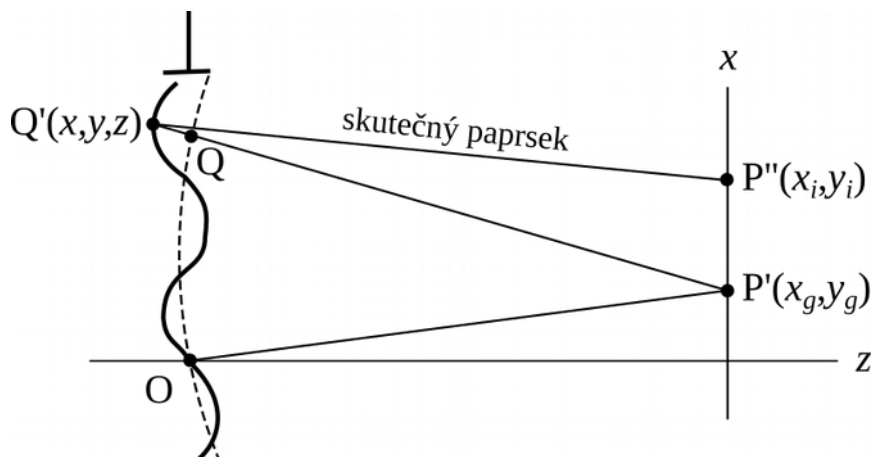


OPT/AO

L02

Optické aberace



vlnoplocha

plocha konstantní optické dráhy pro paprsky vycházející z bodového předmětu

ideální zobrazení

vlnoplocha ve výstupní pupile je sférická se středem křivosti v gaussovském obrazu P' bodového předmětu P

vlnová aberace $W(x, y)$

optická dráha mezi skutečnou a ideální vlnoplochou v pupile měřená podél spojnice bodu Q' vlnoplochy a gaussovského obrazu P'

geometrická aberace $(\delta x, \delta y)$

odchylka průsečíku skutečného paprsku s gaussovskou obrazovou rovinou P'' od polohy gaussovského obrazu P'

optické dráhy

$$W = \overline{Q'Q} = \overline{PQ} - \overline{PO} = \overline{PQP'} - \overline{POP'}$$

$\overline{POP'}$ – optická dráha hlavního paprsku

$R = \overline{OP'}$ – poloměr referenční sféry

souvislost vlnových a geometrických aberací

rovnice vlnoplochy $S(x, y, z) = 0$

$$(x - x_g)^2 + (y - y_g)^2 + (z - z_g)^2 = [R + W(x, y)]^2$$

paprsky jsou normály k vlnoploše, t.j. vektory

$$\text{grad } S = \left(\frac{\partial S}{\partial x}, \frac{\partial S}{\partial y}, \frac{\partial S}{\partial z} \right) \text{ a } (x_i - x, y_i - y, z_g - z) \text{ jsou kolineární}$$

dostaneme

$$x - x_g - R \frac{\partial W}{\partial x} \propto x_i - x$$

$$y - y_g - R \frac{\partial W}{\partial y} \propto y_i - y$$

$$z - z_g \propto z_g - z$$

geometrické transversální aberace

$$\delta x = x_i - x_g = R \frac{\partial W}{\partial x}$$

$$\delta y = y_i - y_g = R \frac{\partial W}{\partial y}$$

geometrické aberace jsou dány derivacemi *vlnové aberace* podle pupilových souřadnic

Seidelovy aberace

uvažujeme aberace paprsku z výstupní pupily do obrazové roviny

pupilové souřadnice (x, y)

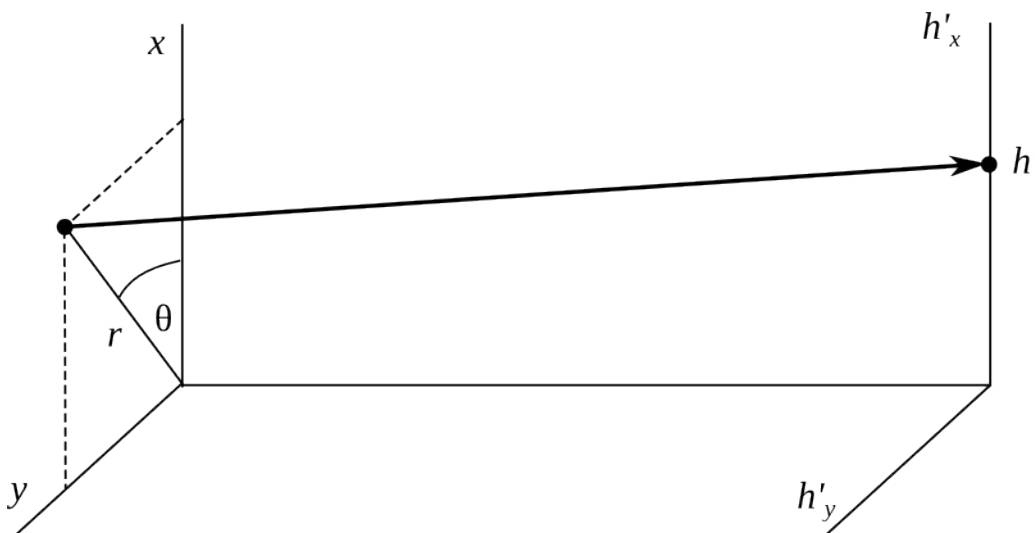
obrazové souřadnice (h'_x, h'_y)

aberace obecně $W(x, y, h'_x, h'_y)$

rotačně invariantní systém – tři invarianty

$$x^2 + y^2, h'^2_x + h'^2_y, h'_x x + h'_y y$$

otočím systém aby $h'_x = h', h'_y = 0$



rozvoj aberace v řadu

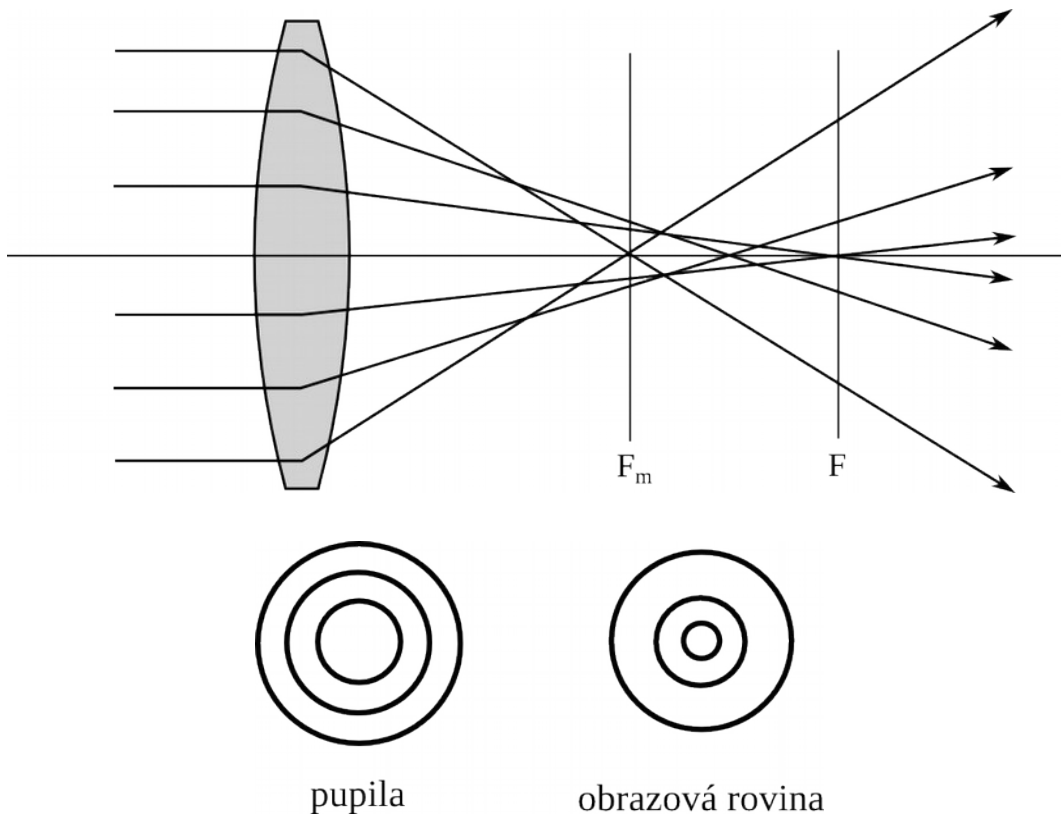
$$\begin{aligned} W &\approx a_s (x^2 + y^2)^2 + a_c h' x (x^2 + y^2) + a_a h'^2 x^2 + a_r h'^2 (x^2 + y^2) + a_d h'^3 x \\ &= a_s r^4 + a_c h' r^3 \cos \theta + a_a h'^2 r^2 \cos^2 \theta + a_r h'^2 r^2 + a_d h'^3 r \cos \theta \end{aligned}$$

osové aberace: $h' = 0$

sférická aberace (zde i dále $R = 1$ pro jednoduchost)

$$W_s = a_s (x^2 + y^2)^2 = a_s r^4$$

$$\delta x^2 + \delta y^2 = 16 a_s^2 r^6$$



- každá kruhová zóna pupily vytváří v obrazové rovině kružnici
- paprsky z různých zón pupily se sbíhají v různé vzdálenosti od pupily – mají různou podélnou vadu
- rozptylová ploška je sféricky symetrická
- vada se projevuje ve středu zorného pole – nutno odstranit

mimoosové aberace $h' \neq 0$

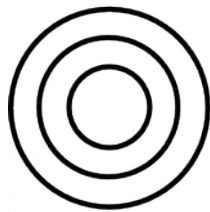
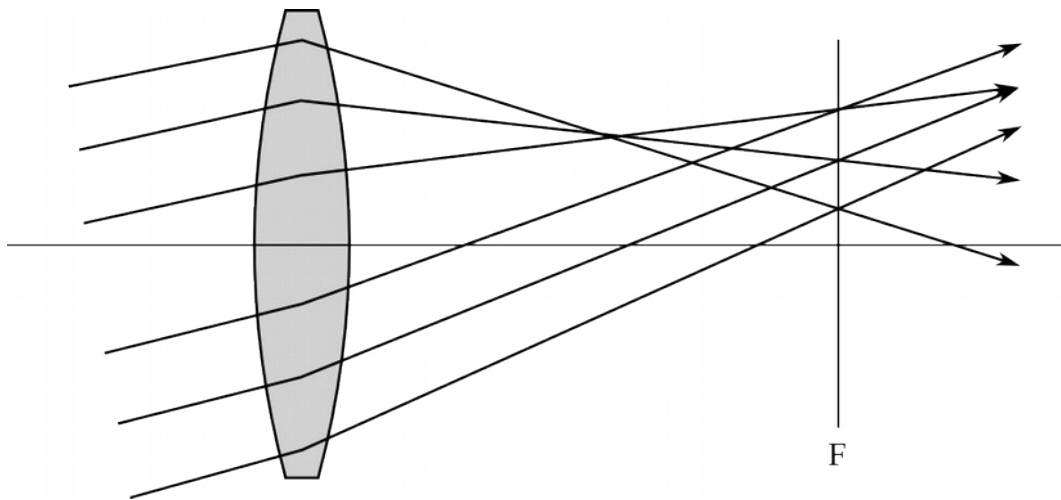
koma

$$W_c = a_c h' x(x^2 + y^2) = a_c h' r^3 \cos \theta$$

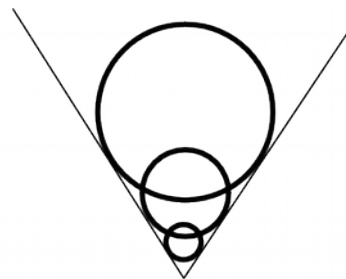
$$\delta x = \alpha r^2 (2 + \cos 2\theta), \quad \alpha = a_c h'$$

$$\delta y = \alpha r^2 \sin 2\theta$$

$$(\delta x - 2\alpha r^2)^2 + \delta y^2 = \alpha^2 r^4$$



pupila



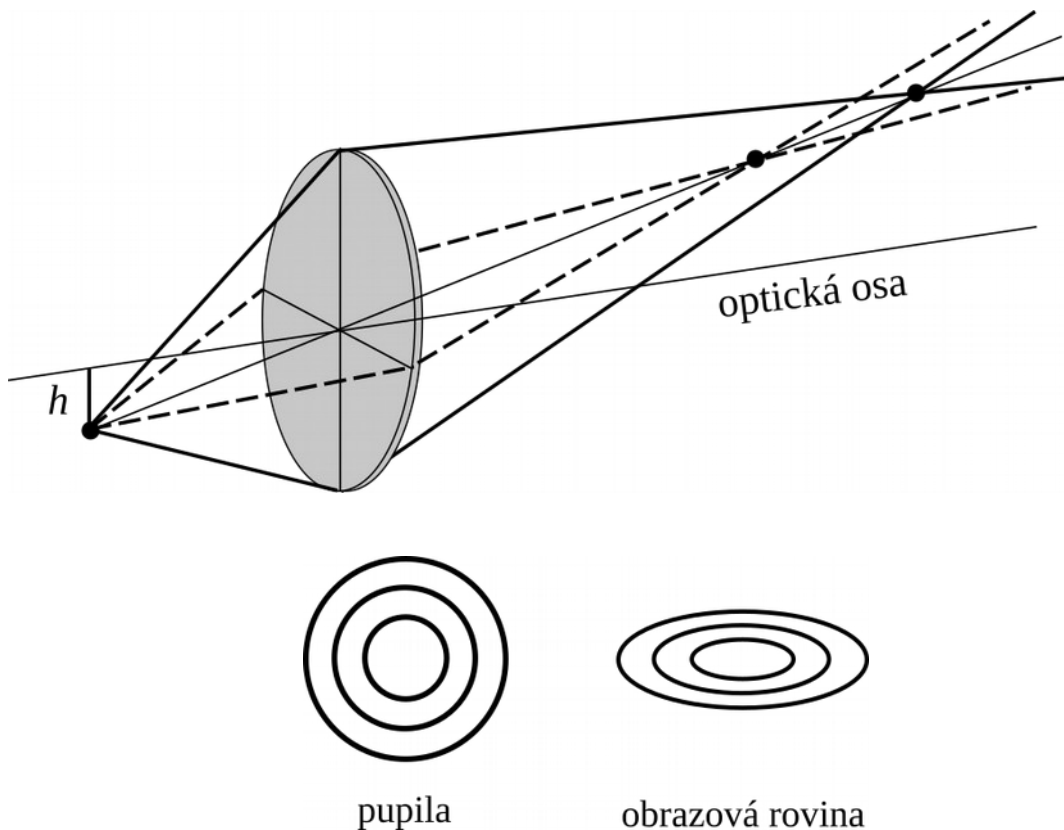
obrazová rovina

- zóny pupily vytváří vzájemně posunuté kružnice
- koma se zhoršuje lineárně směrem k okraji zorného pole
- teleskop – malé zorné pole

astigmatismus a zklenutí pole

$$W_a \approx a_a h'^2 x^2 + a_r h'^2 (x^2 + y^2) = a_a h'^2 r^2 \cos^2 \theta + a_r h'^2 r^2$$

$$\frac{\delta x^2}{\alpha^2} + \frac{\delta y^2}{\beta^2} = r^2, \quad \alpha = 2(a_a + a_r)h'^2, \quad \beta = 2a_r h'^2$$



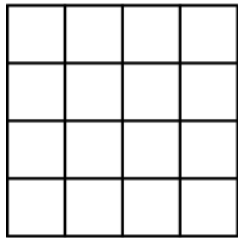
- sagitální a tangenciální rovina
- mimoosový bod je zobrazen jako elipsa
- astigmatismus roste kvadraticky směrem k okraji pole
- okulár – velké zorné pole

zklenutí pole

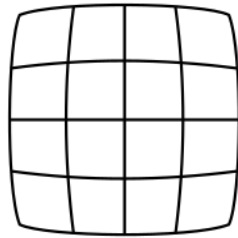
- obraz vzniká na zakřivené ploše
- při vizuálním pozorování oko akomoduje

distorze (zkreslení)

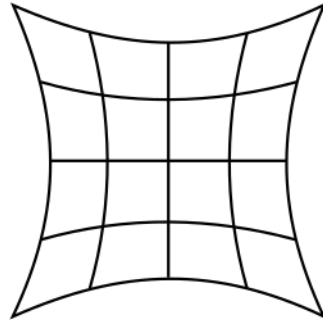
$$W_d = a_d h'^3 x = a_d h'^3 r \cos \theta$$



předmět



soudkové
zkreslení

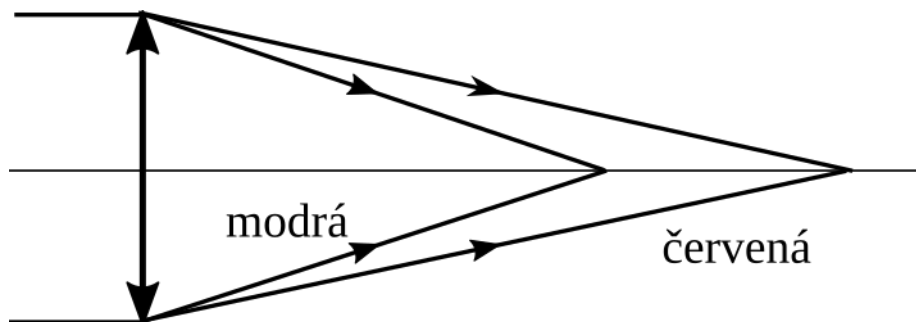


poduškové
zkreslení

- náklon závislý na obrazových souřadnicích
- obraz je ostrý ale zkreslený
- silně se projevuje u některých fotografických objektivů
- astrometrie

barevná vada

disperze – závislost f na λ



longitudinální/transverzální barevná vada

balancování aberací

kvadratická chyba vlnoplochy – variance (někdy též RMS)

$$E = \overline{(W - \bar{W})^2} = \overline{W^2} - \bar{W}^2$$

$$\bar{W} = \frac{1}{\pi A^2} \int_0^{2\pi} \int_0^A W(r, \theta) r dr d\theta$$

snažíme se minimalizovat E

základní aberace nejsou nezávislé – např. sférická aberace a defokus

Zernikeovy polynomy

- ortogonální polynomy na jednotkovém kruhu
- poskytují rozklad vlnoplochy do nezávislých aberací

$$E = \sum_{nm} \frac{a_{nm}^2}{2n+2}$$

příklad: balancovaná sférická aberace

$$R_4^0 = 1/2 - 3r^2 + 3r^4$$

