



# GEOMETRICKÁ OPTIKA II

# Obsah

- Optické vady

Koma.

Aplanazie a izoplanazie.

Abbeova sinova podmínka.

Hershelova podmínka.



## **Honoré de Balzac**

(vlastním jménem  
Balsa)

(20. května 1789, –  
18. srpna 1850)

**Ti, kteří jsou spokojeni sami se sebou, mají špatný vkus.**

Byl francouzský spisovatel, představitel realismu a romantismu. Bývá považován za zakladatele kritickorealistickeho románu. Napsal však i řadu románů s dobrodružnou či fantastickou tematikou.

# Vady zobrazovacích soustav

## Vady monochromatické

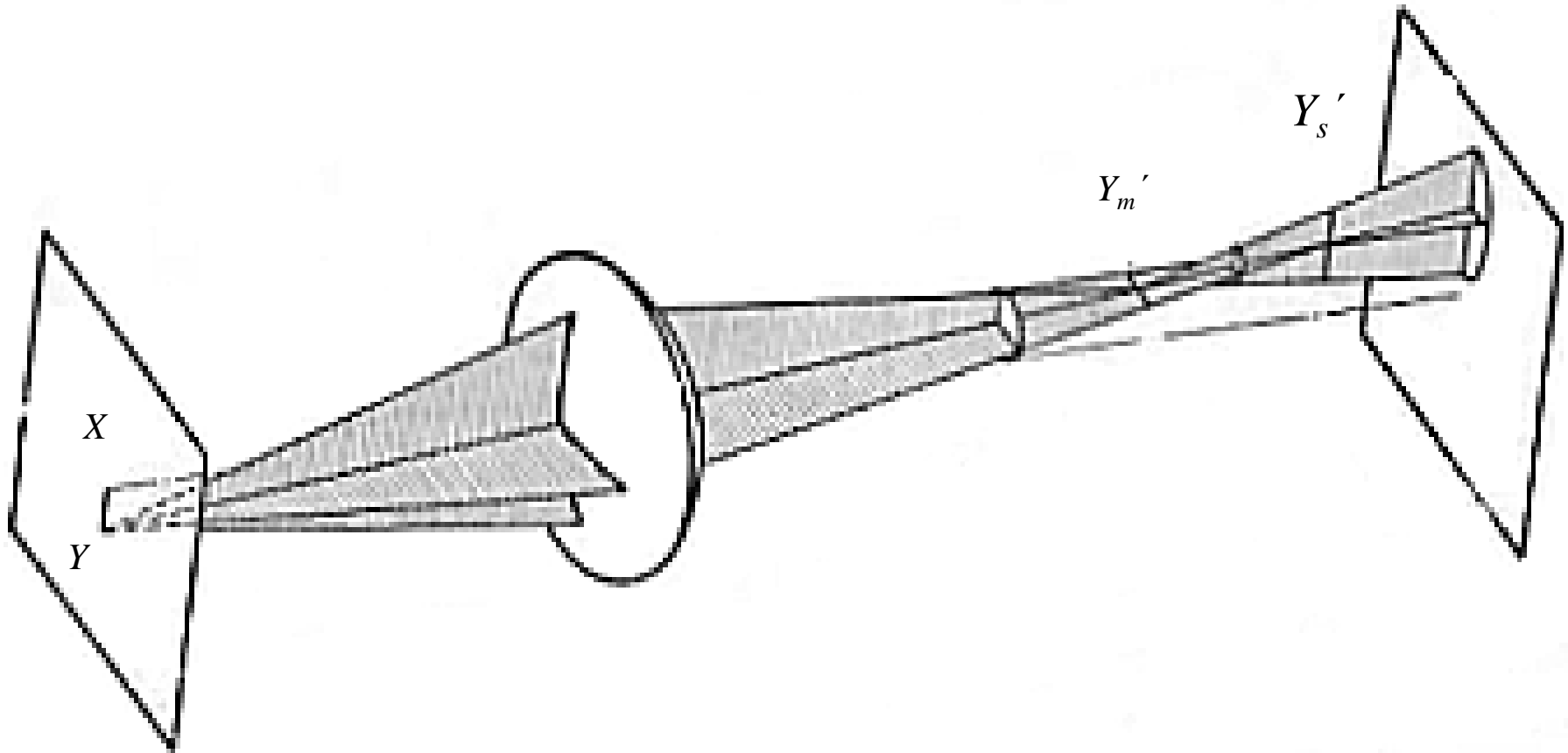
- a) Zobrazení osového bodu (vada otvorová).
  
- b) Zobrazení bodu **ležícího mimo optickou osu**:
  - zkreslení,
  - astigmatismus,
  - zklenutí,
  - **koma.**

## Vady barevné

- Barevná vada polohy
- Barevná vada velikosti
- Oprava barevné vady v PC

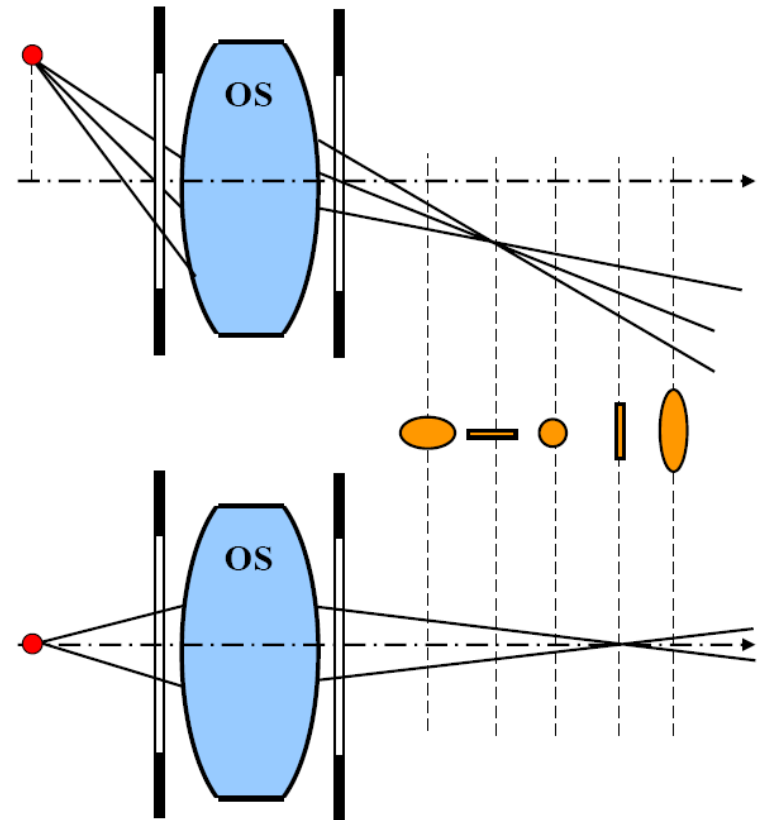
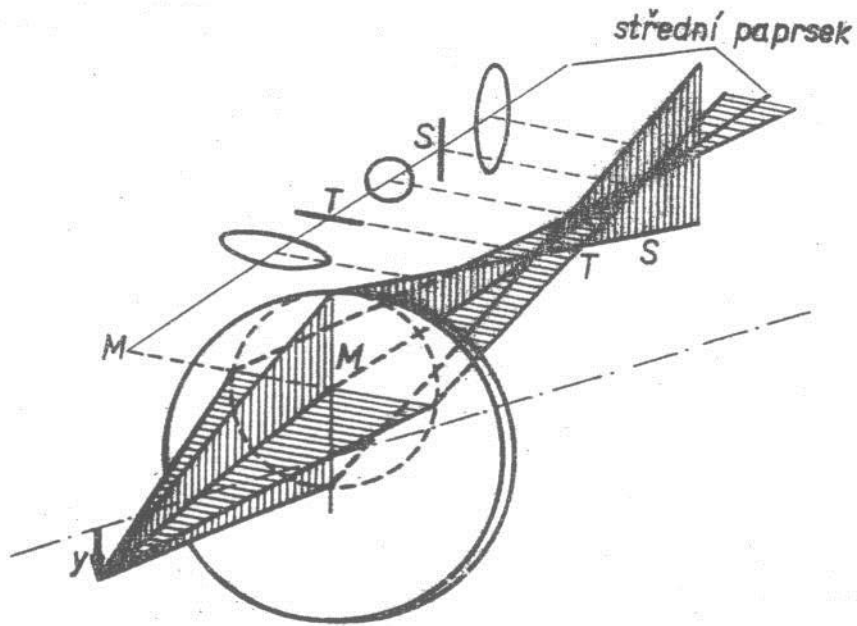
## Asférické optické plochy

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



- Sledujme zobrazení bodu  $Y$  úzkým paprskovým svazkem.
- Paprsky v rovině meridionální (poledníková, tangenciální) se protnou v bodě  $Y'_m$  (meridionální obraz bodu  $Y$ ) a v rovině sagitální v bodě  $Y'_s$  (sagitální obraz bodu  $Y$ ).

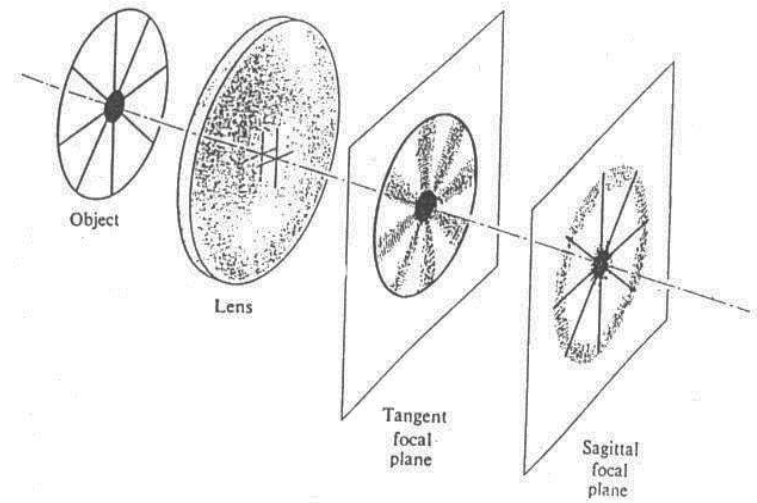
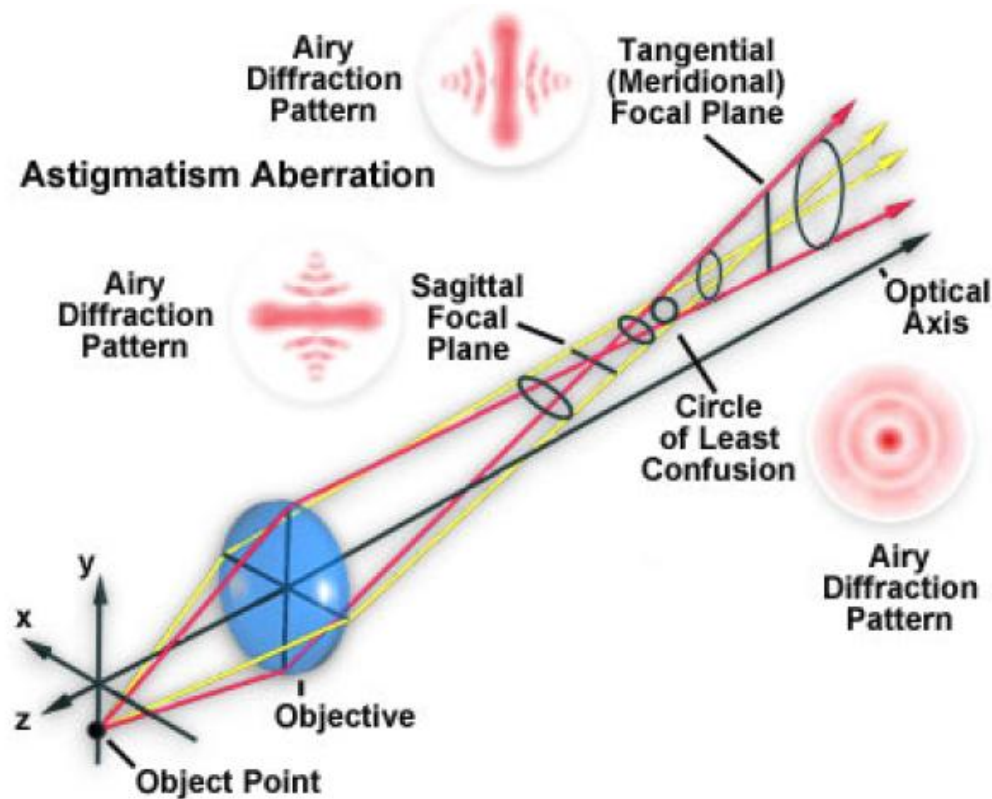
# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



Zdroj: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

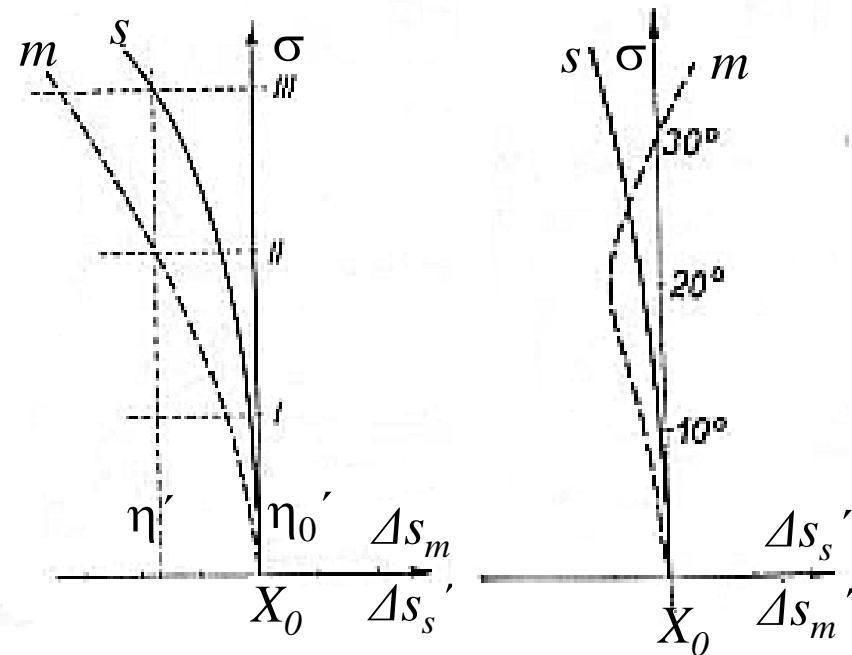
- Rovinné řezy paprskového svazku.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



- Projev astigmatizmu a zklenutí.

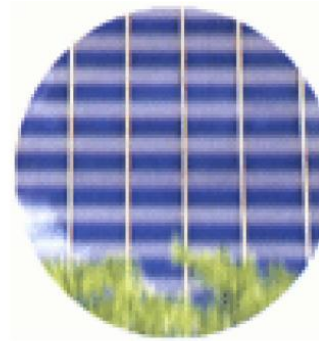
# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



Zdroj: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>



bez astigmatismu



s astigmatismem



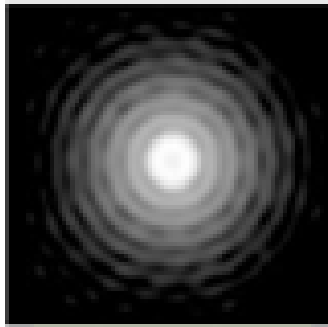
s astigmatismem

- Astigmatismus (podobně jako sférickou vadu) nelze odstranit pro všechny body  $Y$ .
- Pomocí soustavy čoček se snažíme potlačit astigmatismus pro okraj zorného pole nebo pro body blízké okraji zorného pole.
- V tomto případě splývají body  $Y_m'$  a  $Y_s'$  v jediném bodě  $Y_{ms}'$ .
- Je dále žádoucí, aby  $Y_{ms}'$  ležel v rovině  $\eta_0'$  nebo alespoň těsně v její blízkosti, čímž je potlačeno zklenutí pole. (soustava **anastigmatická**).



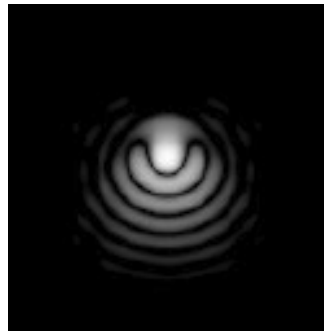
# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

- Při zobrazení mimoosých bodů širokým svazkem paprsků ztrácí obraz kruhový tvar charakteristický pro otvorovou vadu.
- Obrazem bodu není bod, ale protáhlá kruhová ploška s nerovnoměrným rozdělením intenzity.

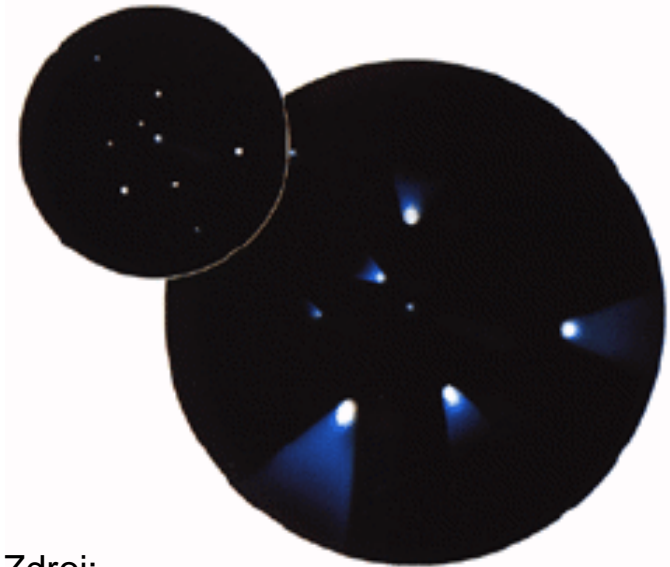


Otvorová vada

Zdroj:  
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>



Koma

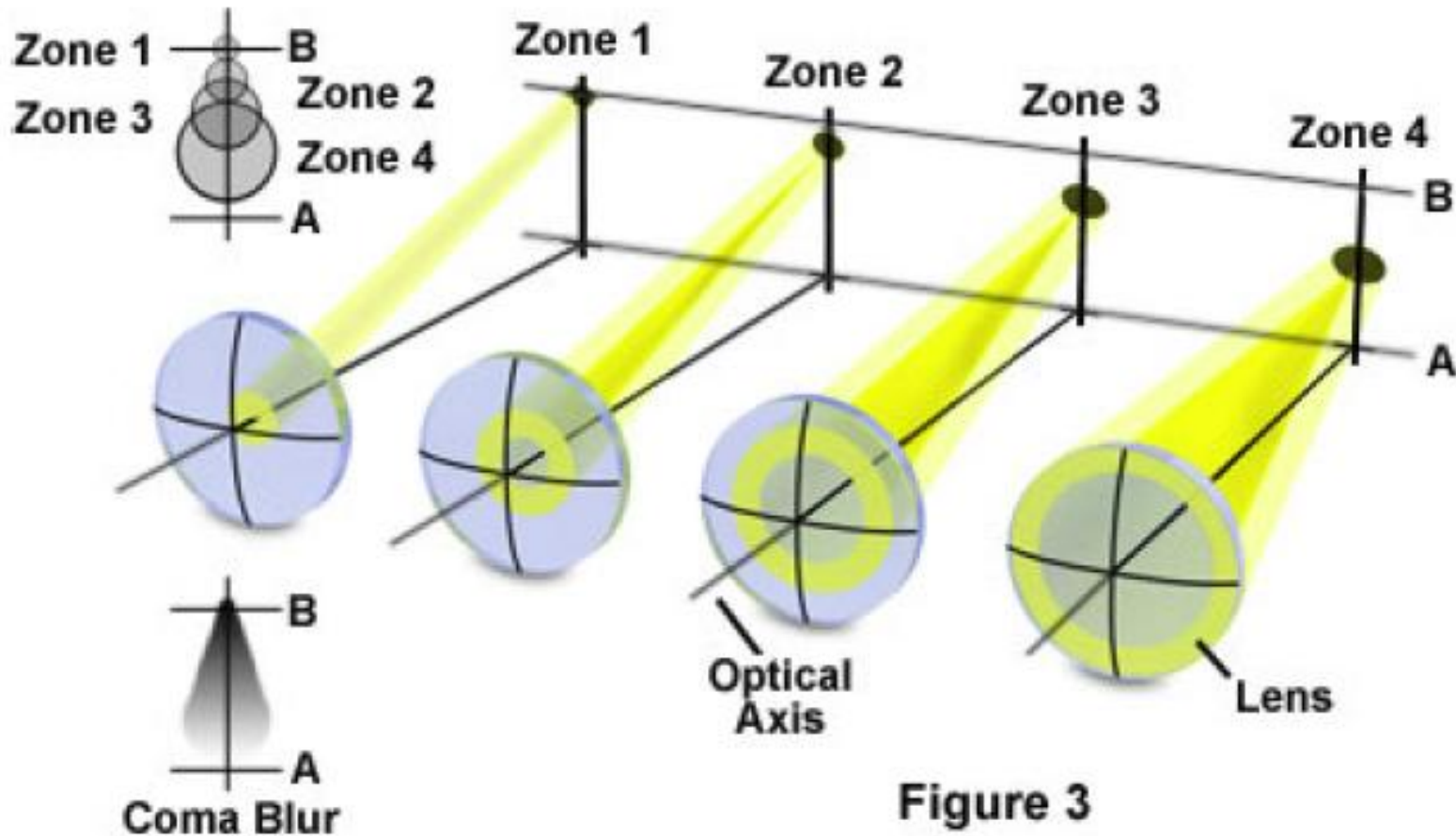


Zdroj:  
[http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/pr of/Tesar/diplomky/obr\\_dopl\\_optika/optika /dalekohledy/poj/coma.gif](http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/pr of/Tesar/diplomky/obr_dopl_optika/optika /dalekohledy/poj/coma.gif)

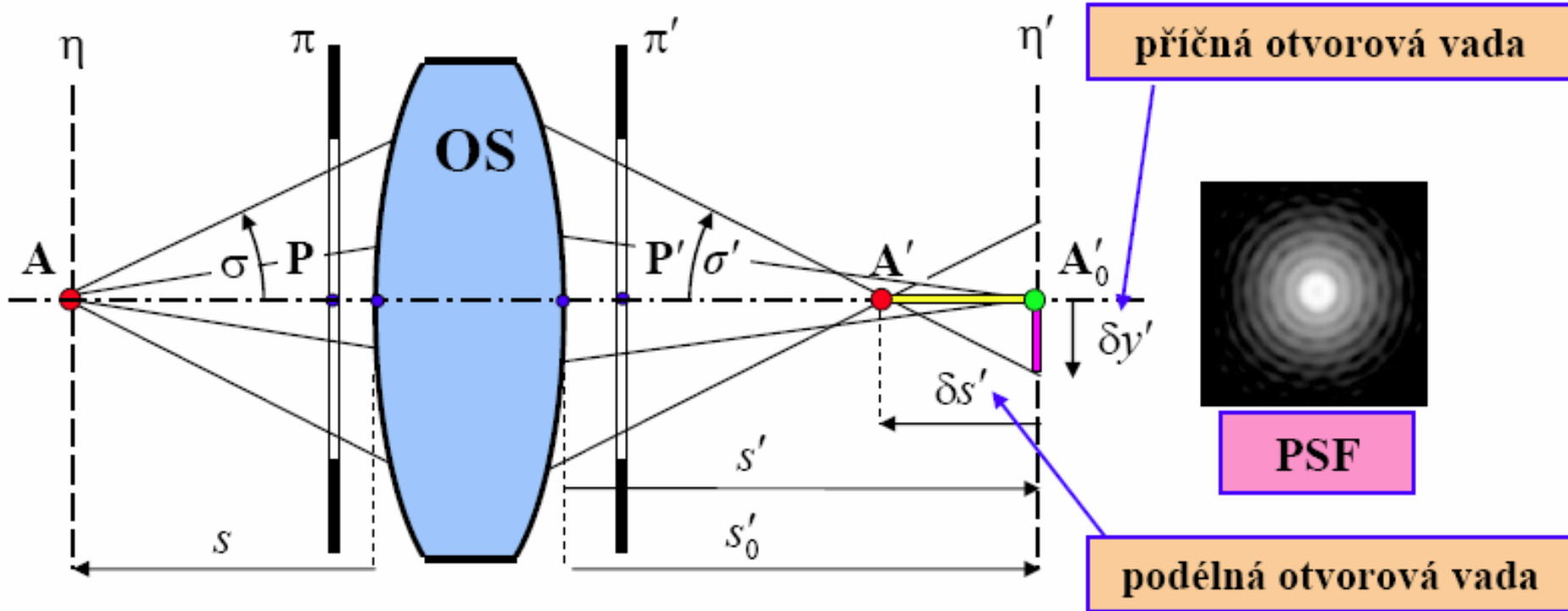
- Komu lze potlačit vhodnou volbou soustavy čoček, která se označuje jako **aplanát**.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

## Off-Axis Coma Aberration

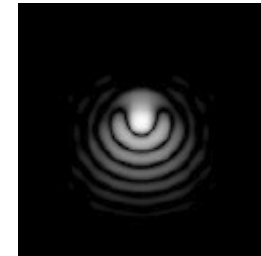
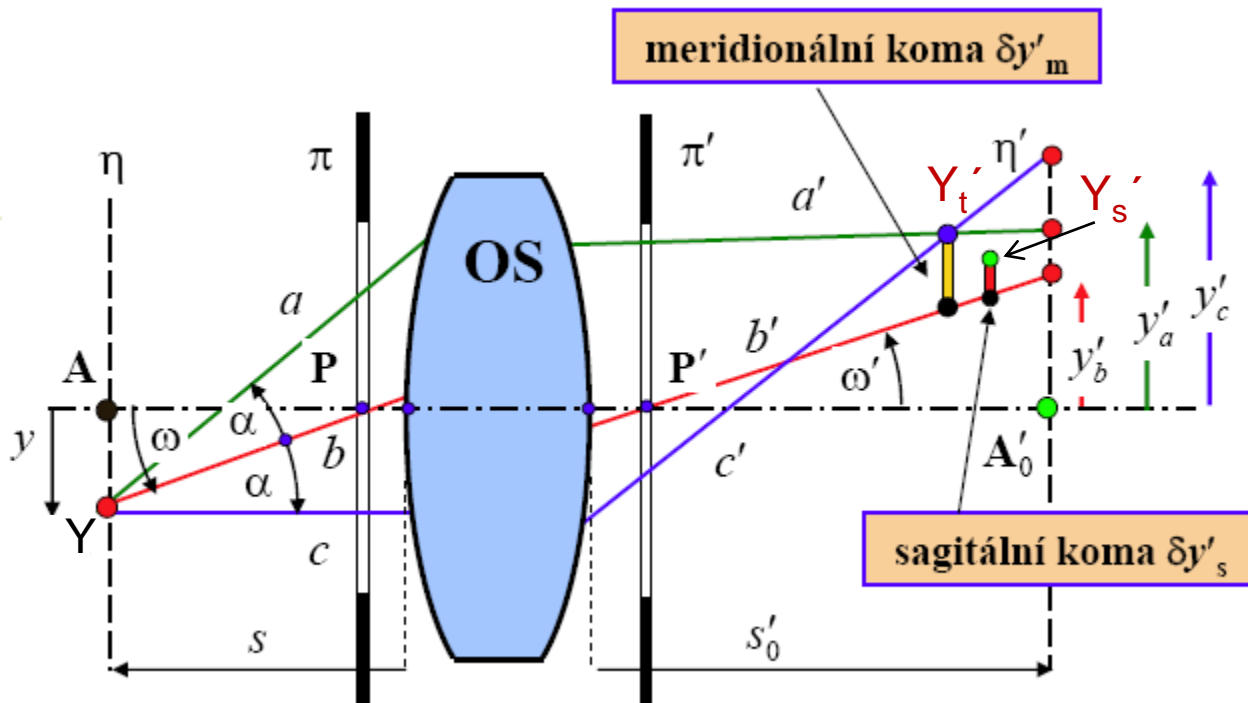


# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Otvorová (sférická) vada



Zdroj:  
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

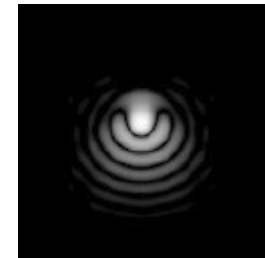
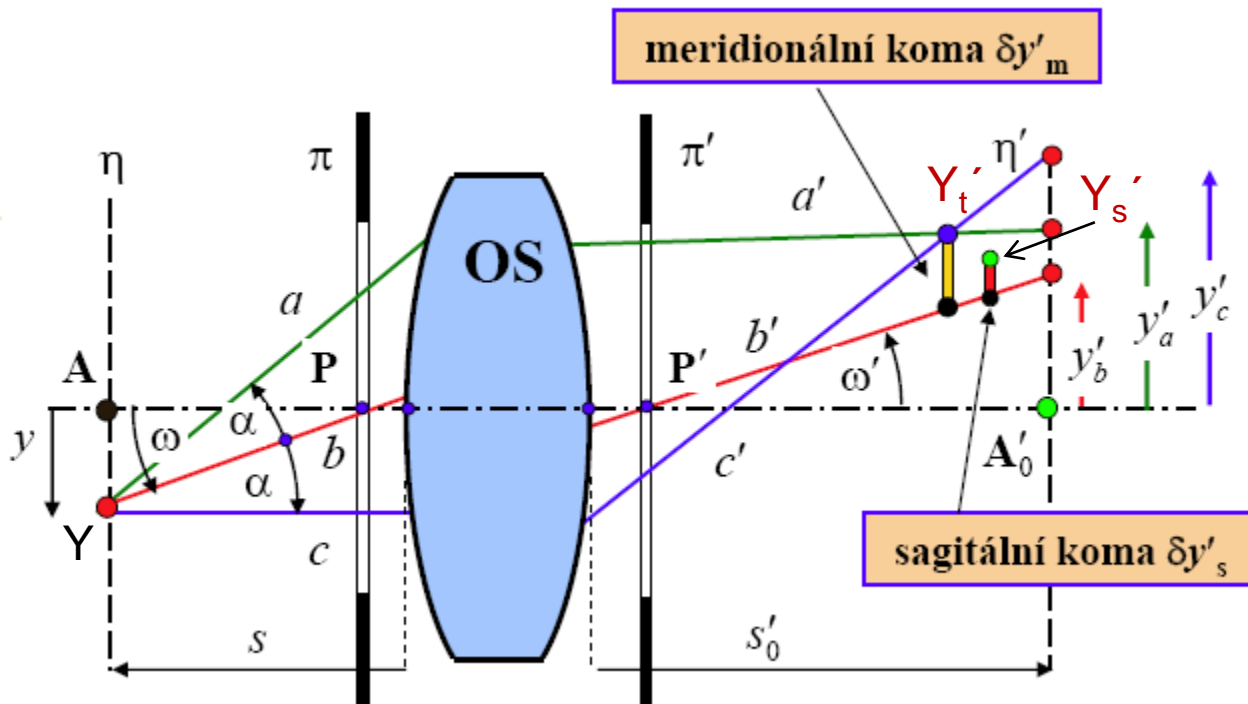


$$\delta y'_m = \frac{y'_a + y'_b}{2} - y'_c$$

Zdroj:  
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

- Sledujeme zobrazení mimoosového bodu  $Y$  širokým svazkem paprsků.
- **Horní** a **dolní** paprsek meridionální roviny se protínají po průchodu čočkou v bodě  $Y'_t$  který leží mimo **hlavní paprsek** a obdobně krajové paprsky sagitální se protínají v bodě  $Y'_s$ .

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

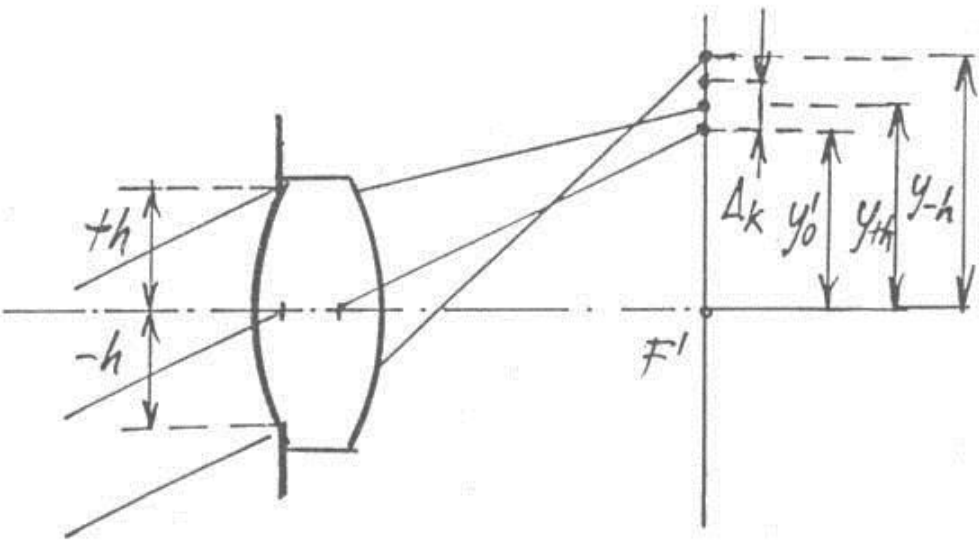


$$\delta y'_m = \frac{y'_a + y'_b}{2} - y'_c$$

Zdroj:  
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

- Vzdálenost bodu  $Y'_t$  (resp.  $Y'_s$ ) od hlavního paprsku, měřená kolmo k optické ose se nazývá **tangenciální (meridionální)** (resp. **sagitální**) koma.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma meridiánová (tangenciální)



- Aberace každého paprsku v meridiánové rovině je rovna:

$$\Delta y' = y' - y'_0.$$

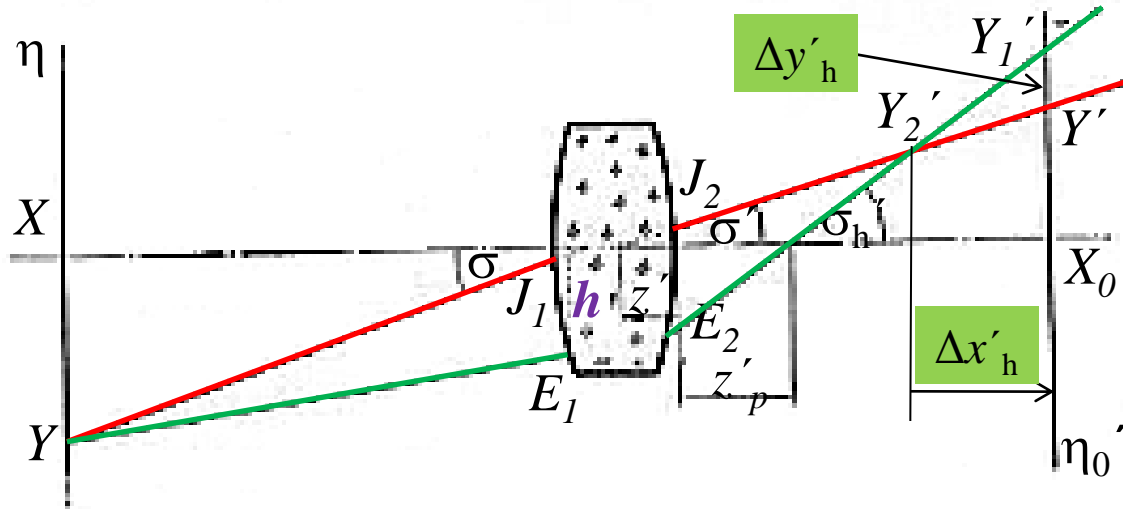
- Nesymetričnost rozptylové plošky komy je určena vztahem:

$$\Delta_k = \frac{1}{2} (y'_{+h} + y'_{-h}) - y'_0,$$

a nazývá se **meridiánovou komou**.



# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma – korekce v praxi



- $YJ_1J_2Y'$  hlavní paprsek svazku.
- $YE_1E_2Y_1'$  je libovolný paprsek svazku jehož dopadová výška na první ploše je (-)  $h$ .
- V obrazovém prostoru tyto paprsky se protínají v bodě  $Y_2'$ .

Označme :

$$\Delta x'_h = \overline{Y'Y_2'} \cos \sigma'$$

$$\Delta y'_h = \overline{Y'Y_1'}$$

Dále použitím sinové věty:

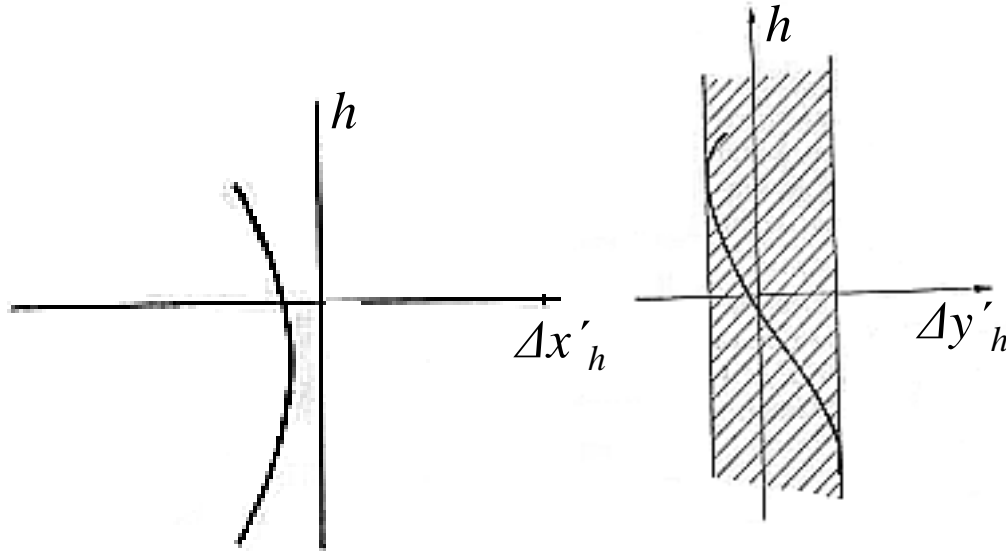
$$\overline{Y'Y_2'} = \frac{(\overline{y'} - y') \cos \sigma'_h}{\sin(\sigma'_h - \sigma')}, \text{ kde } y' = (z' - x'_0) \operatorname{tg} \sigma', \text{ a } \overline{y'} = (z'_h - x'_0) \operatorname{tg} \sigma'_h.$$

Dostaneme:

$$\Delta x'_h = \frac{(\overline{y'} - y') \cos \sigma'_h \cos \sigma'}{\sin(\sigma'_h - \sigma')}, \quad \Delta y'_h = \overline{y'} - y'.$$



# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma – korekce v praxi



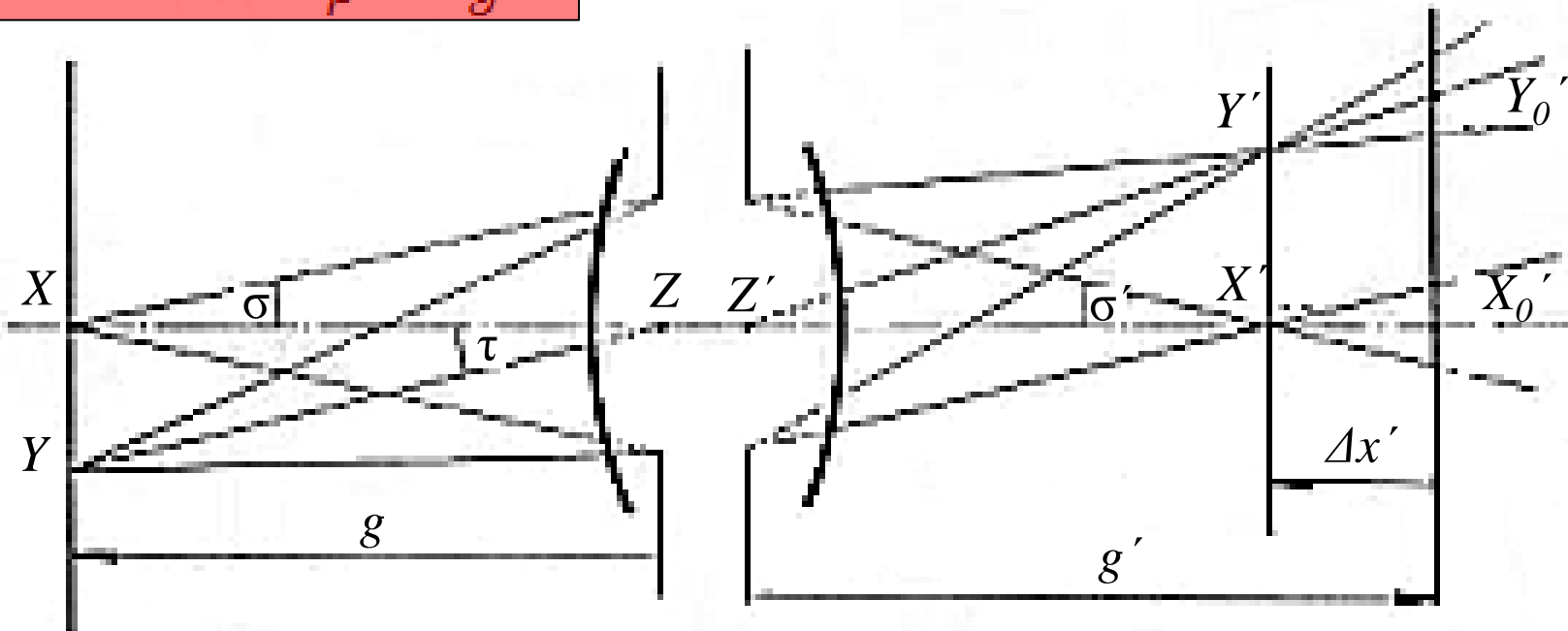
- Grafické znázornění:
- $\Delta x'_h$  a  $\Delta y'_h$  znázorňujeme v závislosti na dopadové výšce  $h$  jednotlivých paprsků svazku

- Je žádoucí aby první křivka byla souměrná vzhledem k přímce jdoucí středem křivky rovnoběžné s osou  $\Delta x'_h$ .
- V druhém případě křivka má být uvnitř pásu vymezeného dvěma přímkami rovnoběžnými s osou  $h$  (toleranční pásmo).

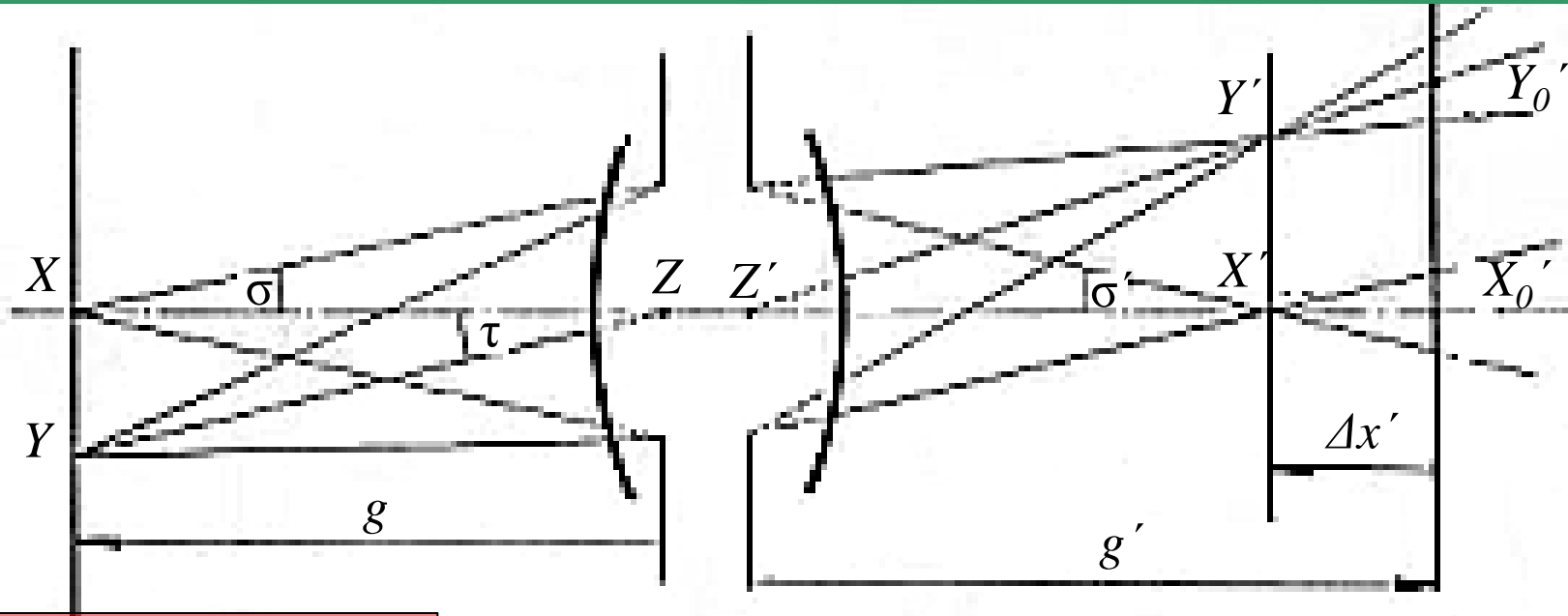
# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Aplanazie a izoplanazie

• Je-li vzdálenost zobrazeného bodu  $Y$  od optické osy malá **vzhledem k ohniskové vzdálenosti soustavy**, je možné usuzovat na jakost zobrazení bodu  $Y$  z vlastností zobrazení osového bodu  $X$ , tj. není potřeba sledovat paprsky vycházející z bodu  $Y$ . V tomto případě vychází:

$$\Delta y'_h \approx 3y'_0 \left( \frac{\Delta\beta}{\beta} - \frac{\Delta x'}{g'} \right).$$



# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Aplanazie a izoplanazie



$$\Delta y'_h \approx 3y'_0 \left( \frac{\Delta\beta}{\beta} - \frac{\Delta x'}{g'} \right)$$

kde značí  $g' = \overline{Z'X'_0}$ ,  $\Delta x' = \text{otvorová vada}$ ,  $y'_0 = \beta y$ ,  $\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{1}{\beta} \left( \frac{n \sin \sigma}{n' \sin \sigma'} - \beta \right)$ ,  
pro předmět v konečné vzdálenosti a

$$y'_0 = -f \tan \tau, \quad \frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{\Delta f'}{f'} = \frac{1}{f'} \left( \frac{nh}{n' \sin \sigma'} - f' \right),$$

pro předmět v nekonečnu.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Aplanazie a izoplanazie

- Koma je v tomto případě korigována, jestliže

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} - \frac{\Delta x'}{g'} = 0 \text{ nebo } \frac{\Delta f'}{f'} - \frac{\Delta x'}{g'} = 0.$$

- Tyto vztahy se nazývají **podmínkami izoplanazie**.

- V případě  $\Delta x' = 0$  nebo  $g' \rightarrow \infty$ , nabývají předešlé podmínky tvaru:

$$\frac{n \sin \sigma}{n' \sin \sigma'} = \beta \text{ nebo } \frac{nh}{n' \sin \sigma'} = f'.$$

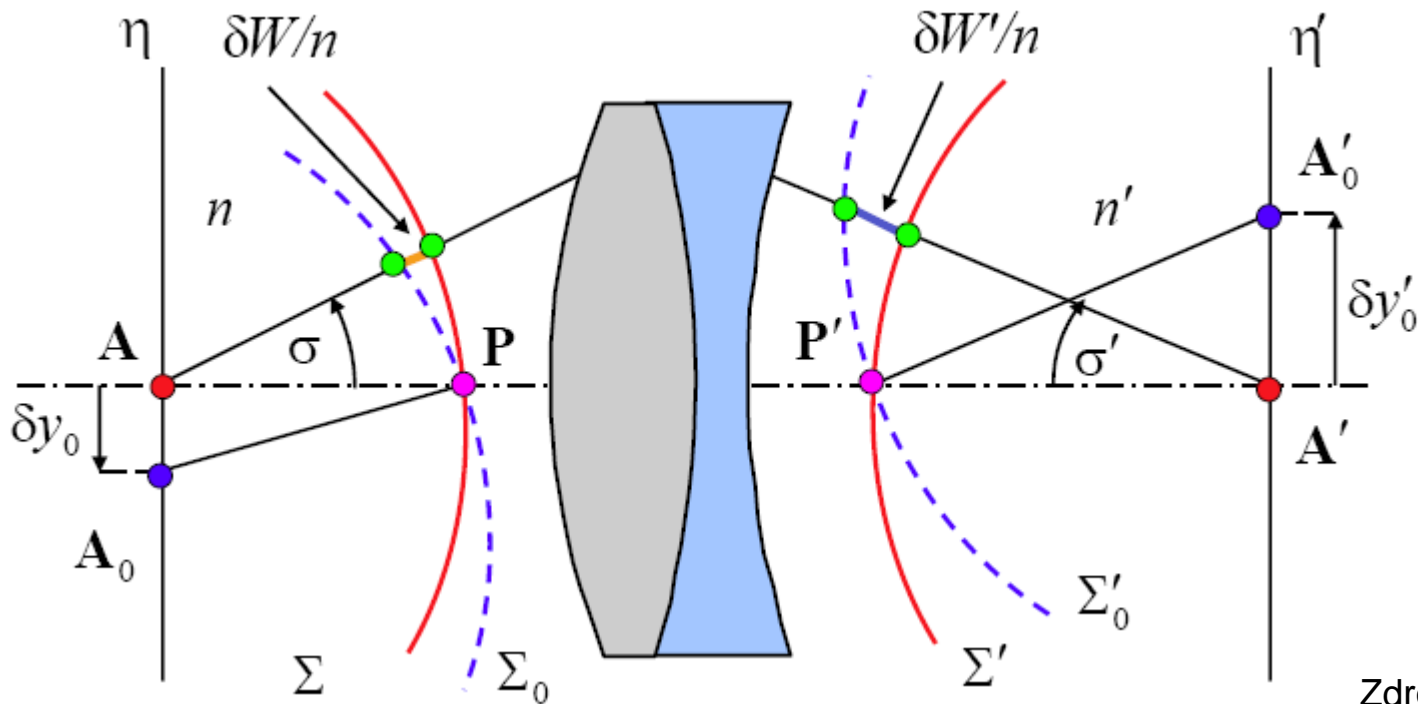
- Tyto vztahy jsou **podmínkami aplanazie\*** (**sinovými podmínkami**).

\* odvození viz. Fuka/Havelka, Optika I, str. 171-173.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Aplanazie a izoplanazie

- Názvy aplanazie a izoplanazie pocházejí z řeckého *planasthai* = bloudit, chybovat a řeckého *a -* = ne a *isos* = stejný.
- **Aplanatická soustava** značí tudíž soustavu oproštěnou optických vad; nejedná se ale o soustavu u níž byly odstraněny všechny vady pro velké zorné pole, ale pro pole v bezprostřední blízkosti optické osy; tedy osové body a body velmi blízké v rovině kolmé k ose jsou zobrazeny stigmaticky.
- **Izoplanatická soustava** je taková, u které je stejná otvorová (sférická) vada osového bodu a blízkého bodu mimoosového.

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Abbeova sinová podmínka



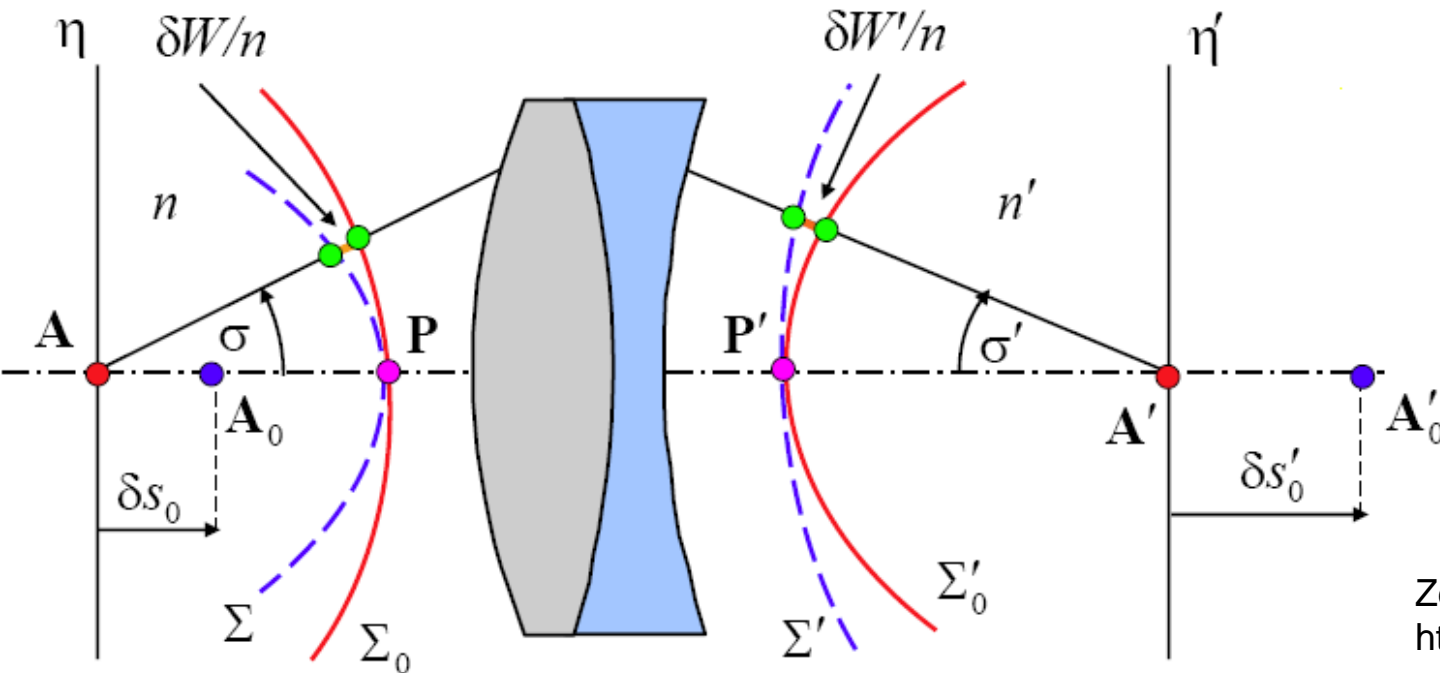
Zdroj:

<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

- Podmínka, která musí být splněna aby se **dvojice blízkých bodů, ležících meridionální rovině** se zobrazila ostře, tj. bod jako bod.

$$\frac{dW}{n} = \frac{dW'}{n'} \rightarrow n \delta y_0 \sin \sigma = n' \delta y'_0 \sin \sigma' \rightarrow \beta = \frac{\delta y'_0}{\delta y_0} = \frac{n \sin \sigma}{n' \sin \sigma'}$$

# OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Herschelova podmínka



Zdroj:  
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

- Podmínka, která musí být splněna aby se **dvojice blízkých bodů, ležících na ose optického systému** se zobrazila ostře, tj. bod jako bod.

$$\frac{dW}{n} = \frac{dW'}{n'} \rightarrow n\delta s_0 (1 - \cos\sigma) = n'\delta s'_0 (1 - \cos\sigma') \rightarrow \alpha = \frac{\delta s'_0}{\delta s_0} = \frac{n'}{n} \beta^2 = \frac{n \sin^2(\sigma/2)}{n' \sin^2(\sigma'/2)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{n \sin(\sigma/2)}{n' \sin(\sigma'/2)}$$