

OPT/AO

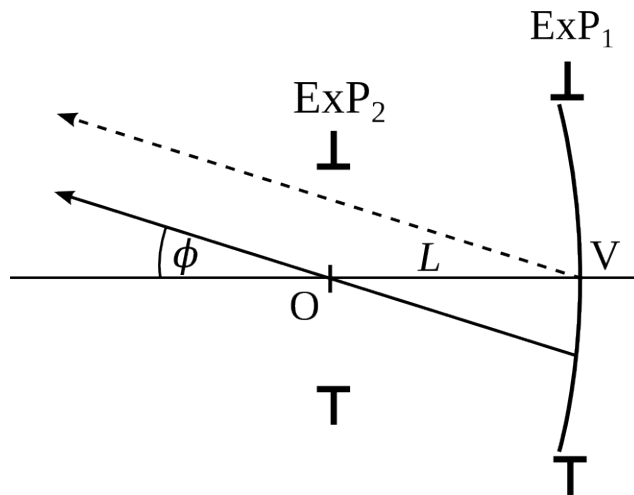
L06

Vícezrcadlové teleskopy

motivace: dosáhnout současné korekce sférické aberace, komy a astigmatismu a výrazně tak zvětšit zorné pole teleskopu

přesun clony v systému (stop-shift relations)

přesun clony obecně mění aberace



přesun clony \rightarrow posun hlavního paprsku vůči původní pupile

$$W_2(x, y) = W_1(x - L\phi, y)$$

např. astigmatismus

$$x^2\phi^2 \rightarrow (x - L\phi)^2\phi^2 = \underbrace{x^2\phi^2}_{\text{astigmatismus}} - \underbrace{2Lx\phi^3}_{\text{zkreslení}} + \dots$$

aberace vyšších řádů generují aberace nižších řádů (v x):

sférická aberace \rightarrow koma \rightarrow astigmatismus, zklenutí \rightarrow zkreslení

$$a_{s2} = a_{s1}$$

$$a_{c2} = a_{c1} - 4La_{s1}$$

$$a_{a2} = a_{a1} - 2La_{c1} + 4L^2a_{s1}$$

$$a_{r2} = a_{r1} - La_{c1} + 2L^2a_{s1}$$

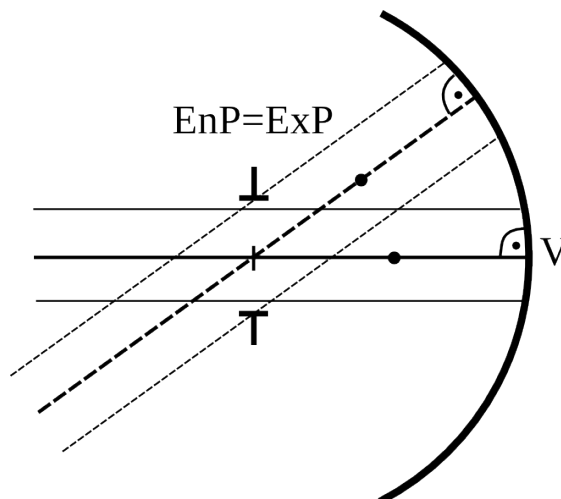
$$a_{d2} = a_{d1} - 2L(a_{a1} + a_{r1}) + 3L^2a_{c1} - 4L^3a_{s1}$$

Ize zobecnit na konečně vzdálený předmět

závěry z předchozí analýzy

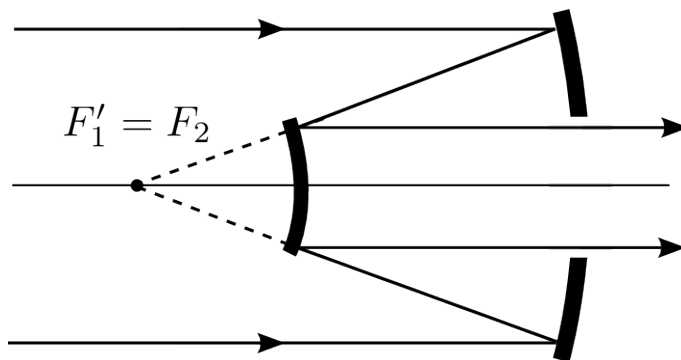
- změna asféricity zrcadla, na němž je clona, nemá vliv na mimoosové aberace
- přesun clony v systému nemá vliv na sférickou aberaci
- pokud systém nemá sférickou aberaci, přesun clony nemá vliv na komu
- pokud systém nemá ani sférickou aberaci ani komu, přesun clony nemá vliv na astigmatismus
- tj. pokud systém nemá ani sférickou aberaci ani komu ani astigmatismus, bude toto splněno pro libovolnou polohu clony

speciální případ: clona ve středu křivosti zrcadla



- všechny hlavní paprsky dopadají kolmo
- systém nemá preferovanou osu
- systém nemá komu ani astigmatismus
- zůstává sférická aberace sférického zrcadla, $K = 0$, a zklenutí

afokální Cassegrain



speciální případ Cassegrainu

$$|f_2| = |f_1| - d, \quad m \rightarrow \infty$$

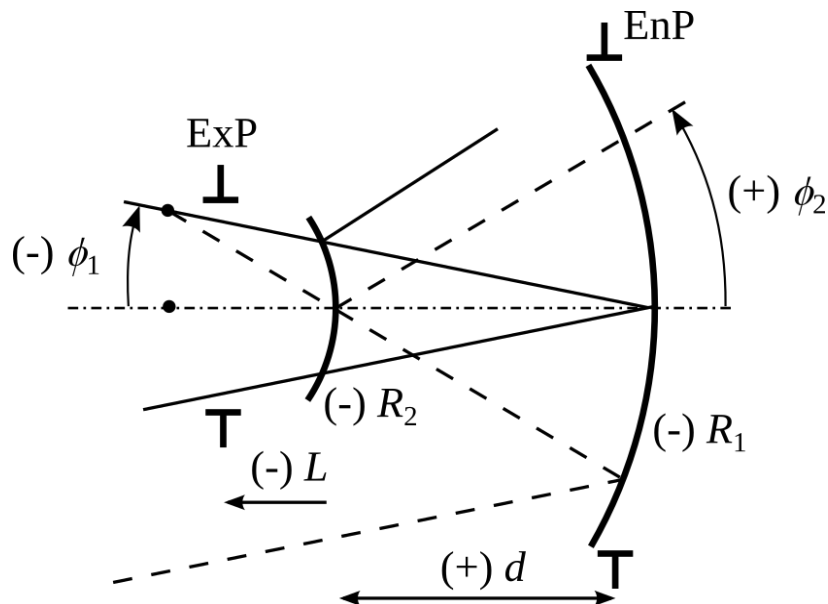
- lze použít jako stavební prvek vícezrcadlových teleskopů
- funguje jako reducer svazku

osové aberace

parabolická zrcadla $K_1 = -1$ & $K_2 = -1$

$$a_s = 0$$

mimoosové aberace



stop-shift relace

- A_{c2} nezávisí na poloze clony, protože $A_{s2} = 0$
- A_{a2} je ovlivněn polohou clony

z obrázku

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{d}, \quad \phi_2 = -\phi_1 \frac{f_1}{f_1 - d}, \quad f_2 = d - f_1$$

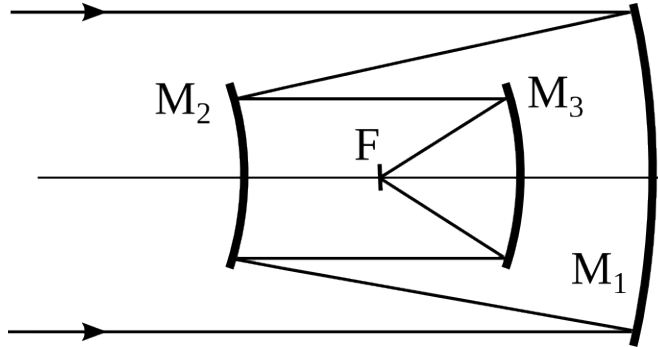
vede na

$$A_c = A_{c1} + A_{c2} = 0, \quad A_a = A_{a1} + A_{a2} = 0$$

afokální Cassegrain je anastigmát

třízrcadlové teleskopy

Paul-Baker



návrh systému

1. výchozí afokální Cassegrain s $K_1 = K_2 = -1$ je anastigmát
2. přemístění clony na M_2 nezmění aberace
3. terciální zrcadlo M_3 je sférické, střed křivosti je na M_2
4. korekce sférické aberace terciálního zrcadla je provedena změnou asféricity sekundárního zrcadla $K_2 = 0$ – tento krok nezmění komu a astigmatismus

výsledný systém

- $K_1 = -1, K_2 = 0, K_3 = 0$
- $R_2 = R_3$
- $f = f_1$
- eliminace sférické aberace, komy a astigmatismu
- zorné pole $\approx 1^\circ$

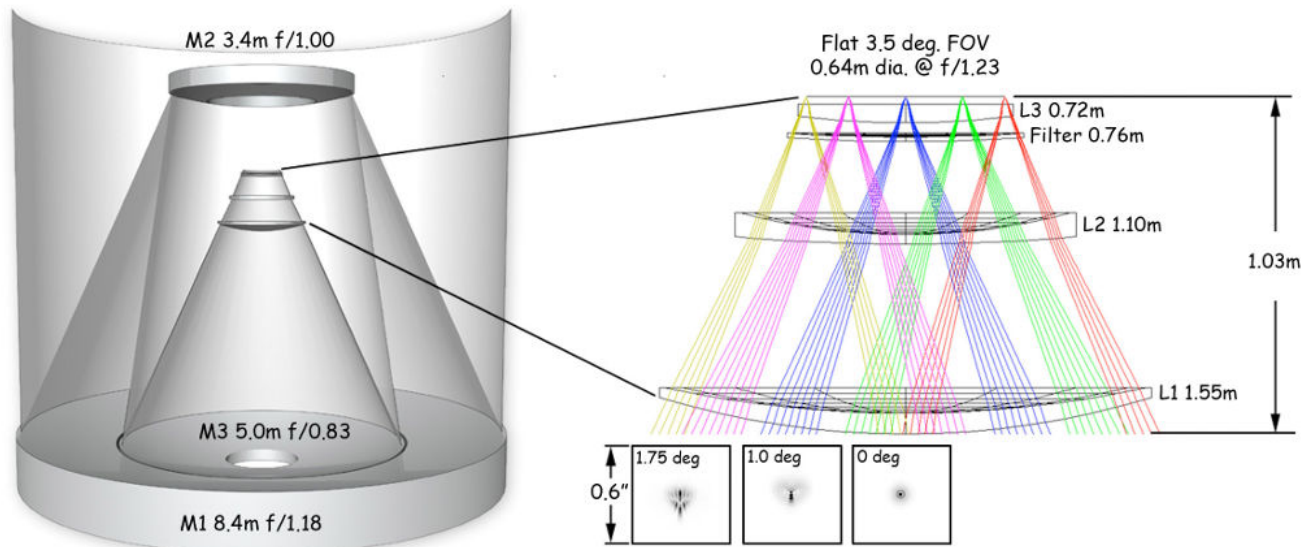
obecně $f = f_1 \frac{R_3}{R_2}$ s odpovídající volbou K_2

varianty:

- ploché pole: vede na asférické M_2
- Korsch: posun ohniskové roviny ven pro získání prostoru pro instrumenty
- dvouosý Korsch: snadnější stínění obrazového pole
- doplnění o korektory pole – korekce vyšších řádů aberací

příklady třízrcadlových teleskopů:

Large Synoptic Survey Telescope



- $D_1 = 8,4\text{ m}$, $D_2 = 3,4\text{ m}$!, $D_3 = 5,2\text{ m}$, korektor s největší vyrobenou čočkou na světě
- zorné pole $3,5^\circ$
- detektor 3,2G pixelů, expozice 15s, mezní magnituda $24,5^m$
- celá obloha nasnímána během několika dní
- více než 5mil. snímků za 10 let, 15 TB dat/noc

James Webb Space Telescope

- $D_1 = 6,5\text{ m}$ segmentované

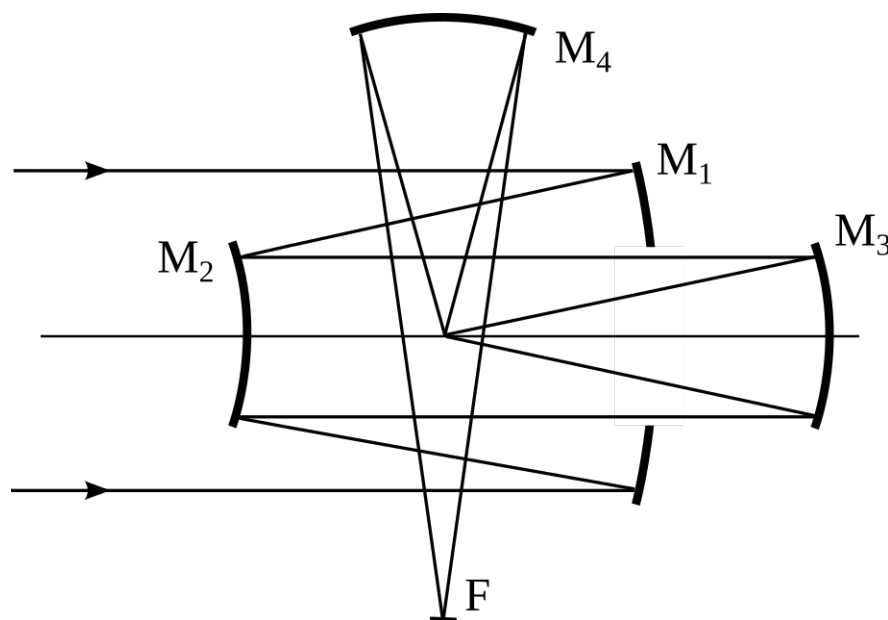
Gaia (ESA, astrometrie)

- $1,45\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ obdélníkové

Čtyřzrcadlové teleskopy

anastigmát se sférickým primárním zrcadlem – zjednodušuje výrobu velkého (segmentovaného) M_1

Paul-Schmidt



- afokální Cassegrain $K_1 = 0$, $K_2 = -1$, clona na M_1
- sférické M_3 zobrazuje výstupní pupilu $M_1 + M_2$ na M_4 (pupila ve středu křivosti M_3)
- M_4 koriguje sférickou aberaci M_1
- pouze dvouosé návrhy, jinak M_2 brání zobrazení pupily na sebe