



GEOMETRICKÁ OPTIKA II

Přednáška 7

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).

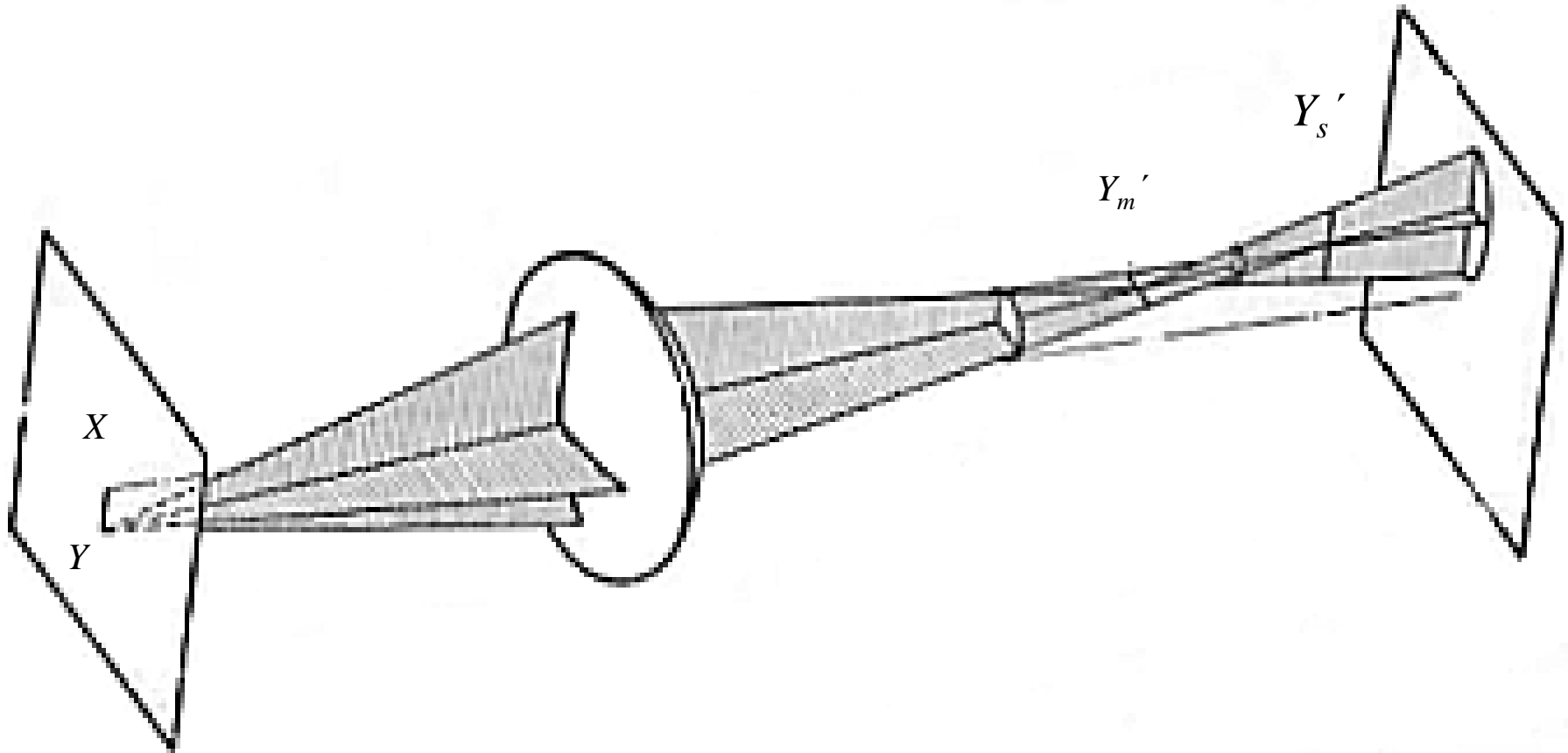
- b) Zobrazení bodu **ležícího mimo optickou osu**:
 - zkreslení,
 - astigmatismus,
 - zklenutí,
 - **koma.**

Vady barevné

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

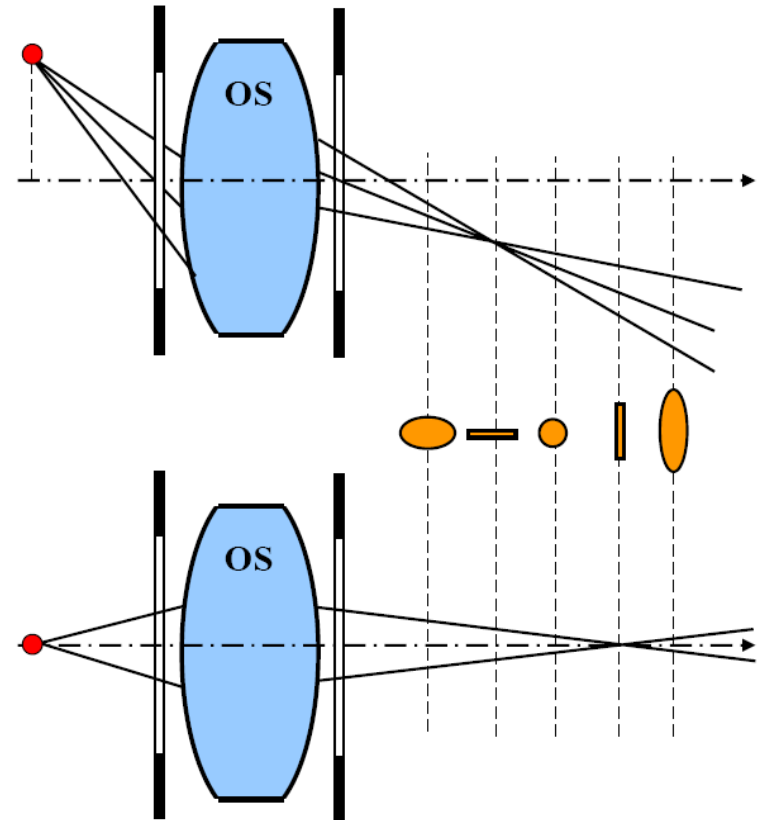
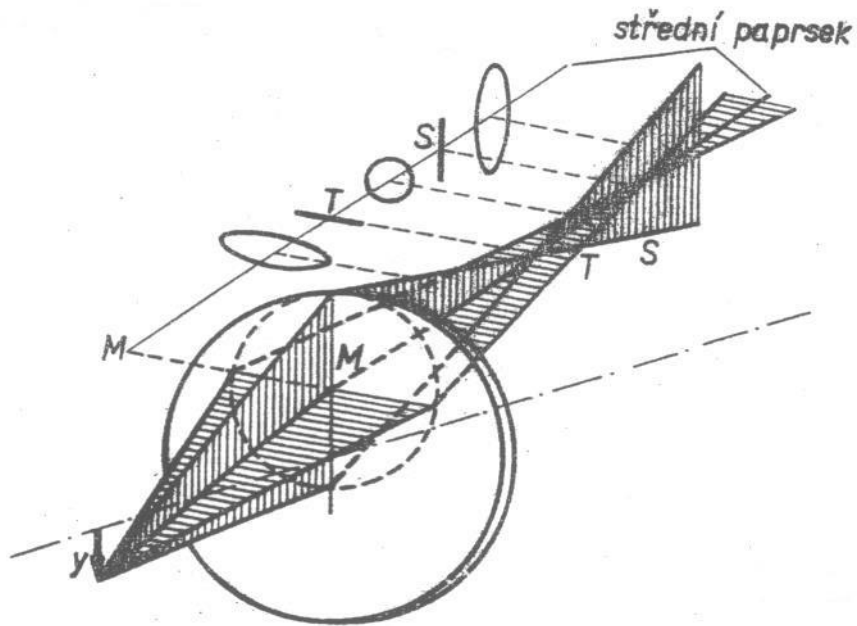
Asférické optické plochy

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).

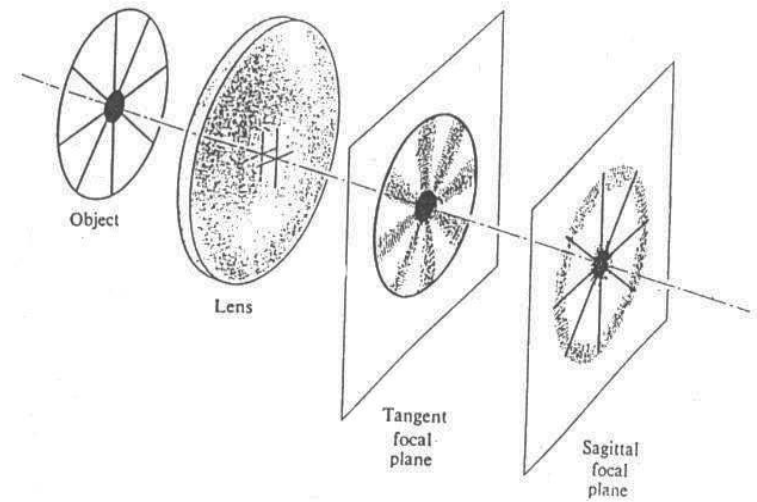
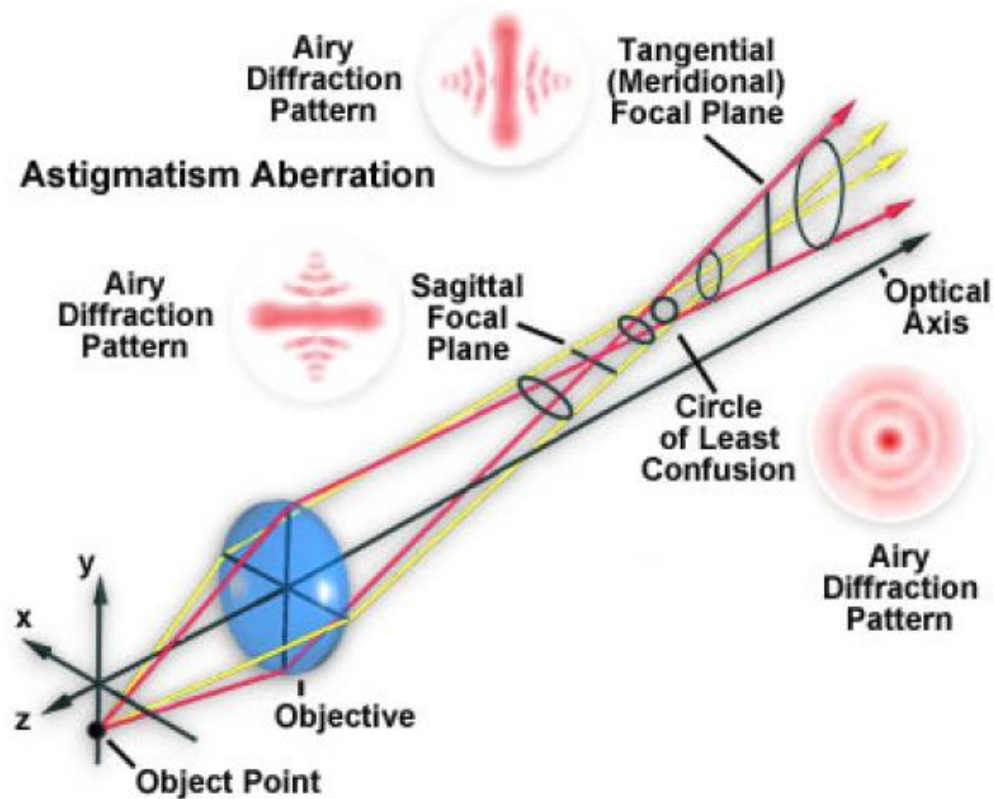
OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



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

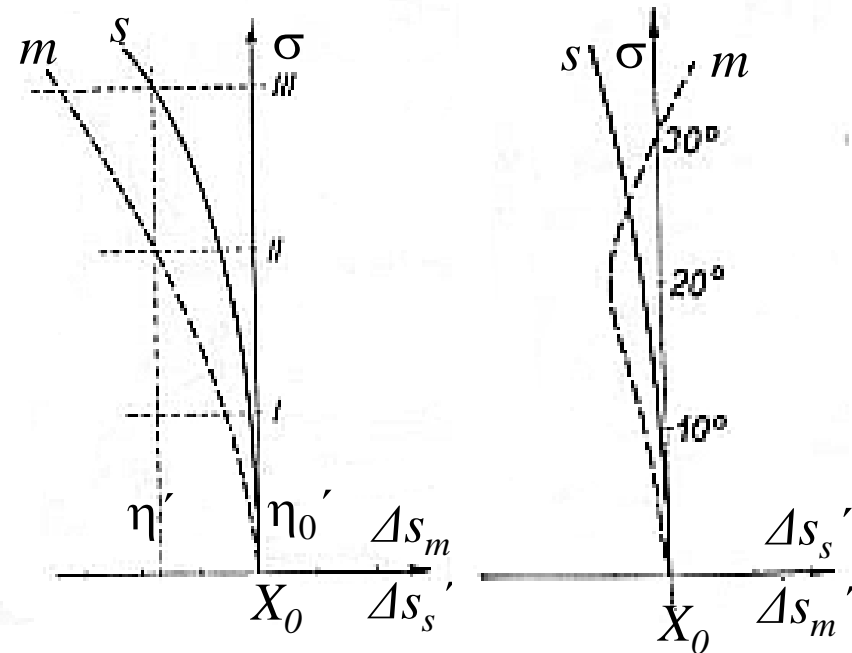
- Rovinné řezy paprskového svazku.

OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



- Projev astigmatizmu a zklenutí.

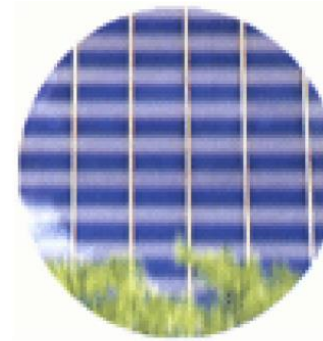
OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Astigmatismus a zklenutí



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



bez astigmatismu

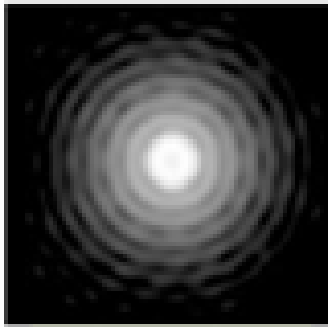


s astigmatismem

- 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 η_0' nebo alespoň těsně v její blízkosti, čímž je potlačeno zklenutí pole. (soustava **anastigmatická**).

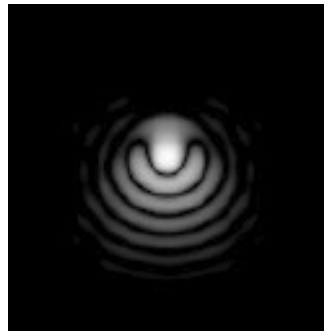
OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

- 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.

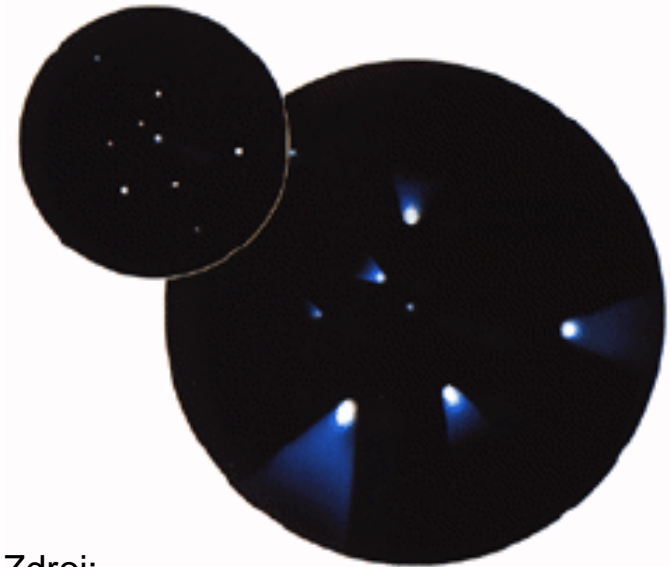


Otvorová vada

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



Koma

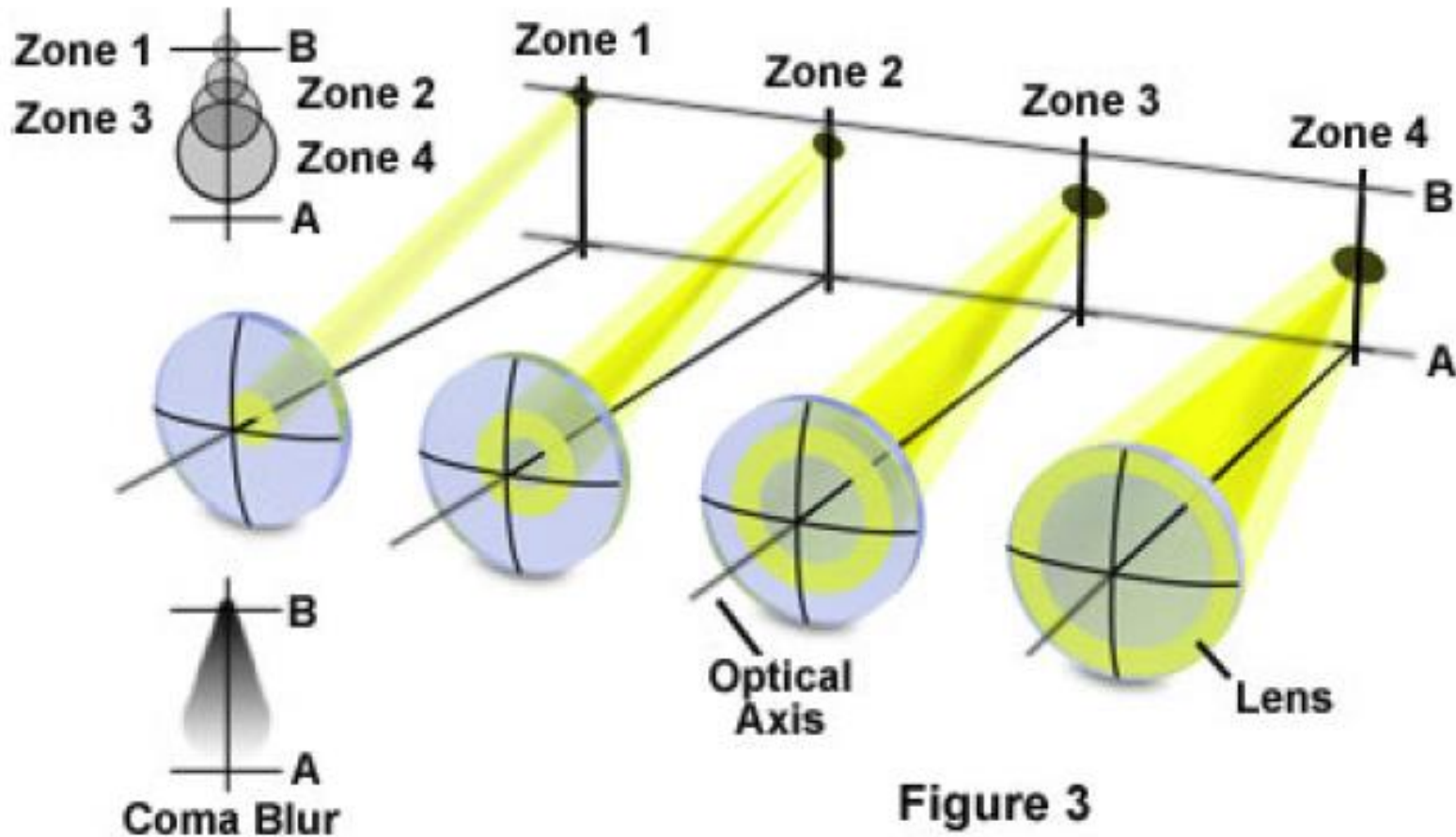


Zdroj:
http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/pr of/Tesar/diplomky/obr_dopl_optika/optika /dalekohledy/poj/coma.gif

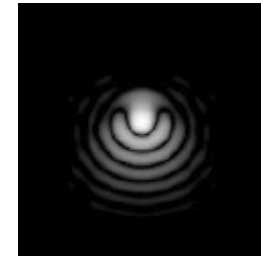
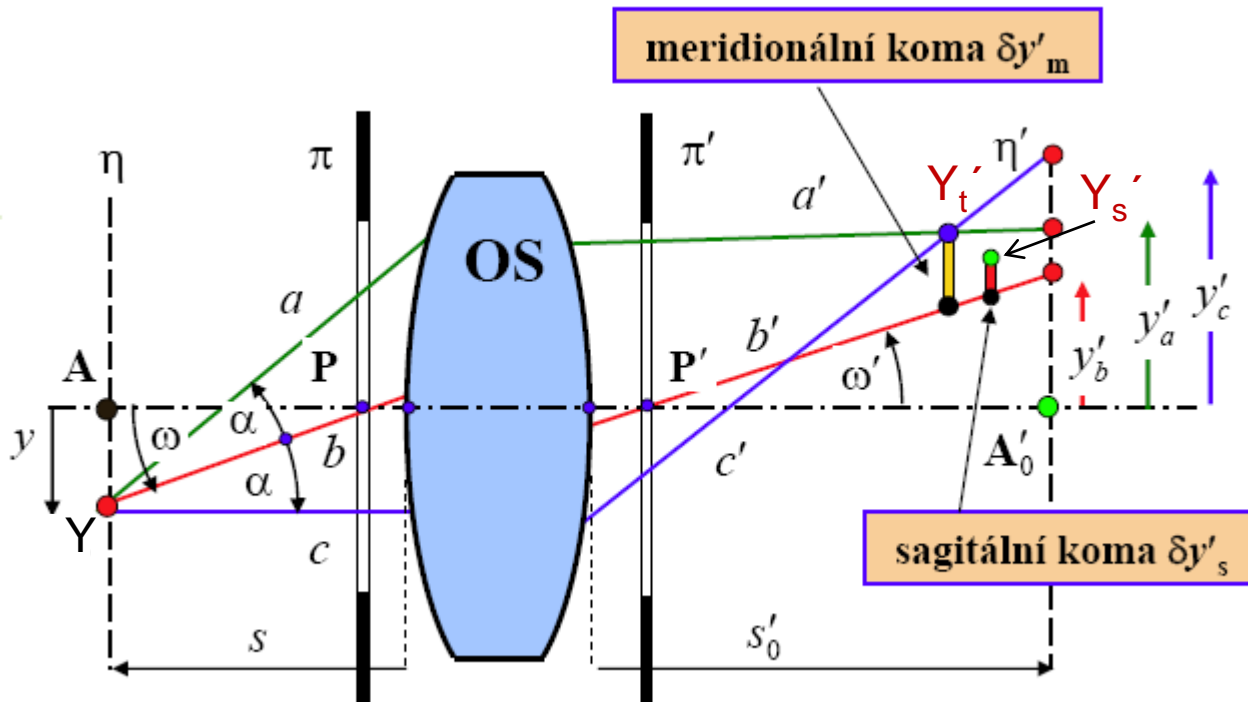
- Komu lze potlačit vhodnou volbou soustavy čoček, která se označuje jako **aplanát**.

OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma

Off-Axis Coma Aberration



OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma



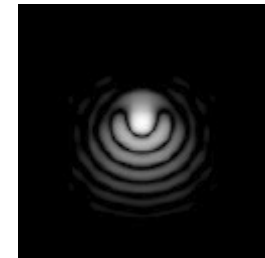
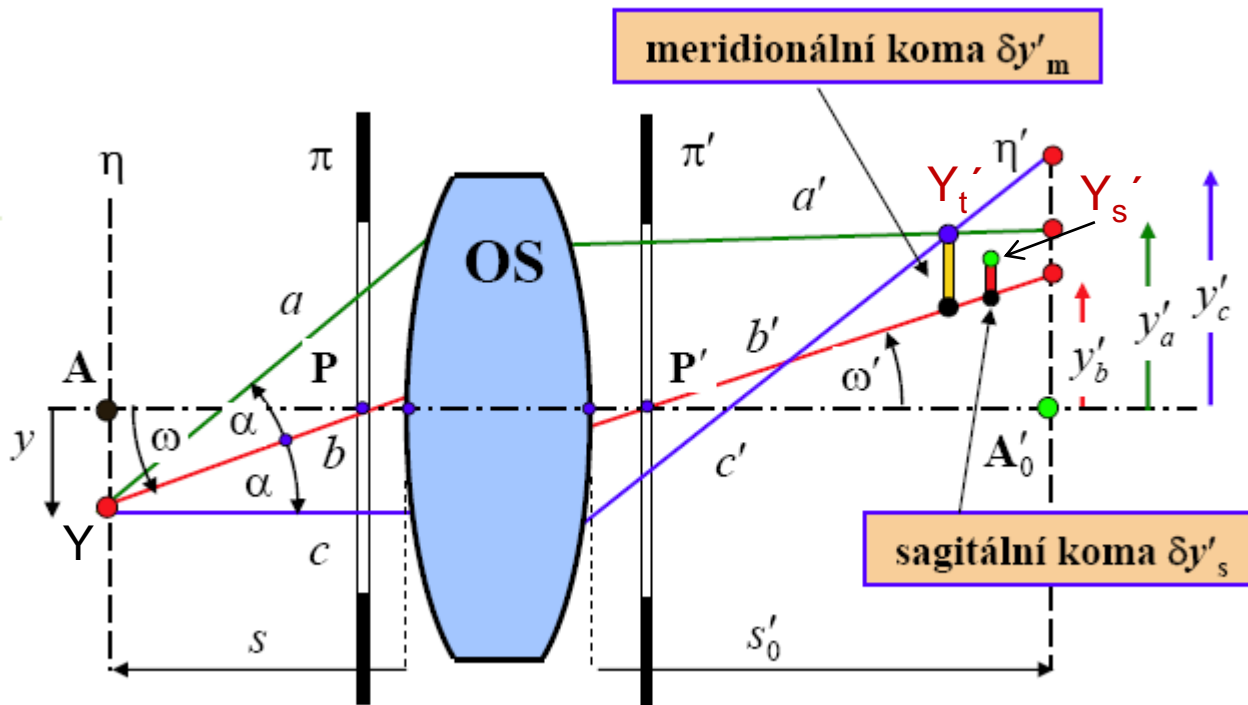
$$\delta y'_m = \frac{y'_a + y'_b}{2} - y'_c$$

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

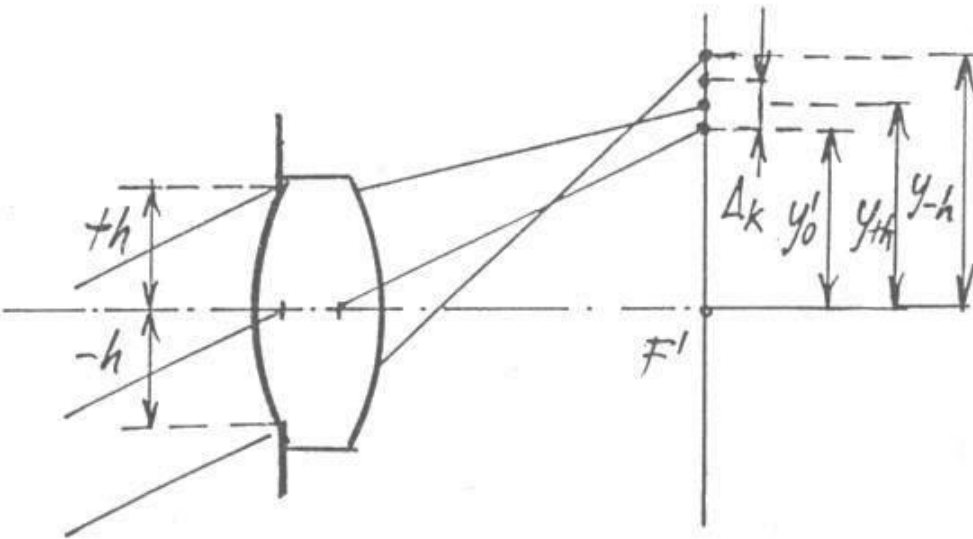


$$\delta y'_m = \frac{y'_a + y'_b}{2} - y'_c$$

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:

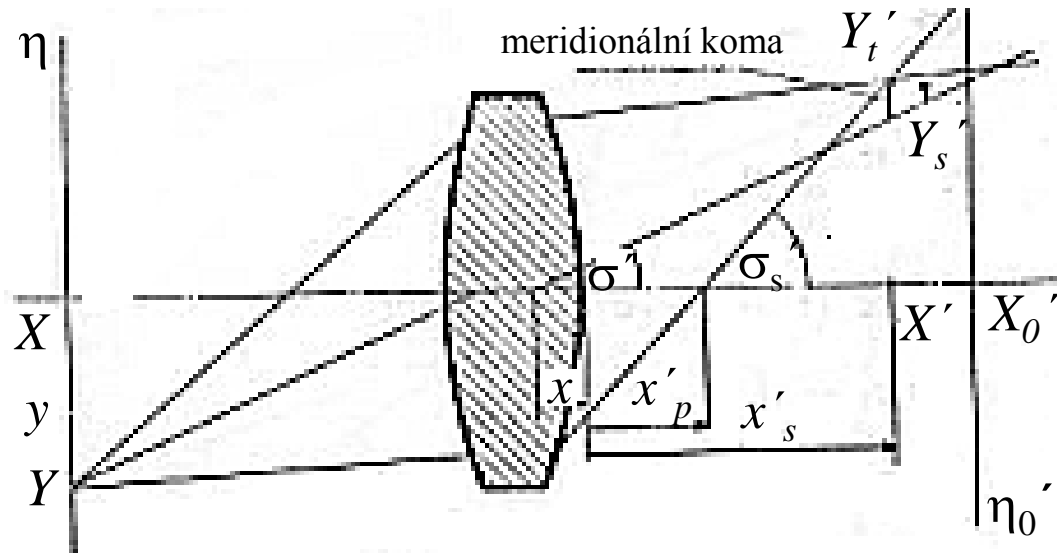
$$\Delta y' = y' - y'_0.$$

- Nesymetričnost rozptylové plošky komy je určena vztahem:

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

a nazývá se **meridiánovou komou**.

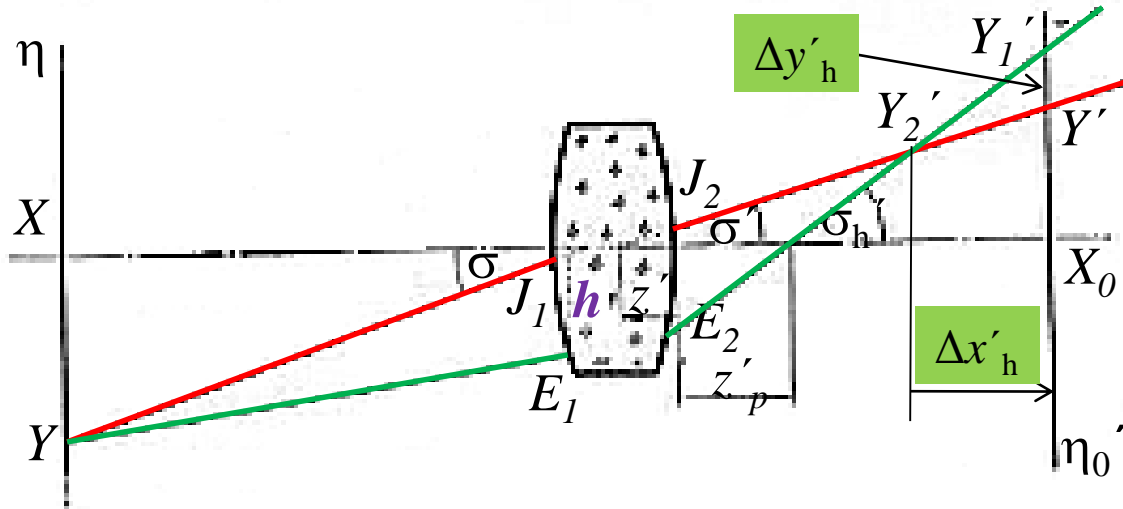
OPTICKÉ VADY ZOBRAZOVACÍCH SOUSTAV – Koma - korekce



- Snažíme se (vhodnou soustavou čoček) dosáhnout toho, aby body Y_t' a Y_s' **padly na hlavní paprsek nebo v jeho blízkosti**, aby **oba splynuly v jeden bod** a aby se tento bod zobrazil do **paraxiální obrazové roviny η_0'** nebo v její blízkosti.

- V převážné většině případů stačí korigovat koma meridionální, čímž je současně korigována i koma sagitální.

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 :

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

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

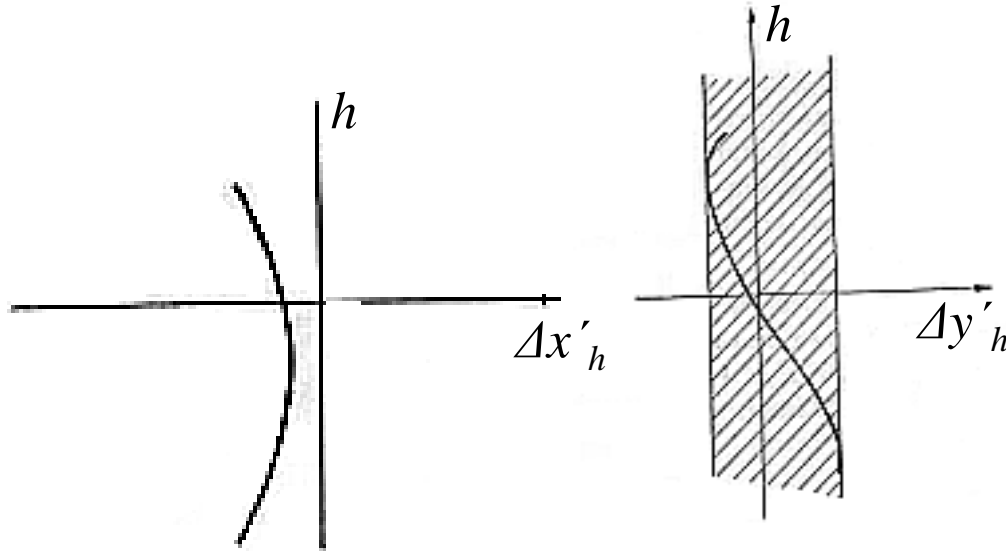
Dále použitím sinové věty:

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

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



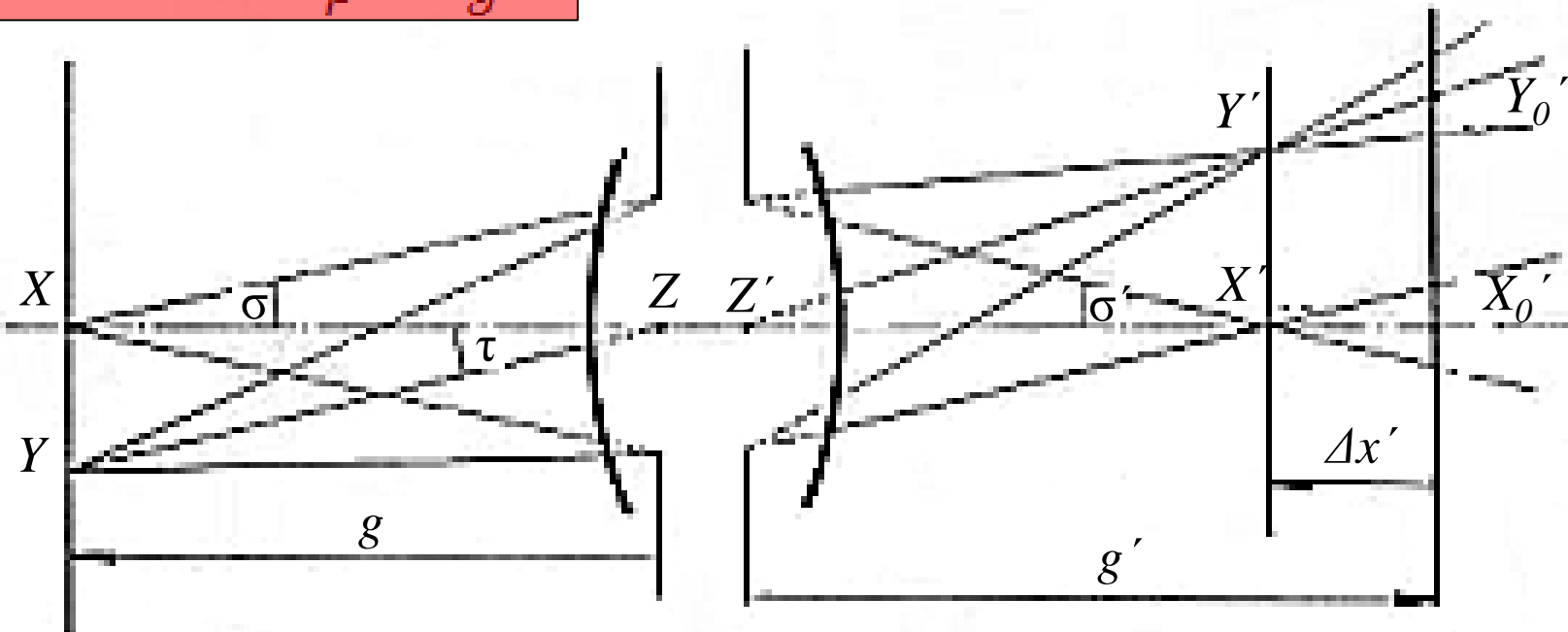
- Grafické znázornění:
- $\Delta x'_h$ a $\Delta y'_h$ znázorňujeme v závislosti na dopadové výšce h jednotlivých paprsků svazku

- 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

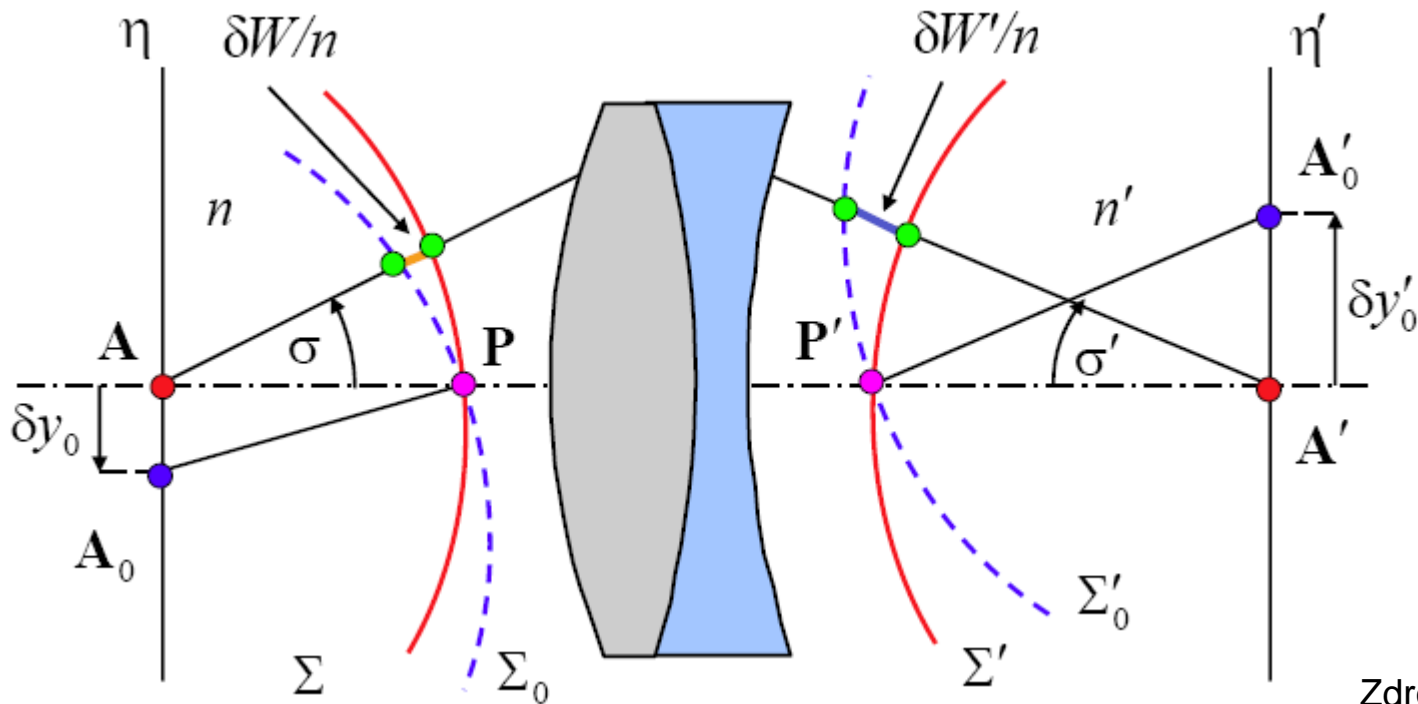
- Koma je v tomto případě korigována, jestliže $\frac{\Delta\beta}{\beta} - \frac{\Delta x'}{g'} = 0$ nebo $\frac{\Delta f'}{f'} - \frac{\Delta x'}{g'} = 0$.
- Tyto vztahy se nazývají **podmínkami izoplanazie**.
-
- V případě $\Delta x' = 0$ nebo $g' \rightarrow \infty$, nabývají předešlé podmínky tvaru:
$$\frac{n \sin \sigma}{n' \sin \sigma'} = \beta \text{ nebo } \frac{nh}{n' \sin \sigma'} = f'.$$
- 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

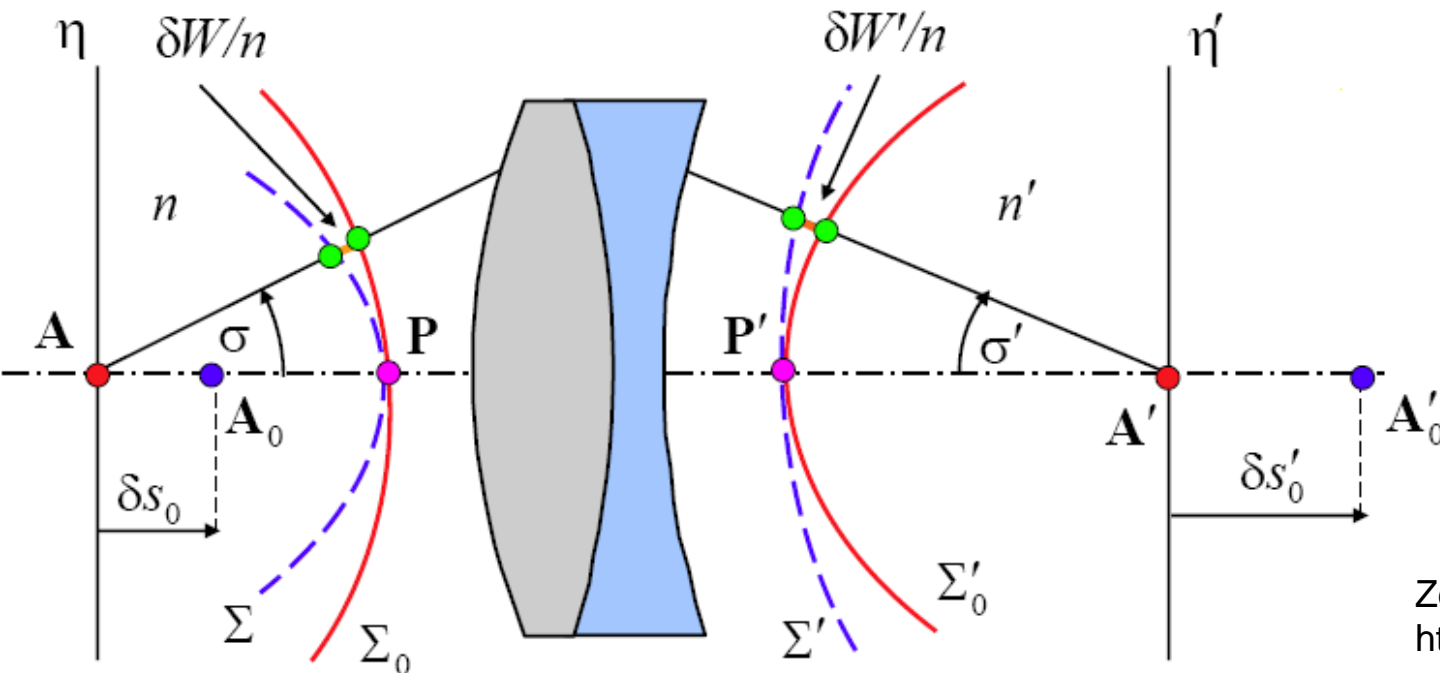


Zdroj:
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/>

- 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.

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

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