

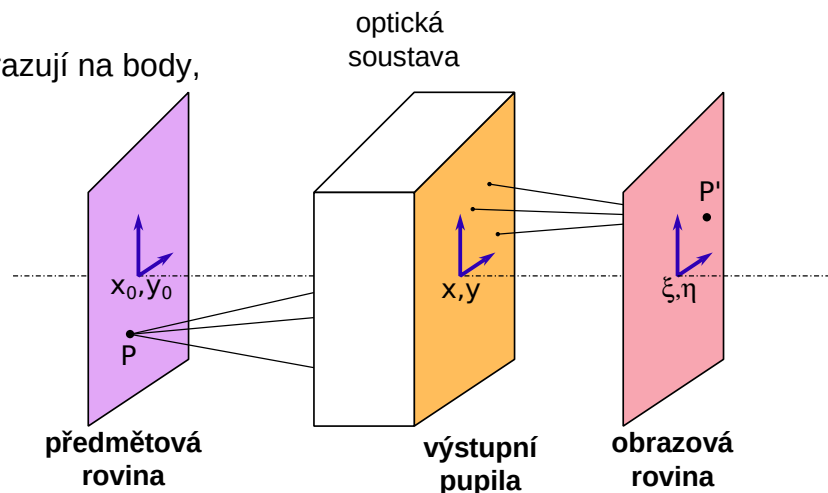
Seidelovy aberace

- osově symetrické soustavy
- chybová vlnoplocha
- primární aberace: otvorová vada, koma, astigmatismus, křivost, zklenutí

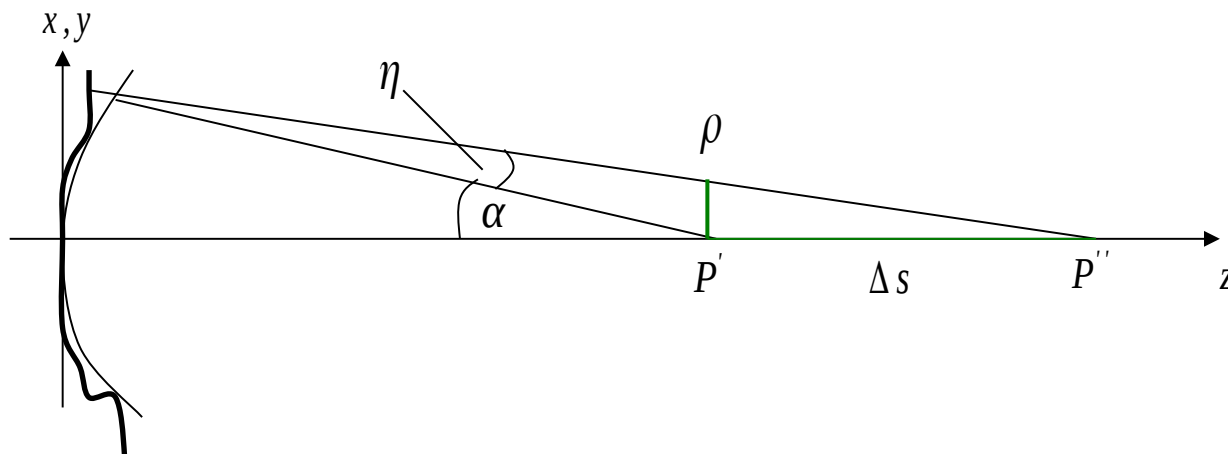
Gaussova optika

- v přiblížení gaussové optiky (paraxiální paprsky) se body zobrazují na body, dokonce lokálně monotónně

dá se ukázat, že v tomto přiblížení se body roviny kolmé na optickou osu zobrazí opět do roviny kolmé na osu, vzniká pojem **předmětové** a **obrazové roviny**.

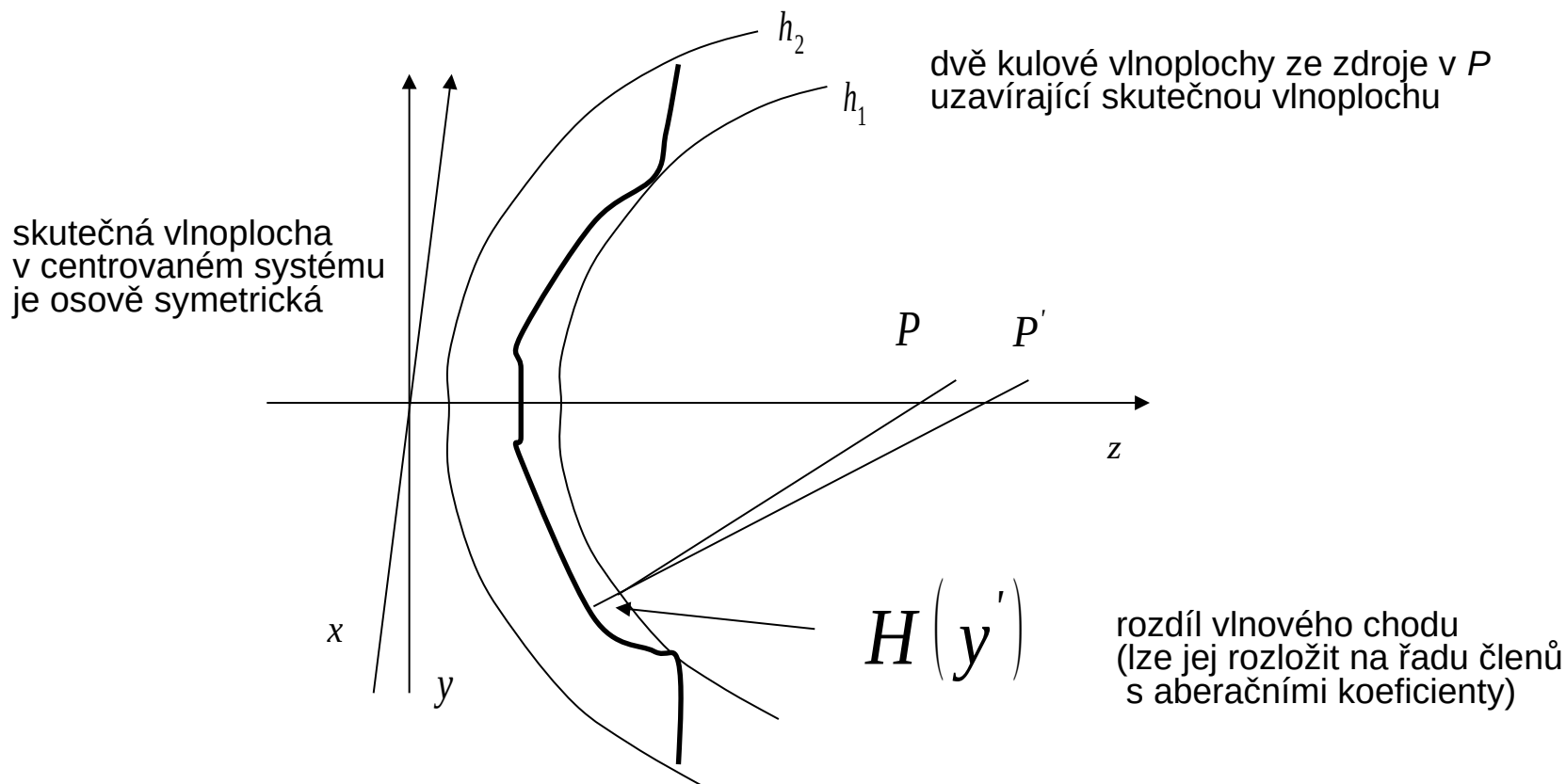


- ve skutečnosti se ne všechny paprsky z bodového zdroje sejdou v jediném bodě obrazu: v rámci obrazové roviny je jejich odchylku od ideálního chodu možno popsat pomocí **paprskových aberací**: příčné (ρ), podélné (Δs), nebo úhlové (η)



(nebudeme uvažovat aberace chromatické)

vlnová aberace



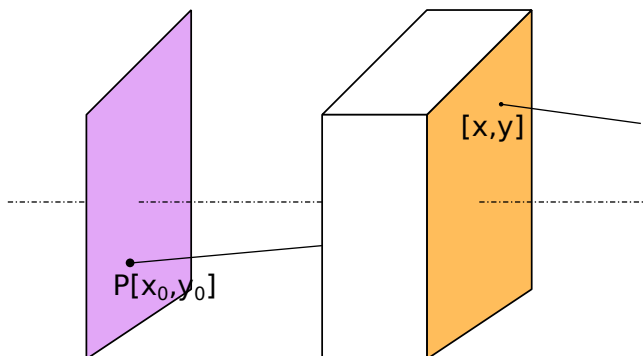
aberační koeficienty se musí počítat v každé poloze zkušební roviny zvlášť:

jejím vhodným přesouváním lze některé z koeficientů anulovat (snažíme se vždy o největší z nich)

například, nalezením vhodné polohy zaostření optiky minimalizujeme rozdíl $h_2 - h_1$

v přítomnosti aberací je poloha maximální intenzity označována jako „least confusion“

aberrace osově symetrického systému



uvažujme konkrétní paprsek:

$$\vec{x}_0 = (x_0, y_0) \quad \vec{x} = (x, y)$$

rozdíl vlnového chodu: $H(x_0, y_0, x, y)$

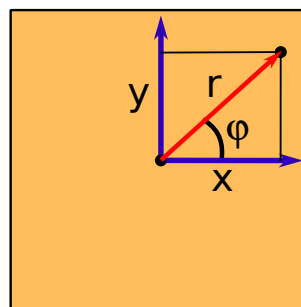


ze symetrie, otočení systému podél osy nesmí mít vliv:

- bez újmy na obecnosti můžeme položit $y_0 = 0$
- přechod k polárním souřadnicím
(r představuje aperturu)

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$



$$r^2 = x^2 + y^2$$

- mohou tedy zůstat jen členy skalárních součinů

$$\vec{x} \cdot \vec{x} = x^2 + y^2 = r^2$$

$$\vec{x}_0 \cdot \vec{x}_0 = x_0^2 + y_0^2 = x_0^2$$

$$(y_0 = 0)$$

$$\vec{x}_0 \cdot \vec{x} = x_0 x + y_0 y = x_0 r \cos \varphi$$

- rozdíl vlnového chodu: $H(x_0, y_0, x, y) \rightarrow H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2)$

aberrace osově symetrického systému

$$\begin{aligned}
H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2) &= \sum_{k,l,m} W_{klm} x_0^k r^l \cos^m \varphi = \\
&= \underline{W_{000}} + \underline{W_{200} x_0^2} + \underline{W_{111} x_0 \rho \cos \theta} + \underline{W_{002} \rho^2} + \\
&+ \underline{W_{400} x_0^4} + \underline{W_{040} \rho^4} + \underline{W_{131} x_0 \rho^3 \cos \theta} + \underline{W_{222} x_0^2 \rho^2 \cos^2 \theta} + \\
&+ \underline{W_{220} x_0^2 \rho^2} + \underline{W_{311} x_0^3 \rho \cos \theta} + \dots
\end{aligned}$$

speciální případ - bodový zdroj na optické ose: $x_0 = 0$

$$H(r^2) = \underline{W_{000}} + \underline{W_{020} r^2} + \underline{W_{040} r^4} + \dots$$

$$H = \frac{1}{8} S_I \rho^4 + \frac{1}{2} S_{II} x_0 \rho^3 \cos \vartheta + \frac{1}{2} S_{III} x_0^2 \rho^2 \cos^2 \vartheta + \frac{1}{4} (S_{III} + S_{IV}) x_0^2 \rho^2 + \frac{1}{2} S_V x_0^3 \rho \cos \vartheta$$

souhrnné označení pro členy nejnižšího aberačního (třetího) řádu:

sférická aberace S_I , koma S_{II} , astigmatismus S_{III} , křivost S_{IV} , sklenutí pole S_V

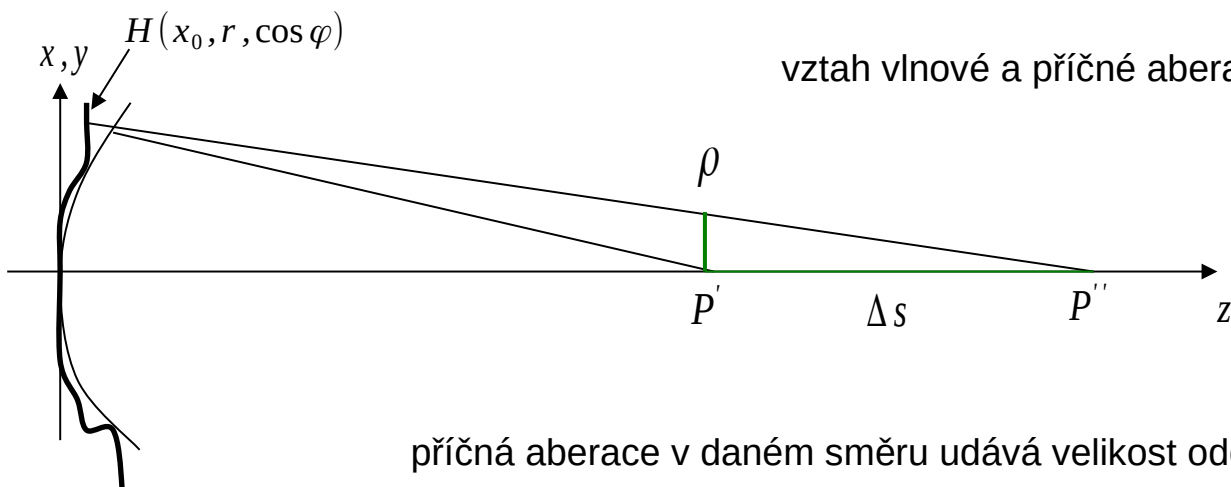
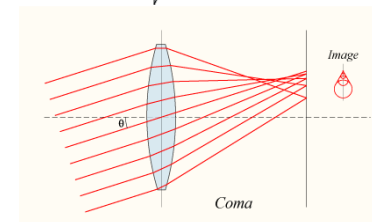
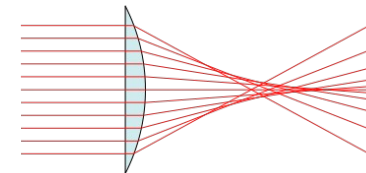
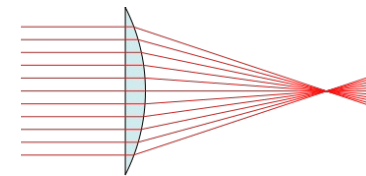
průměr (piston), náklon (tilt) a defokusace k nim nepatří

aberace vyšších řádů přinášejí mimo jiné další typy poruch (eliptická koma, ...)

výhoda Seidelových koeficientů:

celková aberace se dá určit jako součet aberací jednotlivých povrchů

$$\text{čili } S_I = S_I^1 + S_I^2 + S_I^3 + S_I^4 + \dots \quad \text{apod.}$$



vztah vlnové a příčné aberace:

$$\rho_x = -f \frac{dH(x, y)}{dx} \quad \Delta s_x = f \frac{\rho_x}{x}$$

$$\rho_y = -f \frac{dH(x, y)}{dy} \quad \Delta s_y = f \frac{\rho_y}{y}$$

příčná aberace v daném směru udává velikost odchyly od bodového obrazu

sférická aberace $H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2) = W_{040} r^4 = W_{040} (x^2 + y^2)^2$

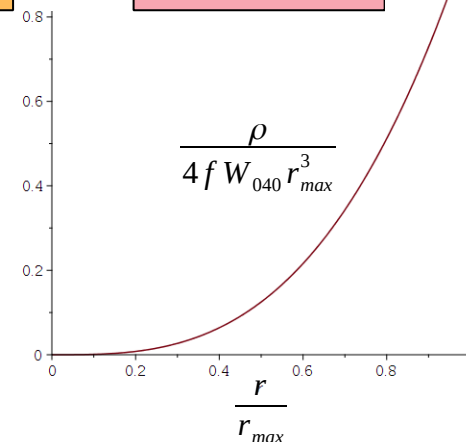
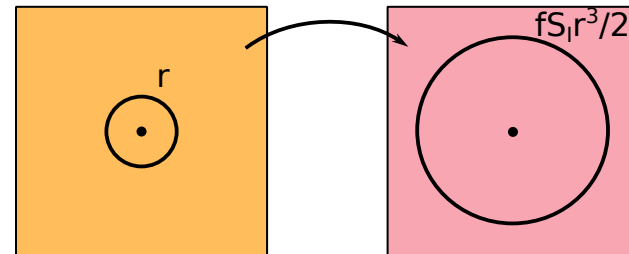
- aberace se projevuje i pro osové zdroje

$$\rho_x = -4f W_{040} r^2 x$$

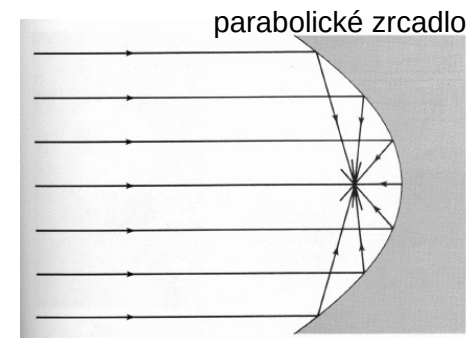
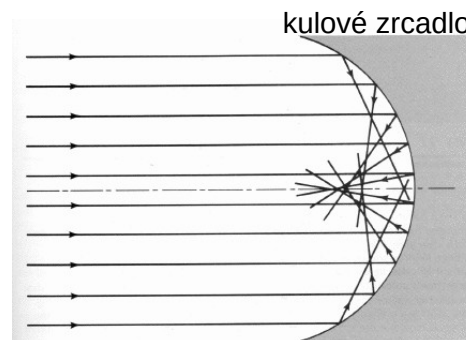
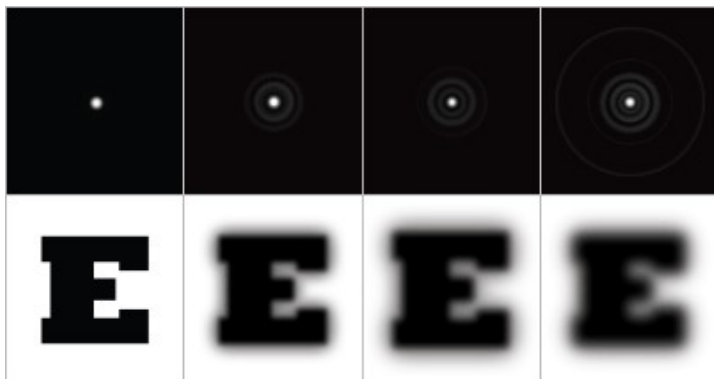
$$\longrightarrow \rho_x^2 + \rho_y^2 = 16f^2 W_{040}^2 r^6$$

$$\rho_y = -4f W_{040} r^2 y$$

příčná aberace pro zónu r apertury má tvar kroužku o poloměru $\rho = 4f W_{040} r^3$



- proti sférické aberaci se účinně bojuje cloněním $r \rightarrow 0$
- příslušná forma sférické aberace je přítomna v každém řádu aproximace
- soustavy s opravenou (primární) sférickou aberací se nazývají *stigmatické na ose*



sférická aberace s defokusem $H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2) = W_{040} r^4 + W_{020} r^2$

- kde se fokusují paprsky marginální zóny r_{max} ?

$$\rho_x = -4f x W_{040} \left(r^2 + \frac{W_{020}}{2W_{040}} \right) \longrightarrow \rho_x^2 + \rho_y^2 = 16f^2 W_{040}^2 r^2 \left(r^2 + \frac{W_{020}}{2W_{040}} \right)^2$$

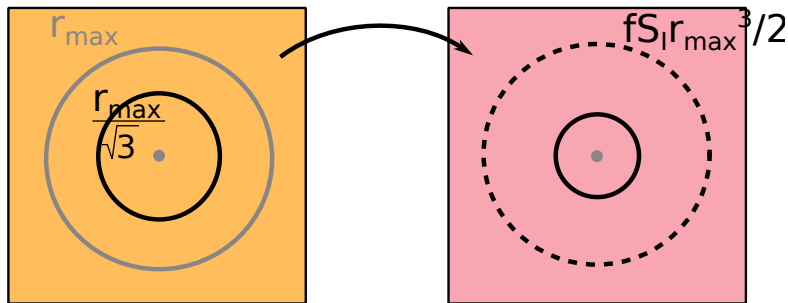
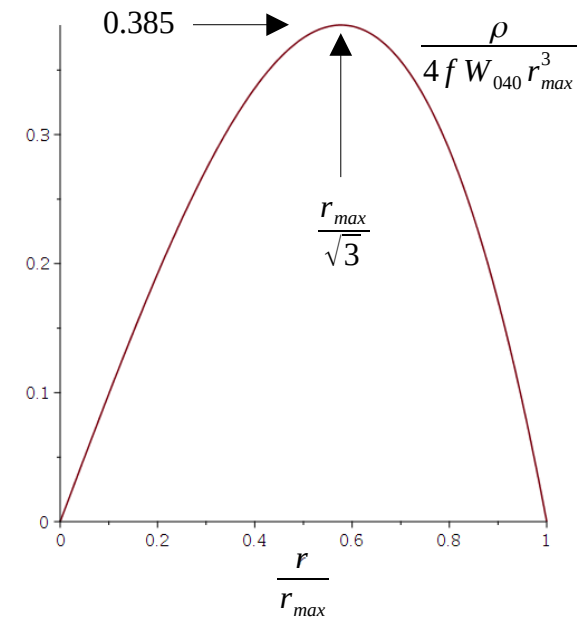
$$\rho_x = -4f y W_{040} \left(r^2 + \frac{W_{020}}{2W_{040}} \right)$$

jedná se opět o kružnice, s poloměry $\rho = \left| 4f W_{040} r \left(r^2 + \frac{W_{020}}{2W_{040}} \right) \right|$

$\rho(r_{max}) = 0$ pokud $W_{020} = -2W_{040} r_{max}^2$, po dosazení

$$\rho = 4f W_{040} r (r_{max}^2 - r^2)$$

- přitom pro marginální paprsky platí $\Delta s_x = \Delta s_y = -4f^2 W_{040} r_{max}^2$



Pokud manipulací s rovinou ostření lze ovlivnit velikost stopy, není některá poloha ještě výhodnější, než pro marginální paprsky?

- místo nejlepší ostroty je rovina ve 3/4 cesty mezi paraxiální a marginální rovinou ostroty

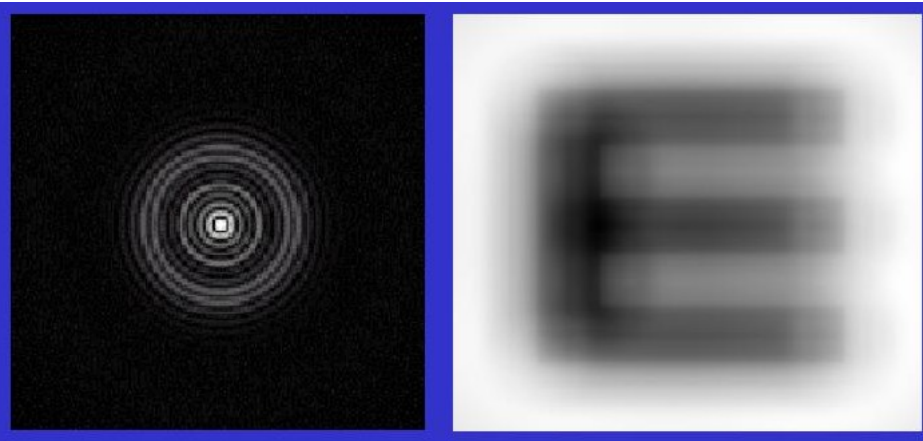
koma $H(y) = \frac{1}{2} S_{II} x_0 \rho^3 \cos \vartheta$ $H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2) = W_{131} x_0 r^3 \cos \varphi$

příčná aberace má pro zónu ρ apertury tvar kroužku

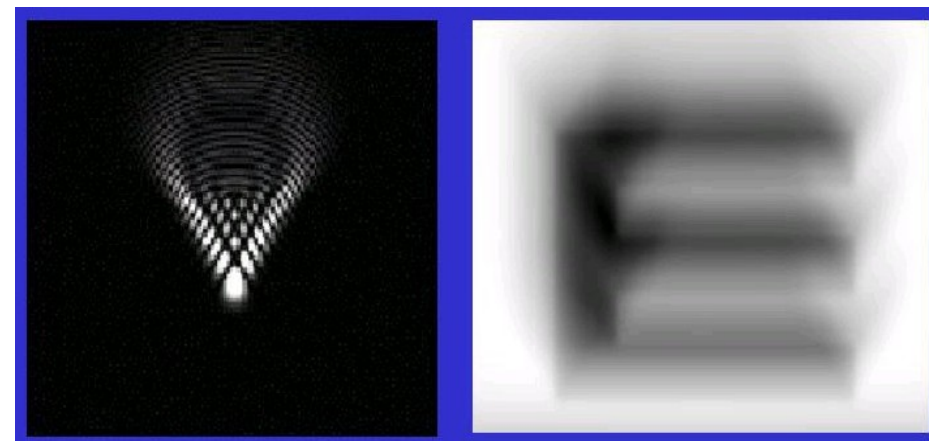
o poloměru $\frac{1}{2} f S_{II} x_0 \rho^2$

se středem vysunutým o osy o $-f S_{II} x_0 \rho^2$

- koma se projeví jen pro neosové zdroje, pomáhá clonění
- obrazy jednotlivých kružnic vyplní úhel 60° , délka a šířka celého obrazce jsou v poměru 3:2
- systém zbavený sférické aberace a komy se nazývá *aplanát*



sférická aberace



koma

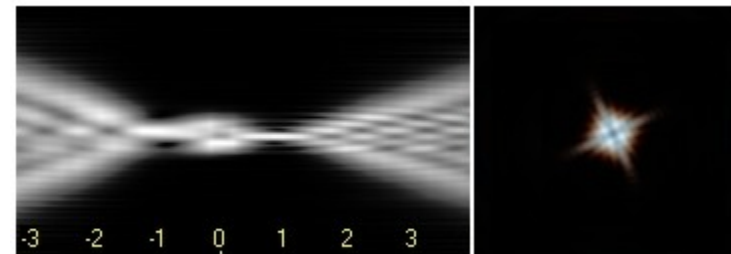
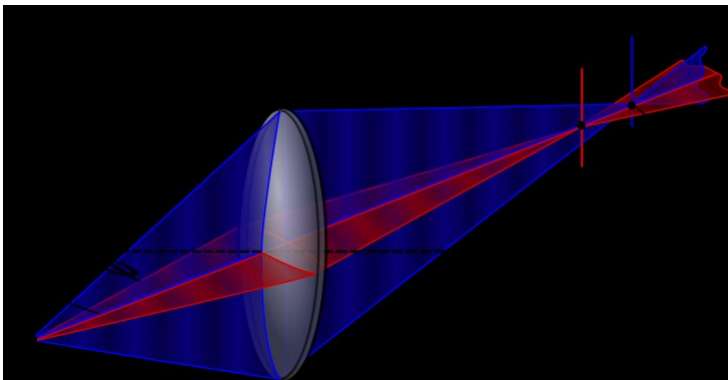
astigmatismus $H(x_0^2, x_0 r \cos \varphi, r^2) = W_{222} x_0^2 r^2 \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} W_{222} x_0^2 r^2 = \frac{1}{2} W_{222} x_0^2 (3x^2 + y^2)$

$$\rho_x = -f W_{222} x_0^2 3x$$

$$\rho_y = -f W_{222} x_0^2 y$$

$$\longrightarrow \frac{\rho_x^2}{(3 W_{222} x_0^2 r)^2} + \frac{\rho_y^2}{(W_{222} x_0^2 r)^2} = 1$$

- příčná aberace má pro zónu r apertury tvar elipsy s poměrem poloos 1:3
- závislost na velikosti apertury je menší než u předchozích dvou aberací, pro neosové zdroje ovšem vada rychle roste



- dochází k přesné fokusaci sagitálních a meridionálních paprsků, ale v různých rovinách