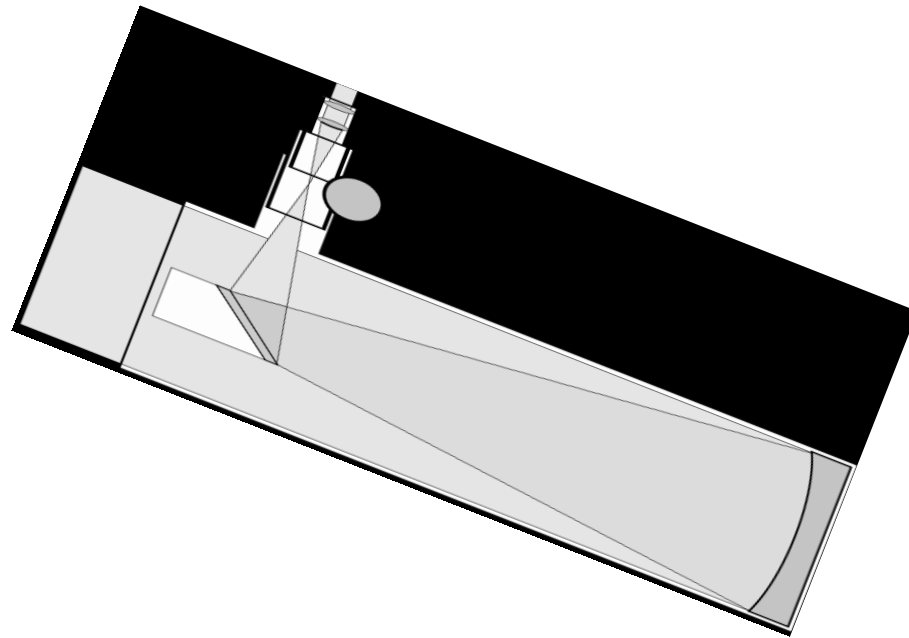
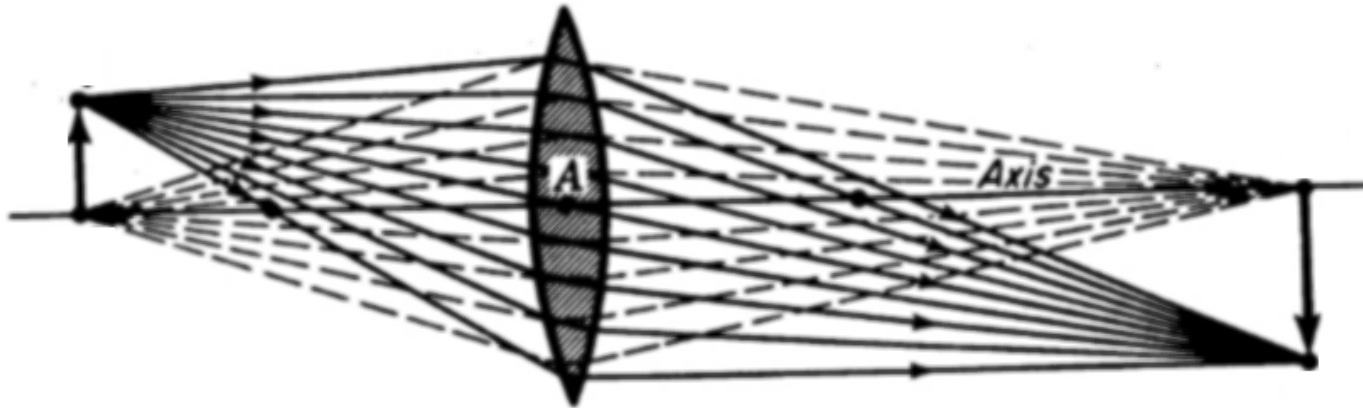


Reflektory

Zrcadlové teleskopy



Ideální optická soustava



BOD-BOD ,
stigmatické,

PŘÍMKA-PŘÍMKA, ROVINA-ROVINA

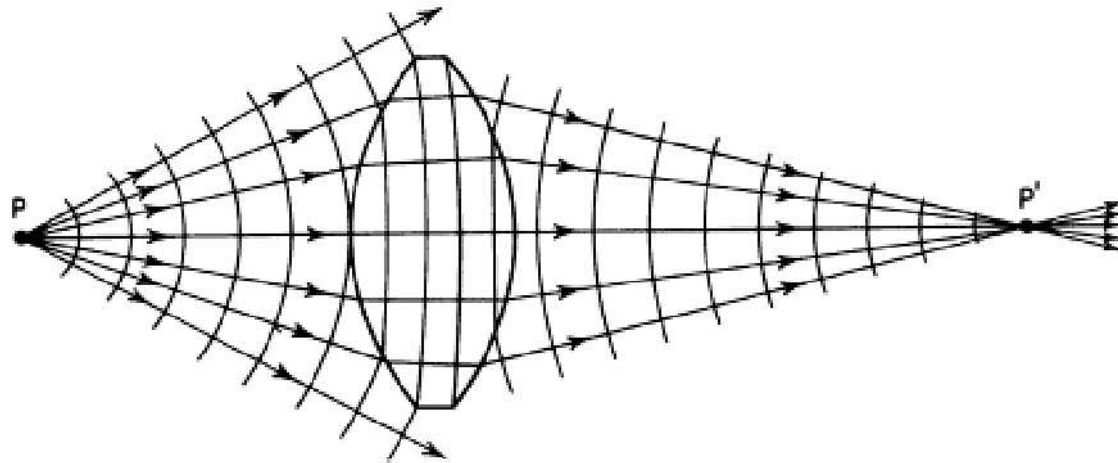
kolineární zobrazení

V praxi ideální OS neexistuje, ideální zobrazení zajišťuje jen dokonale rovinné zrcadlo. Stigmatické zobrazení jen v případě použití tzv. **Cartesiovy plochy**.

Nikdy nelze obejít difrakci (bod = ploška).

Ideální zobrazení bodu.

V případě ideálního zobrazení bodu (geometricky) musí být homocentrický rozbíhavý svazek paprsků vycházející z bodového zdroje transformován optickou plochou do sbíhavého opět homocentrického svazku paprsků.

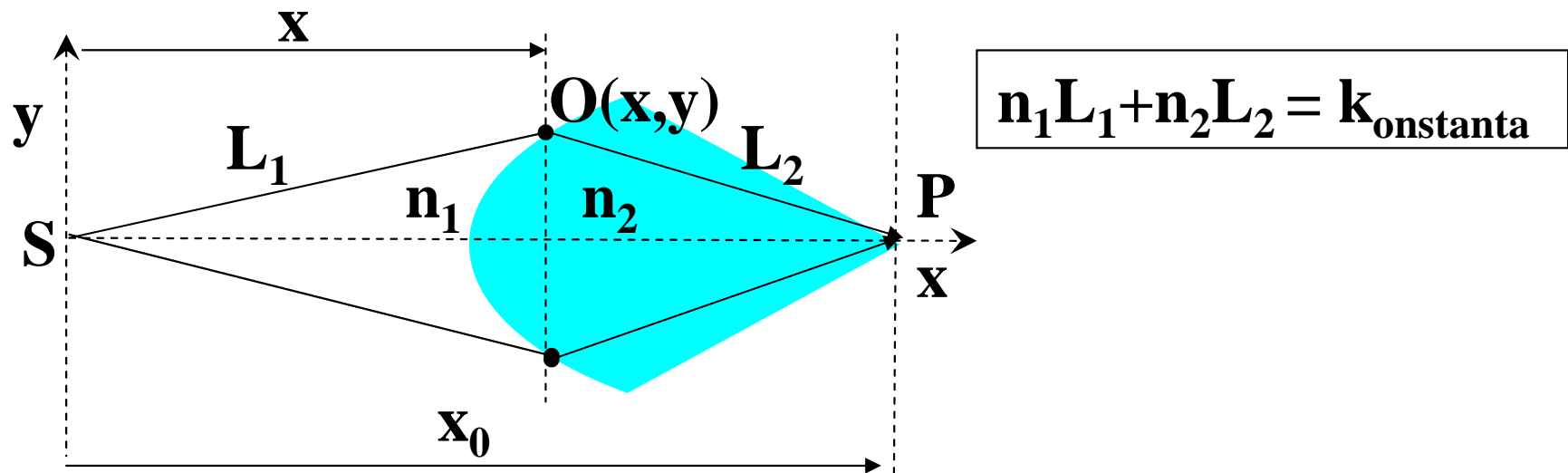


Věta o stálosti optických drah (Fermatův princip) : „Optická dráha mezi dvěma pevnými vlnoplochami je pro všechny paprsky k nim příslušného paprskového svazku stejná – konstantní“.

Zobrazení bodu na optické ose jednou optickou plochou.

Nejjednodušší předmět je bod a nejjednodušší „optická soustava“ je jedna optická plocha.

Existuje plocha, která zajistí ideální (stigmatické) zobrazení?



$$L_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$L_2 = \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2}$$

Rovnice plochy: rovnice 4. řádu = Cartesiův ovál

$$n_1 \sqrt{x^2 + y^2} + n_2 \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2} = k$$

Cartesiův ovál - cartesiovy plochy

$$n_1 \sqrt{x^2 + y^2} + n_2 \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2} = k$$

Poledník plochy, která zobrazuje bod na optické ose stigmaticky znovu na bod je **křivka 4. stupně** a odpovídající plocha je rotační plocha také 4. stupně.

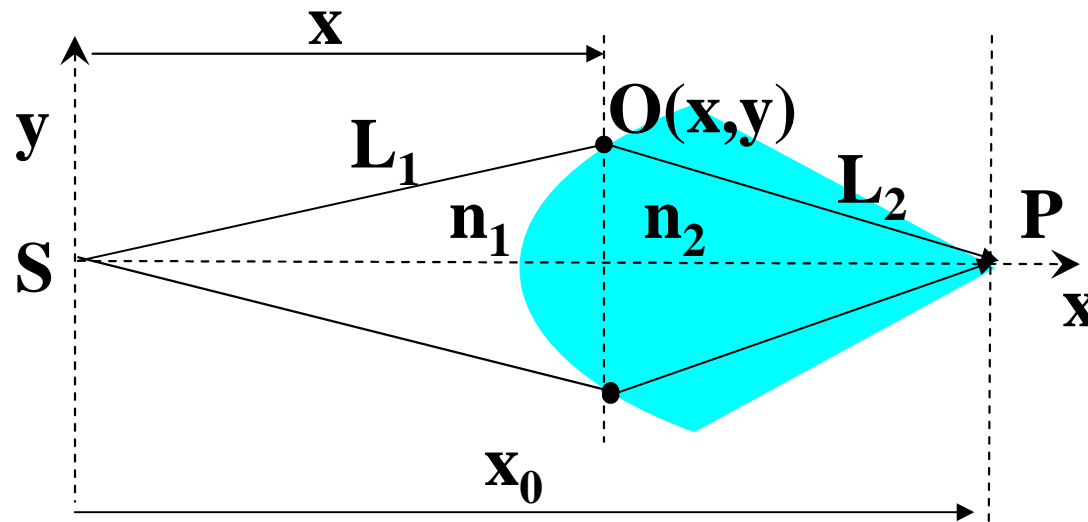
Jako první na tyto plochy upozornil Descartes a proto se jim někdy říká Descartesovy plochy (ovály).

Jedině tento typ plochy je schopen zajistit stigmatické zobrazení reálný obraz bodu ***v konečné vzdálenosti*** od této plochy ! Není prakticky používána (vyjímkou je např. přímá fokusace záření od laserové diody).

Realizace plochy předpokládá odpovídající drahou technologii.

Cartesiův ovál - cartesiovy plochy

$$n_1 \sqrt{x^2 + y^2} + n_2 \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2} = k$$



$$n_2 \sqrt{x^2 + y^2} - 2x_0 x + x_0^2 = k - n_1 \sqrt{x^2 + y^2}$$

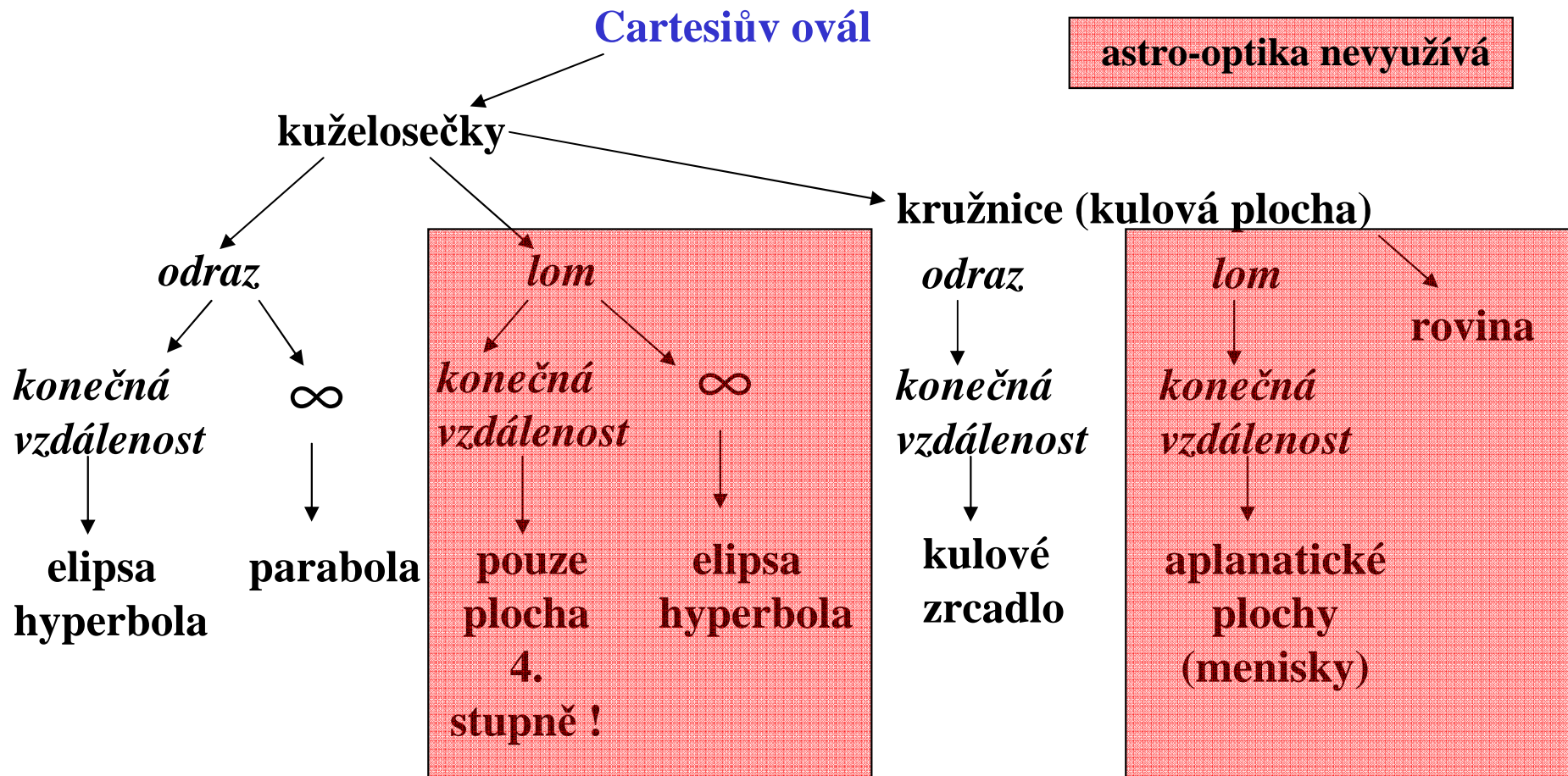
Po dvojitým umocnění :

$$4n_1^2 k^2 (x^2 + y^2) = \left[k^2 - n_2^2 (x_0^2 - 2x_0 x) + (n_1^2 - n_2^2) (x^2 + y^2) \right]^2$$

Cartesiův ovál - cartesiovy plochy

$$4n_1^2 k^2 (x^2 + y^2) = \left[k^2 - n_2^2 (x_0^2 - 2x_0 x) + (n_1^2 - n_2^2)(x^2 + y^2) \right]^2$$

Za určitých předpokladů „degeneruje“ rovnice (křivka) **4. stupně** na rovnici (křivku) **2. stupně** - kuželosečku (případně v limitě na kružnici a rovinu).



Kuželosečky – odraz – **konečná** vzdálenost

předmětový bod leží v *konečné* vzdálenosti od zrcadla ($n_2^2 = n_1^2$)

$$4n_1^2 k^2 (x^2 + y^2) = \left[k^2 - n_2^2 (x_0^2 - 2x_0 x) + (n_1^2 - n_2^2)(x^2 + y^2) \right]^2$$

umocnění a úprava:

$$4(k^2 - x_0^2)x^2 + 4k^2 y^2 - 4x_0(k^2 - x_0^2)x - (k^2 - x_0^2)^2 = 0$$

Typ kuželosečky určuje znaménko u x^2

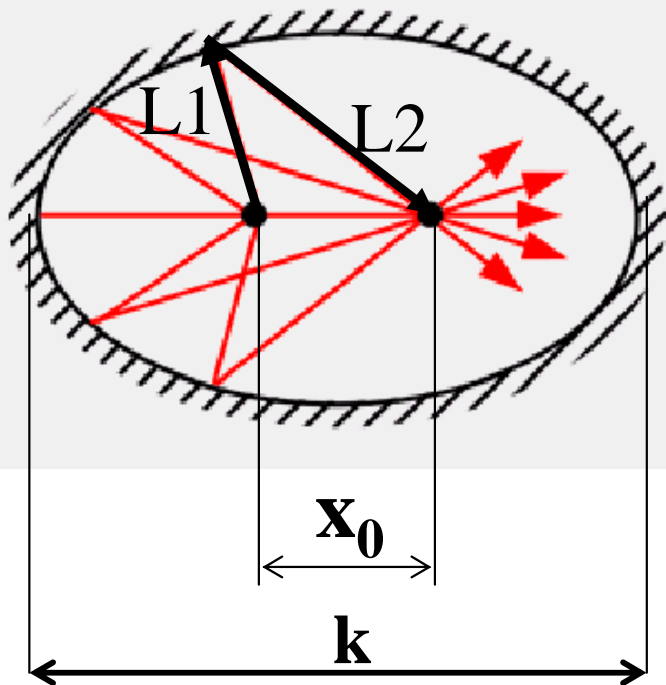
$$(k^2 - x_0^2)$$

2 řešení

1, Kuželosečka - eliptické zrcadlo

$$(k^2 - x_0^2) > 0 \quad +Ax^2 + By^2 + Cx + D = 0$$

$$k = n_1 L_1 + n_2 L_2$$



Duté zrcadlo
(spojná očka)
reálný obraz

geometrická ohniska
X
optická ohniska

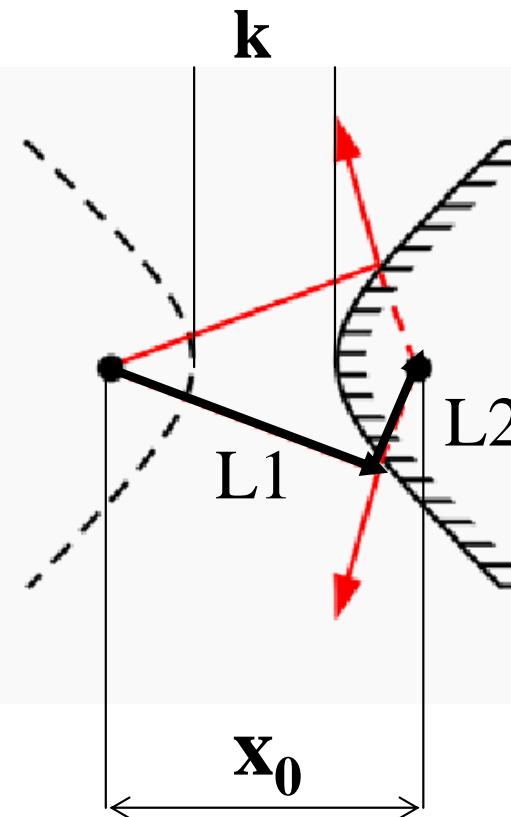
2, Kuželosečka - hyperbolické zrcadlo

$$(k^2 - x_0^2) < 0$$

$$-Ax^2 + By^2 + Cx + D = 0$$

*Pozor na
znaménka !*

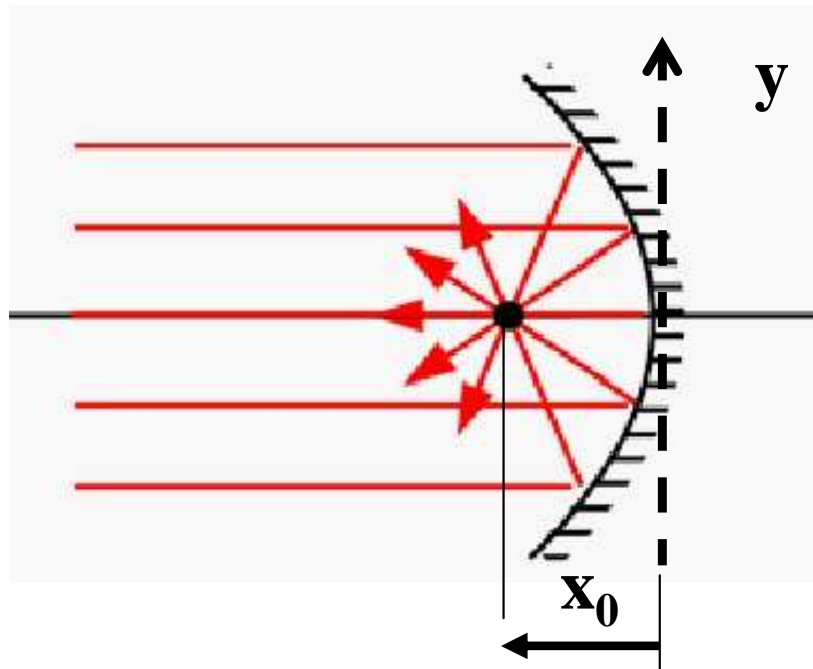
Vypuklé zrcadlo
(rozptylka)
zdánlivý obraz



Kuželosečky – odraz – nekonečno

Předpokládejme že předmět leží *v nekonečnu*

Zachovejme předpoklad $n_2^2 = n_1^2 = 1$ (odraz ve vzduchu)



$$y^2 = 4x_0x$$

$$x_0 = f'$$

**parabolické
zrcadlo**

Kuželosečky - limitní příklad kulové plochy - odraz

Zachovejme předpoklad $\mathbf{n}_2^2 = \mathbf{n}_1^2 = \mathbf{1}$ (odraz ve vzduchu)
kuželosečka :

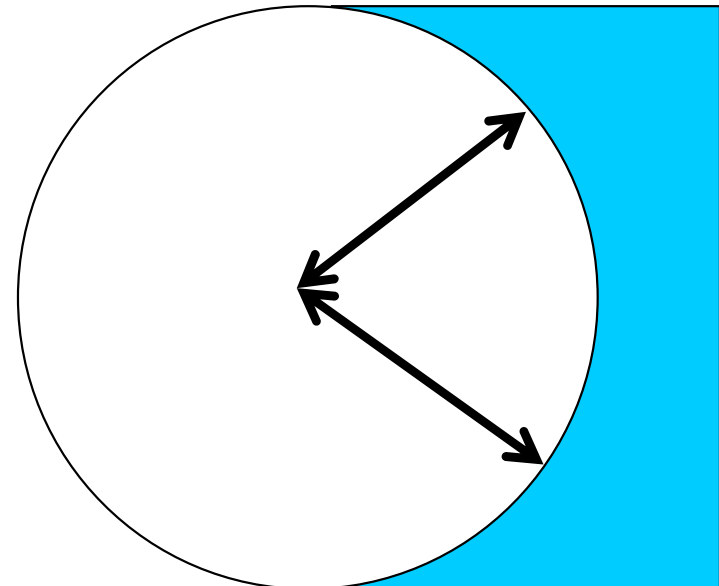
$$4(k^2 - x_0^2)x^2 + 4k^2y^2 - 4x_0(k^2 - x_0^2)x - (k^2 - x_0^2)^2 = 0$$

Za předpokladu že $\mathbf{x}_0 = \mathbf{0}$:

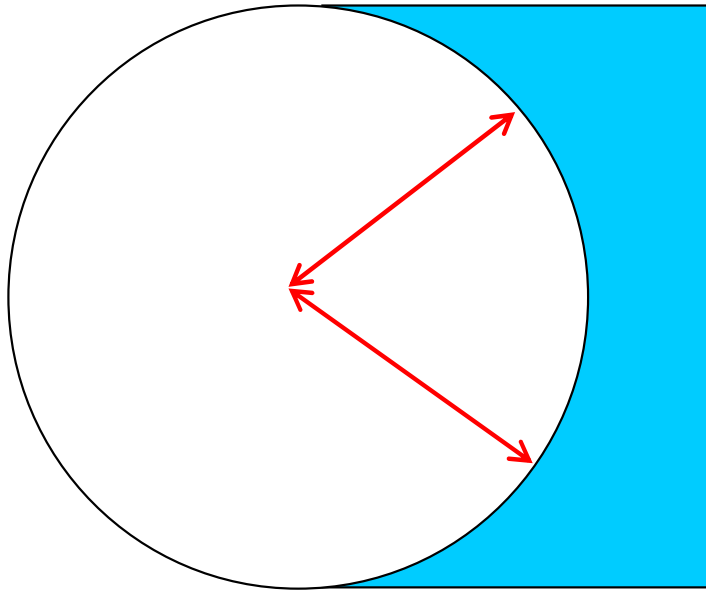
$$x^2 + y^2 = k^2 / 4$$

rovnice kružnice

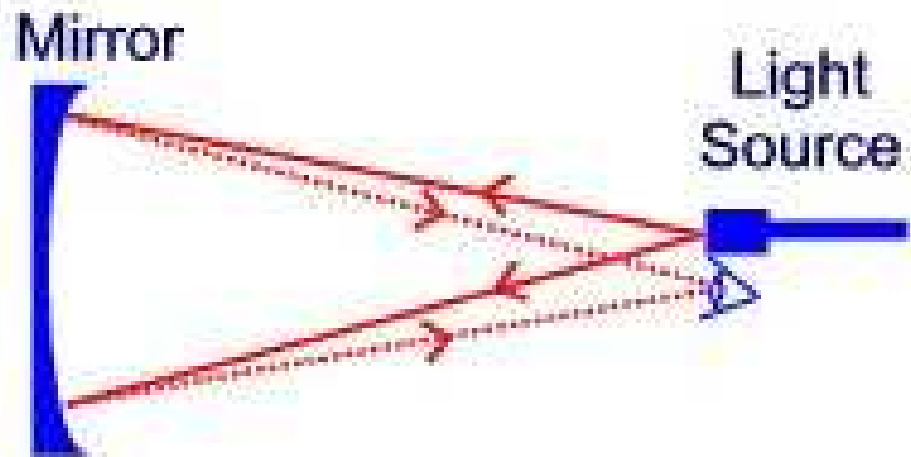
Kulová plocha je limitním případem kuželosečky za předpokladu že geometrická vzdálenost předmět-obraz \mathbf{x}_0 je nulová. Bod je zobrazen stigmaticky kulovým zrcadle sám na sebe (jediný případ bez aberací) - využito pro testování tvaru zrcadel.



Kuželosečky - limitní příklad kulové plochy - odraz

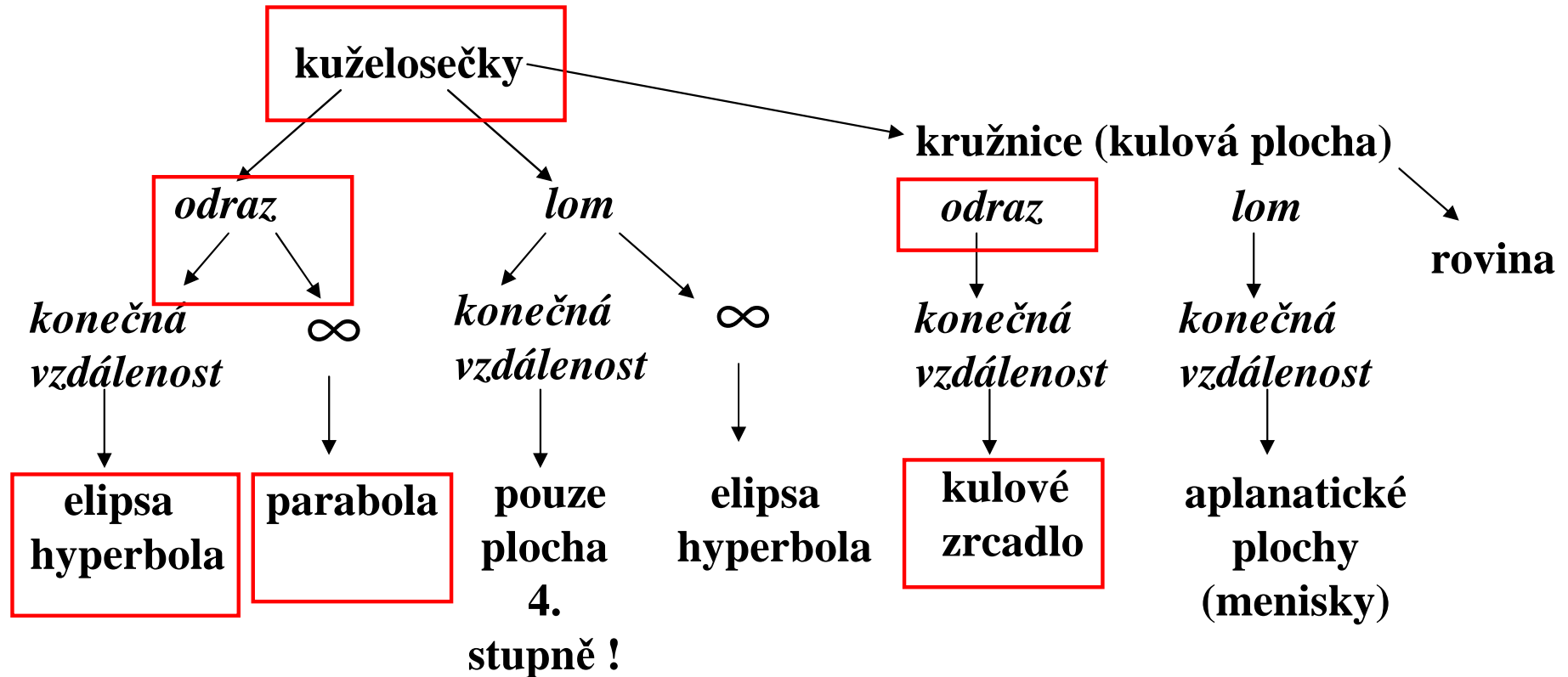


Spherical Mirror Test



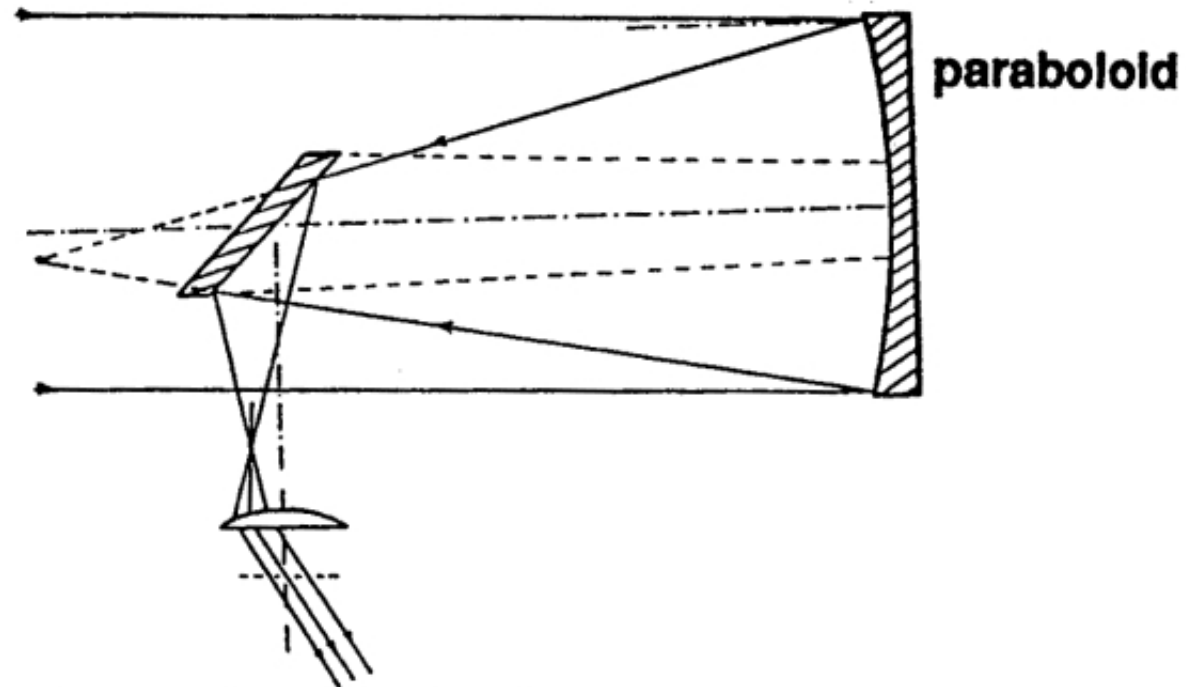
Využití v zrcadlových teleskopech

Stigmatické zobrazení bodu na optické ose = nulová otvorová vada !



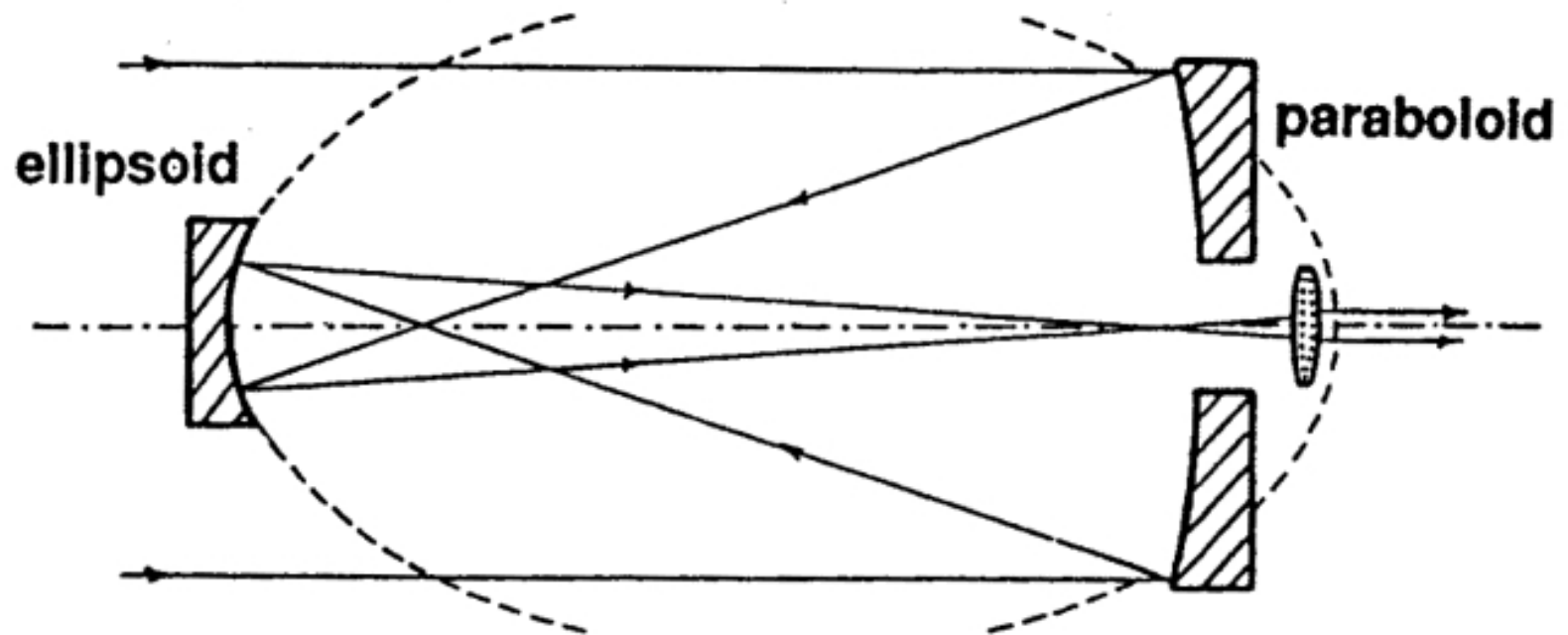
Zrcadlové plochy ve tvaru kuželoseček je výhodné použít při konstrukci zrcadlových teleskopů.

Newtonův teleskop



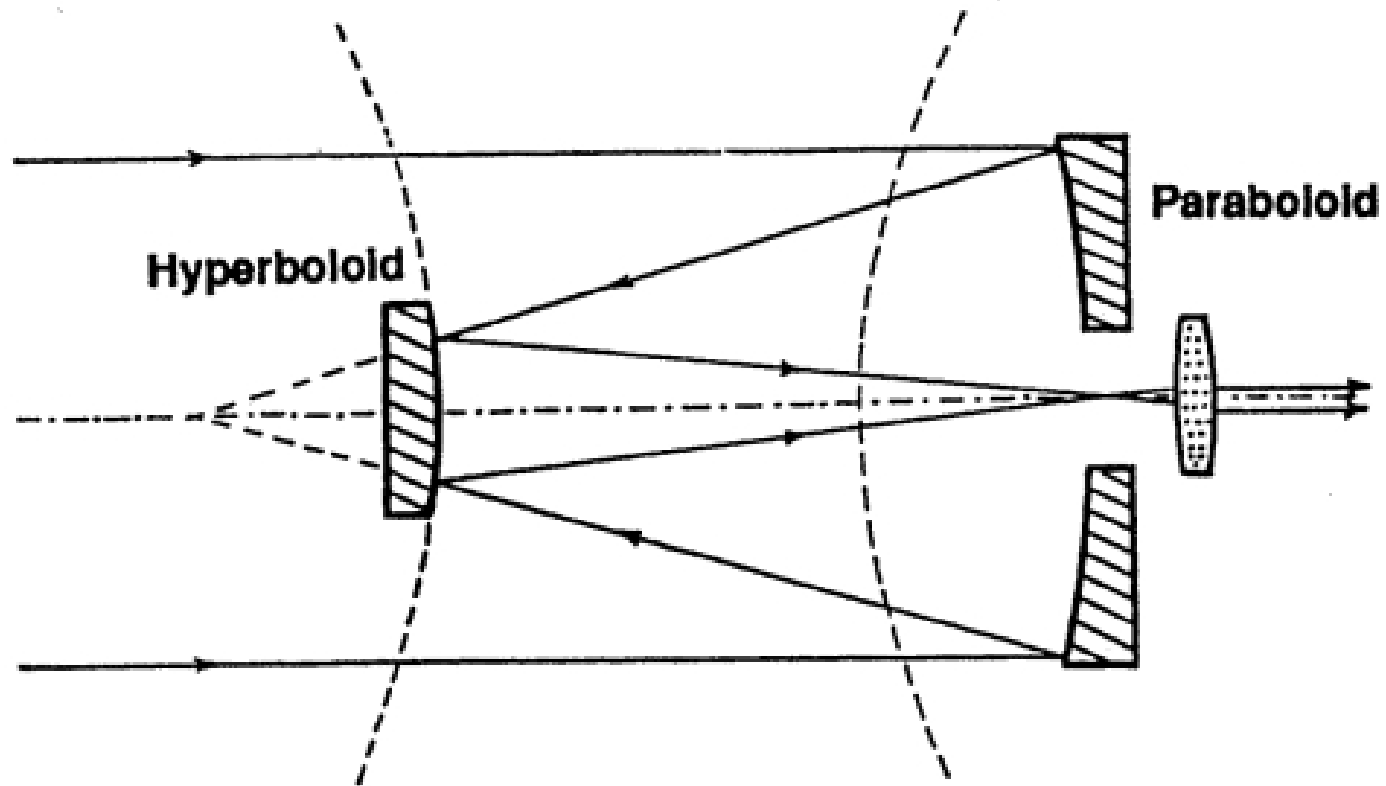
The Newtonian Reflecting Telescope (1668)

Gregory teleskop



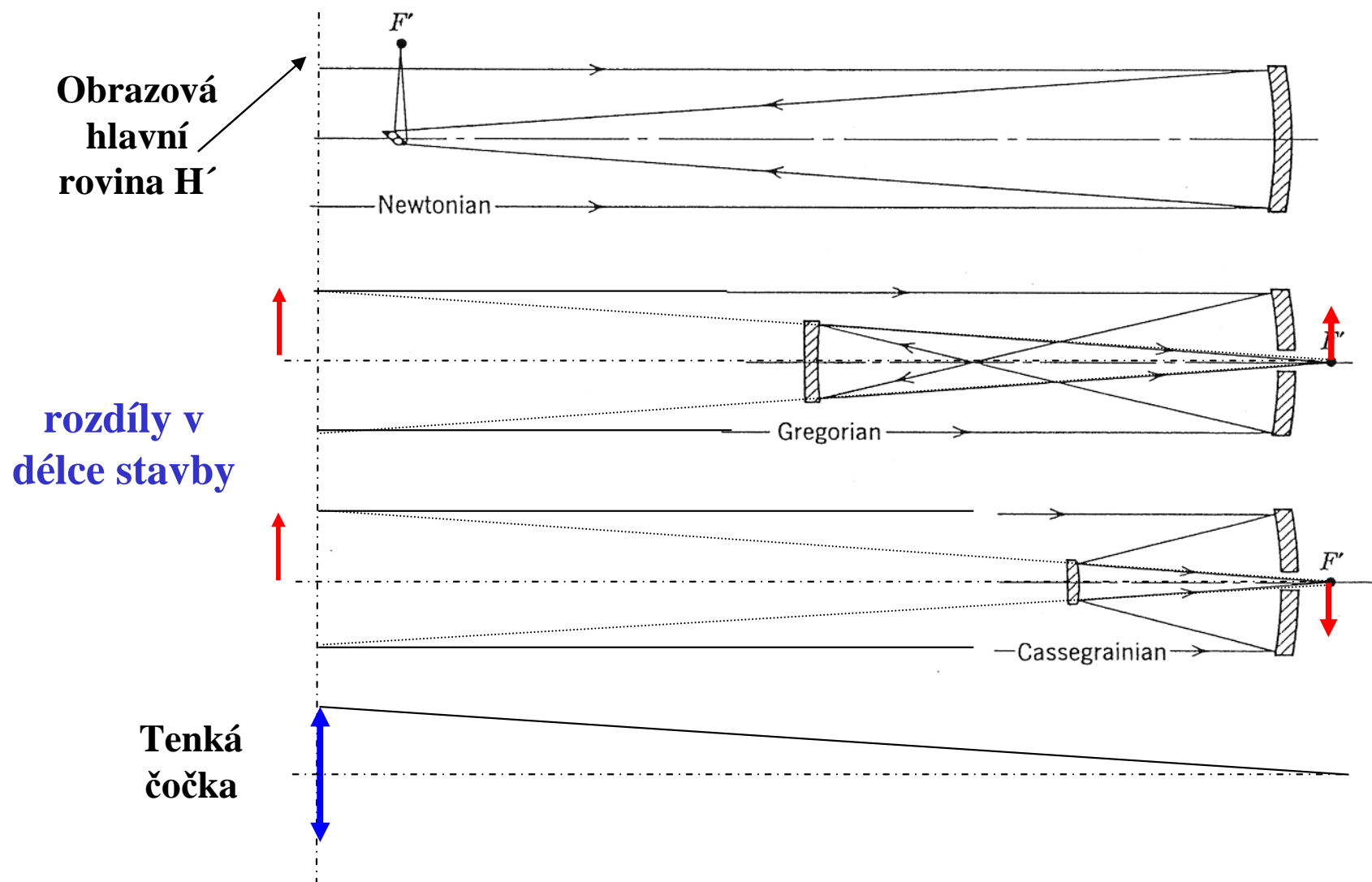
The Gregorian Reflector (1663)

Cassegrain teleskop



The Cassegrain Reflecting Telescope 1672

Základní historické stavby zrcadlových teleskopů



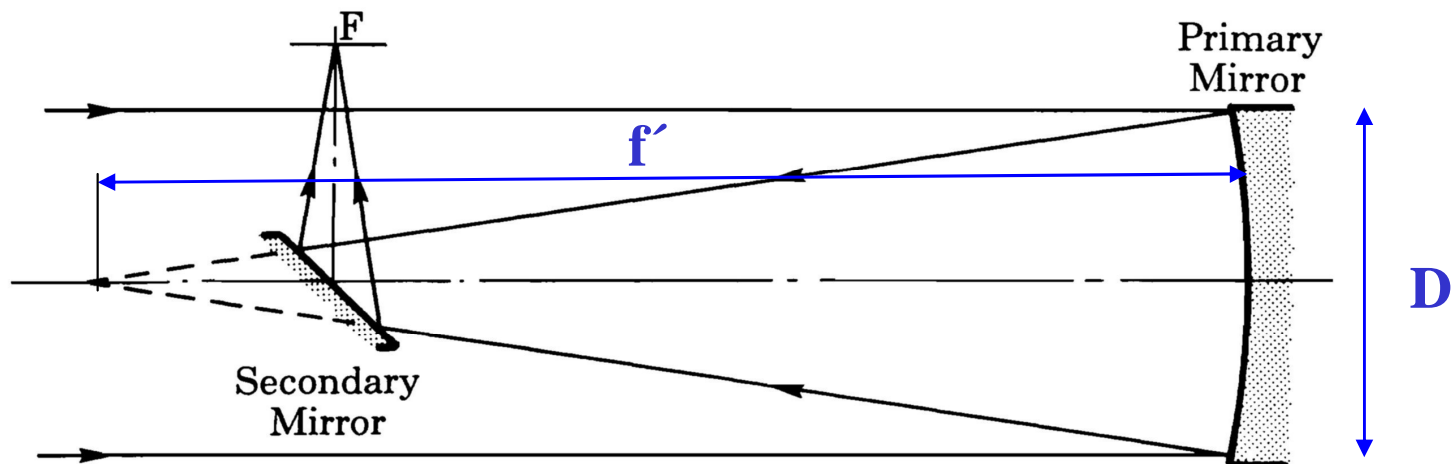
stejná ohnisková vzdálenost a průměr primárního zrcadla – clonové číslo

Zrcadlové teleskopy

Jedno zrcadlo

Newton  **kulové**

Newton příklady



$D = 200\text{mm}$
 $f/4$



$D = 200\text{mm}$
 $f/8$

Newton $f' = 800\text{mm}$ $D = 200\text{mm}$, $f/4$

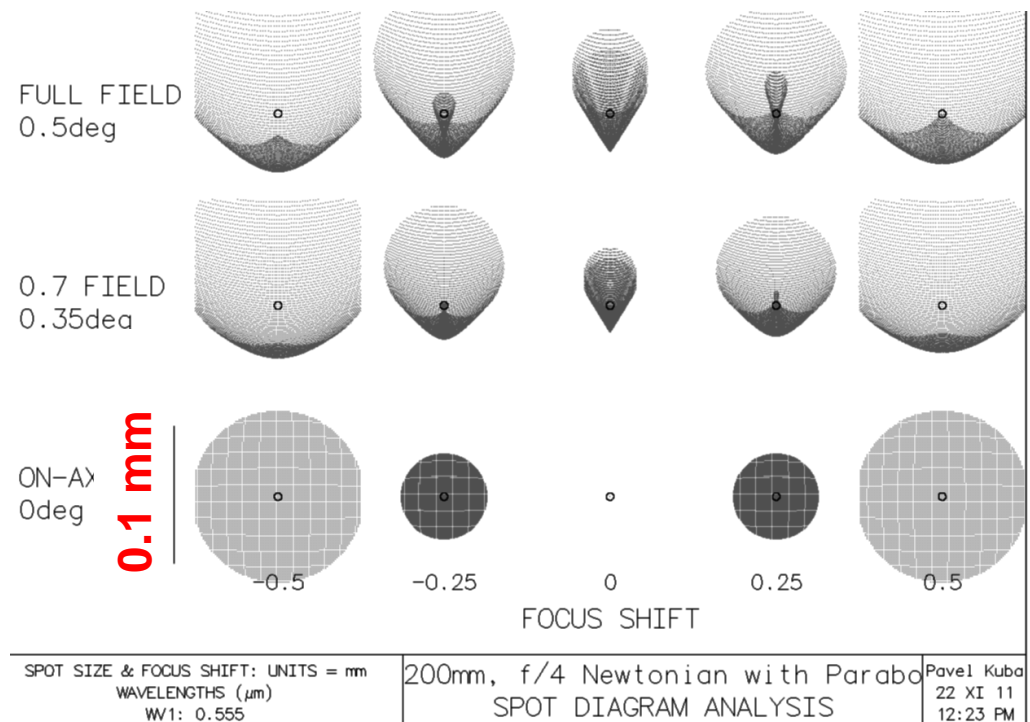
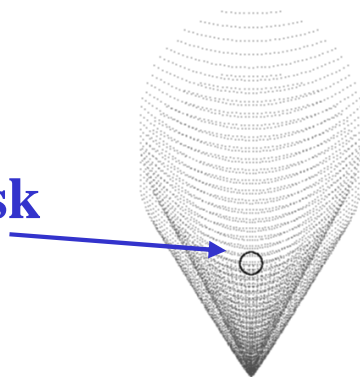
Otvorová vada nulová

Barevné vady nulové

Zorné pole je jen úhlové minuty

Limitující aberace je koma

Airyho disk

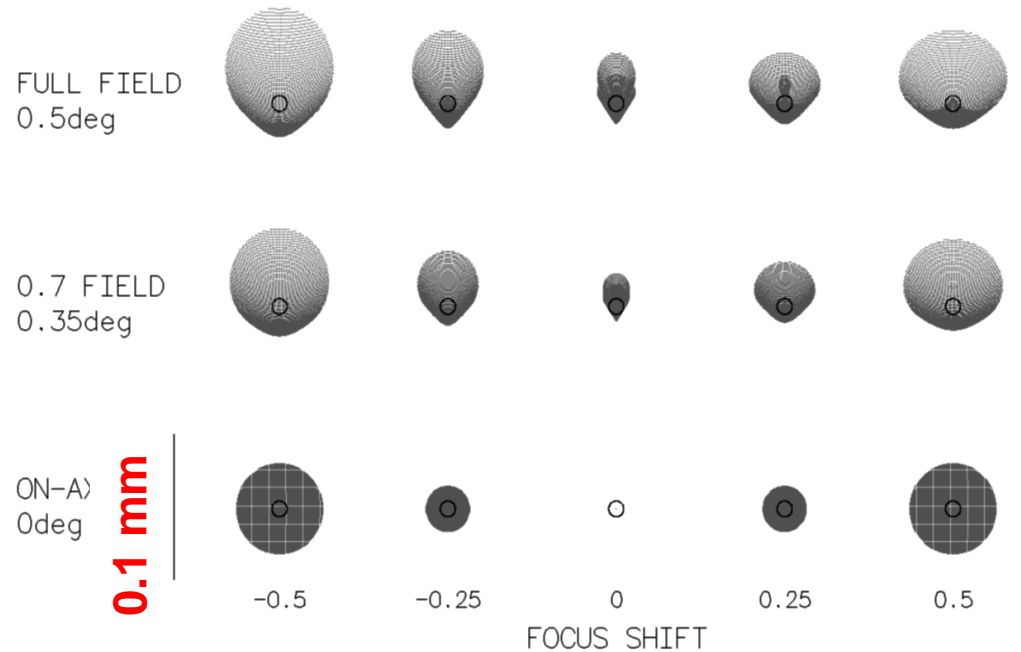
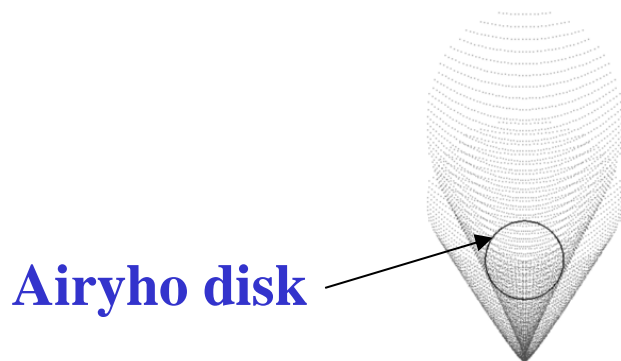


Newton $f' = 1600\text{mm}$ $D = 200\text{mm}$, $f/8$

Zorné pole je väčší

Limitujúca aberácia je koma

druhý „lalok“
(astigmatismus)



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm	200mm, f/8 Newtonian with Parabo	Pavel Kuba
WAVELENGTHS (μm)	SPOT DIAGRAM ANALYSIS	22 XI 11
W1: 0.555		12:36 PM

Newton $f' = 2400$ mm $D = 200$ mm, $f/12$

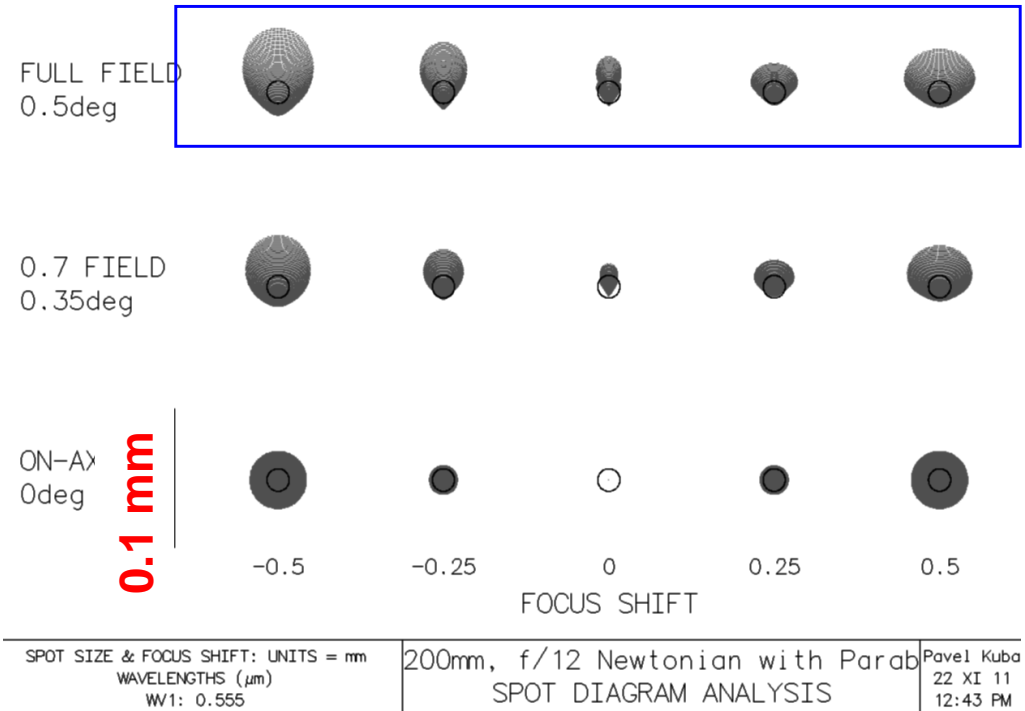
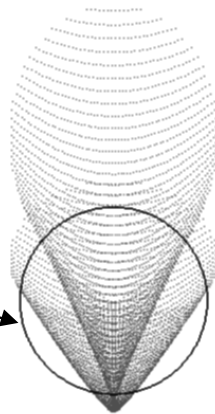
Zorné pole je ešte väčší

Limitujúci aberace je koma,

druhý „lalok“
(astigmatismus)

Airyho disk

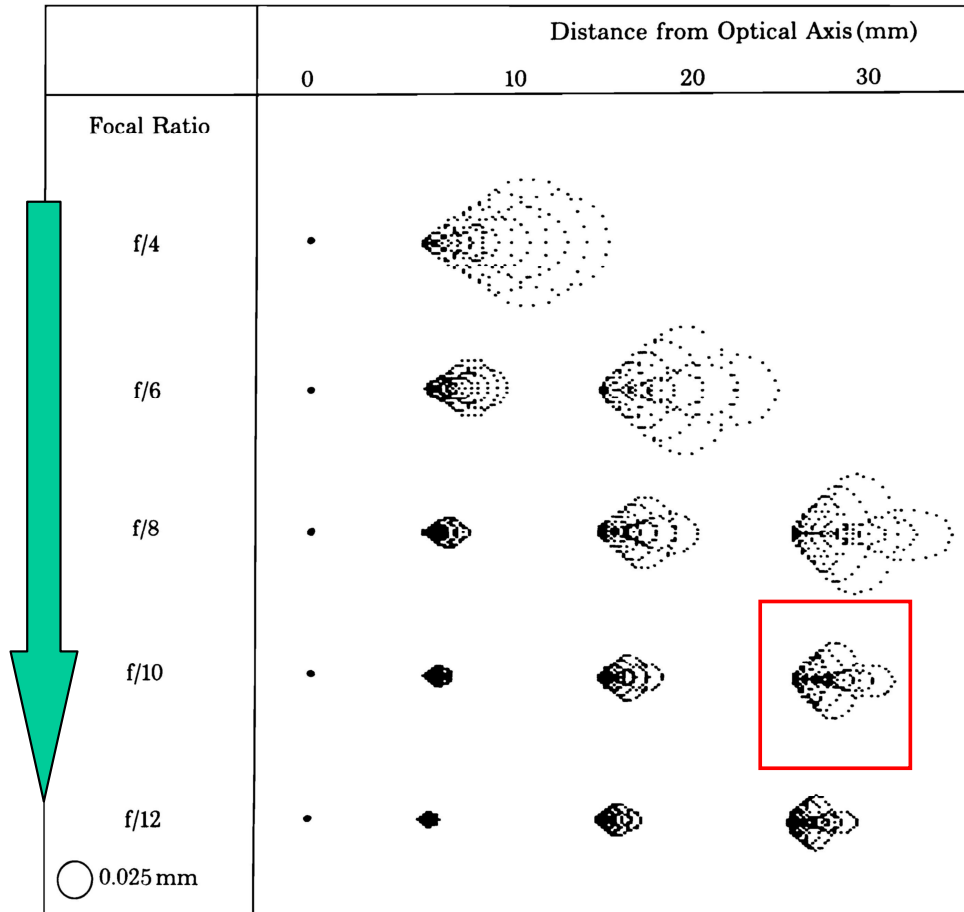
druhý „lalok“
(astigmatismus)



Newton - spot diagramy při změně clonového čísla

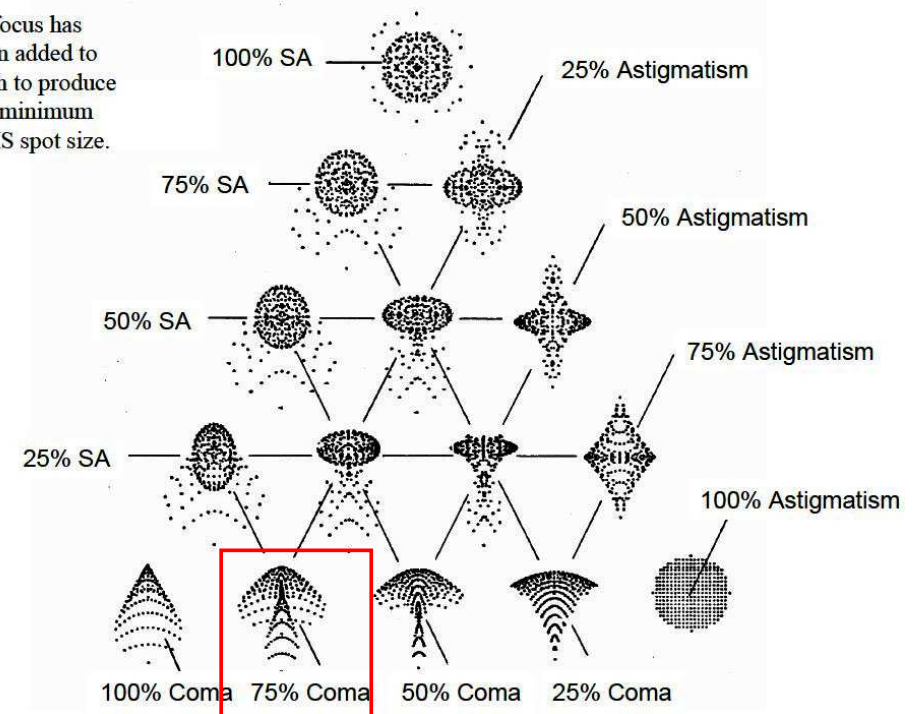
Telescope optics Evaluation and design

H.Rutten, M.van Venrooij



Combined Aberrations – Spot Diagrams

Defocus has been added to each to produce the minimum RMS spot size.

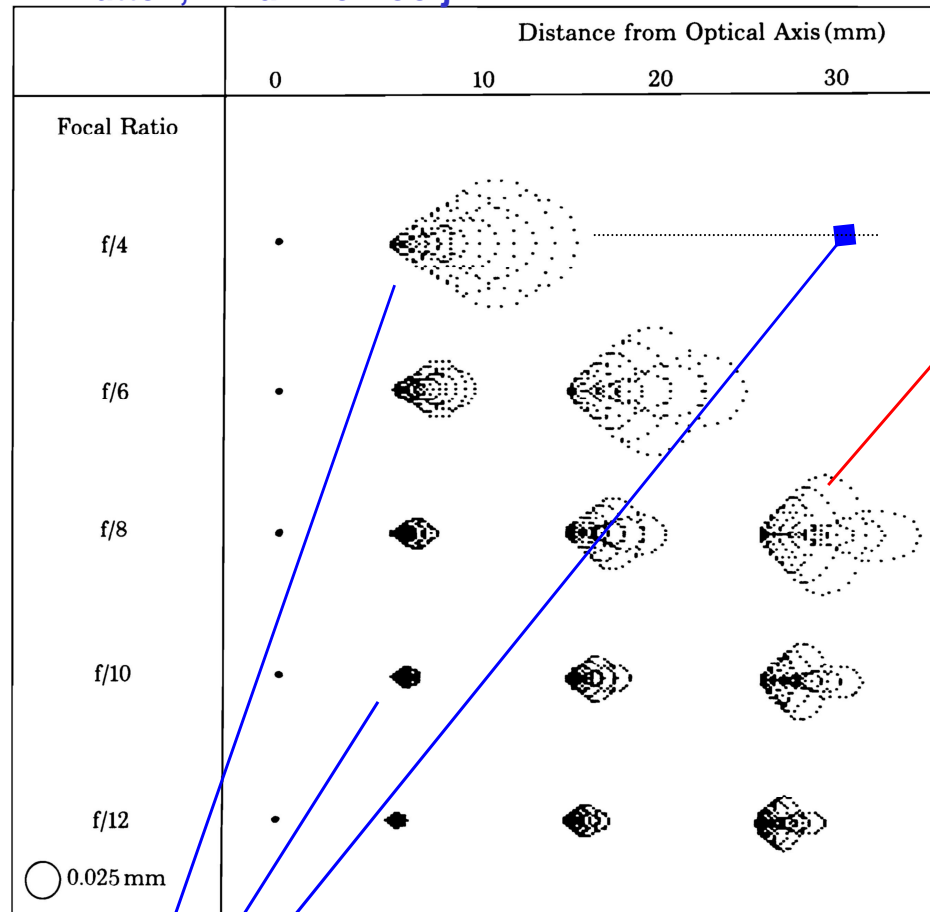


Newton - spot diagramy při změně clonového čísla

Telescope optics

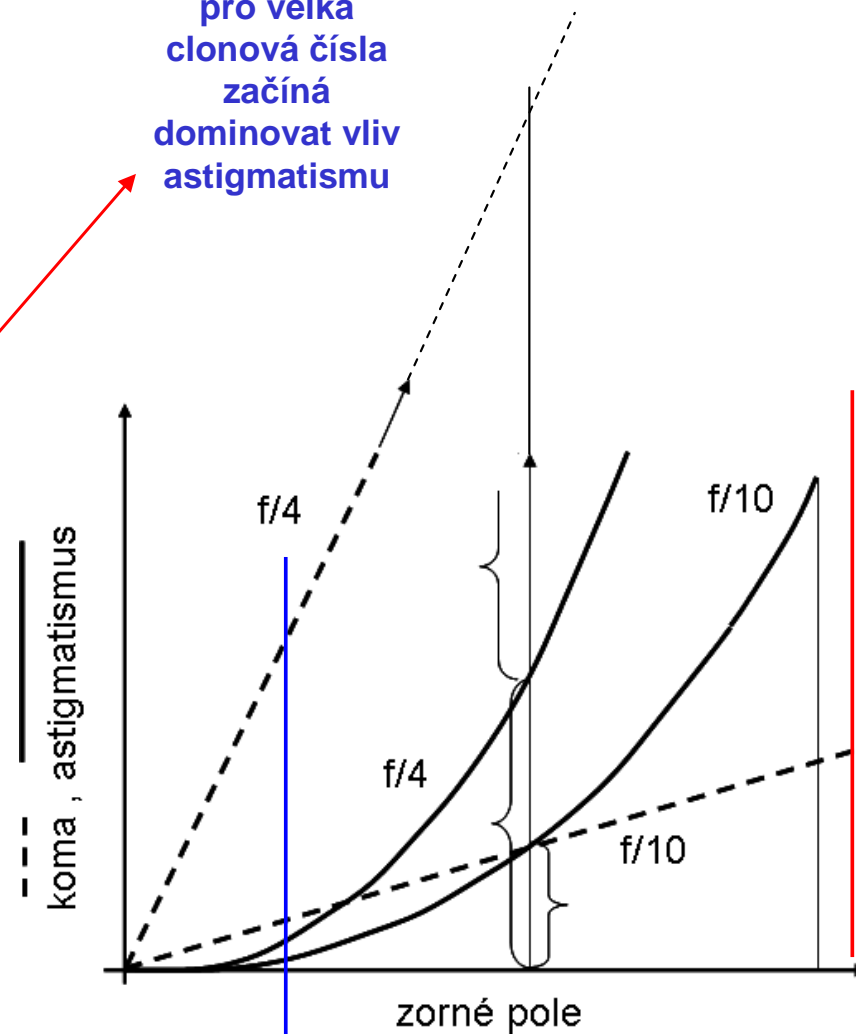
Evaluation and design

H.Rutten, M.van Venrooij



dominuje koma

pro velká
clonová čísla
začíná
dominovat vliv
astigmatismu



dominuje koma

Newton - limitní příklad kulového zrcadla

koule

FULL FIELD
0.5deg

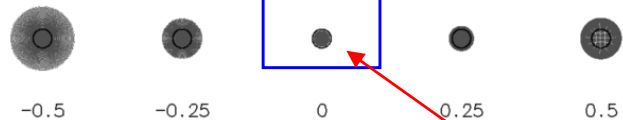


0.7 FIELD
0.35



ON-
0deg

0.1 mm



FOCUS SHIFT

otvorová vada

SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
WV1: 0.555

200mm, f/12 sphere
SPOT DIAGRAM ANALYSIS

Pavel Kubc
22 XI 11
02:46 PM

Přibližně od clonového čísla **f/12** (a víc) jsou vlastnosti parabolické a kulové plochy srovnatelné.

FULL FIELD
0.5deg

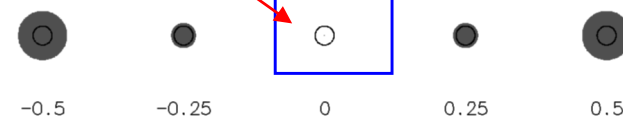


0.7 FIELD
0.35



ON-A
0deg

0.1 mm



FOCUS SHIFT

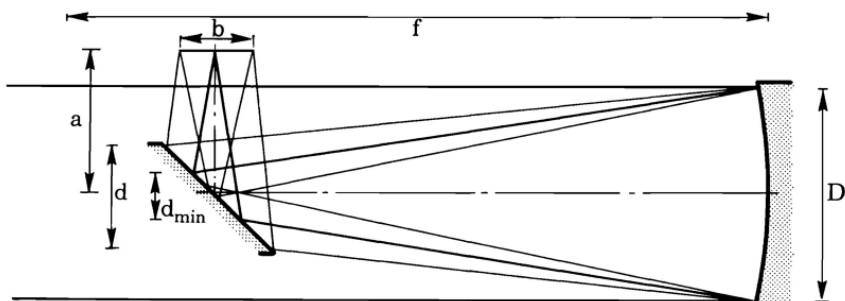
parabola

SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
WV1: 0.555

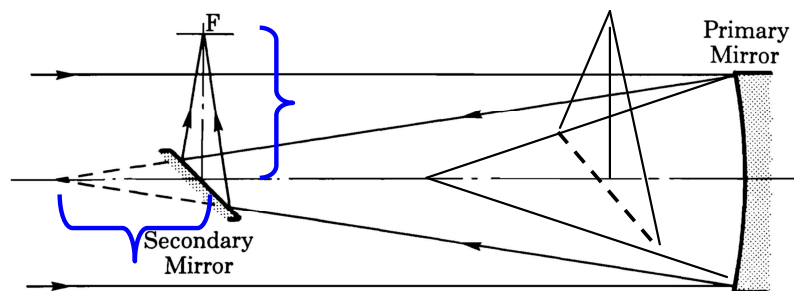
200mm, f/12 Newtonian with Parab
SPOT DIAGRAM ANALYSIS

Pavel Kuba
22 XI 11
12:43 PM

Newton - velikost sekundárního zrcadla



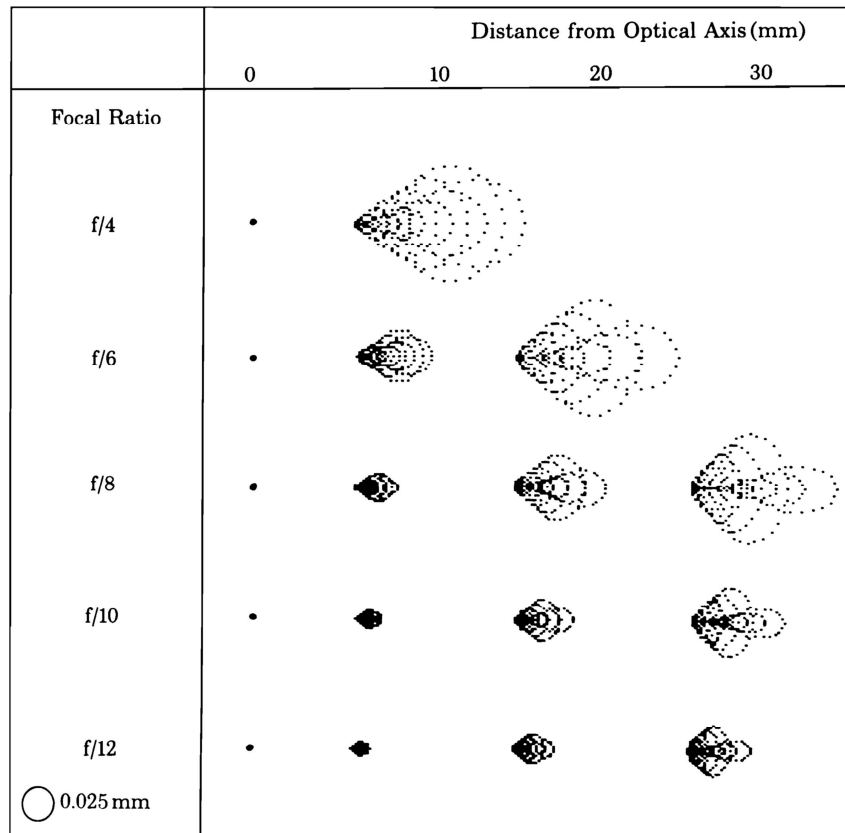
S rostoucí velikostí zorného pole roste velikost sekundárního zrcadla – omezení vinětace.



Velikost sekundárního zrcadla roste se snižováním clonového čísla – nutnost vynesení ohniskové roviny mimo tubus.

Sekundární zrcadlo přitom nemá mít velikost **větší než 30%** velikosti primárního zrcadla viz. difrakce.

Newton - shrnutí



Výhody:

- žádné barevné vady
- žádná otvorová vada
- relativně malé centrální stínění
- pro malé úhly velmi dobré zobrazení
- dobrý poměr cena/ „výkon“

Nevýhody:

- velká koma
- malé zorné pole,

Zrcadlové teleskopy

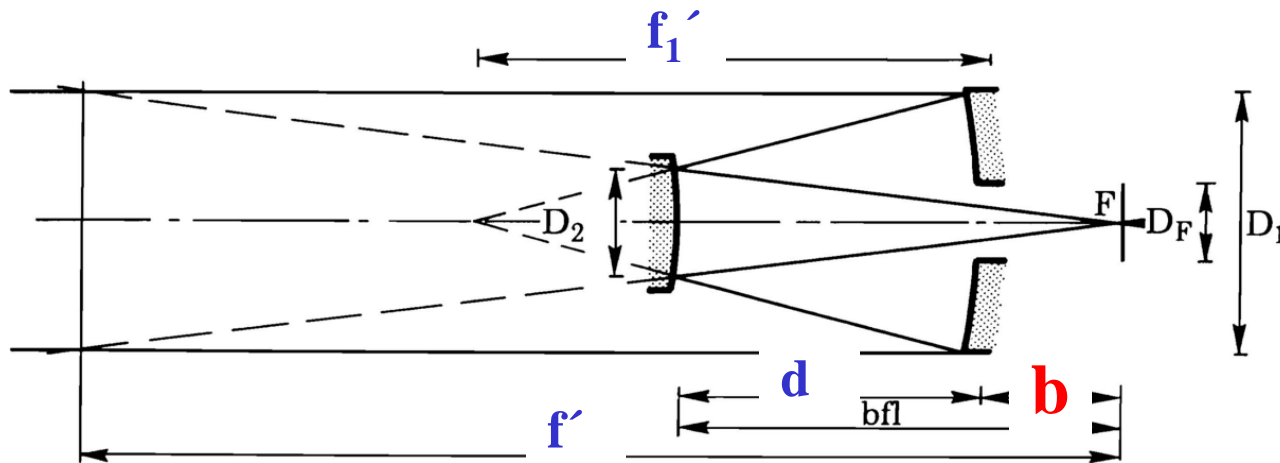
Dvě zrcadla

Cassegrain

Rithey-Chretien

Dall- Kirkham

„Cassegrain“ - parametry



$$M = \frac{f'}{f_1'}$$

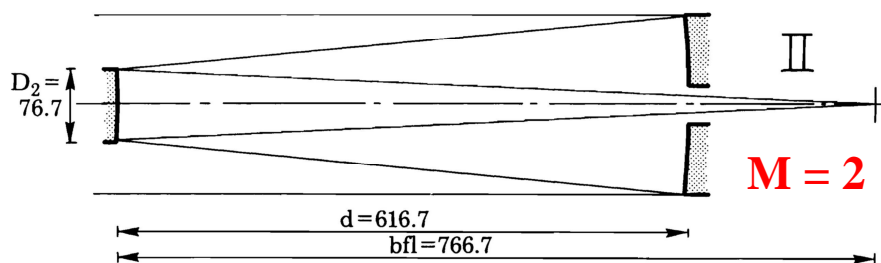
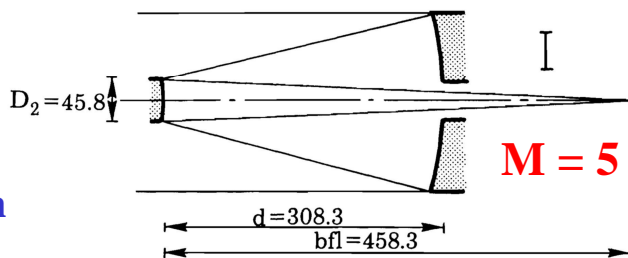
M

je zvětšení sekundárního zrcadla

Míra prodloužení ohniskové vzdálenosti sekundárním zrcadlem

stavební délka

$f/10$
 $D = 200 \text{ mm}$
 $f' = 2000 \text{ mm}$



$$f' = \frac{f_1' f_2'}{f_1' + f_2' - d}$$

Pro zadané hodnoty **M** a **b** :

$$d = \frac{M f_1' - b}{M + 1}$$

$$f_2' = -\frac{M}{M^2 - 1} (f_1' + b)$$

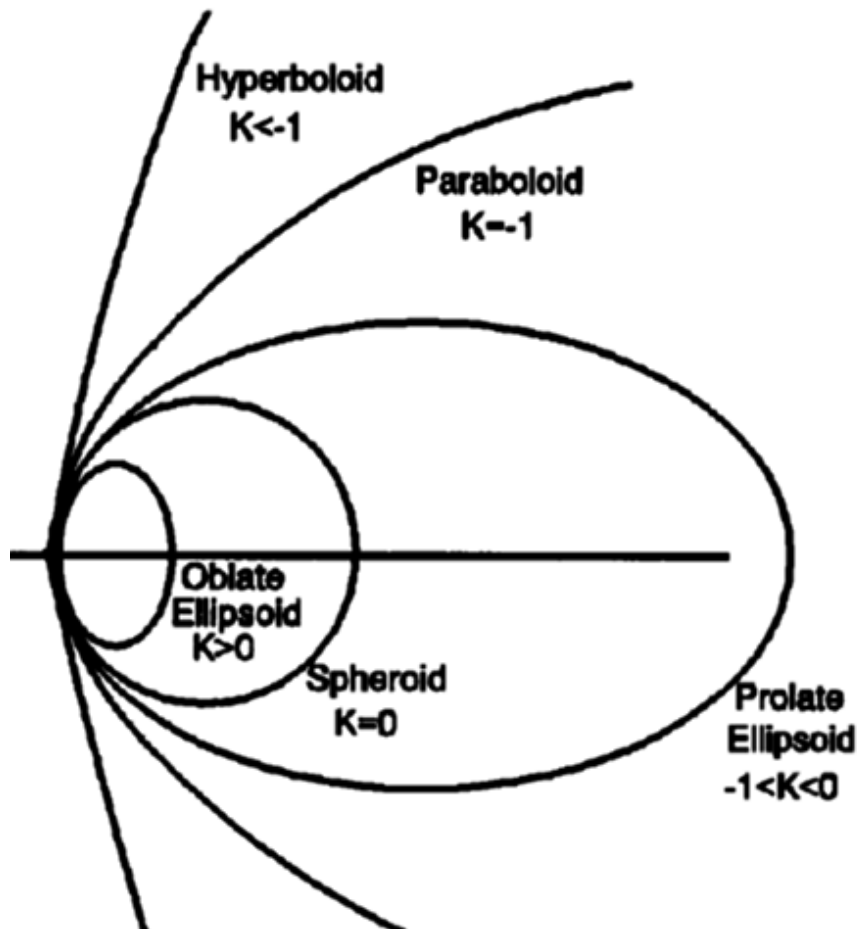


Různé konstrukce

Větší D_2 = větší centrální clonění
 ale menší křivost pole

Obecný popis optických ploch

matematické vyjádření kuželoseček

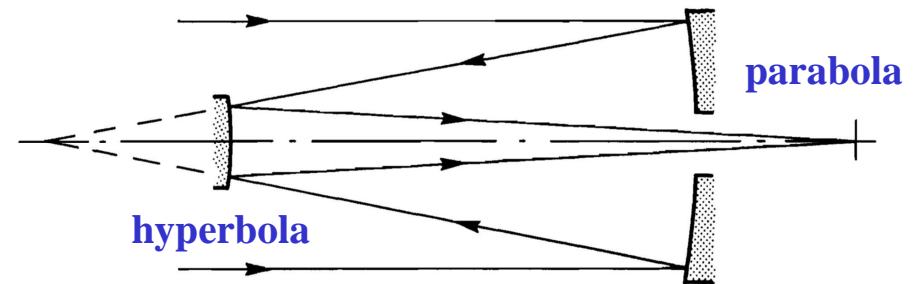
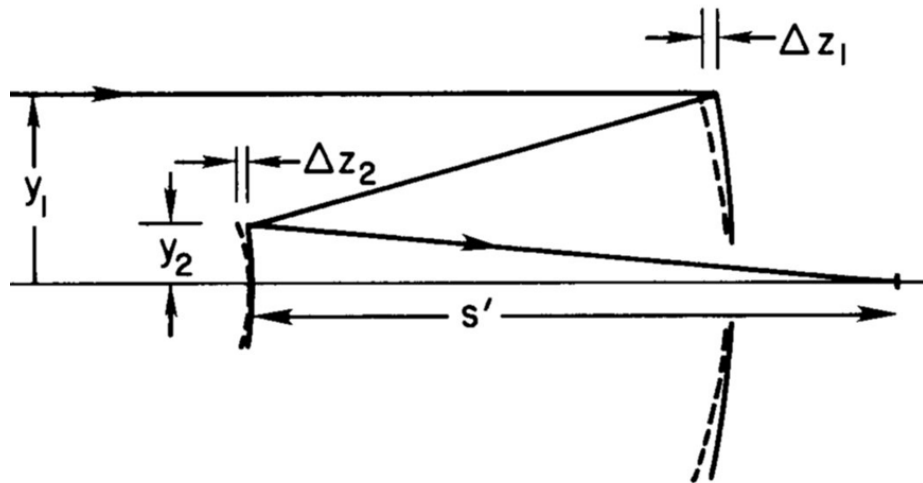


$$z_s = \frac{c \rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 \rho^2}}$$

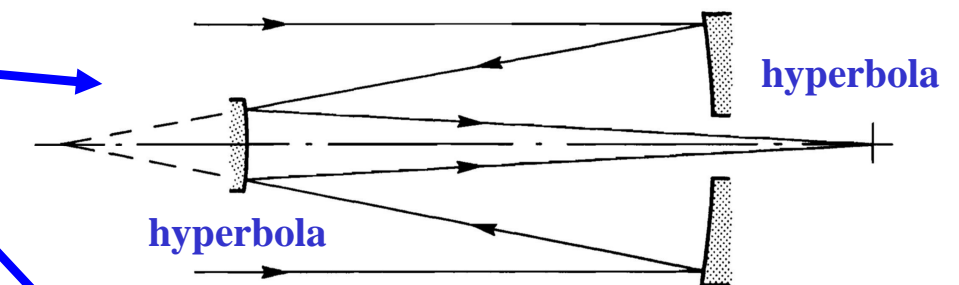
- | | |
|--------------|---------------------------|
| $k = 0$ | <i>koule</i> |
| $k = -1$ | <i>Paraboloid</i> |
| $k < -1$ | <i>Hyperboloid</i> |
| $k > 0$ | <i>Protáhlý Elipsoid</i> |
| $-1 < k < 0$ | <i>Zploštělý Elipsoid</i> |
- kde $k = -\varepsilon^2$ ($\varepsilon = \text{excentricita}$)

„Cassegrain“ - varianty

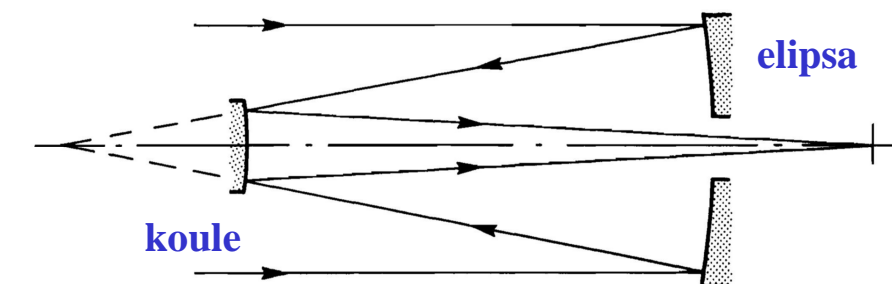
Stigmatické zobrazení bodu
na optické ose
nulová otvorová vada



klasický Cassegrain



Ritchey-Chretien



Dall-Kirkham

Z teorie aberací vyplývá, že pro každou zvolenou hodnotu konické konstanty kuželosečky určující tvar primárního zrcadla lze nalézt konickou konstantu pro sekundární zrcadlo (jeho tvar) tak aby byla stále nulová otvorová vada.

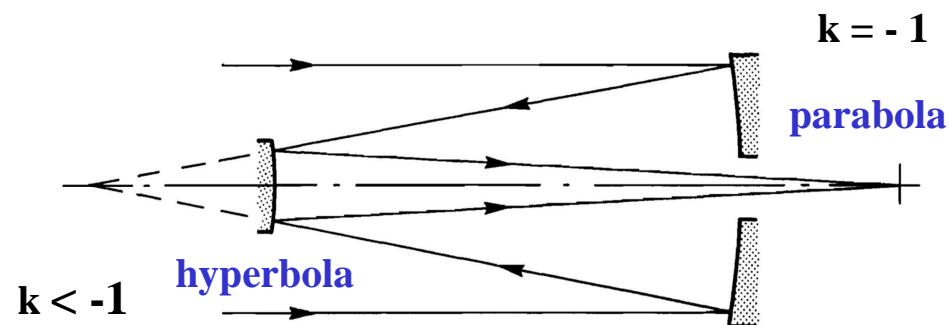
Ovlivnění velikosti otvorové vady podobné jako při kombinaci spojné a rozptylné čočky

„Cassegrain“ - varianty

Všechny konfigurace
nemají otvorovou vadu ale:

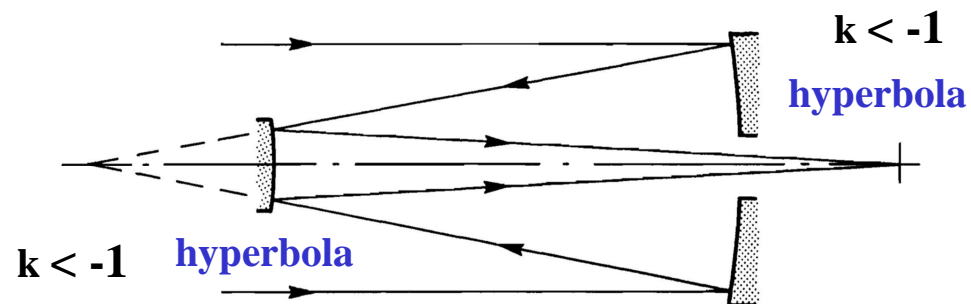
klasický Cassegrain

má znatelnou komu



Ritchey-Chretien

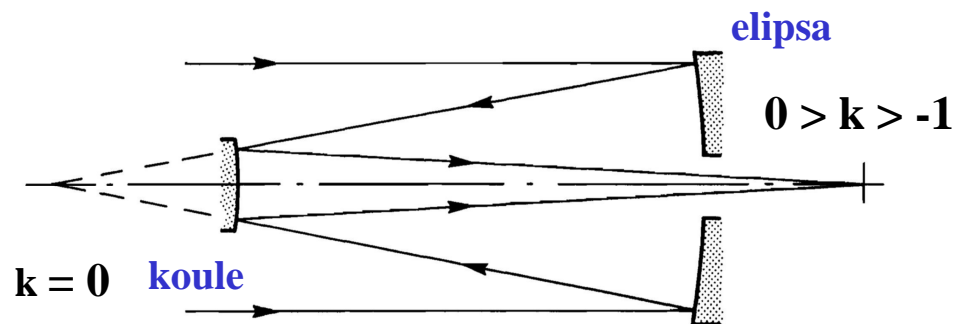
Optimální volbou tvaru zrcadel
(konických konstant hyperbol)
je možné eliminovat komu !!!



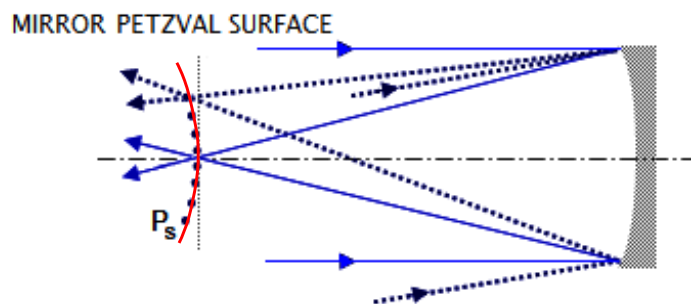
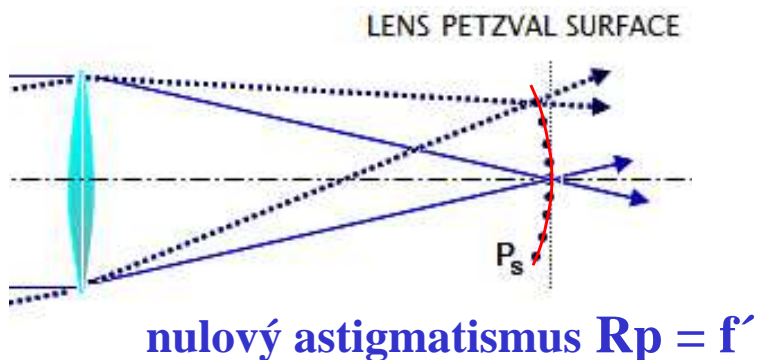
Dall-Kirkham

Sekundární zrcadlo je kulové
(hyperbola se obtížně vyrábí).

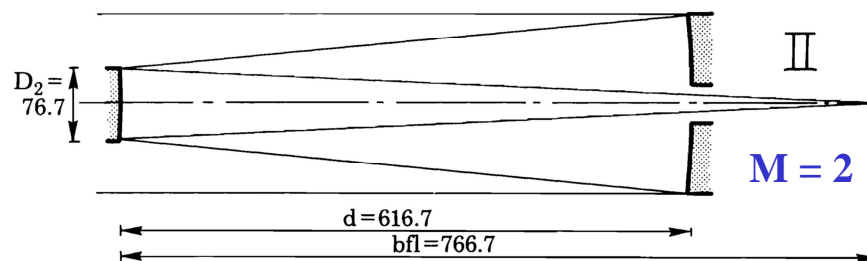
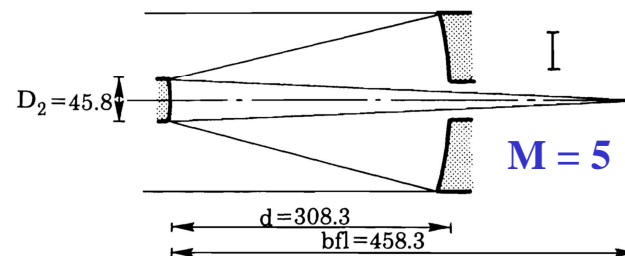
za cenu zhoršení komy



„Cassegrain“- varianty – velikost křivosti pole



Větší křivosti ploch (menší poloměry)



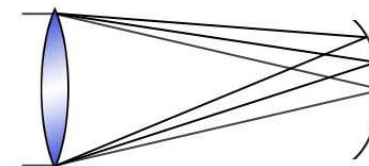
Dvě zrcadla

$$\frac{1}{R_f} = \frac{2}{R_1} - \frac{2}{R_2}$$

příklady

$$R_{fI} = -160 \text{ mm}$$

$$R_{fII} = -3289 \text{ mm}$$

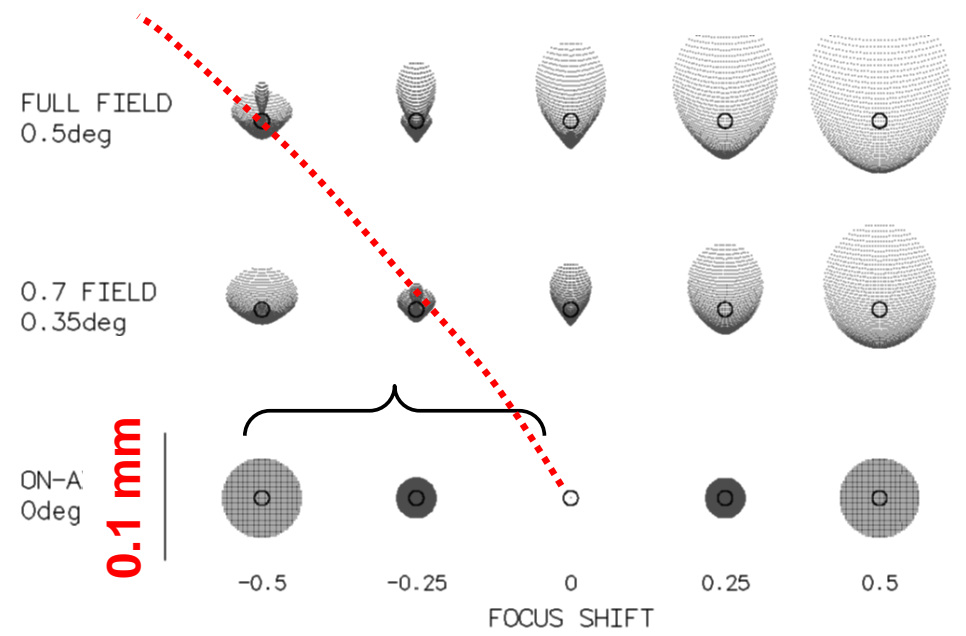


Pro danou ohniskovou vzdálenost se křivost pole zvětšuje se zmenšováním velikosti sekundárního zrcadla (a naopak).

Cassegrain $D = 200$ mm, $f/8$, $M = 8/3$

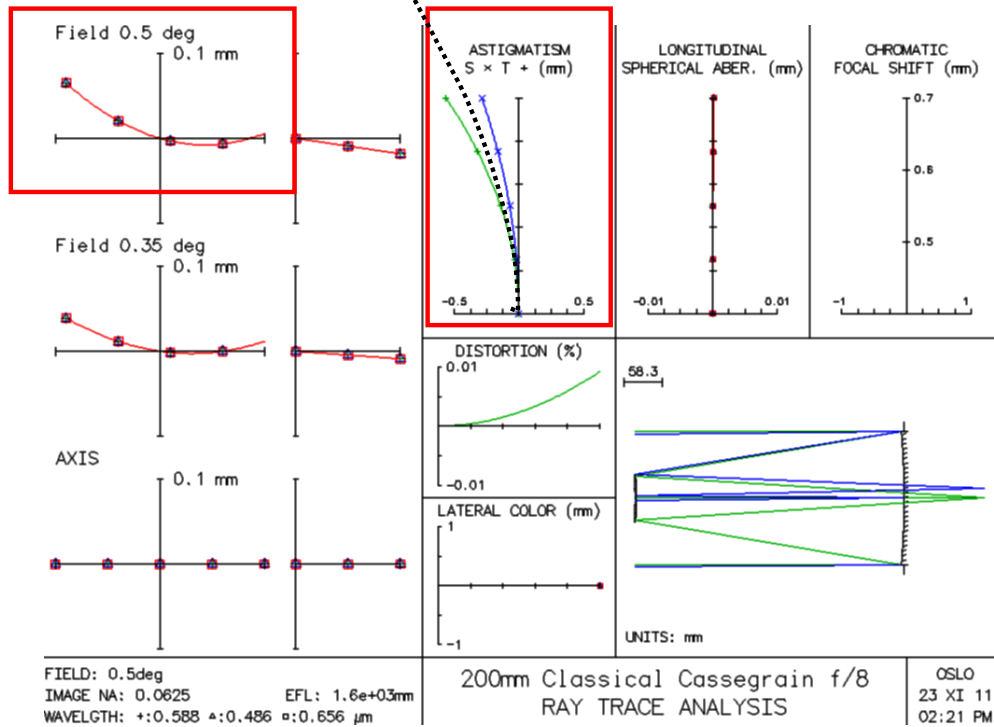
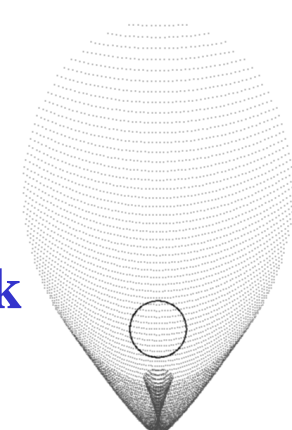
Limitující aberace je koma

Optimální obrazová plocha



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
 WAVELENGTHS (μm)
 W1: 0.588 W2: 0.486 W3: 0.656
 200mm Classical Cassegrain f/8
 SPOT DIAGRAM ANALYSIS
 OSLO 23 XI 11 02:17 PM

Airyho disk

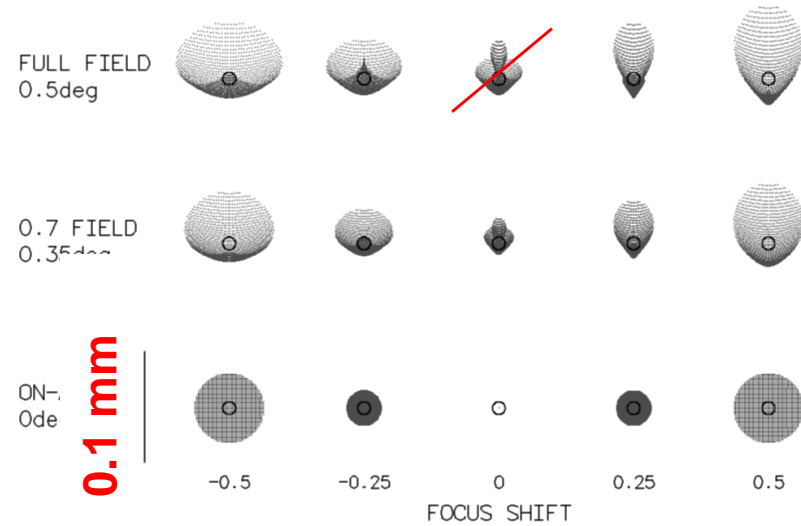


Cassegrain $D = 200$ mm, $f/8$, $M = 8/3$

Limitující aberace je koma

Obrazová plocha $R = -221$ mm

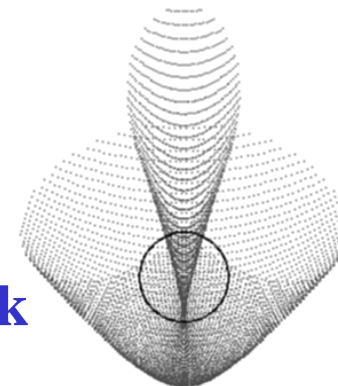
Zmenšení aberací



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
 WAVELENGTHS (μ m)
 W1: 0.588 W2: 0.486 W3: 0.656

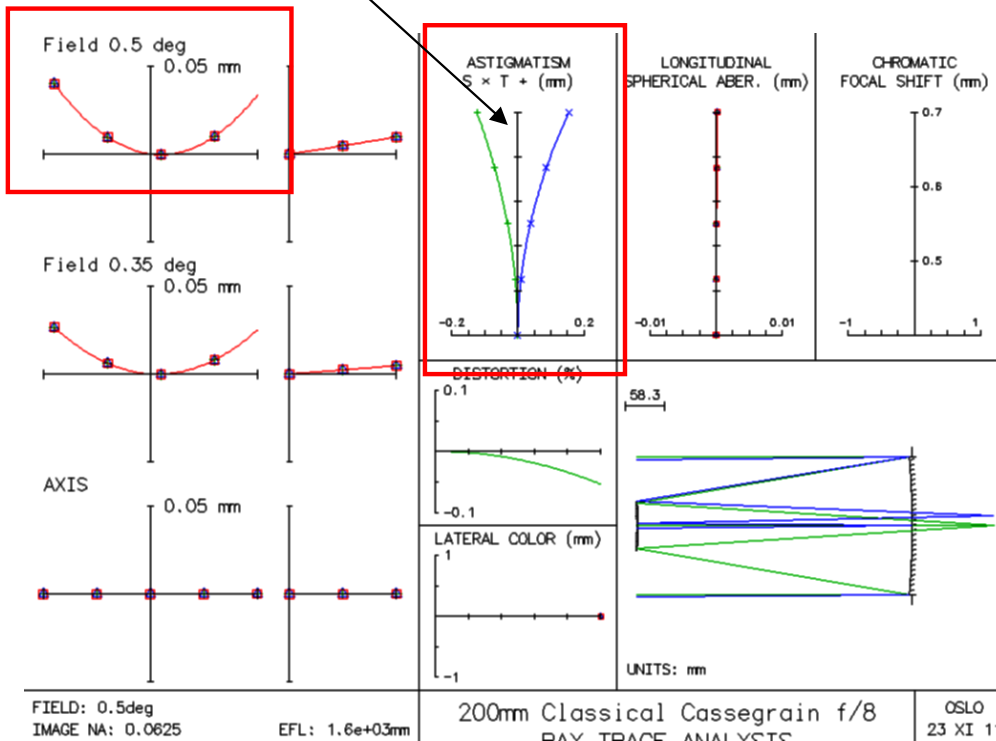
200mm Classical Cassegrain f/8
 SPOT DIAGRAM ANALYSIS

OSLO
 23 XI 11
 02:12 PM



Airyho disk

druhý „lalok“ (astigmatismus)

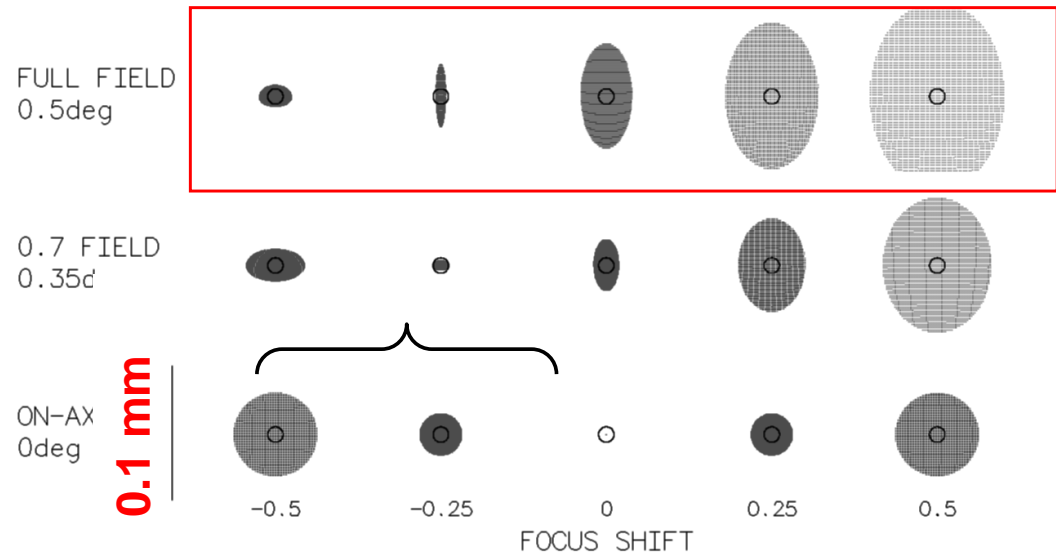
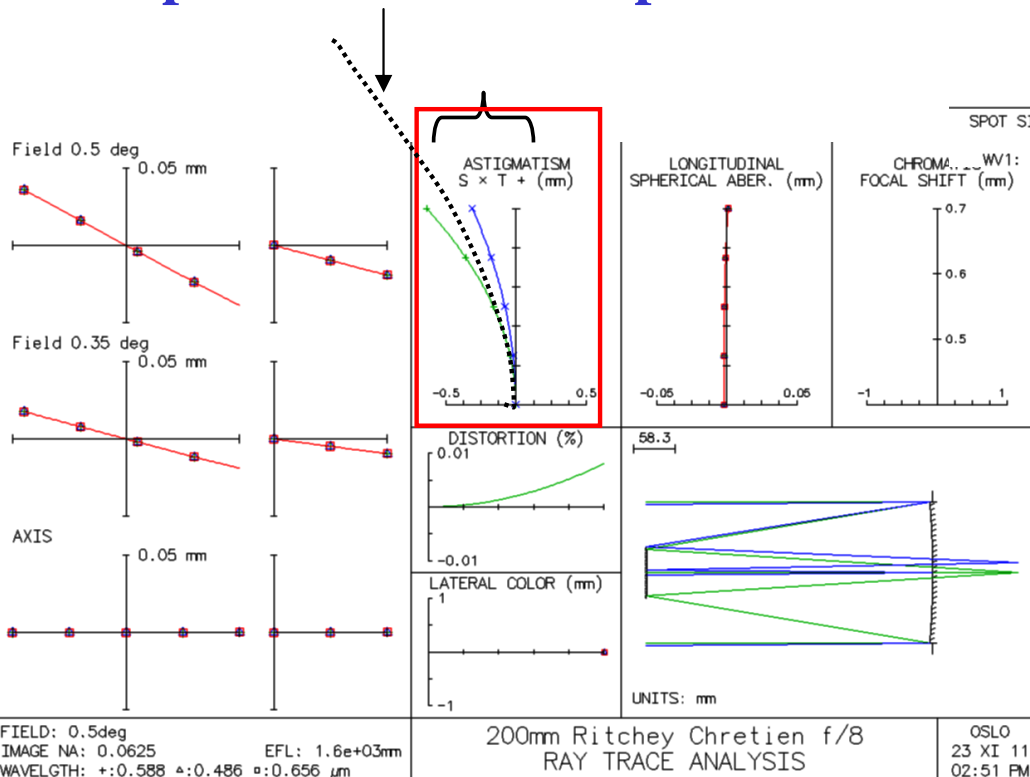


Ritchey - Chretien $D = 200$ mm, $f/8$, $M = 8/3$

Koma je nulová
Aplanatický systém

Limitující aberace je
astigmatismus

Optimální obrazová plocha



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μ m)
200mm Ritchey Chretien f/8
SPOT DIAGRAM ANALYSIS
OSLO
23 XI 11
02:58 PM

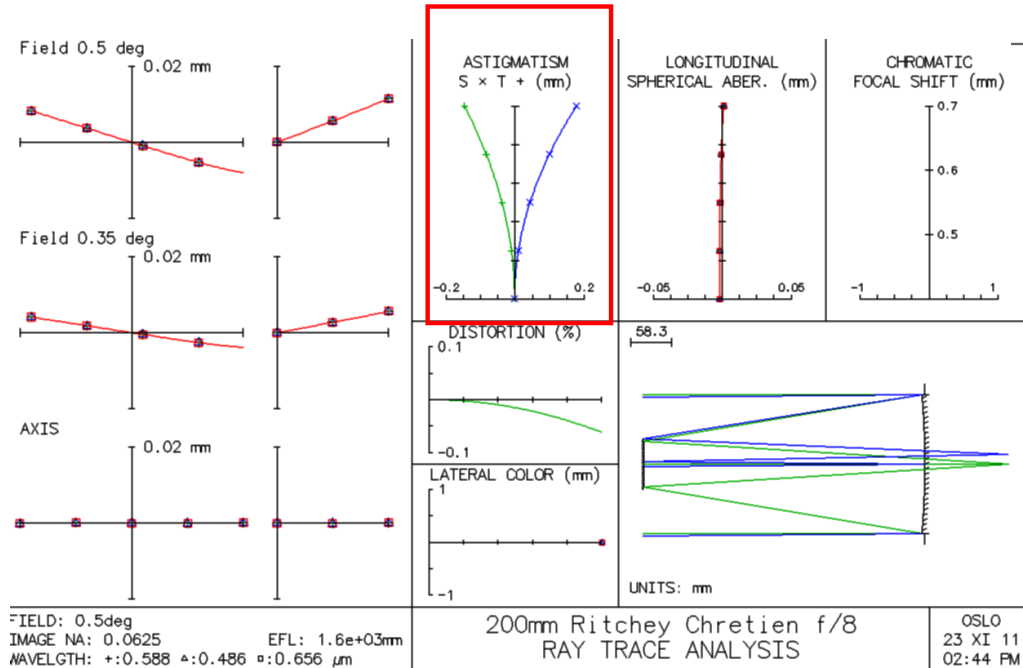
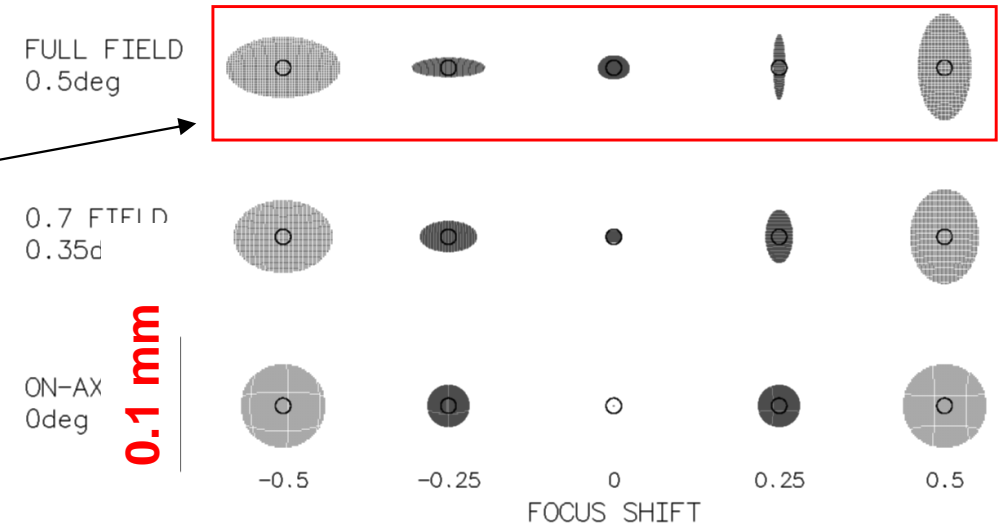
Křivost obrazu způsobuje
při eliminaci komy velký
projev astigmatismu

Ritchey - Chretien $D = 200 \text{ mm}$, $f/8$, $M = 8/3$

Koma je nulová
Aplanatický systém

Limitující aberace je
astigmatismus

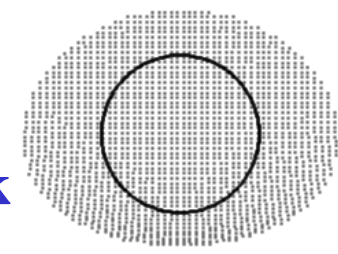
Obrazová plocha $R = -199 \text{ mm}$



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
WV1: 0.588 WV2: 0.486 WV3: 0.656
200mm Ritchey Chretien f/8
SPOT DIAGRAM ANALYSIS
OSLO 23 XI 11 02:46 PM

Zmenšení aberací

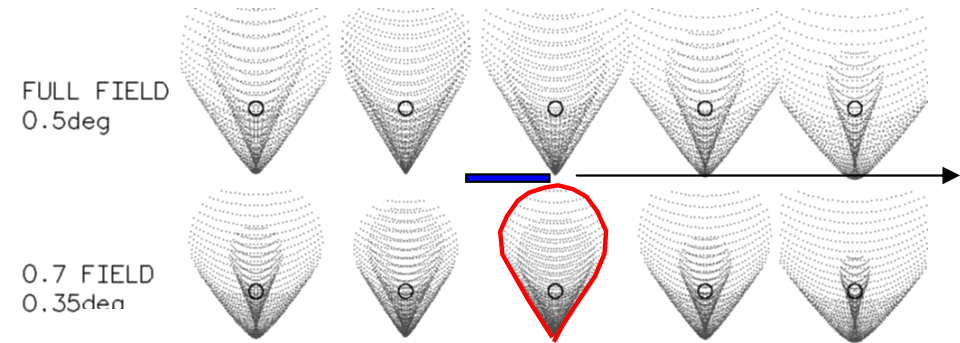
Airyho disk



Dall -Kirkham $D = 200$ mm, $f/8$, $M = 8/3$

Limitující aberace je výrazná koma

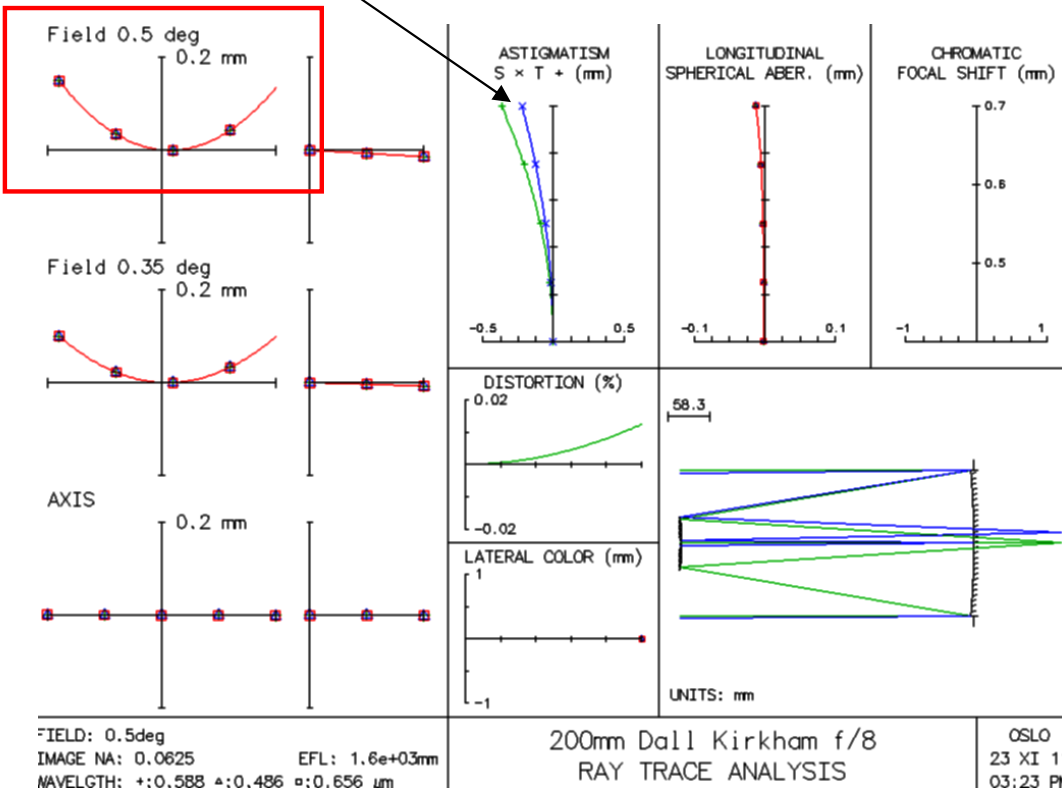
Optimální obrazová plocha



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
 WAVELENGTHS (μm)
 W1: 0.588 W2: 0.486 W3: 0.656

200mm Dall Kirkham f/8
 SPOT DIAGRAM ANALYSIS

OSLO
 23 XI 11
 03:27 PM



Sekundární zrcadlo je kulové

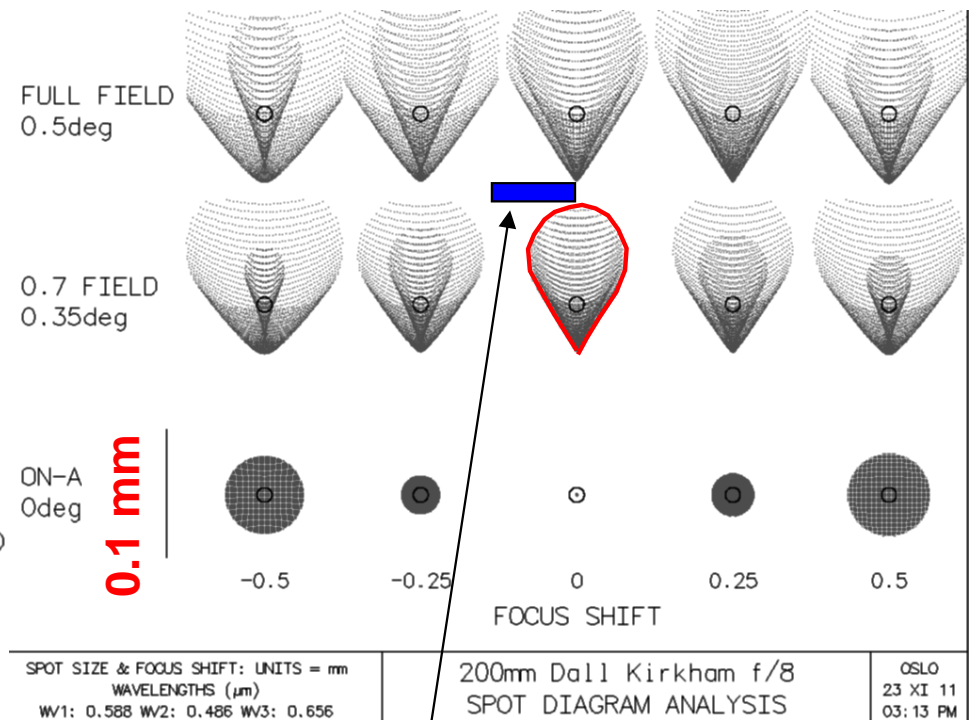
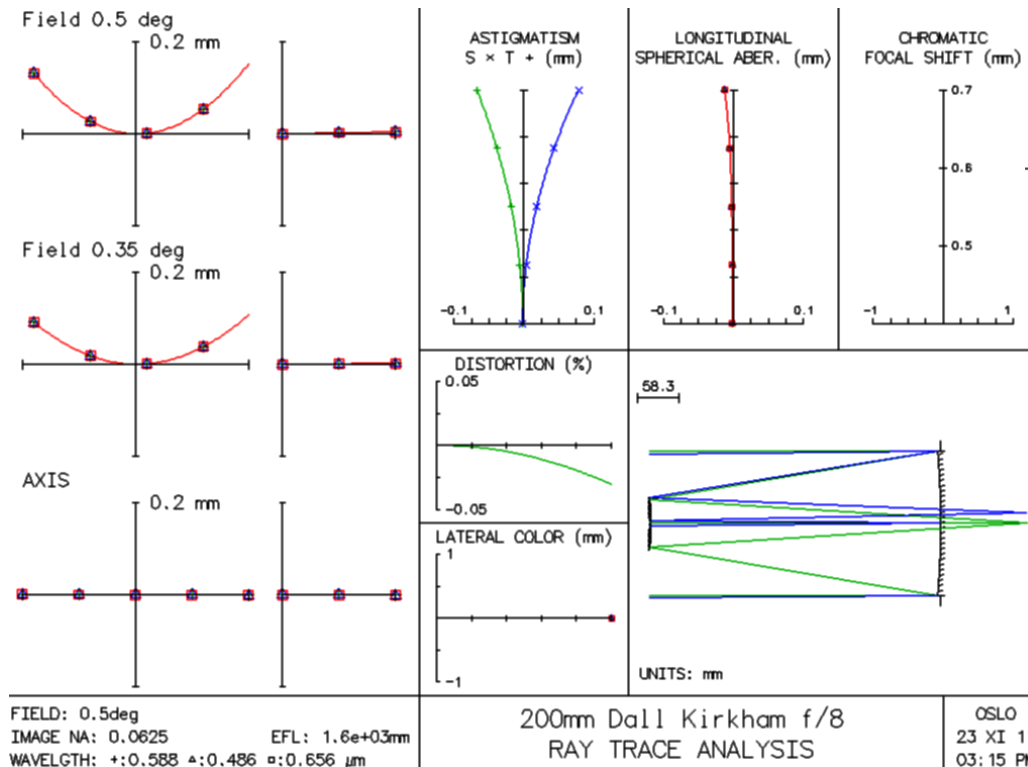
Koma je horší než u
 srovnatelného klasického
 Cassegrainu

Dall -Kirkham $D = 200 \text{ mm}$, $f/8$, $M = 8/3$

Limitující aberace je výrazná koma

Sekundární zrcadlo je kulové

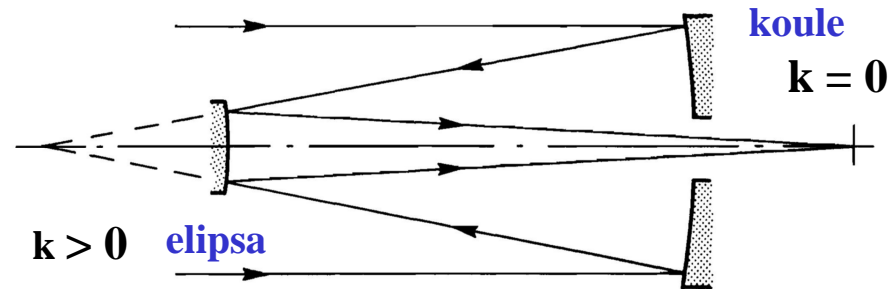
Obrazová plocha $R = -324 \text{ mm}$



Zakřivení obrazové plochy
nedokáže výrazně vylepšit
kvalitu zobrazení
(velmi malé zorné pole)

Pressmann - Camichel

Primární zrcadlo je kulové
sekundární eliptické

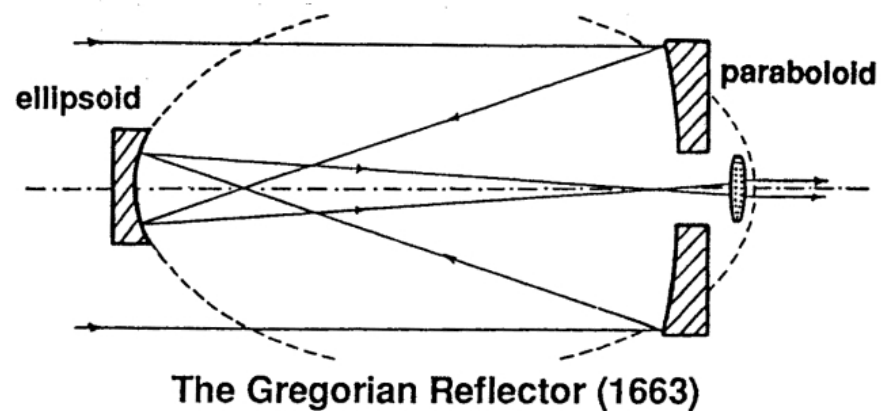


Ještě horší mimoosové aberace – koma.

Prakticky se nepoužívá

Gregory

Primární zrcadlo je parabolické
sekundární eliptické-konkávní



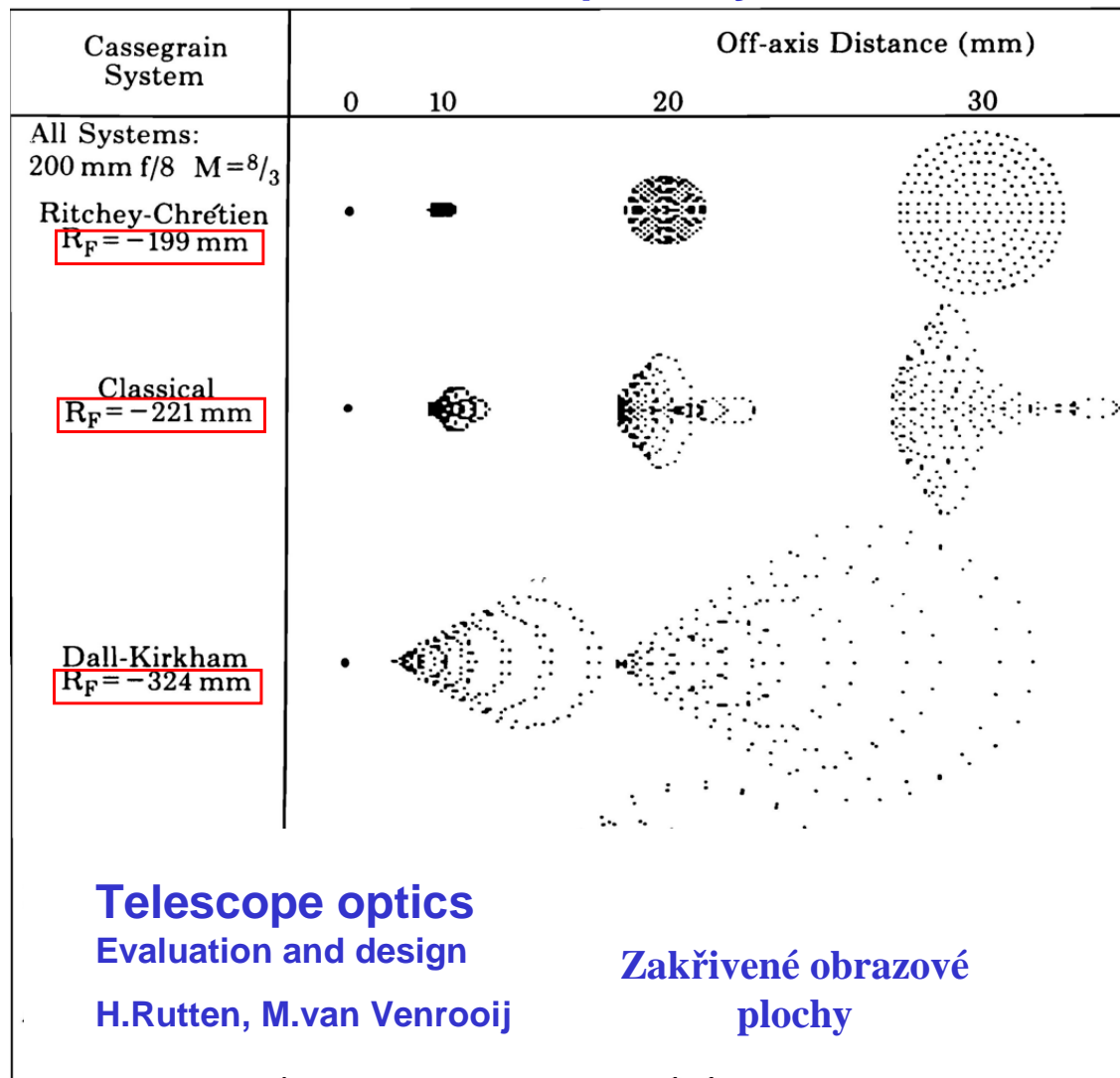
Podobné vlastnosti jako u Cassegrainů ale mnohem větší délka (větší než Newton).
nepraktické

Cassegrain

Rithey-Chretien

Dall- Kirkham

Předchozí příklady



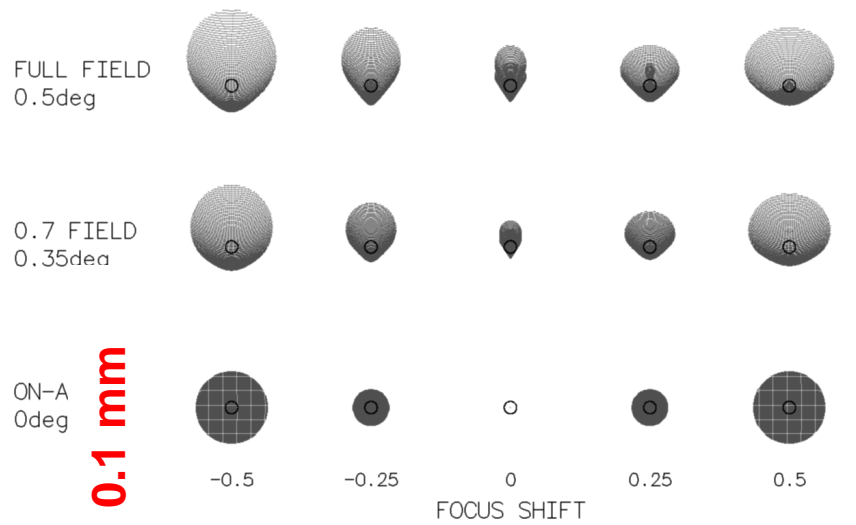
Velikosti a tvary spotů v závislosti na růstu zorného pole

Vliv křivosti obrazového pole lze korigovat přidavnou optikou.

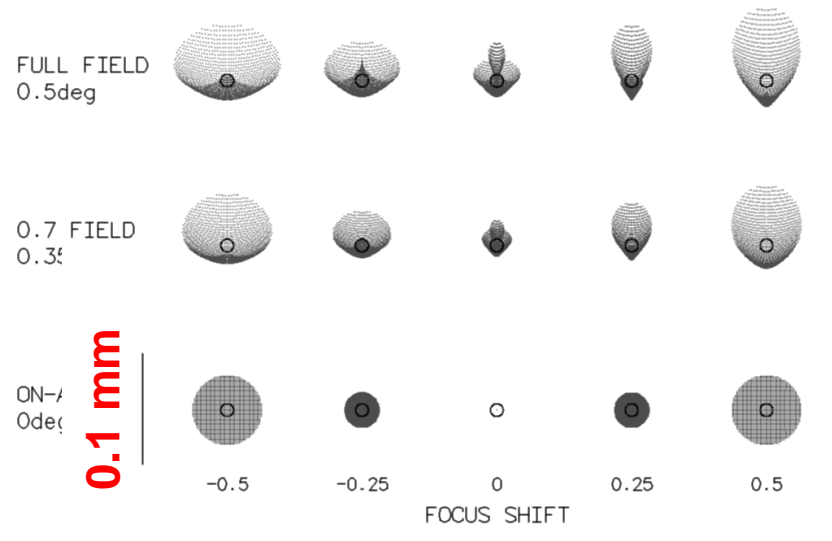
„rovnač“ pole (flattener)

Příklady budou uvedeny ke konci přednášek PA1 (doplňky - accessories)

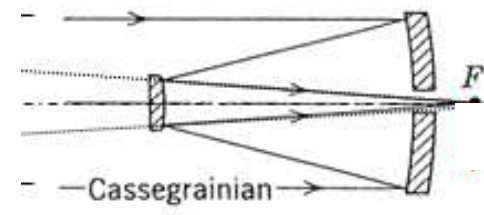
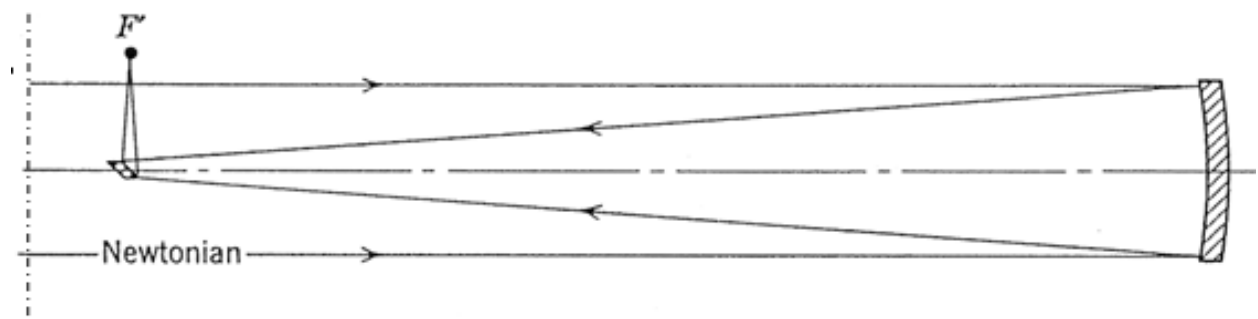
Newton X Cassegrain



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm | 200mm, f/8 Newtonian with Paraboloid Secondary
WAVELENGTHS (μm) | Pavel Kuba
W1: 0.555 | 22 XI 11
SPOT DIAGRAM ANALYSIS | 12:36 PM



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm | 200mm Classical Cassegrain f/8
WAVELENGTHS (μm) | OSLO
W1: 0.588 W2: 0.486 W3: 0.656 | 23 XI 11
SPOT DIAGRAM ANALYSIS | 02:12 PM



Velmi podobné vlastnosti

D = 200 mm, f/8

Zrcadlové teleskopy - Dvě zrcadla

Dall-Kirkham

- snadnější výroba = nízká cena
- aberace jsou ale velmi málo korigovány, v praxi se moc nepoužívá (velmi malé zorné pole)
- clonová čísla větší než $f/20$

Cassegrain

- aberace jsou srovnatelné s Newtonem, ale s výhodou mnohem kratší stavební délky
- při „vyndání“ sekundárního zrcadla = Newton
- clonová čísla větší $f/12$

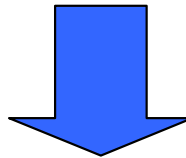
Ritchey-Chretien

- žádná koma = větší použitelné zorné pole = vhodný pro fotografii
- dvě hyperboly = obtížnější výroba
- dvě hyperboly = vyšší cena
- poloprofesionální i velké profesionální teleskopy (Hubble)
- clonová čísla větší než $f/8$ ($f/6$)

Zrcadlové teleskopy - Tři zrcadla

Schwarzschild teorém (volná interpretace):

- „**n** základních monochromatických aberací může být eliminováno pomocí **n** optických obecně asferických ploch s určitými vzdálenostmi mezi nimi“



U **dvou-zrcadlových** systémů mohou být odstraněny **pouze 2 aberace** (otvorová vada a koma – Ritchey-Chretien).

Pomocí tří zrcadel je možné odstranit další vadu - astigmatismus

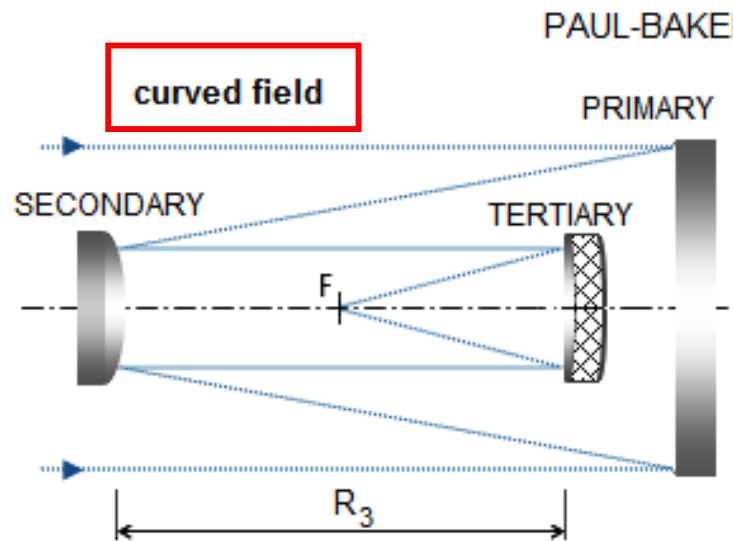
Pomocí čtyř zrcadel lze odstranit i křivost pole.

ALE:

Pokud tří-zrcadlový systém splní Petzvalovu podmínku tj. součet lámavostí bude roven nule, pak i tří-zrcadlový systém bude mít odstraněnu křivost pole

Paul - Baker

www.telescope-optics.net/paul-baker_telescope.htm

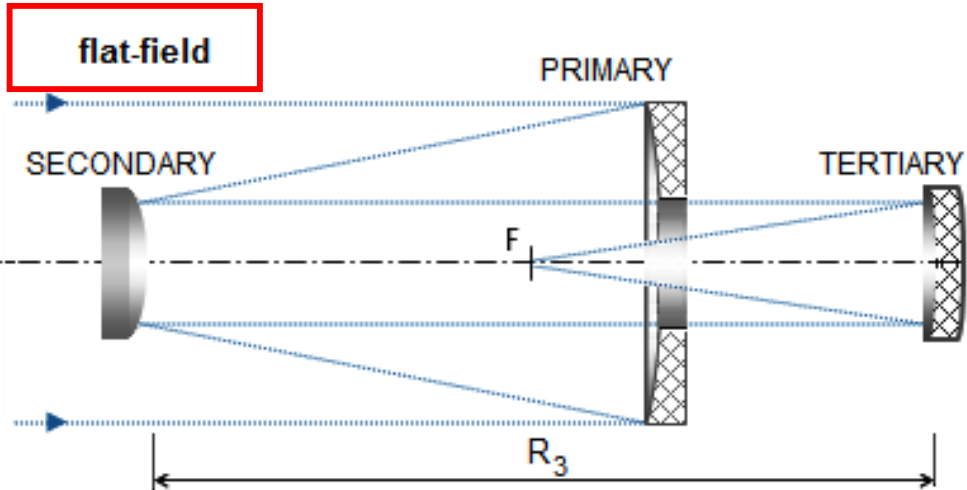


- 1. parabola
- 2. koule
- 3. koule

střed křivosti 3. zrcadla leží
ve vrcholu 2. zrcadla

1. a 2. zrcadlo = afokální Cassegrain

zakřivená ohnisková plocha

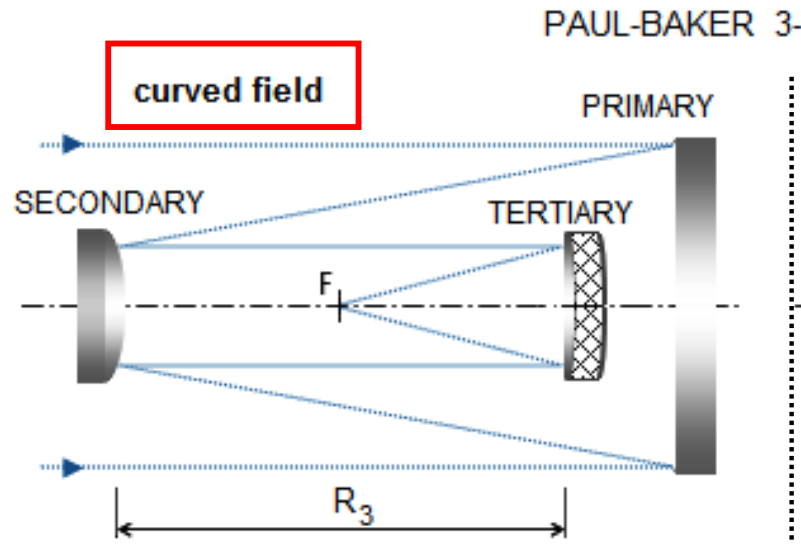


- 1. parabola
- 2. elipsa
- 3. koule
- zvětšena mezera mezi 2. a 3. zrcadlem

Willstrop Mersenne Schmidt

rovinná ohnisková plocha

Paul - Baker



- 1. parabola
- 2. koule
- 3. koule

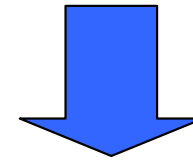
střed křivosti 3. zrcadla leží
ve vrcholu 2. zrcadla

1. a 2. zrcadlo = afokální Cassegrain

zakřivená ohnisková plocha

Nevýhody :

- málo prostoru v okolí obrazové roviny protože je uvnitř optického systému,
- poměrně velké centrální stínění



Velmi málo se používá

Konstrukce s posunutým 3. zrcadlem
jsou mnohem praktičtější

Willstrop - Mersenne - Schmidt

$D = 200\text{mm}$, $f' = 520\text{ mm}$, $f/2.6$ – rovinné pole

difrakční limit

rovinné pole

FULL FIELD
1deg

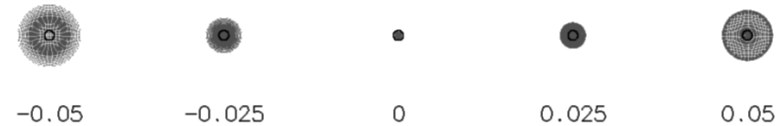


0.7 FIELD
0.7deg

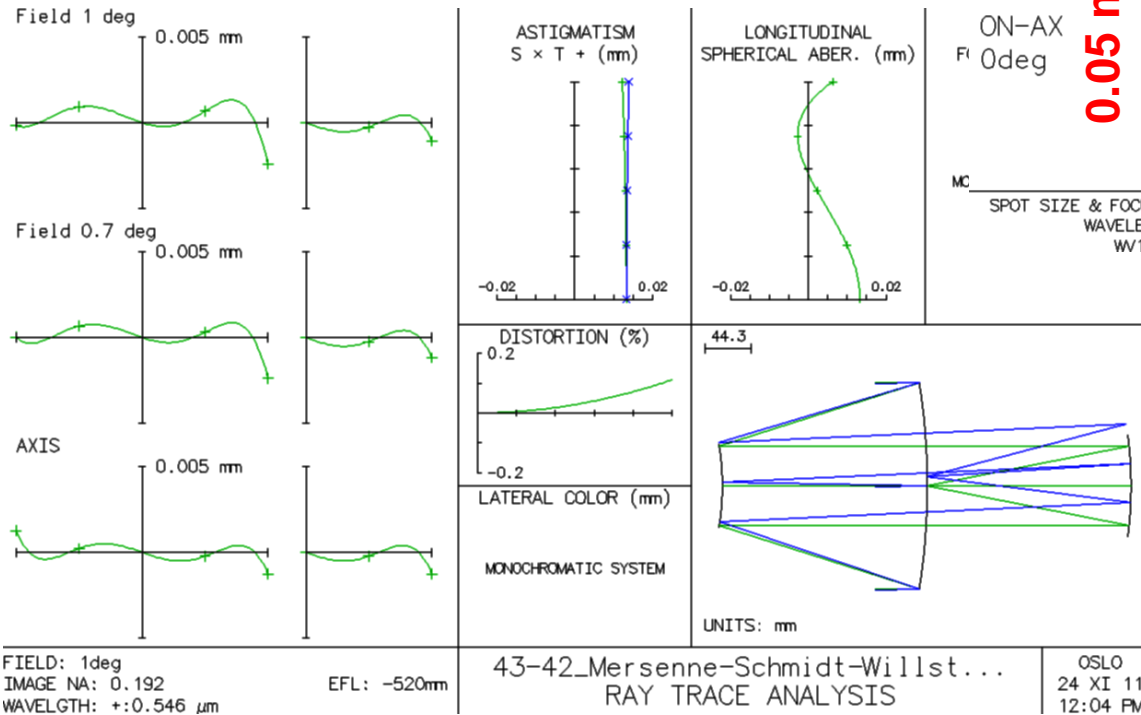


ON-AX
F_i 0deg

0.05 mm



FOCUS SHIFT



SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
WV1: 0.546

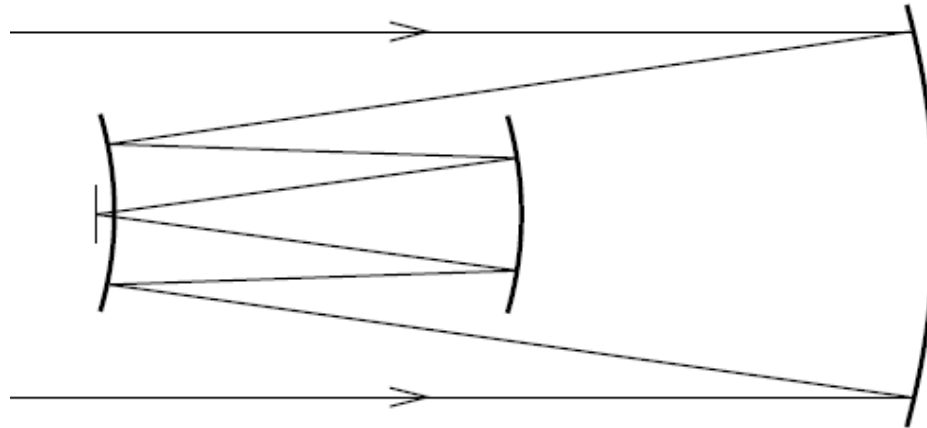
43-42_Mersenne-Schmidt-Willst...
SPOT DIAGRAM ANALYSIS

OSLO
24 XI 11
12:21 PM

Airyho disk



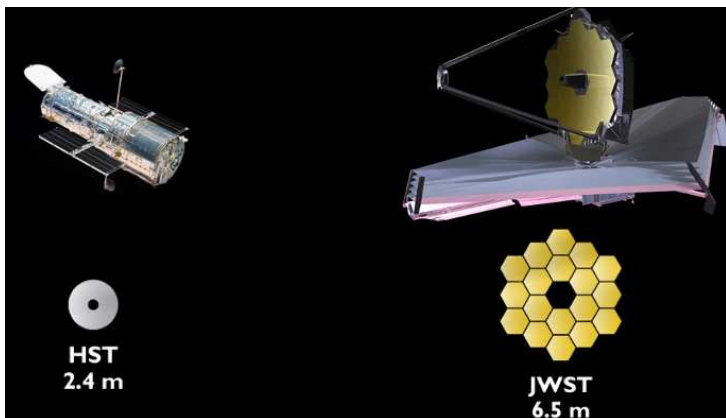
Korsch



Na rozdíl od předešlého typu nejsou u tohoto řešení paprsky po odraze na 2. zrcadle rovnoběžné ale mírně sbíhavé.

Obrazová rovina neleží uvnitř systému ale **blízko sekundárního zrcadla** (výhodné pro umístění přídatných zařízení).

Všechny tři plochy jsou asferické – hyperboly – předpoklad dobré korekce vad.



James Webb Space Telescope (JWST)

Korsch

D = 200mm, f' = 900 mm, f/4.5 – rovinné pole

difrakční limit
rovinné pole

FULL FIELD
1deg



0.7 FIELD
0.7dea



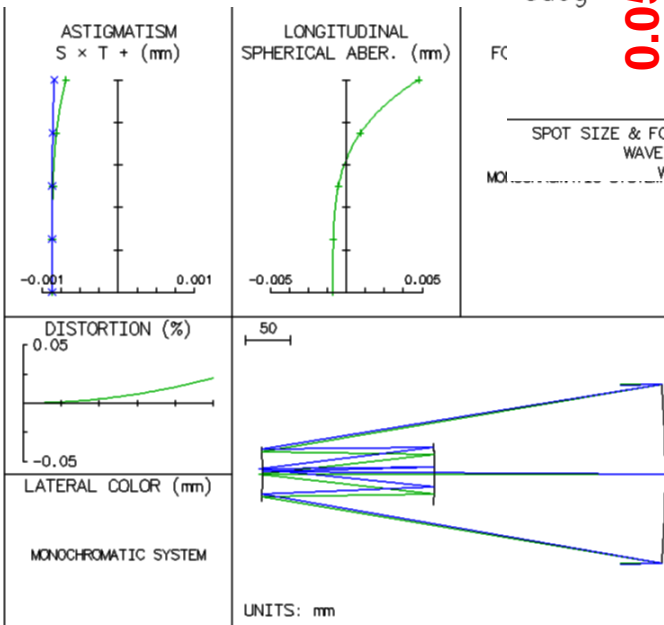
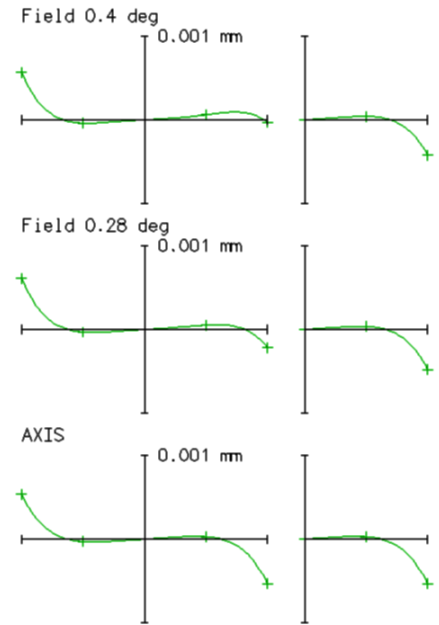
ON-AX
0deg



0.05 mm

-0.1 -0.05 0 0.05 0.1

FOCUS SHIFT

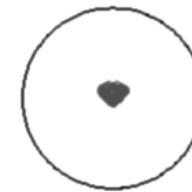


FIELD: 0.4deg
IMAGE NA: 0.111
WAVELGTH: +:0.550 μm
EFL: -900mm

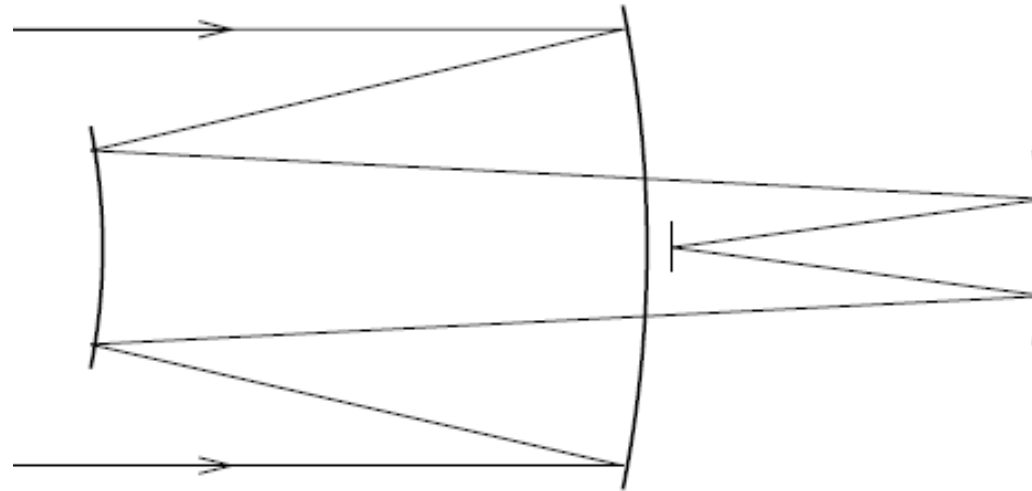
43-45_Korsch-3mirror-single-a...
RAY TRACE ANALYSIS
OSLO
24 XI 11
01:02 PM

SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
M01-----WV1: 0.55
43-45_Korsch-3mirror-single-a...
SPOT DIAGRAM ANALYSIS
OSLO
24 XI 11
01:17 PM

Airyho disk



Robb



Obrazová rovina neleží uvnitř systému ale **blízko primárního zrcadla** (výhodné pro umístění přídatných zařízení).

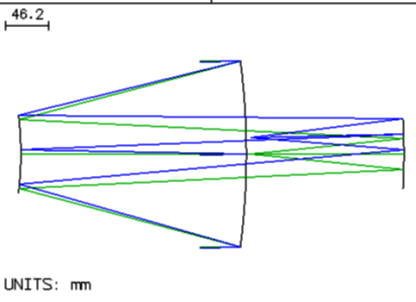
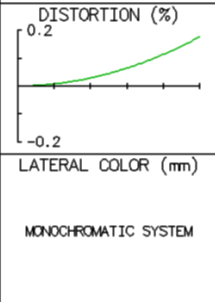
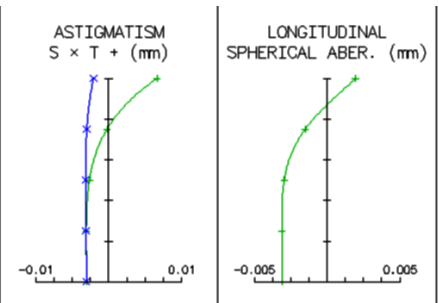
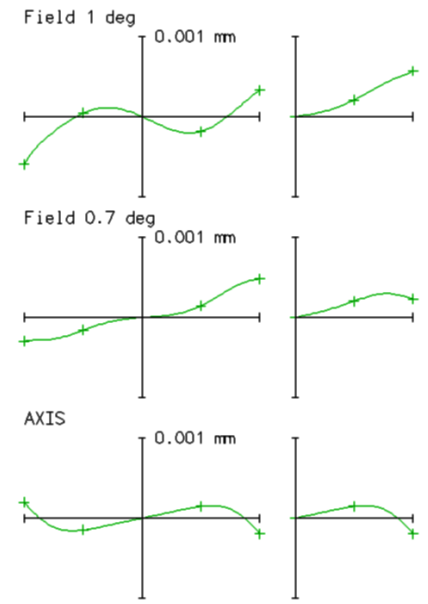
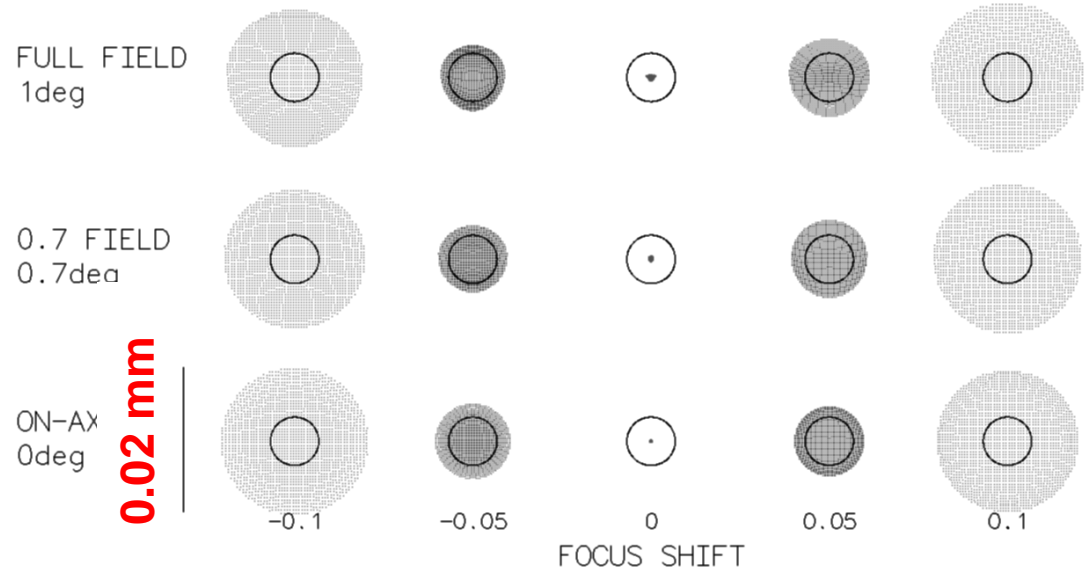
Všechny tři plochy jsou asferické – hyperboly – předpoklad dobré korekce vad.

Podobné řešení jako Willstrop Mersenne Schmidt, ale u toho byly paprsky mezi druhým a třetím zrcadlem rovnoběžné (afokální řešení)

Robb

$D = 200\text{mm}$, $f' = 1000\text{ mm}$, $f/5$ – rovinné pole

difrakční limit
rovinné pole



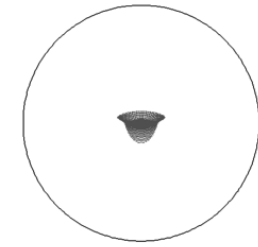
SPOT SIZE & FOCUS SHIFT: UNITS = mm
WAVELENGTHS (μm)
WV1: 0.55

43-47_Robb-3mirror-single-axi... OSLO
SPOT DIAGRAM ANALYSIS 24 XI 11
01:38 PM

FIELD: 1deg
IMAGE NA: 0.1
WAVELGTH: +:0.550 μm
EFL: -1e+03mm

43-47_Robb-3mirror-single-axi... OSLO
RAY TRACE ANALYSIS 24 XI 11
01:26 PM

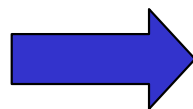
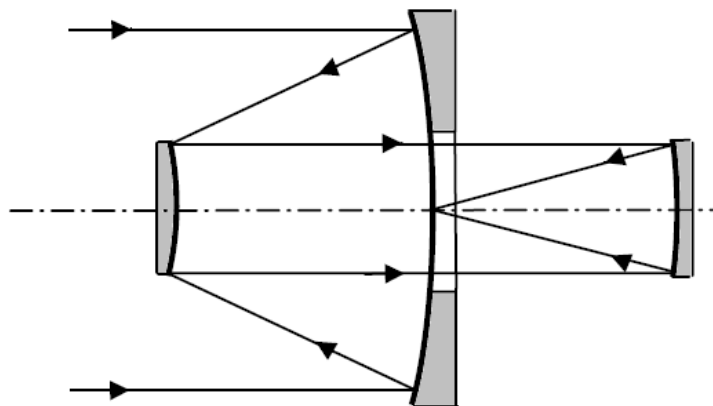
Airyho disk



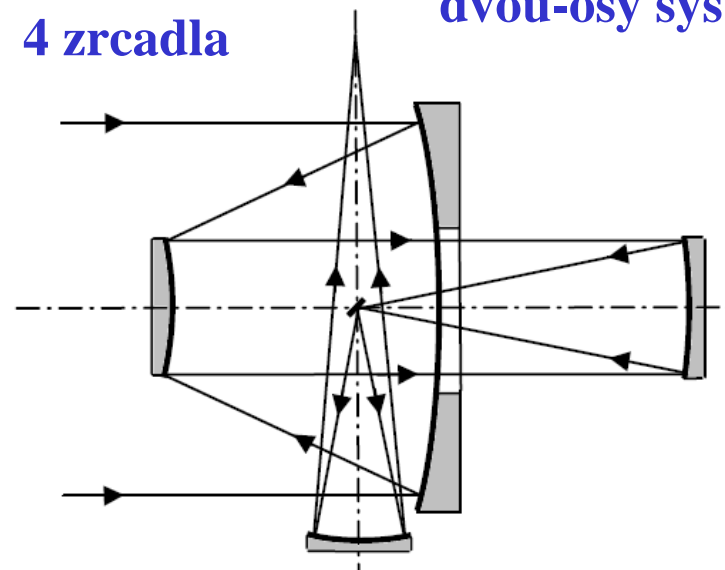
Zrcadlové teleskopy – 4 zrcadlové

eliminace asférických zrcadel

3 zrcadla



4 zrcadla



dvou-osý systém

Paul - Baker

Willstrop Mersenne Schmidt

- všechna zrcadla asferická

Paul - Schmidt

Wilson-Delabre

- primární zrcadlo (někdy i sekundární)

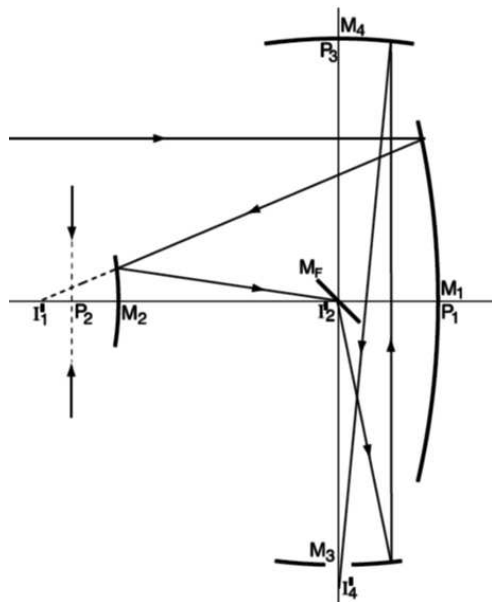
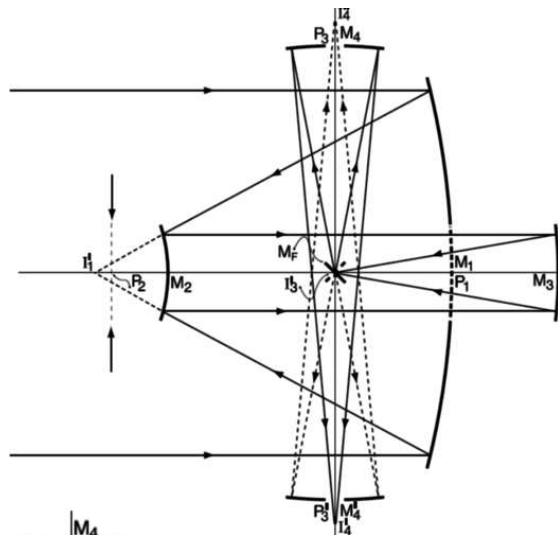
je **kulové**

(velká výhoda pro velká zrcadla)

Zrcadlové teleskopy – 4 zrcadlové

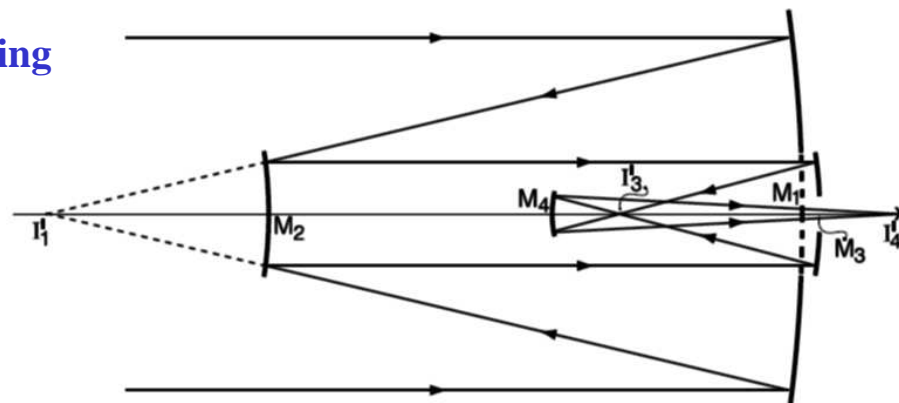
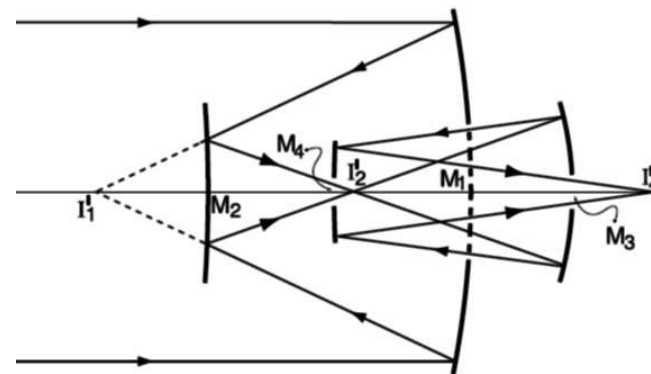
eliminace asférických zrcadel

dvou-osé systémy



R.N. Wilson Reflecting Telescope Optics I

jedno-osé systémy



Zrcadlové teleskopy – nakloněná zrcadla

eliminace centrálního clonění

Schiefspiegler

TCT – Tilted Component Telescopes

Herschelian

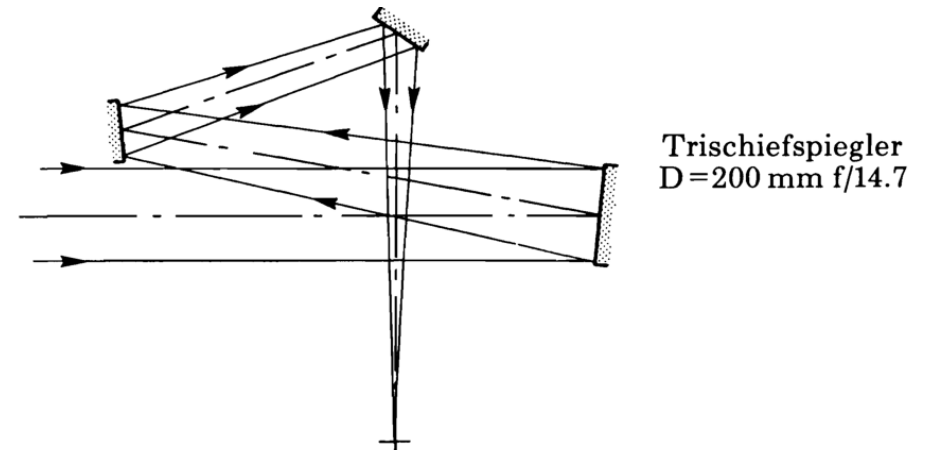
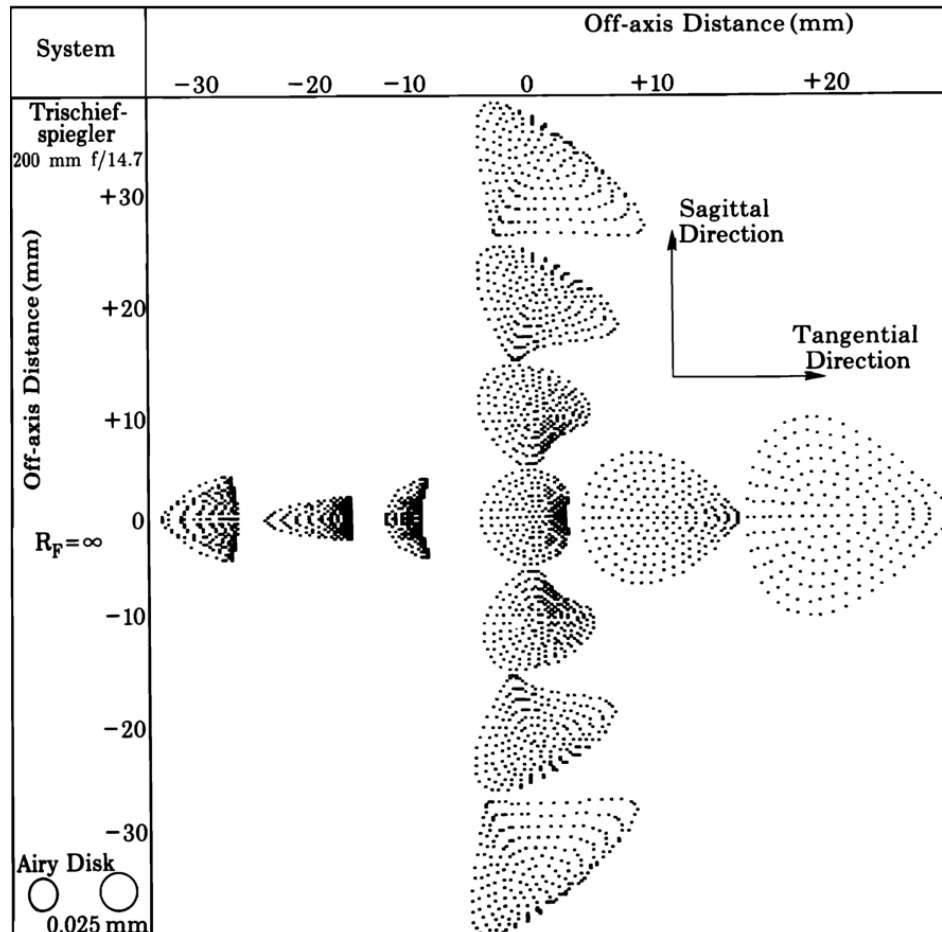
zrcadlové teleskopy bez centrálního clonění

- kulová zrcadla – velké poloměry křivosti

- velká clonová čísla

- malá zorná pole

} malé aberace



Telescope optics Evaluation and design

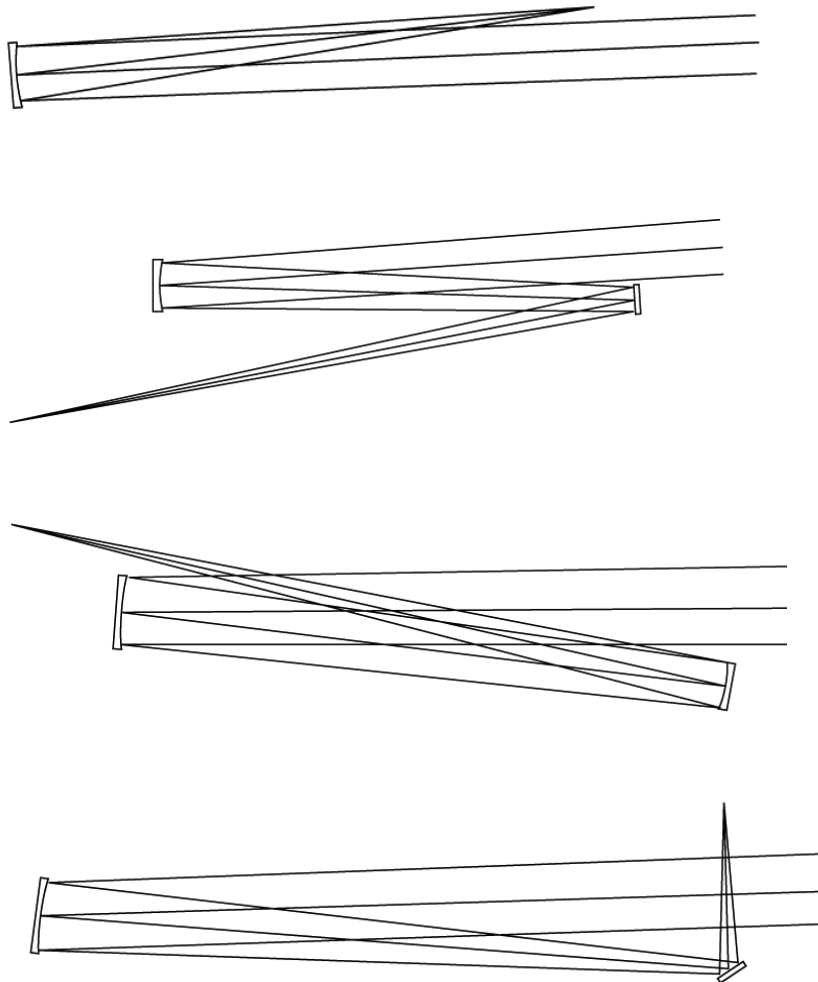
H.Rutten, M.van Venrooij

Tvary spotů nejsou rotačně symetrické

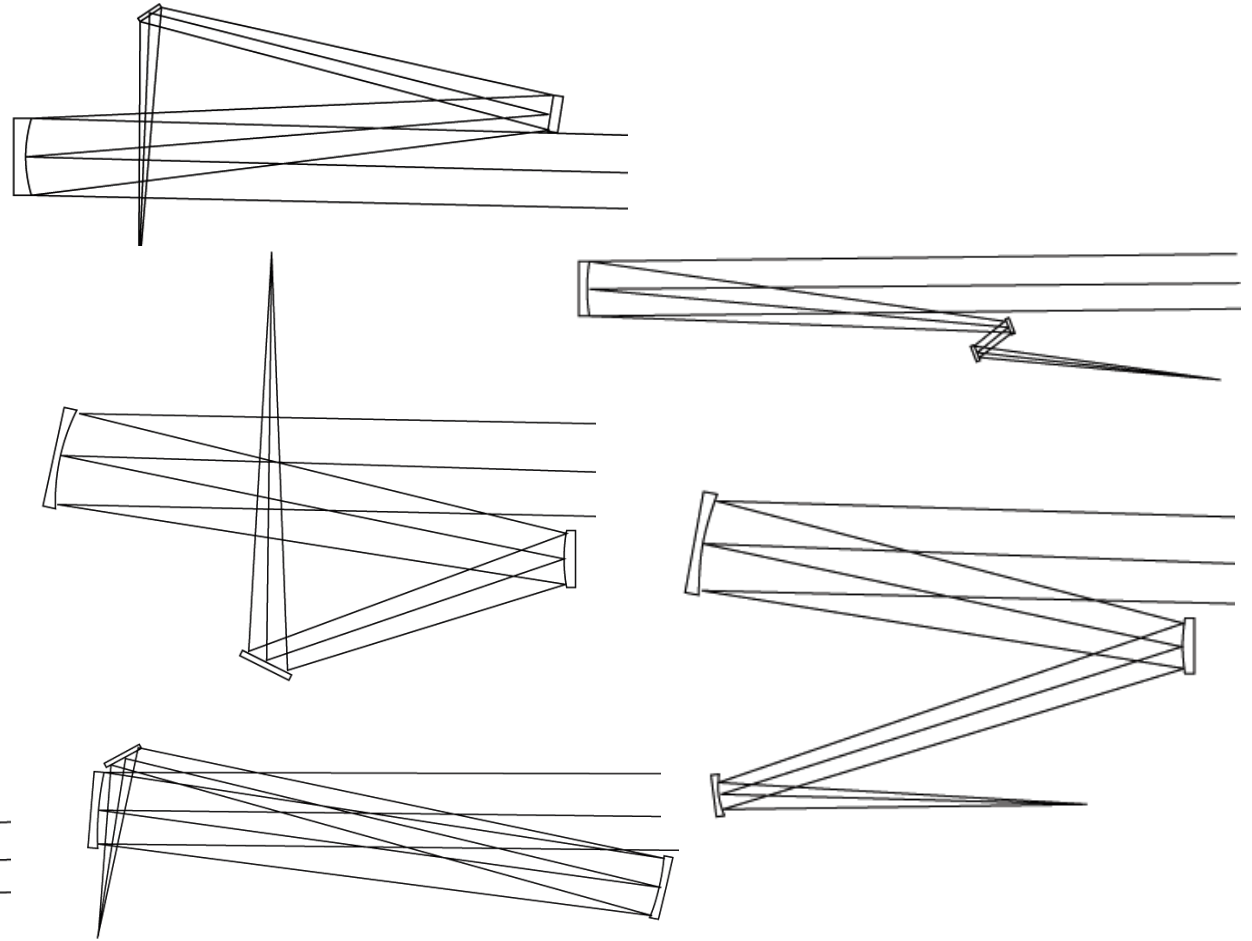
Zrcadlové teleskopy – nakloněná zrcadla

eliminace centrálního clonění

2 zrcadla



3 zrcadla



Zrcadlové teleskopy (reflektory) shrnutí

Výhody:

- žádná otvorová vada ani barevné vady,
- menší hmotnost, kompaktní konstrukce, kromě newtonova typu krátký tubus,
- žádné sklo = žádná absorpce a odrazy , pozorování slabých objektů,
- přijatelné ceny

Nevýhody:

- otevřený tubus = problémy s prostředím, degradace zrcadla,
- náročné na údržbu,
- potřeba kolimace po dejustáži,
- centrální clonění