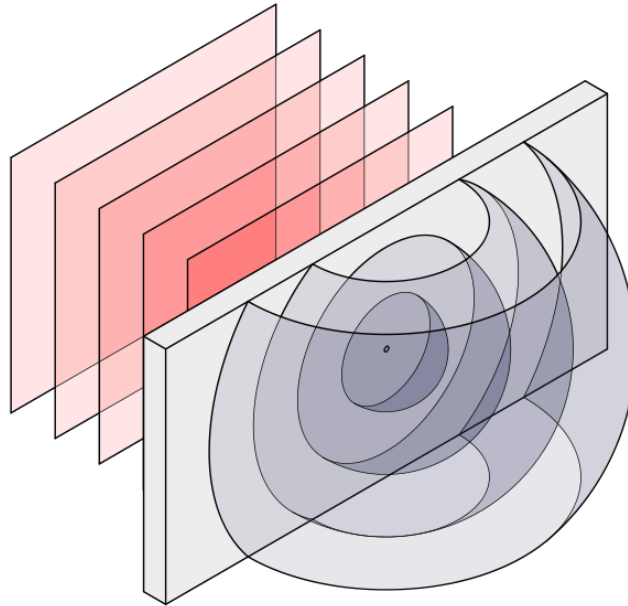
f/22



photography.tutsplus.com

Zasada Huygensa

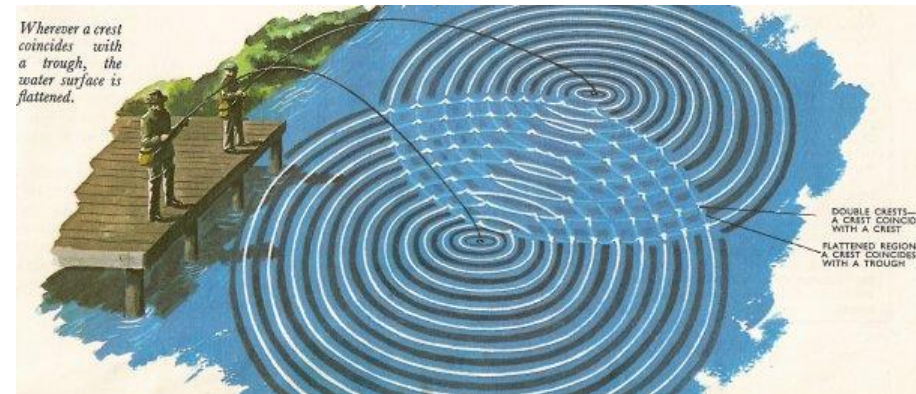
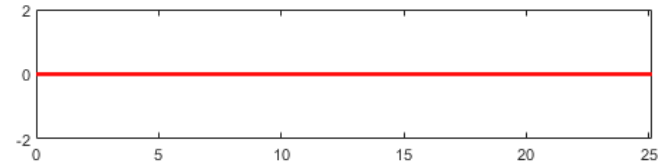
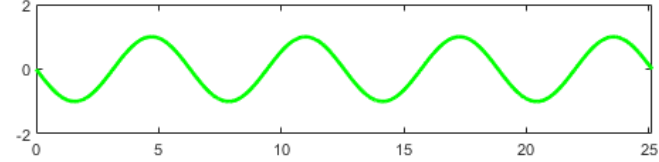
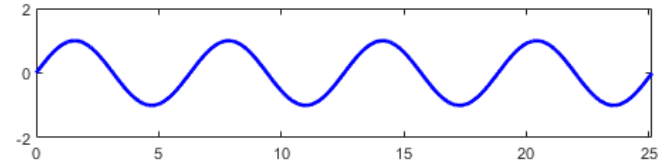
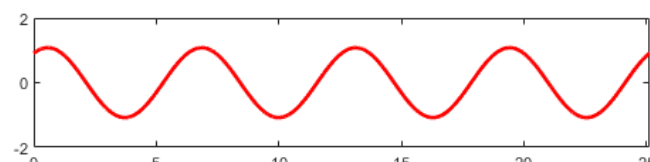
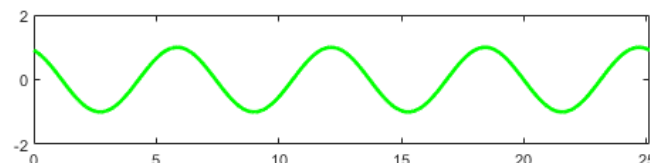
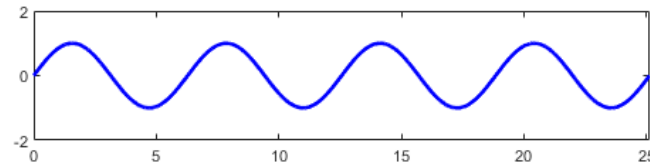
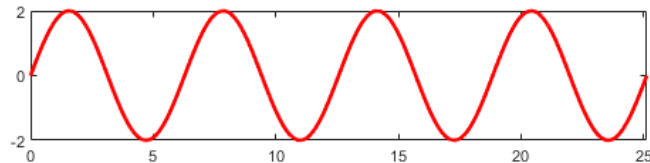
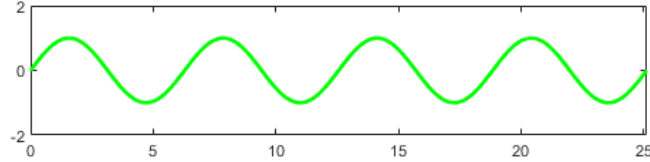
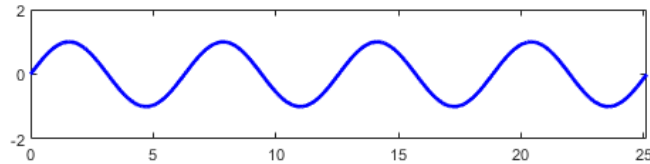
każdy punkt do którego dotrze fala staje się nowym źródłem fali kulistej. Fale te nakładają się zgodnie z zasadą superpozycji. W efekcie pojawiają się obszary wzmocnienia i osłabienia rozchodzących się fal (interferencja konstruktywna lub destruktywna).



Optyka falowa - interferencja

Interferencja: nakładanie się fal prowadzące do zwiększania lub zmniejszania amplitudy fali wypadkowej.

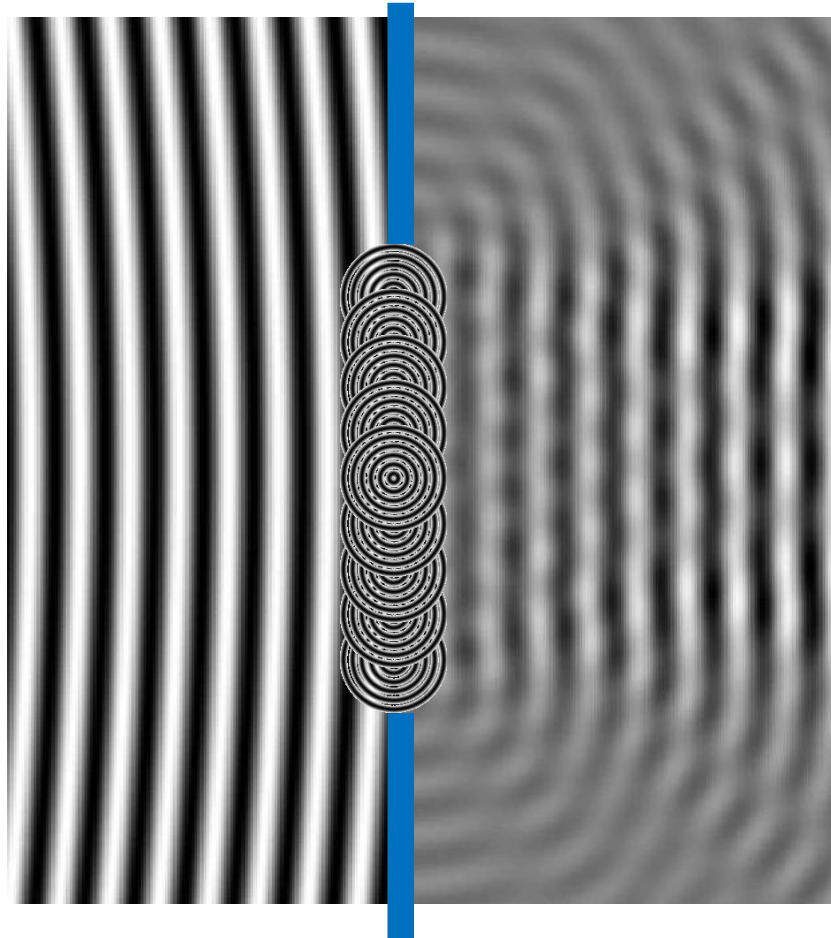
$$y(P) = A_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2)$$



Optyka falowa - interferencja

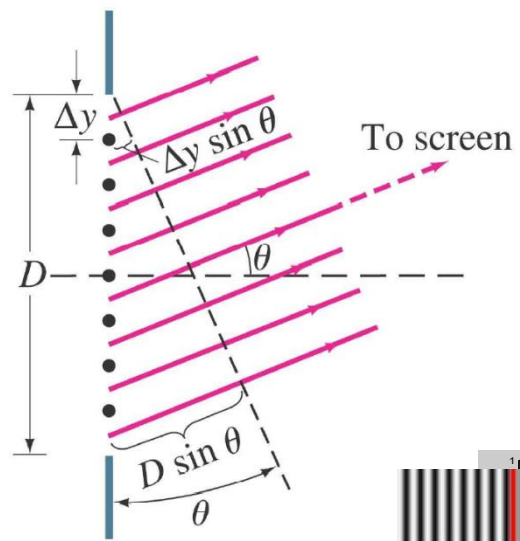
Pojedyncza szczelina

Propagację fali elektromagnetycznej za przeszkodą możemy sobie wyobrazić za Huygensem jako falę pochodzącą ze zbioru punktowych źródeł światła umieszczonych w płaszczyźnie przesłony.



Optyka falowa - interferencja

Pojedyncza szczelina

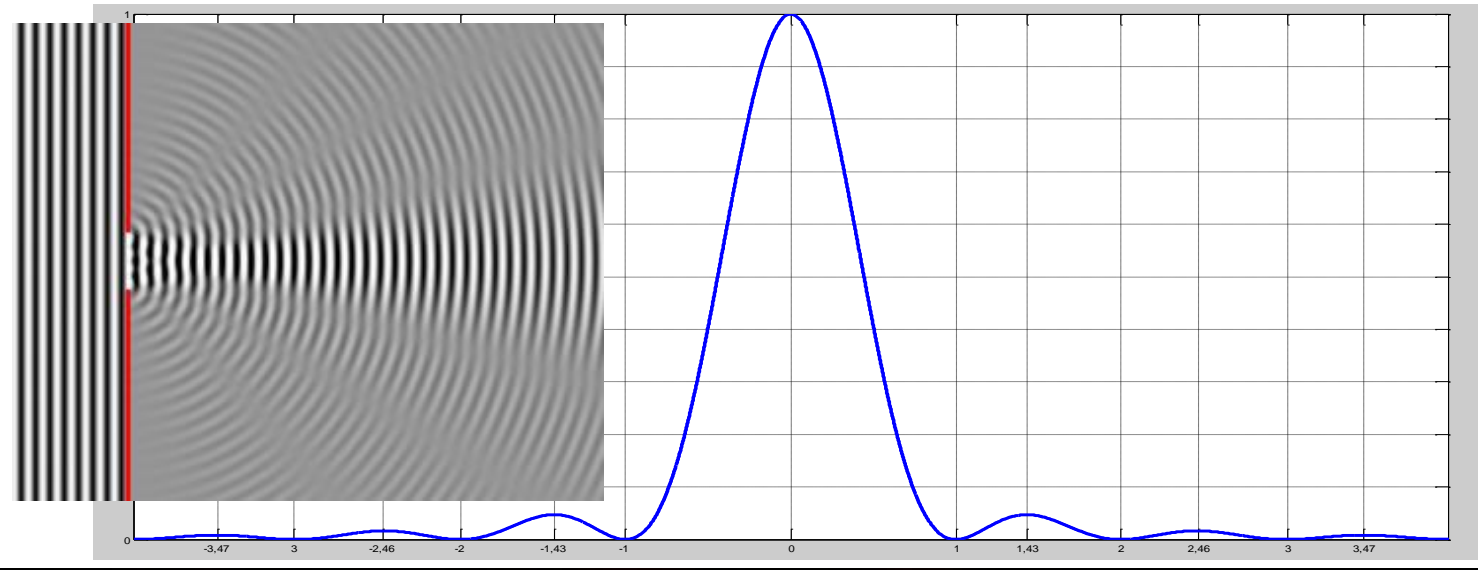


$$I = I_0 \left(\frac{\sin(\beta/2)}{\beta/2} \right)^2$$

Warunki na występowanie minimum:

$$\frac{\pi D \sin \theta}{\lambda} = m\pi$$

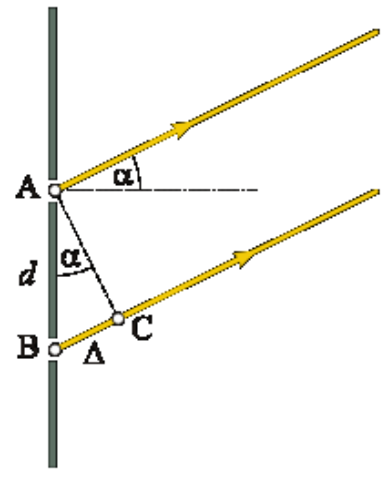
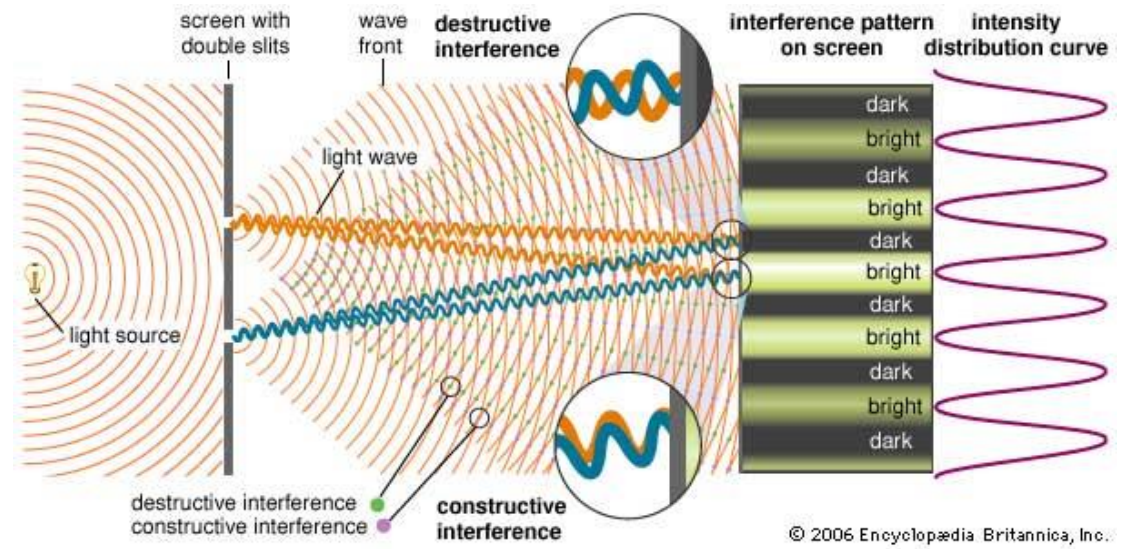
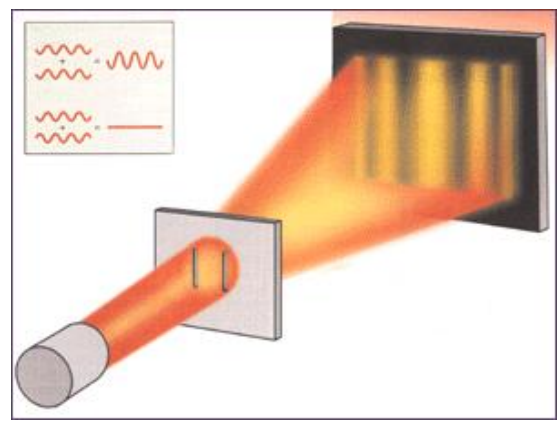
$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$



Optyka falowa - dyfrakcja

Doświadczenie Younga – 2 szczeliny

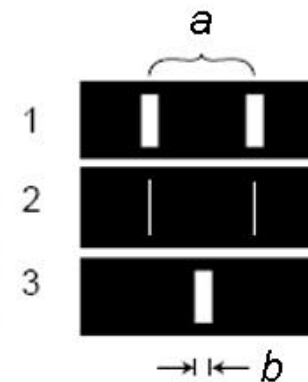
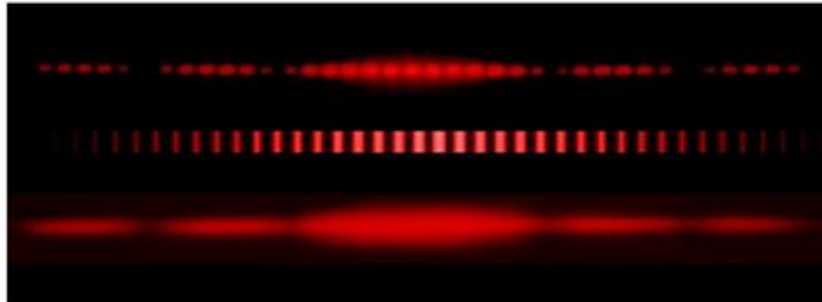
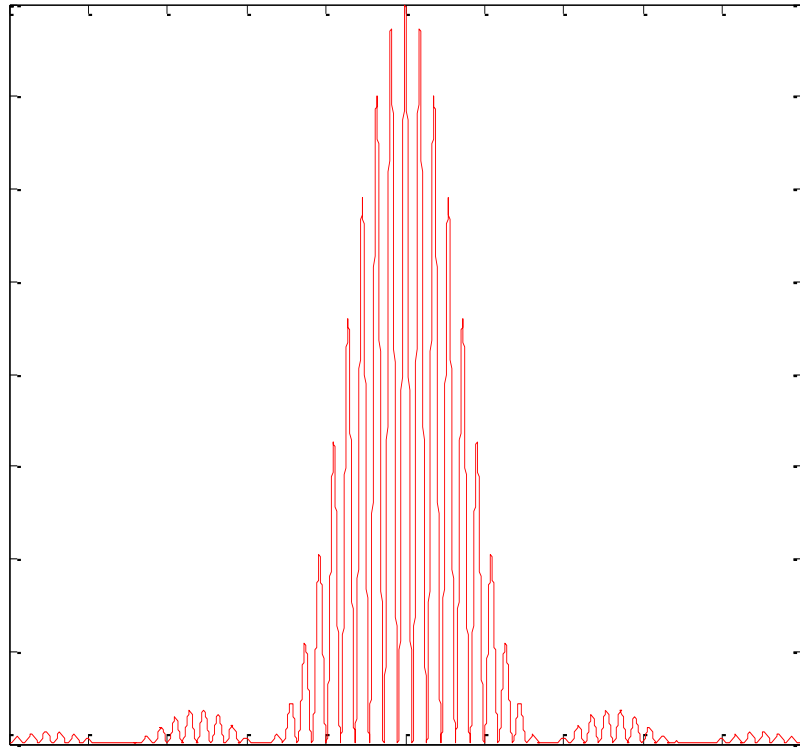
Dyfrakcja – ugięcie na przeszkodzie



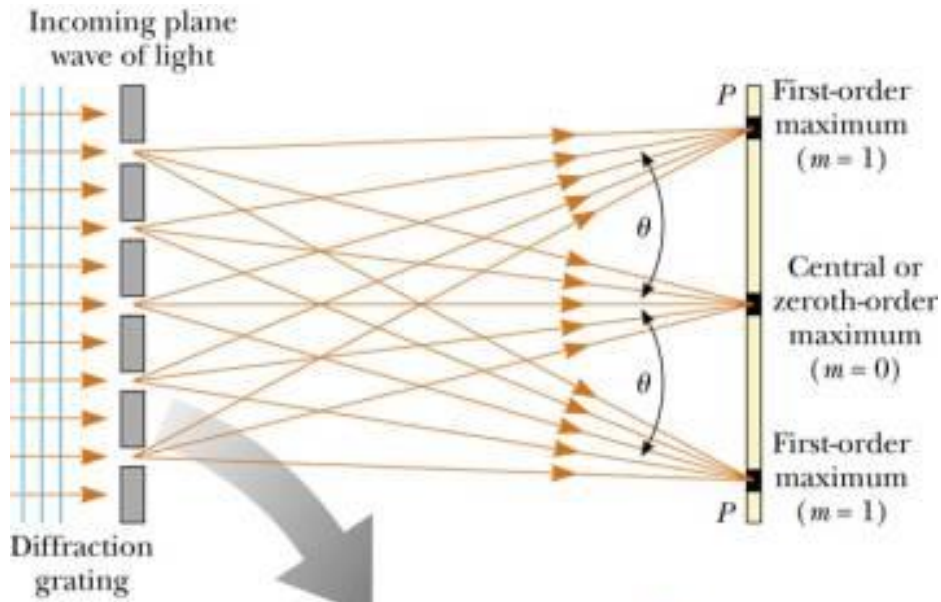
maksimum: $d \sin \alpha_k = k\lambda \quad k \in \mathbb{Z}, k \in \left(-\frac{d}{\lambda}, \frac{d}{\lambda}\right)$

minimum: $d \sin \alpha_k = \left(\frac{2k+1}{2}\right)\lambda \quad k \in \mathbb{Z}, k \in \left(-\frac{2d-\lambda}{2\lambda}, \frac{2d-\lambda}{2\lambda}\right)$

Doświadczenie Younga – 2 szczeliny



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna



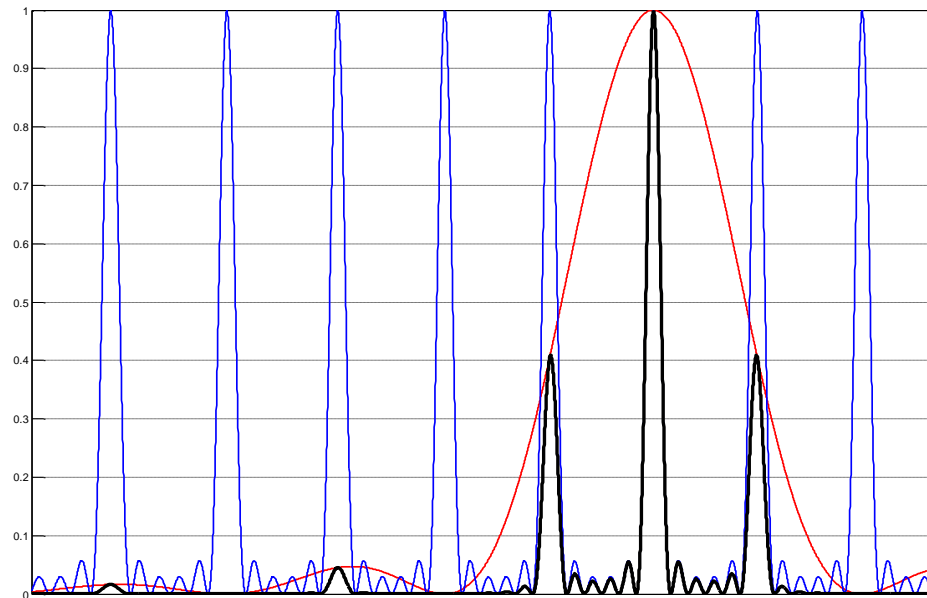
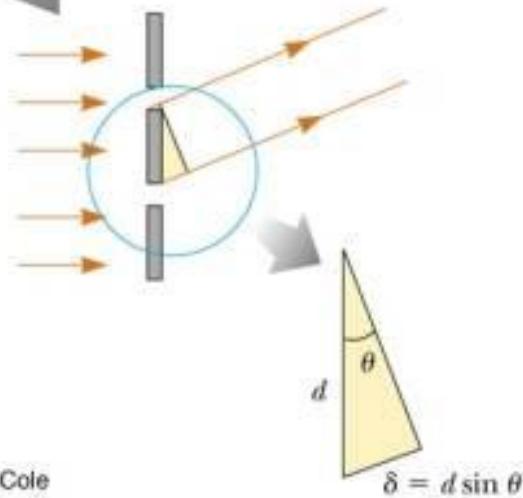
Wzór siatki dyfrakcyjnej:

$$d \sin(\theta_k) = k \lambda$$

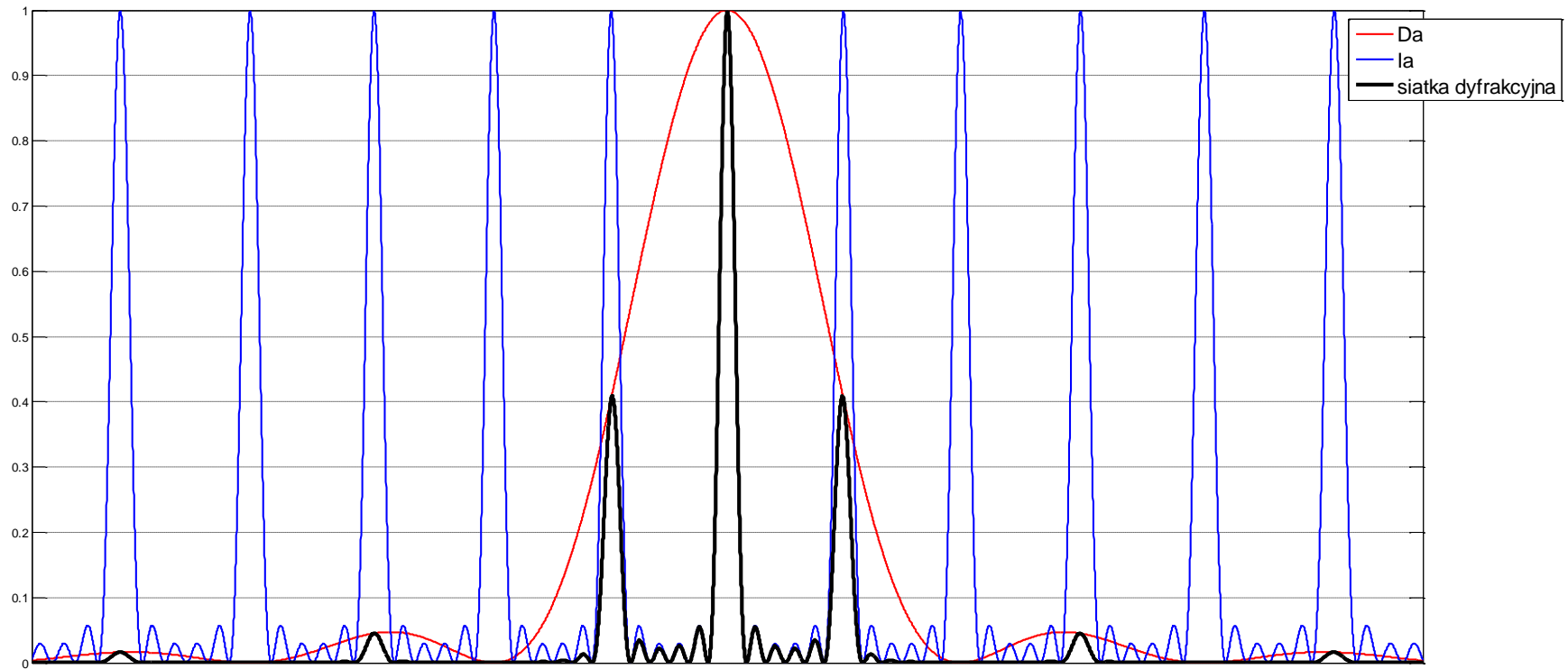
$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

d – stała siatki

k – rząd ugięcia, numer wzmocnienia



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna

Przykładowa siatka – płyta CD

Odległość między ścieżkami: $d = 1,6 \mu\text{m}$

Liczba linii na mm: $N = 625$

Długość fali (laser He-Ne): $\lambda = 632,8 \text{ nm}$



Rzędy ugięcia:

$$\theta_k = \arcsin\left(\frac{k\lambda}{d}\right)$$

Czyli: $\theta_1 = 23,2972$

$\theta_2 = 52,2791$

$\theta_3 = \text{nie ma}$

Rozdzielczość siatki dyfrakcyjnej:

Określa możliwość rozdzielenia dwóch długości fali różniących się o $\Delta\lambda$

Maksimum od jednej wypada w pierwszym minimum od drugiej (kryterium Rayleigha)

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{Nd |\sin \theta - \sin \theta_0|}{\lambda}$$

$$\Delta\lambda = 0,506 \text{ nm}$$

gdzie:

ϑ_0 – kąt padania wiązki na siatkę

(2 rząd)

