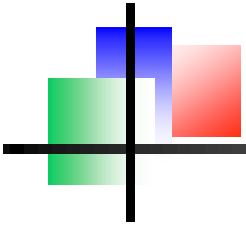


Podstawy Fizyki IV

Optyka z elementami fizyki współczesnej

wykład 9, 12.03.2012

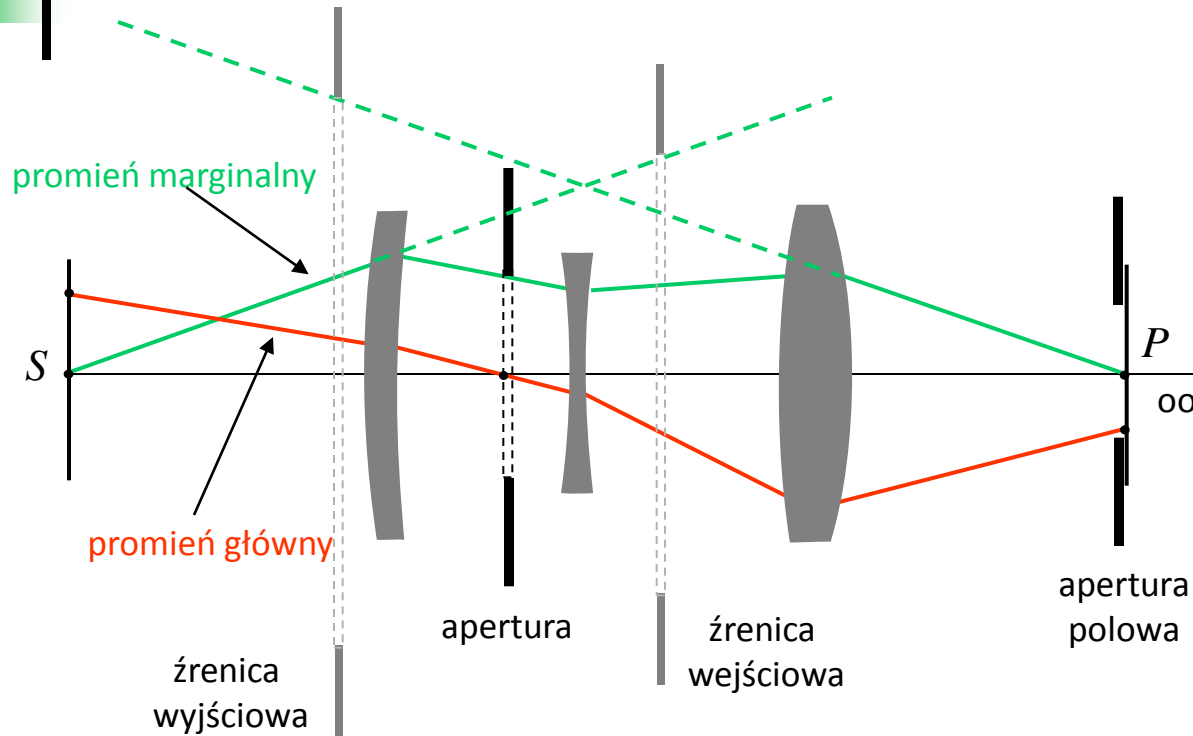
wykład:	Czesław Radzewicz
pokazy:	Radosław Chrapkiewicz, Filip Ozimek
ćwiczenia:	Ernest Grodner



Wykład 8 - przypomnienie

- opis promienia świetlnego w przybliżeniu przyosiowym
- macierz ABCD – definicja i proste przykłady
- multiplikatywność macierzy ABCD
- sens elementów macierzy ABCD
- doświadczalne wyznaczanie elementów macierzy ABCD
- położenie płaszczyzn głównych
- gruba soczewka, 2 cienkie soczewki

apertury, źrenice



Definicja

źrenica wejściowa – apertura widziana z punktu S
źrenica wyjściowa – apertura widziana z punktu P

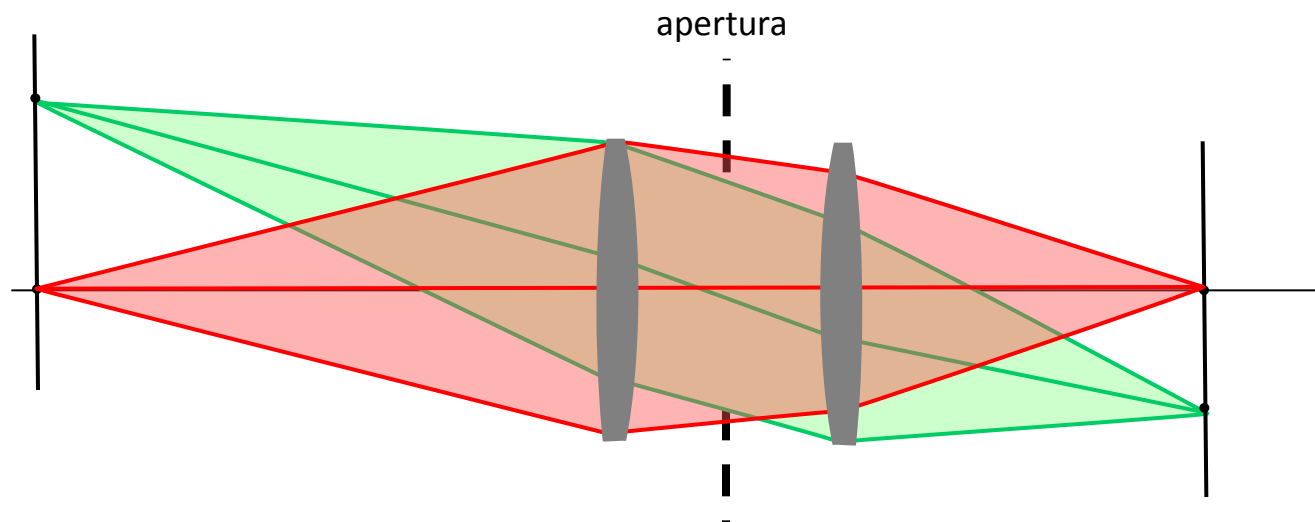
Skutek

apertura ogranicza ilość światła
apertura polowa ogranicza pole widzenia

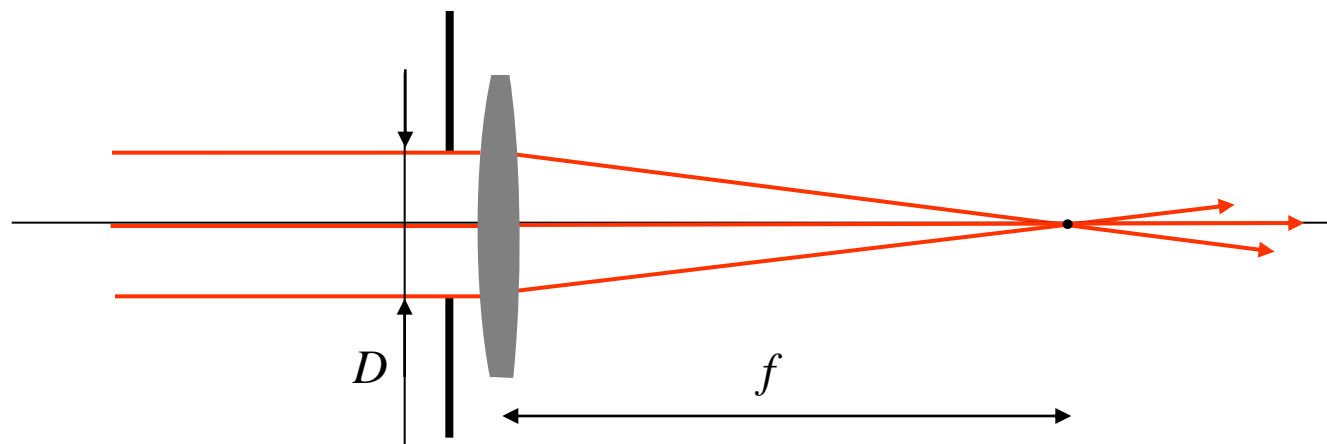
Przepis:

źrenica wejściowa – obraz apertury w soczewkach stojących na lewo od niej
źrenica wyjściowa – obraz apertury w soczewkach stojących na prawo od niej

winietowanie

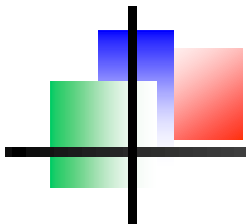


Jasność soczewki – liczba $F/\#$



$$D = f/x$$
$$x = 2.8, 4, 5.6, 11, 16$$

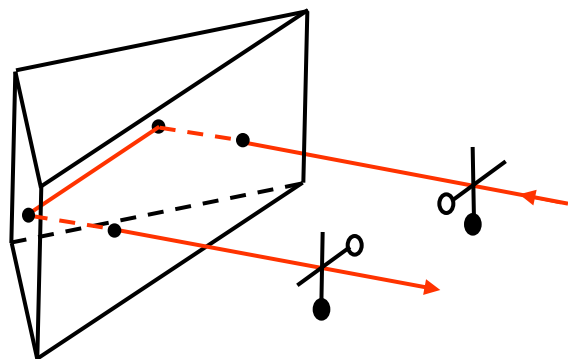
przesłona irysowa
jakość obrazowania
głębina ostrości



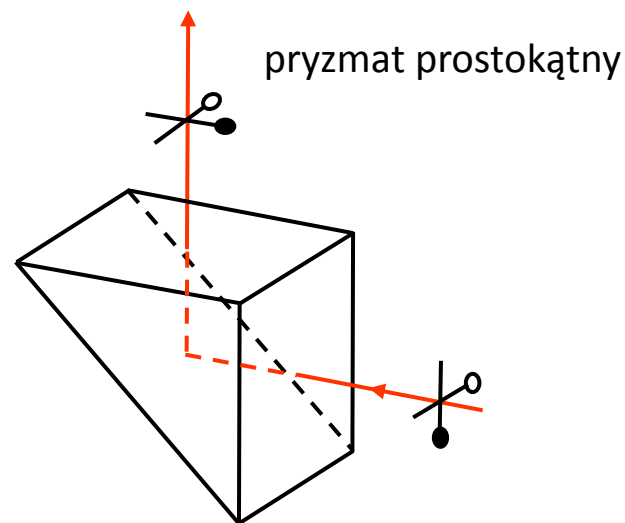
pryzmaty 1

Funkcje pryzmatów:

- dyspersja kątowna (zostawiamy na później)
- ugięcie wiązki o stały zadany kąt niezależny od długości fali
- przesunięcie wiązki
- odbicie obrazu w jednej płaszczyźnie
- odbicie obrazu w dwóch płaszczyznach (obrót o π)

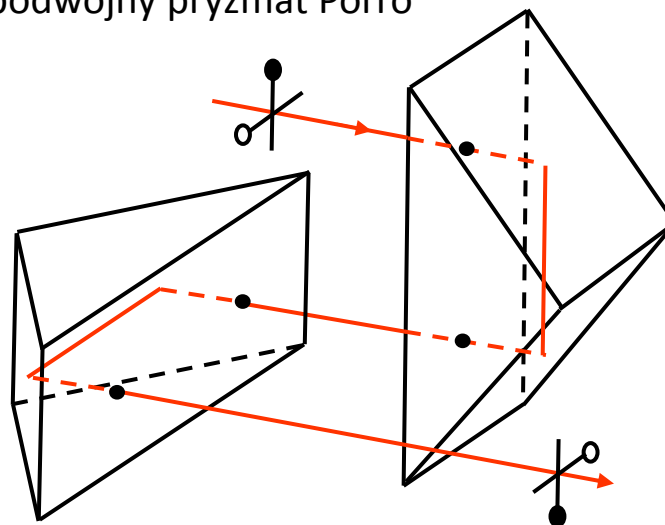


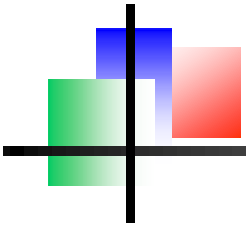
pryzmat Porro (dachowy)



pryzmat prostokątny

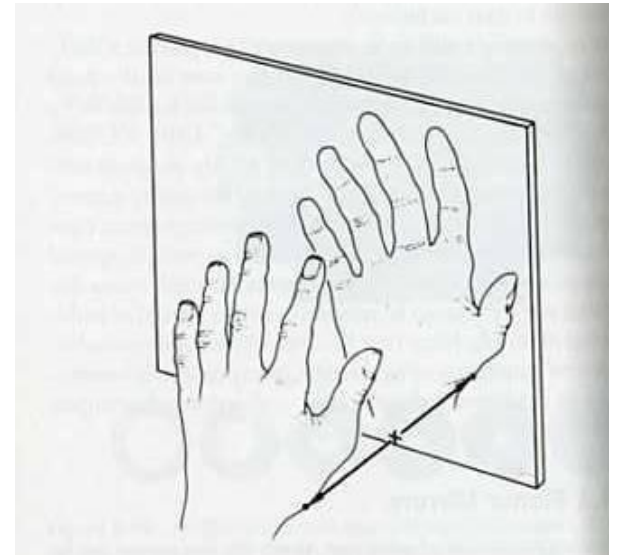
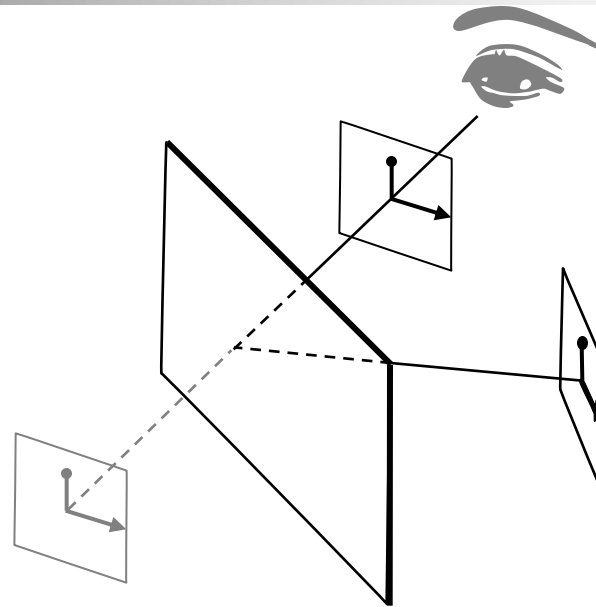
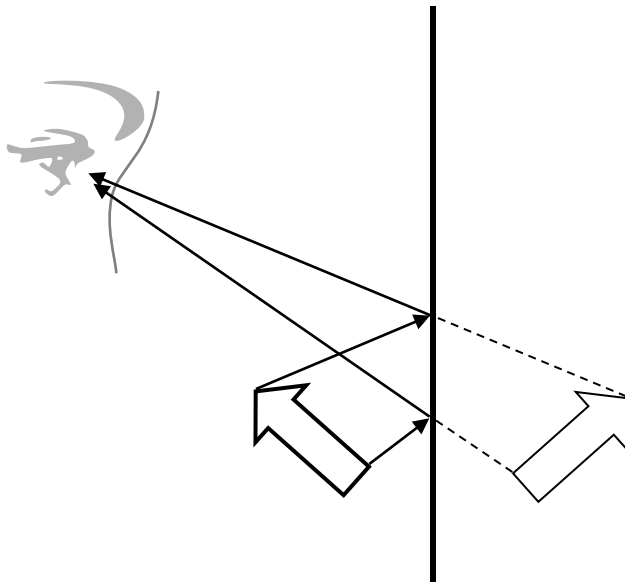
podwójny pryzmat Porro



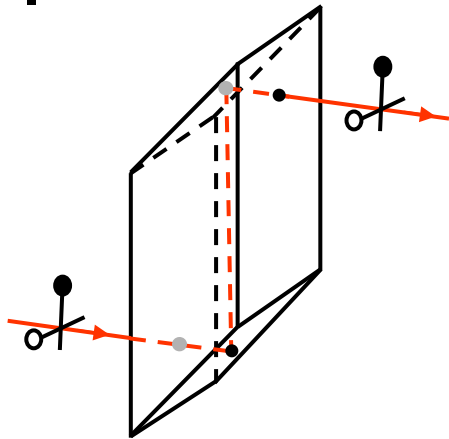


przypomnienie – wykład 7

symetrie

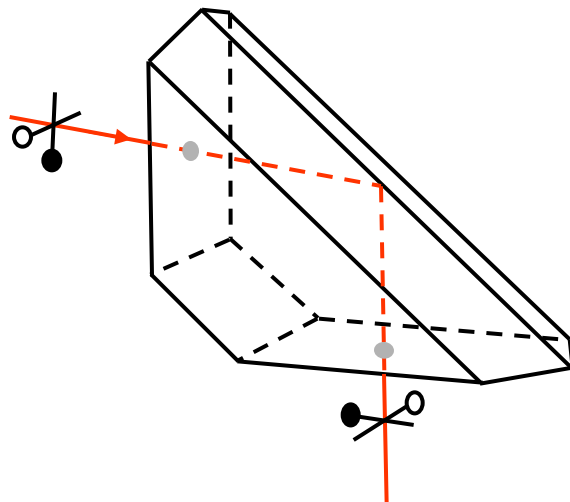
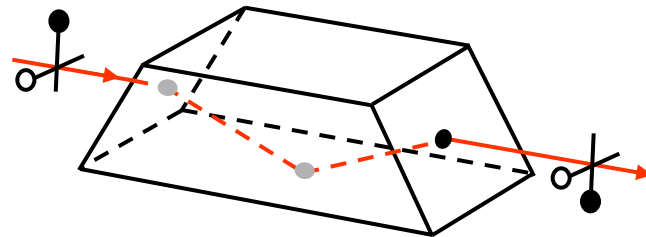


pryzmaty 2

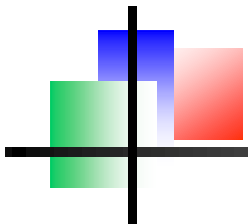


pryzmat romboidalny (peryskop)

pryzmat Dove'a

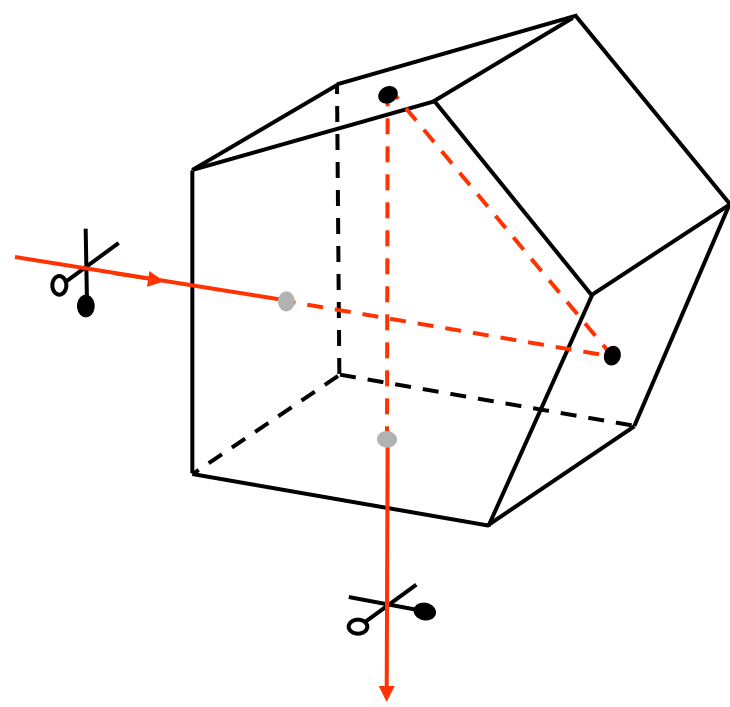
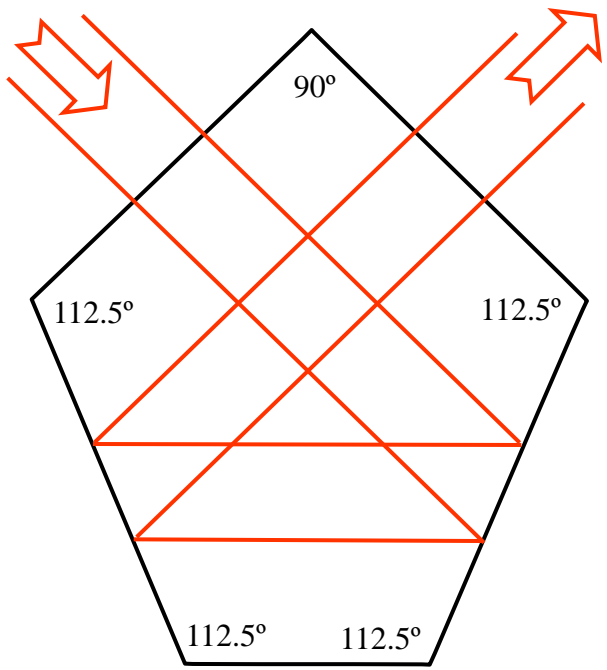


pryzmat Amici



pryzmaty 3

pentagonalny



aberracje geometryczne 1

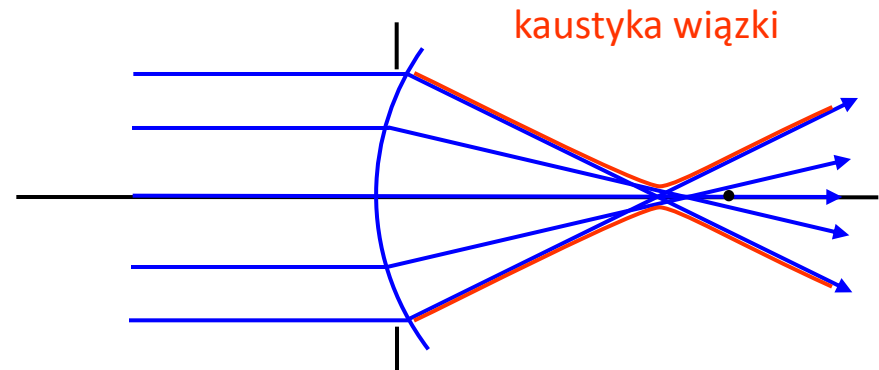
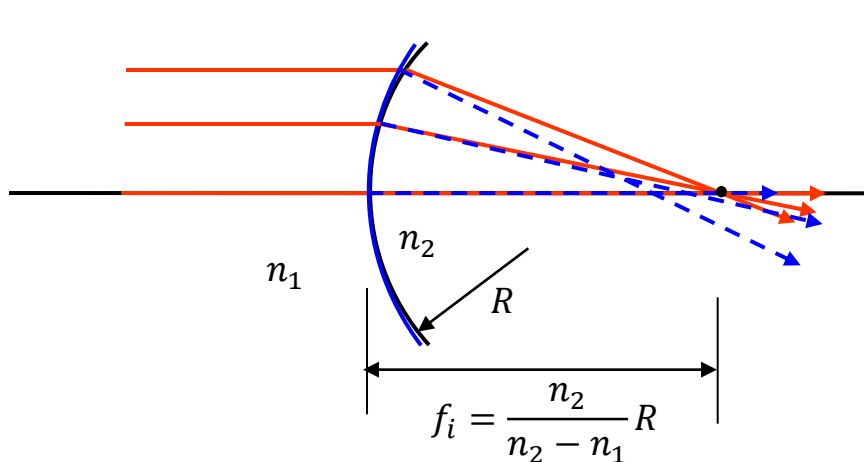
dotychczas - optyka gaussowska, czyli przybliżenie przyosiowe:

- $n_1 \Theta_1 = n_2 \Theta_2$
- sfera = paraboloida obrotowa
- promienie płaszczyznowe

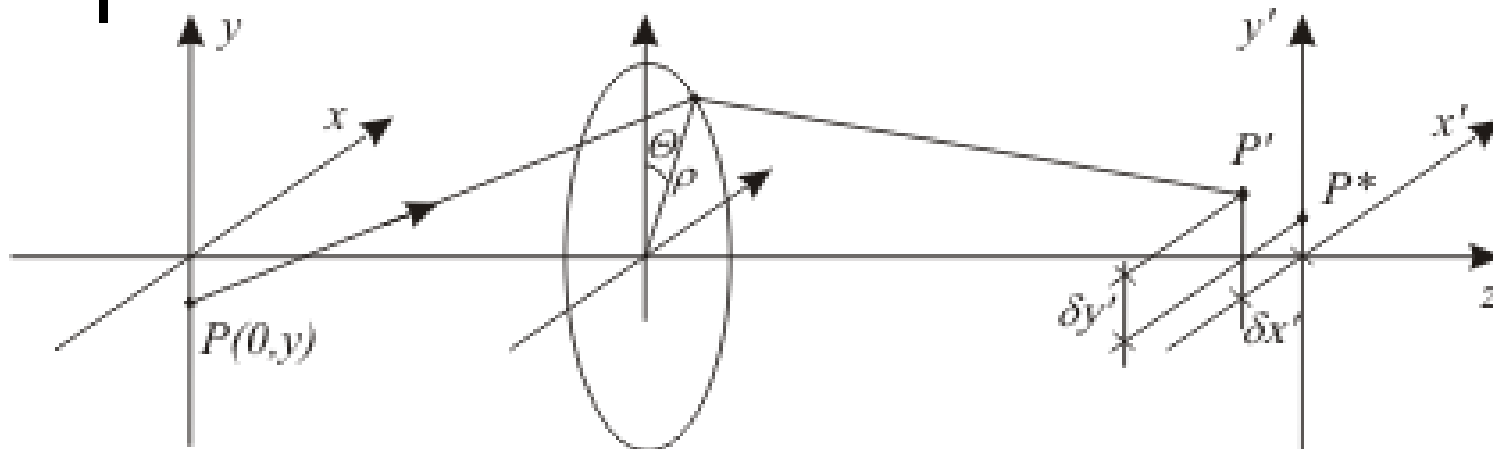
rzeczywistość:

- $n_1 \sin \Theta_1 = n_2 \sin \Theta_2$
- sfera = sfera
- promienie poza-płaszczyznowe

skutek; **aberracje geometryczne** – niedoskonałości obrazowania dla światła wąskopasmowego

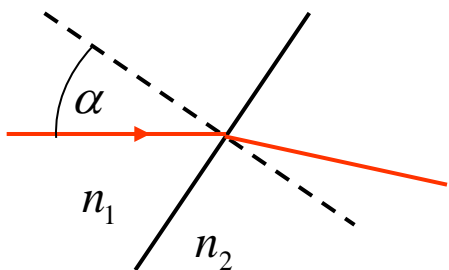


aberracje geometryczne 2



y, y – płaszczyzna przedmiotowa
 x', y' – płaszczyzna obrazowa

P^* - punkt sprzężony (gaussowsko) do punktu P
 P' punkt rzeczywistego przecięcia promienia z płaszczyzną obrazową



sumy Seidela:

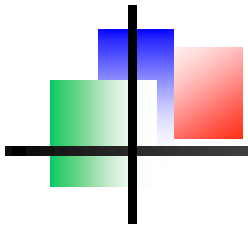
$$\delta x' \cong Aq^3 \sin \Theta + Byq^2 \sin 2\Theta + Cqy^2 \sin \Theta$$

$$\delta y' \cong Aq^3 \cos \Theta + Byq^2 (2 + \cos 2\Theta) + Dqy^2 \cos \Theta + Ey^3$$

$$\sin x \cong x - \frac{x^3}{3!}$$

przybliżenie: $\cos x \cong 1 - \frac{x^2}{2!}$

A, B, C, D, E – stałe charakterystyczne dla danego układu soczewkowego



aberracje geometryczne – klasyfikacja 1

$$\delta x' \cong A\rho^3 \sin \Theta + B y \rho^2 \sin 2\Theta + C \rho y^2 \sin \Theta$$

$$\delta y' \cong A\rho^3 \cos \Theta + B y \rho^2 (2 + \cos 2\Theta) + D \rho y^2 \cos \Theta + E y^3$$

$$A \neq 0, B = C = D = E = 0$$

– aberracja sferyczna

$$B \neq 0, A = C = D = E = 0$$

– koma

$$C \neq 0, D \neq 0, A = B = E = 0$$

– astygmatyzm + krzywizna pola

$$E \neq 0, A = B = C = D = 0$$

– dystorsja

aberracja	Zależność od rozmiaru apertury (ρ)	Zależność od rozmiaru pola (y)
sferyczna	3 potęga	-
koma	kwadratowa	liniowa
astygmatyzm	liniowa	kwadratowa
krzywizna pola	liniowa	kwadratowa
dystorsja	-	3 potęga

aberracje geometryczne – klasyfikacja 2

$A \neq 0, B = C = D = E = 0$

$B \neq 0, A = C = D = E = 0$

$C \neq 0, D \neq 0, A = B = E = 0$

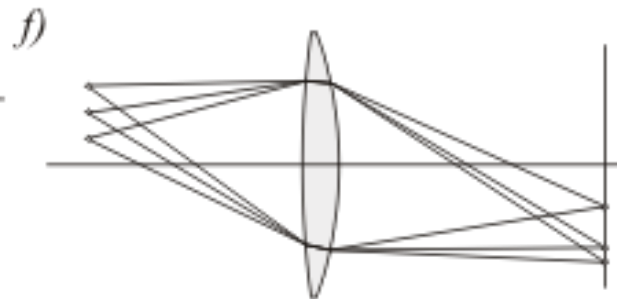
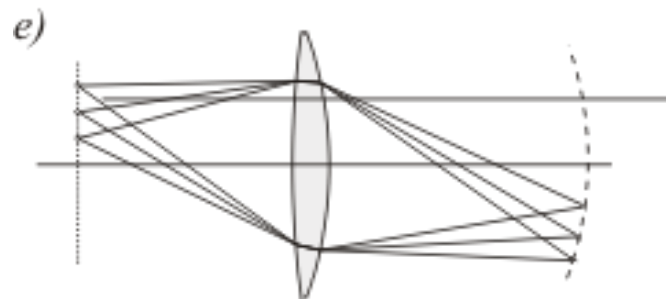
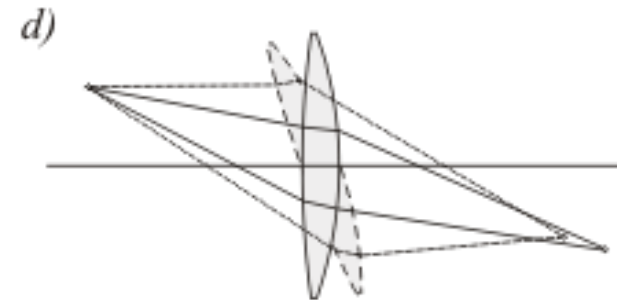
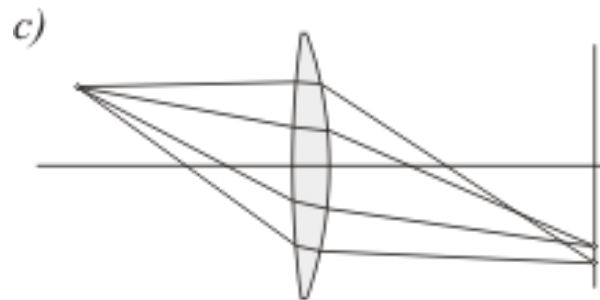
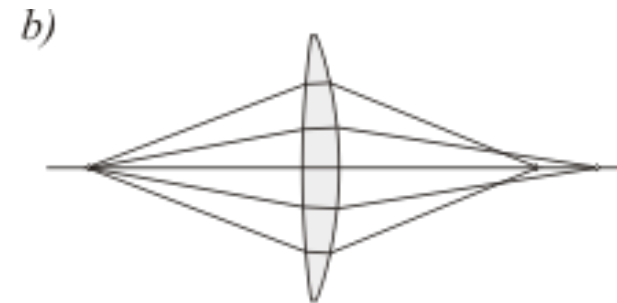
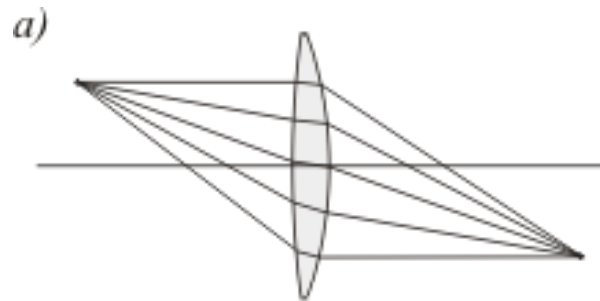
$E \neq 0, A = B = C = D = 0$

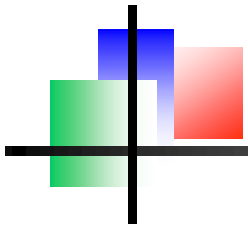
– aberracja sferyczna

– koma

– astygmatyzm + krzywizna pola

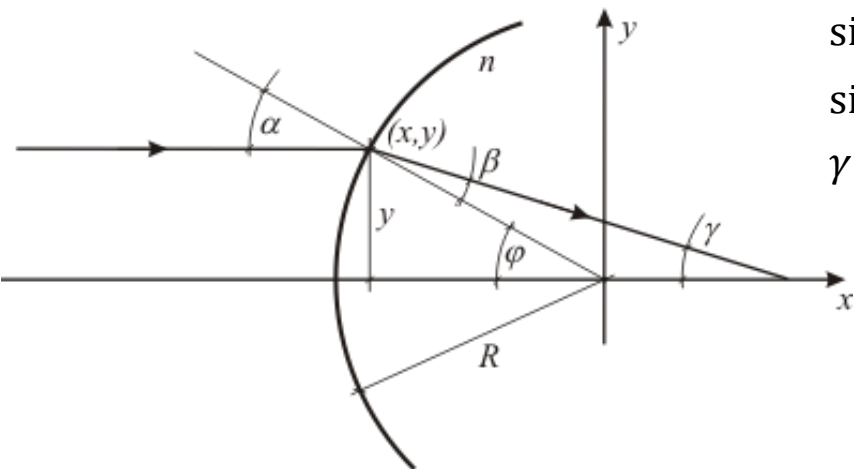
– dystorsja





aberracja sferyczna

$$\sqrt{(\delta x')^2 + (\delta y')^2} \cong A\varrho^3$$



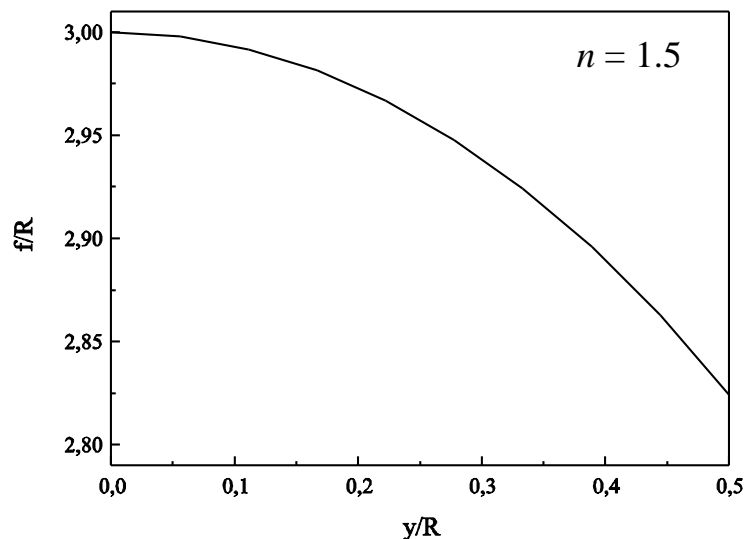
$$x = -\sqrt{R^2 - y^2}$$

$$\sin \alpha = \sin \varphi = \frac{y}{R}$$

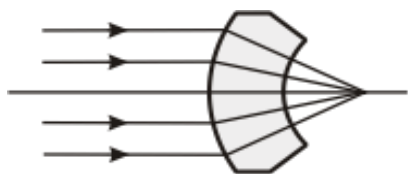
$$\sin \beta = \frac{y}{nR}$$

$$\gamma = \varphi - \beta$$

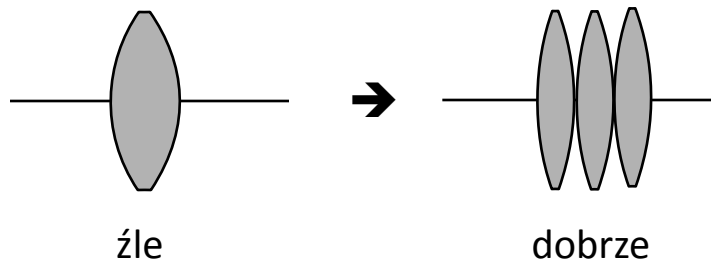
$$f(y) = R \left(1 - \sqrt{1 - y^2/R^2} \right) + \frac{y}{\tan \gamma}$$



1. powierzchnie asferyczne

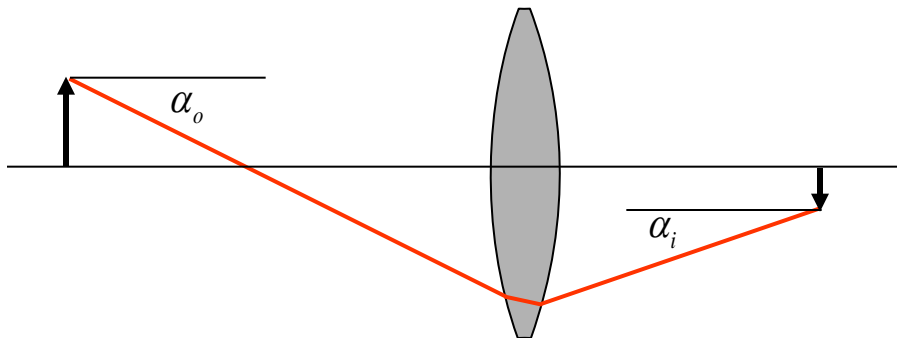
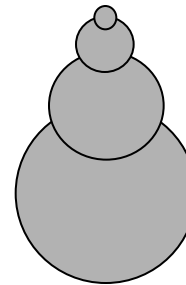
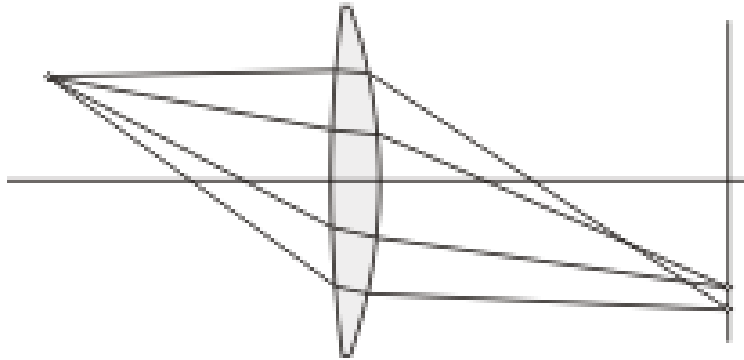


2. podział mocy optycznej



koma

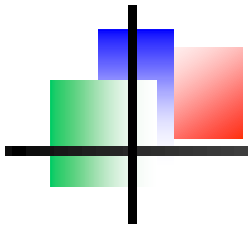
$$\delta x' \cong By\varrho^2 \sin 2\Theta$$
$$\delta y' \cong By\varrho^2 (2 + \cos 2\Theta)$$



warunek kompensacji komy:

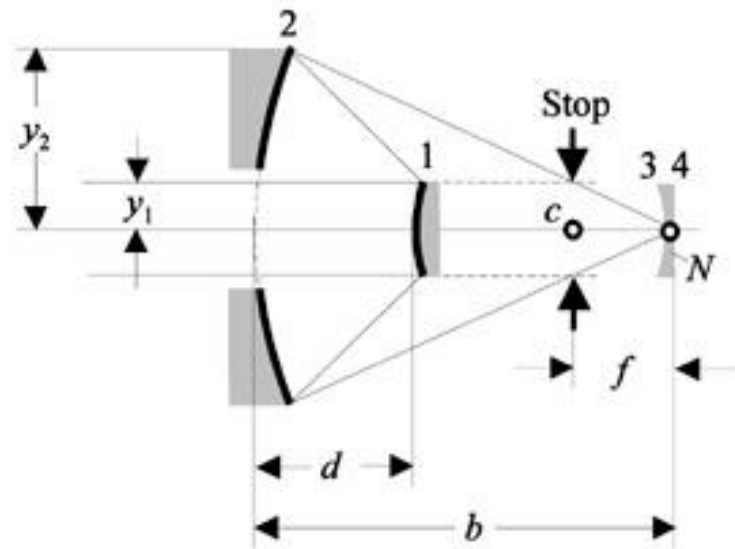
$$\frac{\sin \alpha_o}{\sin \alpha_i} = \frac{\alpha_o}{\alpha_i} = \text{const}$$

układy aplanatyczne -
bez aberracji sferycznej i komy 3-go rzędu



przykład aplanatu - obiektyw Schwarzschilda

teleskop



$$d = 2f$$

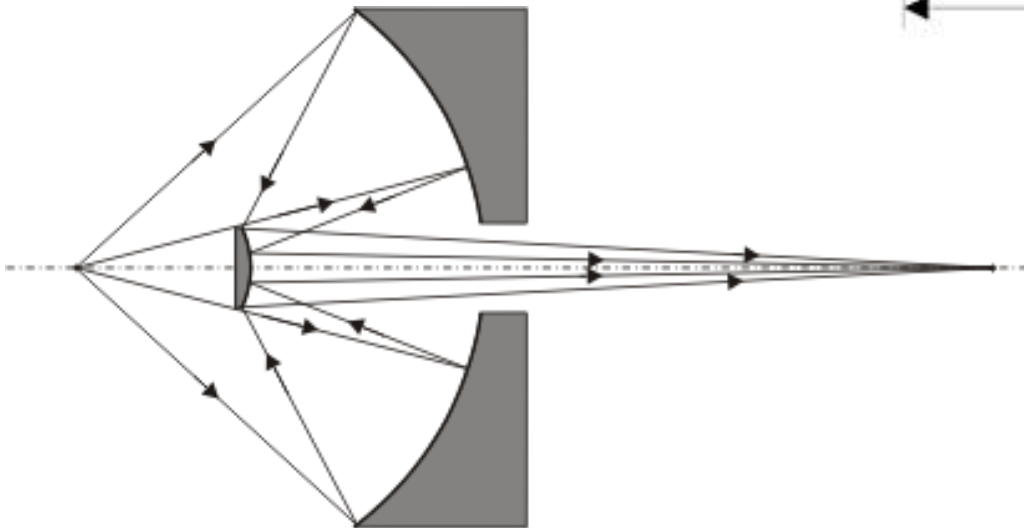
$$b = (\sqrt{5} + 2)f$$

$$R_1 = (\sqrt{5} - 1)f$$

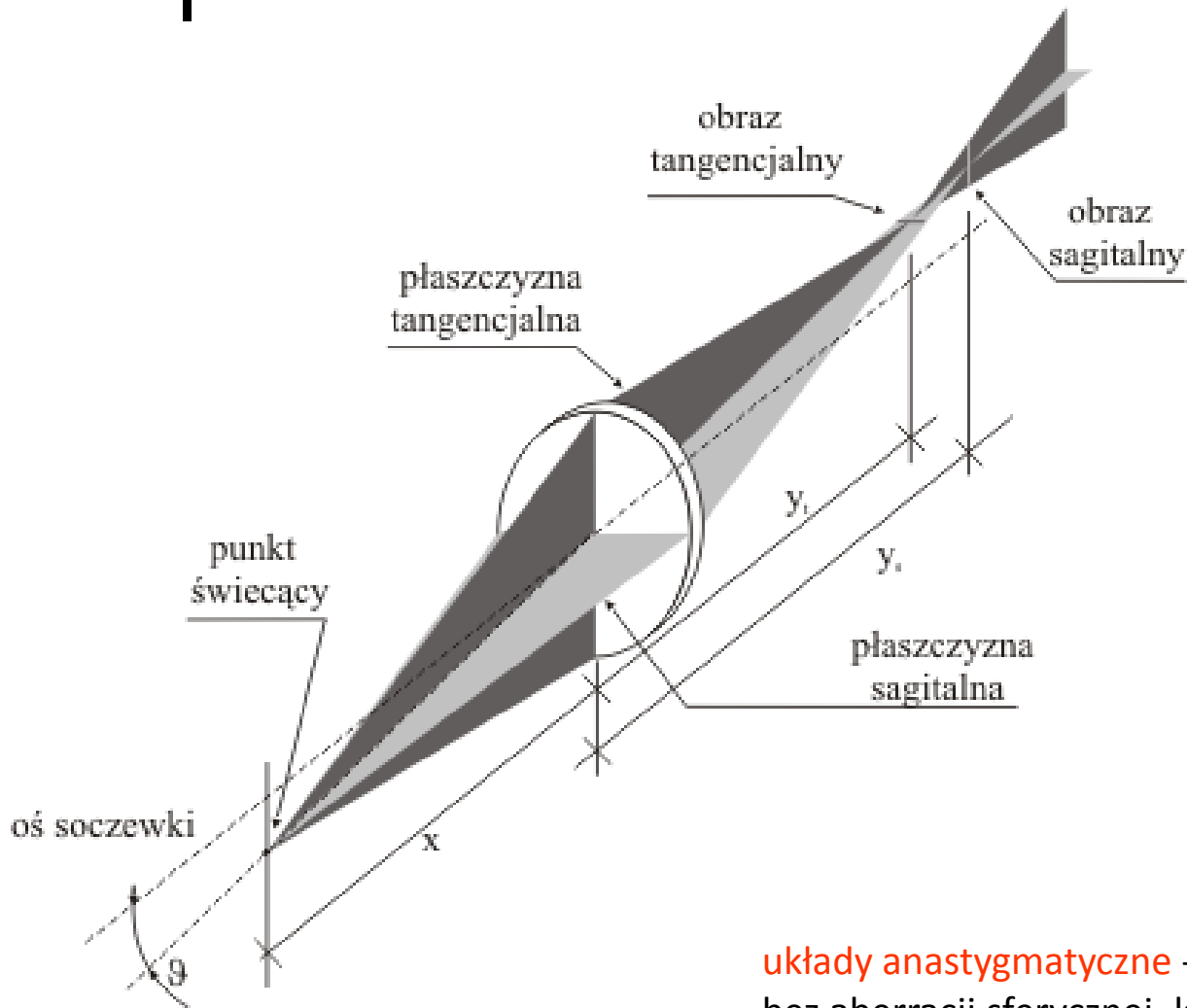
$$R_2 = (\sqrt{5} + 1)f$$

$$y_2 = (\sqrt{5} + 2)y_1$$

obiektyw



astygmatyzm



$$f_t = f \cos \theta$$

$$f_s = f / \cos \theta$$

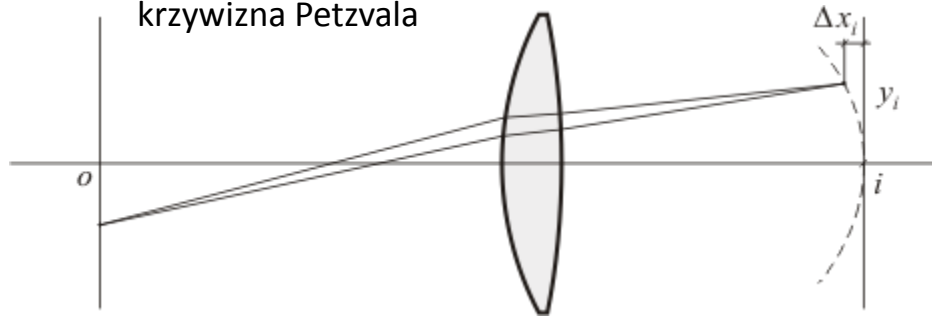
układy anastygmatyczne -

bez aberracji sferycznej, komy oraz astygmatyzmu 3-go rzędu

⇔ obrazowanie punktu w punkt również poza osią układu

krzywizna pola, dystorsja

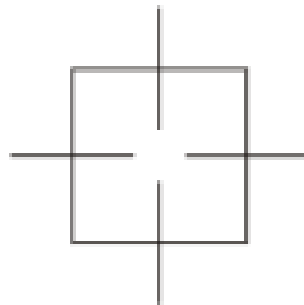
krzywizna pola -
krzywizna Petzvala



Joseph Petzval
Joseph Petzval
1807-1891

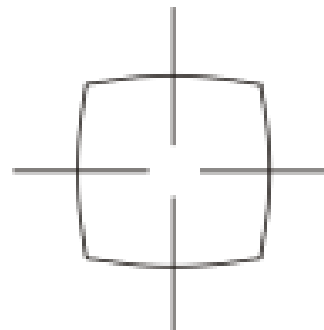
dystorsja

a)



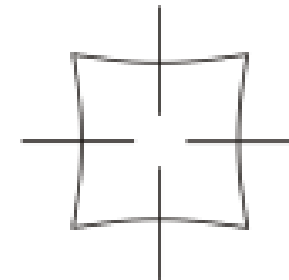
ideał

b)

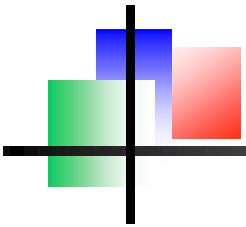


„beczka”

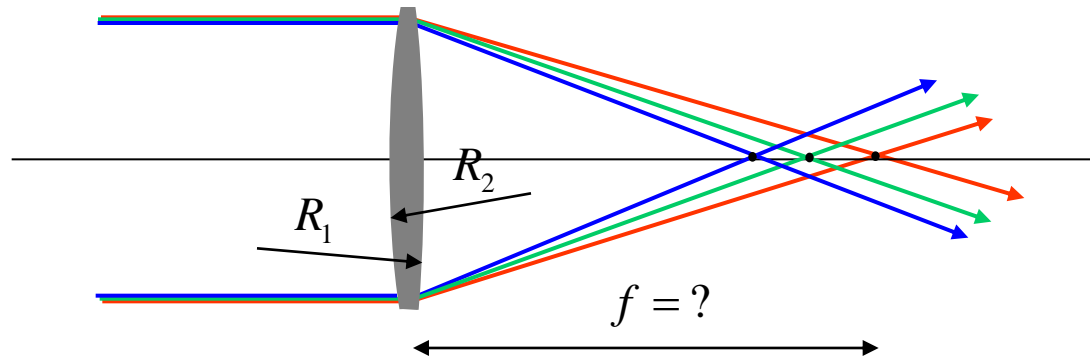
c)



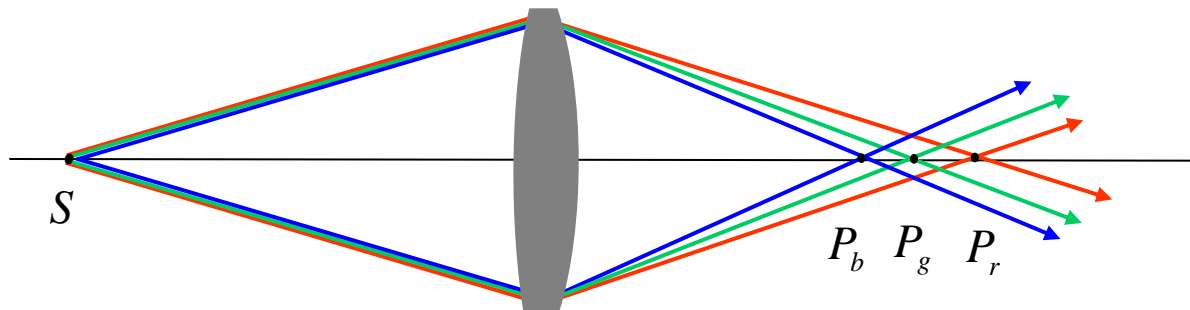
„jasiek”



aberracje chromatyczne

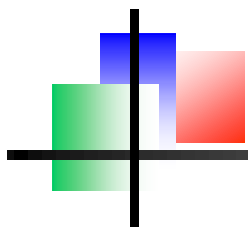


$$f(\lambda) = \frac{1}{[n(\lambda) - 1] \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}$$

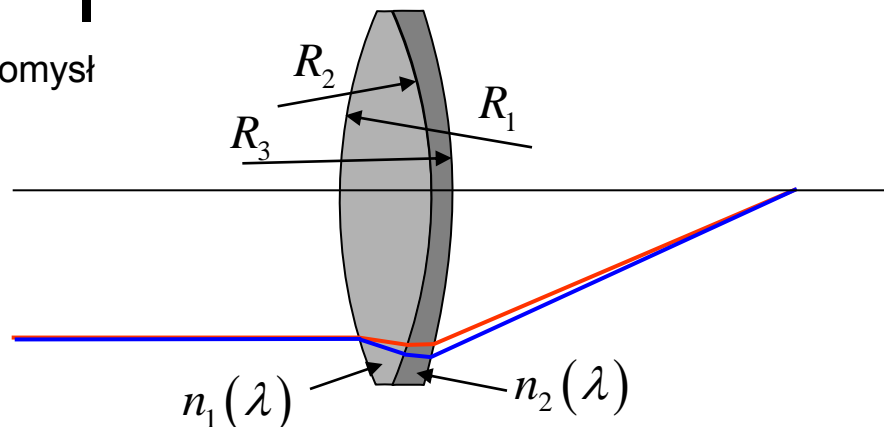


$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f(\lambda)} \Rightarrow s_i = s_i(\lambda)$$

dublet achromatyczny 1



pomysł



2 cienkie soczewki

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

Wiemy, że:

$$\frac{1}{f_1} = (n_1 - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = (n_1 - 1) \varrho_1$$

$$\frac{1}{f_2} = (n_2 - 1) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) = (n_2 - 1) \varrho_2$$

wyberamy 3 długości fali

$$\lambda_F = 486.1 \text{ nm}$$

$$\lambda_d = 587.5 \text{ nm}$$

$$\lambda_C = 656.2 \text{ nm}$$

żądamy:

$$\frac{1}{f_F} = \frac{1}{f_C}$$

$$(n_{1F} - 1) \varrho_1 + (n_{2F} - 1) \varrho_2 + d(n_{1F} - 1)(n_{2F} - 1) \varrho_1 \varrho_2 = (n_{1C} - 1) \varrho_1 + (n_{2C} - 1) \varrho_2 + d(n_{1C} - 1)(n_{2C} - 1) \varrho_1 \varrho_2$$

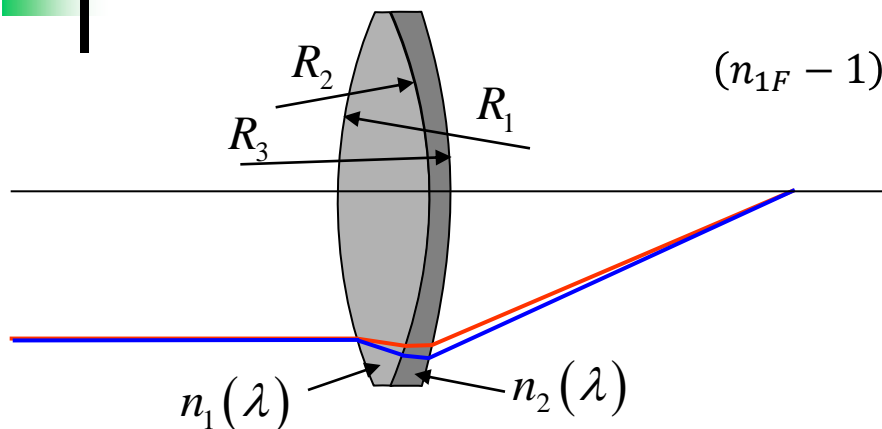
i oznaczamy

$$n_1(\lambda_F) = n_{1F}, n_1(\lambda_d) = n_{1d}, n_1(\lambda_C) = n_{1C}$$

$$n_2(\lambda_F) = n_{2F}, n_2(\lambda_d) = n_{2d}, n_2(\lambda_C) = n_{2C}$$

$$\text{sklejone soczewki } (d = 0): (n_{1F} - 1) \varrho_1 + (n_{2F} - 1) \varrho_2 = (n_{1C} - 1) \varrho_1 + (n_{2C} - 1) \varrho_2$$

dublet achromatyczny 2



$$(n_{1F} - 1)\varrho_1 + (n_{2F} - 1)\varrho_2 = (n_{1C} - 1)\varrho_1 + (n_{2C} - 1)\varrho_2$$

Mamy:

$$\frac{\varrho_1}{\varrho_2} = \frac{n_{2F} - n_{2C}}{n_{1F} - n_{1C}} \quad (1)$$

jednocześnie, dla λ_d :

$$\frac{\varrho_1}{\varrho_2} = \frac{n_{2d} - 1}{n_{1d} - 1} \frac{f_{2d}}{f_{1d}} \quad (2)$$

z równań (1) i (2) dostajemy:

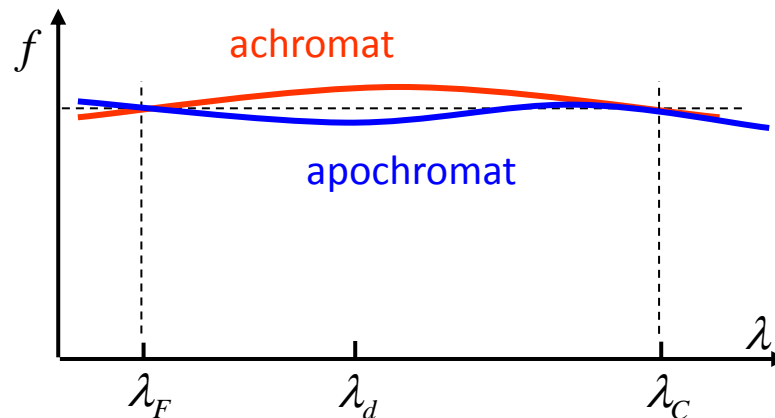
$$\frac{f_{2d}}{f_{1d}} = \frac{\frac{n_{2F} - n_{2C}}{n_{2d} - 1}}{\frac{n_{1F} - n_{1C}}{n_{1d} - 1}}$$

3 stopnie swobody, 2 równania

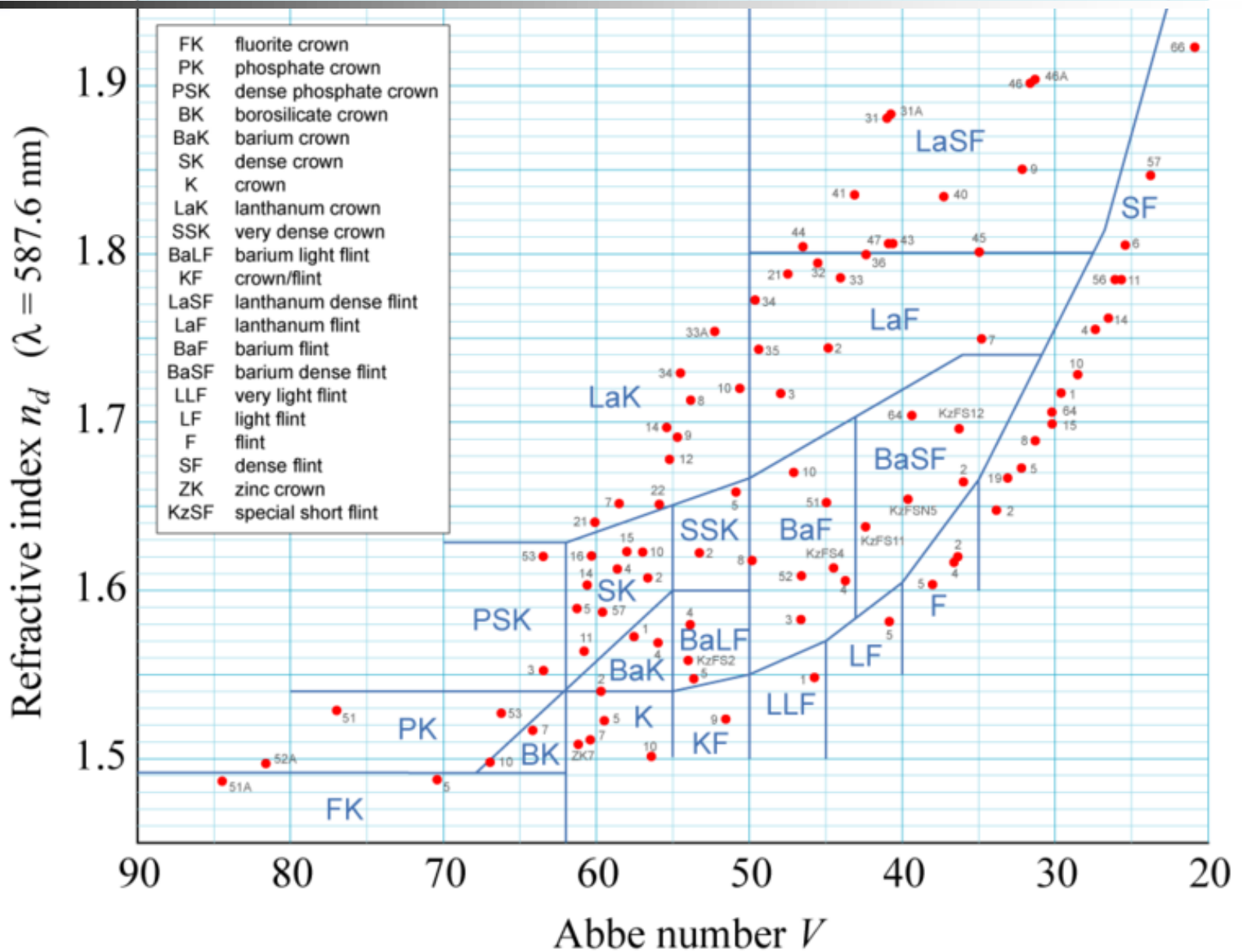
Wprowadzamy **liczbę Abbego**: $V = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$

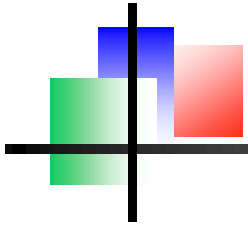
co skutkuje r-niem achromatu:

$$f_{1d}V_1 + f_{2d}V_2 = 0$$



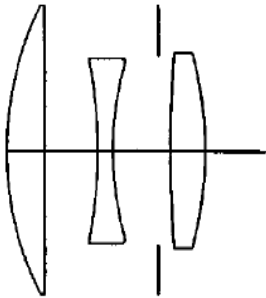
liczba Abbego dla szkielek optycznych



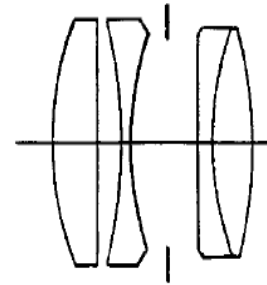


bardziej złożone achromaty

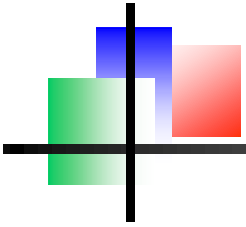
przełom XIX/XX wieku, H. Dennis Taylor - **triplet**



Triplet:
8 stopni swobody + 3 rodzaje szkła
aplanatyczność + achromatyzm



początek XX wieku, Paul Rudolph (Zeiss) - **TESSAR**



aberracje – uwagi końcowe

1. Nie ma układów idealnych
2. Nie ma układów uniwersalnych
3. Potrzebny kompromis: **złożoność + cena** kontra **parametry**
4. Optymalizacja dotyczy całego układu
5. Optymalizacja dotyczy wszystkich parametrów układu równocześnie
6. Modelowanie numeryczne
7. Warto korzystać z dobrych wzorców