

.Projekt Brána do vesmíru

Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.

Krajská hvězdárna v Žiline



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



KRAJSKÁ
HVEZDÁREŇ



Astronomické dalekohledy

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu
2. Astronomické montáže
3. Kamery
4. Příslušenství astronomického dalekohledu

Dr. Ing. Zdeněk Řehoř, PhD.

Email: Zdenek.Rehor@upol.cz



1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Historie dalekohledu

Abu Ishaq ibn Jundub (+767)

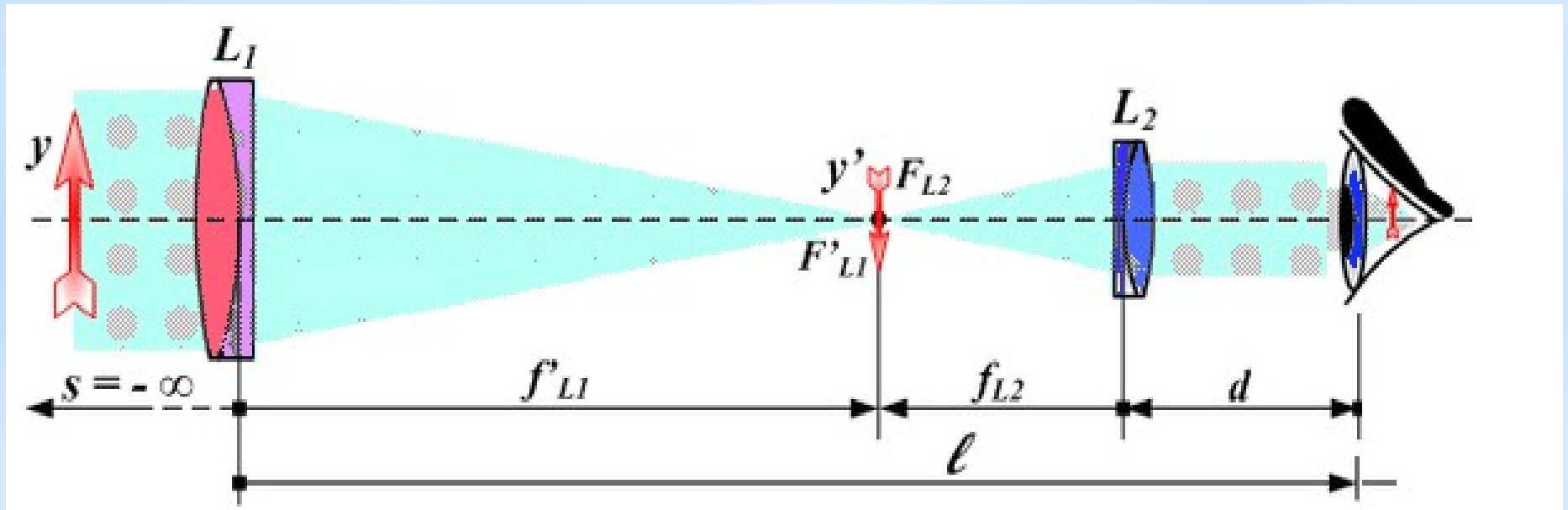
Hans (Johann) Lippershey (1608)

Galileo Galilei (1609)



1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Princip dalekohledu



1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Ohnisková vzdálenost, zorné pole

Relativní otvor (světelnost)

Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

Optický zisk (dosah)

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Relativní otvor (světelnost)

$$r = \frac{D}{f}, = \frac{1}{c}$$

Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

Optický zisk (dosah)



Např. máme dalekohled o průměru objektivu 100mm a ohniskové vzdálenosti 1000 mm. Relativní otvor tohoto systému pak je: $f/10$.

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Relativní otvor (světelnost)

Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

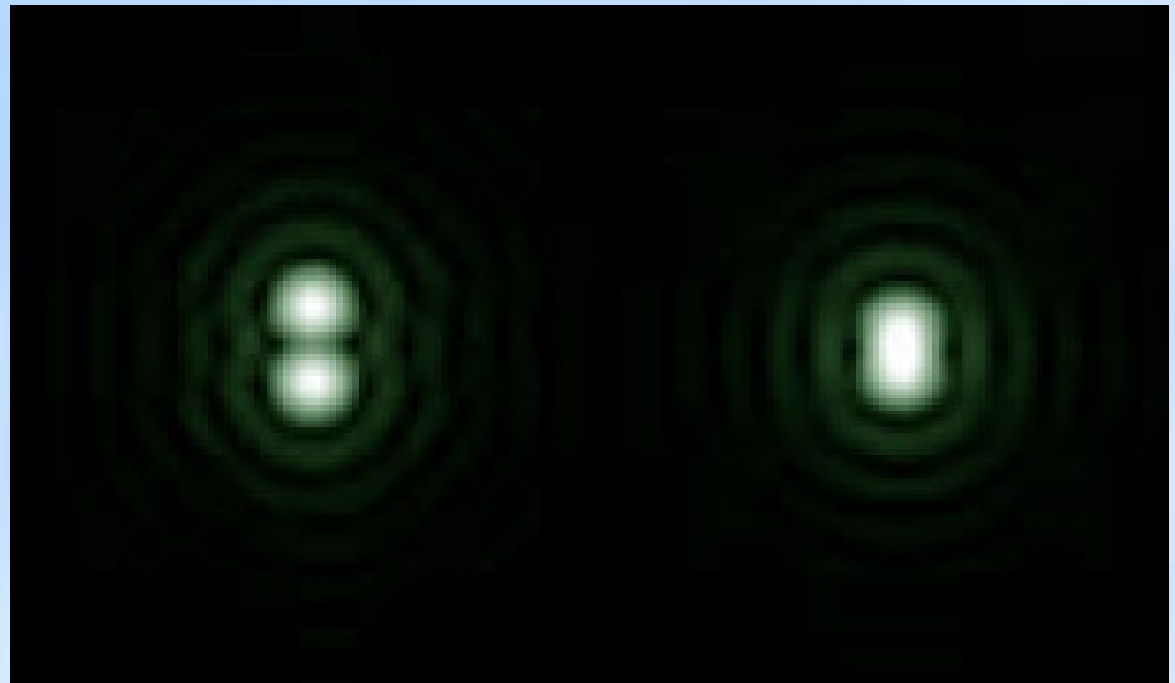
Optický zisk (dosah)

Rayleigh

$$\delta = 138/D_{\text{vs}}$$

Dawson

$$\delta = 114/D_{\text{vs}}$$



Základní vlastnosti dalekohledu

Relativní otvor (světelnost)

Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

Optický zisk (dosah)



$$\Gamma = D_{vs} / D_{vy} = f_{ob} / f_{ok}$$

Rozsah využitelného zvětšení

*Minimální (normální) – průměr výstupního svazku (D_{vy}) je roven průměru zorničky adaptovaného oka (pohybuje se kolem cca **$0,1D_{vs}$**)*

*Maximální – umožňuje rozlišit úhel daný rozlišovací schopností (pohybuje se kolem cca **$2D_{vs}$**)*

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Relativní otvor (světelnost)

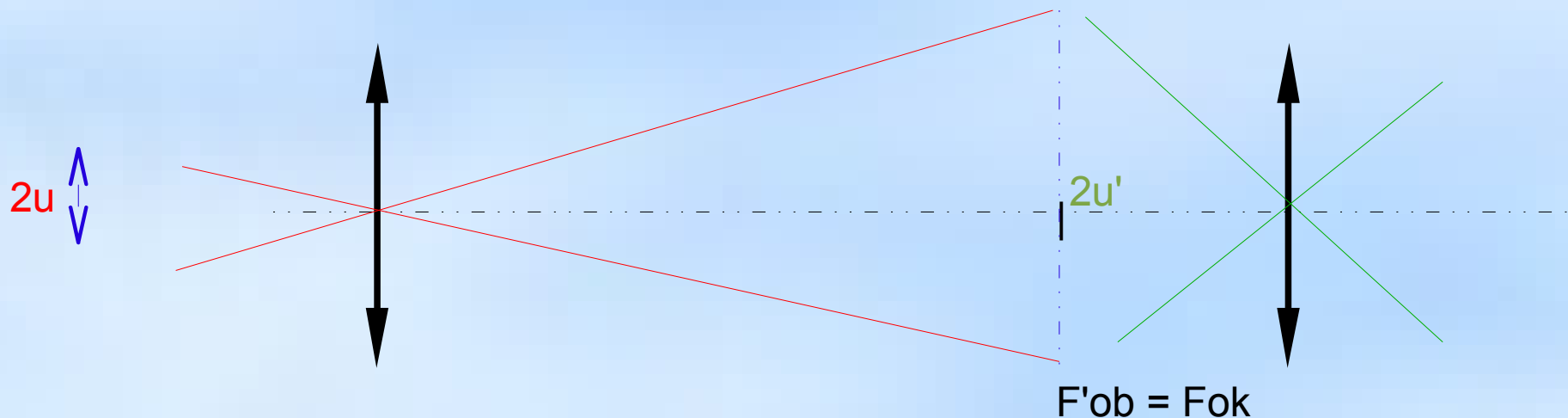
Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

Světelný zisk (dosah)

$$\Gamma = \frac{\tan(2\omega')}{\tan(2\omega)} \simeq \frac{\tan(2\omega')}{\tan(2\omega)}$$



1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Relativní otvor (světelnost)

Rozlišovací schopnost

Zvětšení

Zorné pole

Světelný zisk (dosah)

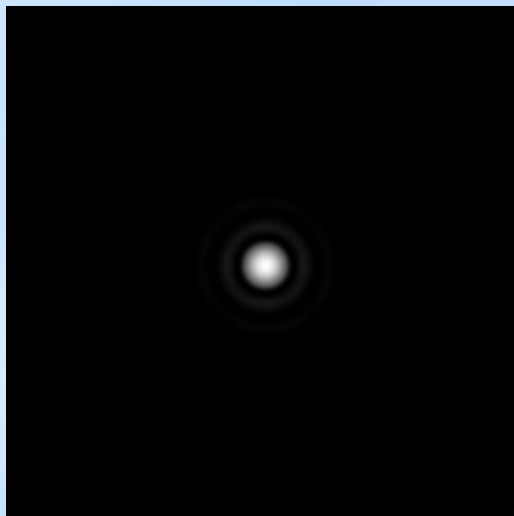
$$MHV = 2,5 + 5 \log (D_{vs})$$

Průměr objektivu [mm]	8	60	70	100	150	250	300	350
MHV [mag]	7,0	11,3	11,7	12,5	13,3	14,4	14,9	15,2
Světelný zisk	1	56x	76x	156x	351x	976x	1406x	1919x
Zisk oproti oku [mag]	0	4,3	4,7	5,5	6,3	7,4	7,9	8,2

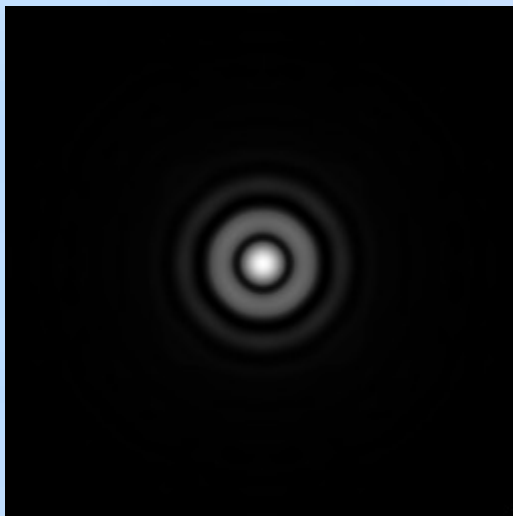
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní vlastnosti dalekohledu

Optické vady



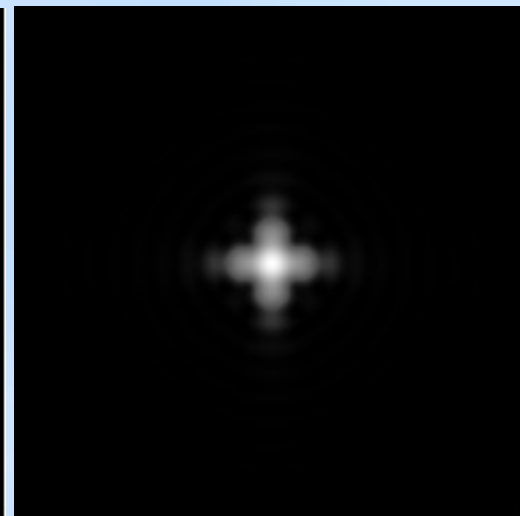
ideální zobrazení



sférická



koma

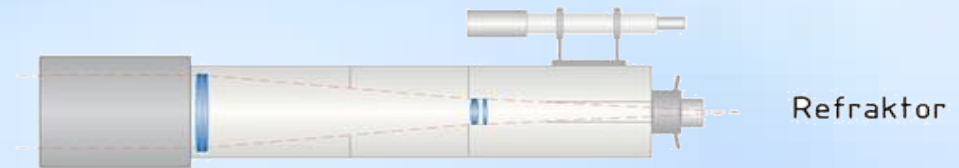


astigmatismus

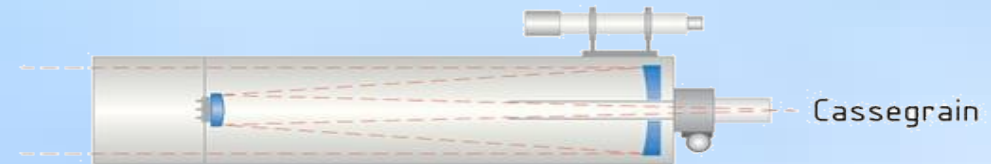
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Základní konstrukce

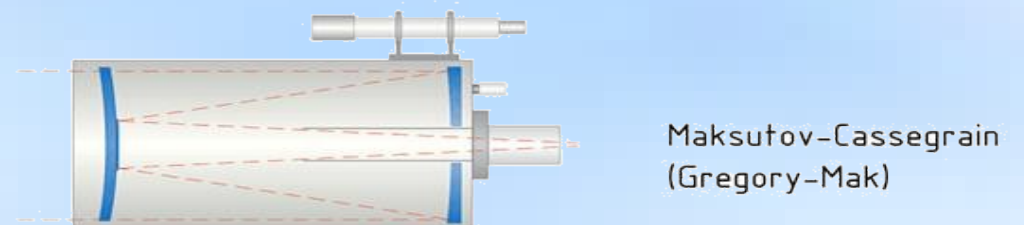
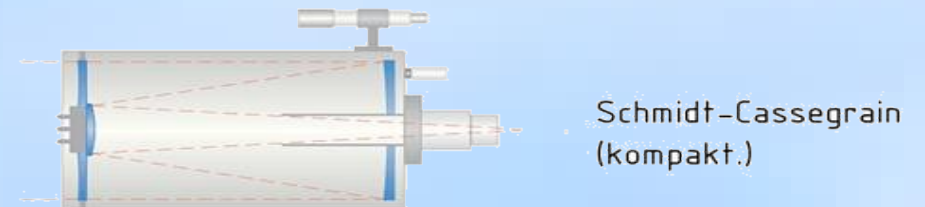
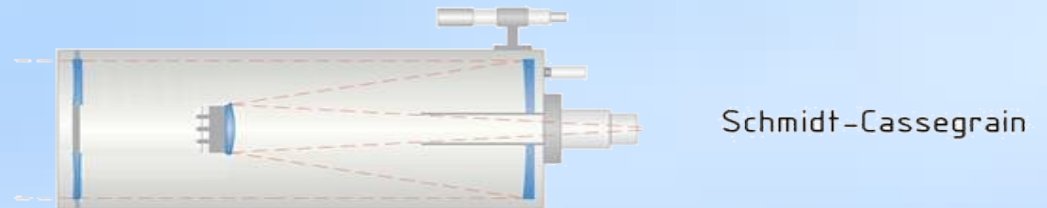
Čočkové



Zrcadlové



Kombinace (katdioptrické)



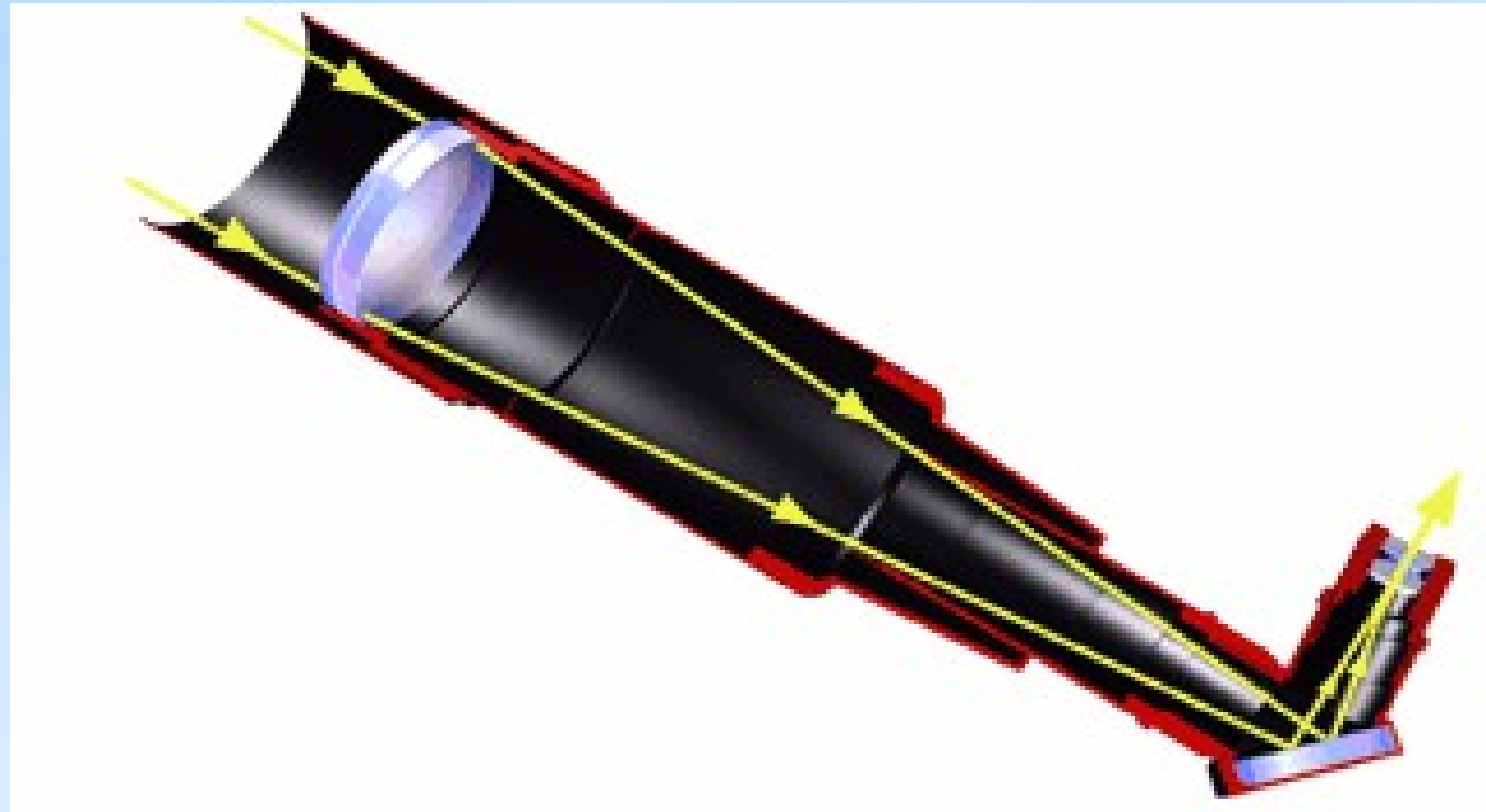
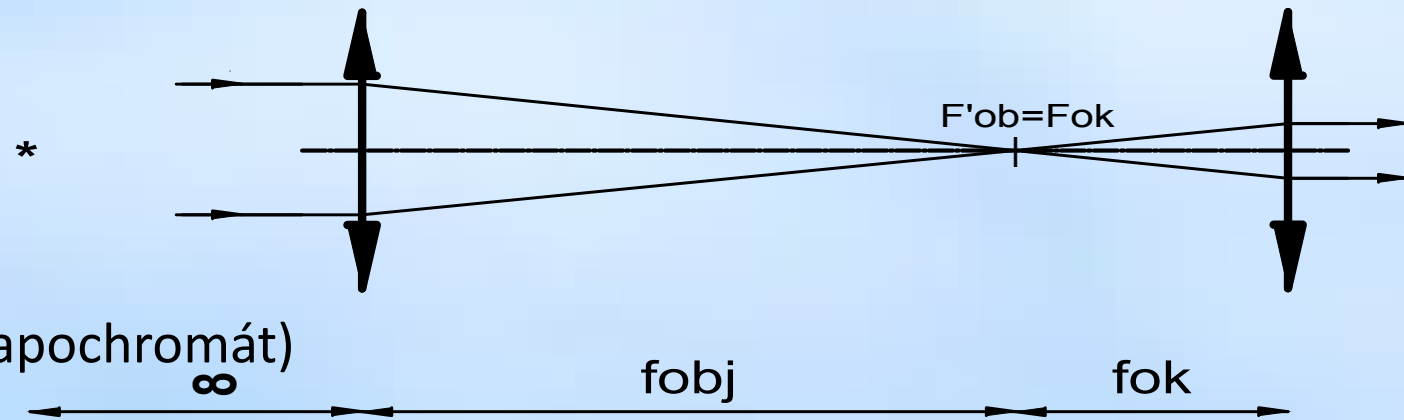
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Refraktor (čočkový dalekohled)

Achromát

Semi-apochromát

Apochromát (superapochromát)



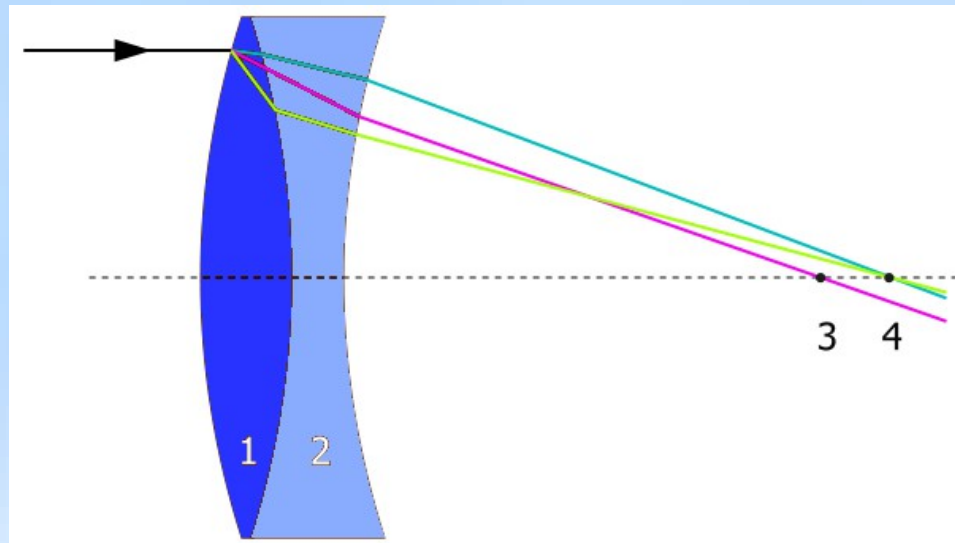
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Refraktor (čočkový dalekohled)

Achromát

Semi-apochromát

Apochromát (superapochromát)



S klesající rel. otvorem (světelností) se velikost barevné vady zmenšuje

Pro klasickou konstrukci má např. přístroj $F/10$ jen cca 20% barevné vady oproti $F/5$

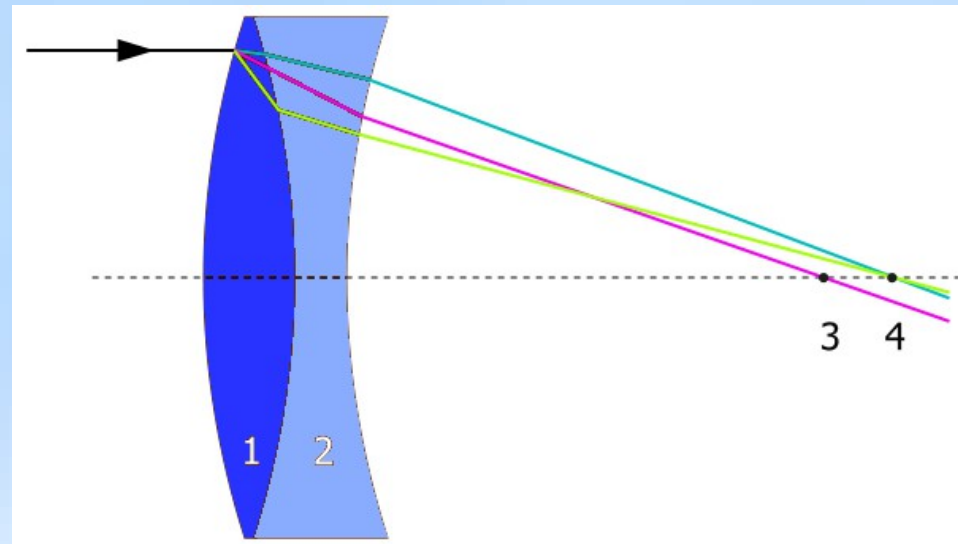
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Refraktor (čočkový dalekohled)

Achromát

Semi-apochromát

Apochromát (superapochromát)



Velikost barevné vady semiapochromátu je menší než 10-20% achromátu shodných parametrů

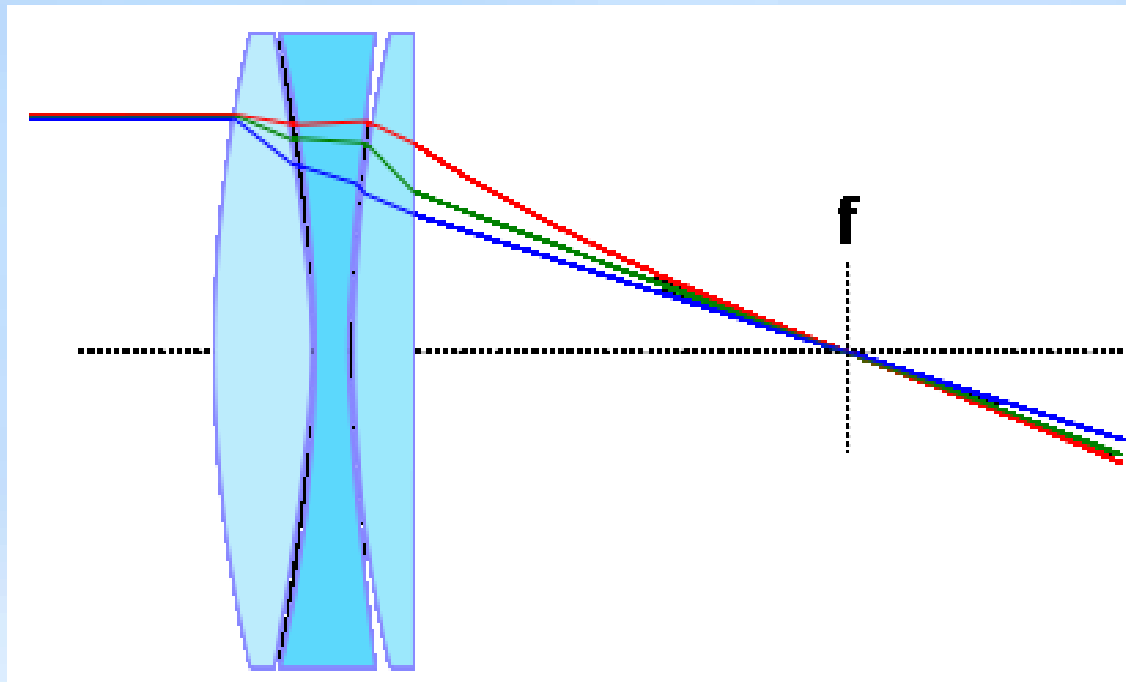
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Refraktor (čočkový dalekohled)

Achromát

Semi-apochromát

Apochromát (superapochromát)



Barevná vada je kompenzována pro 3 (apo-) a více (superapo-) vlnových délek

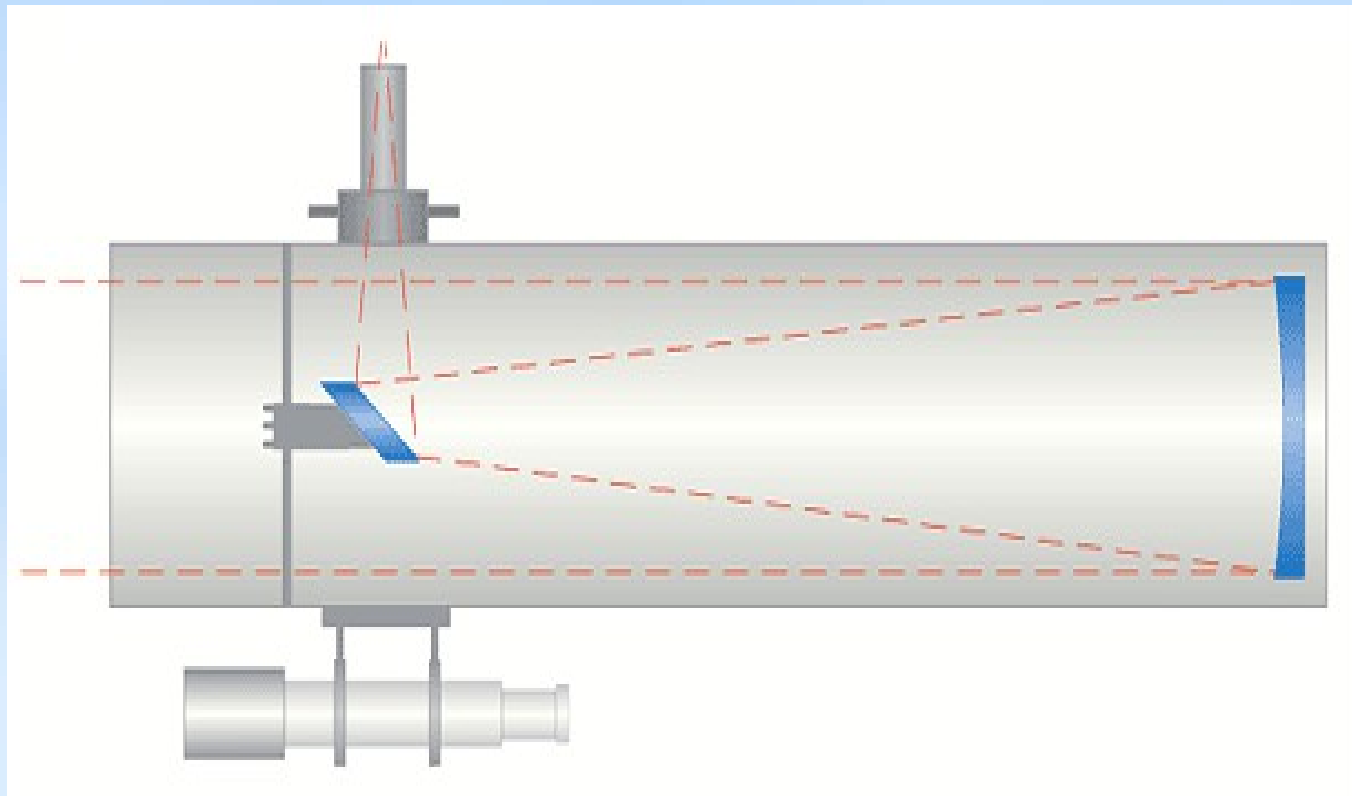
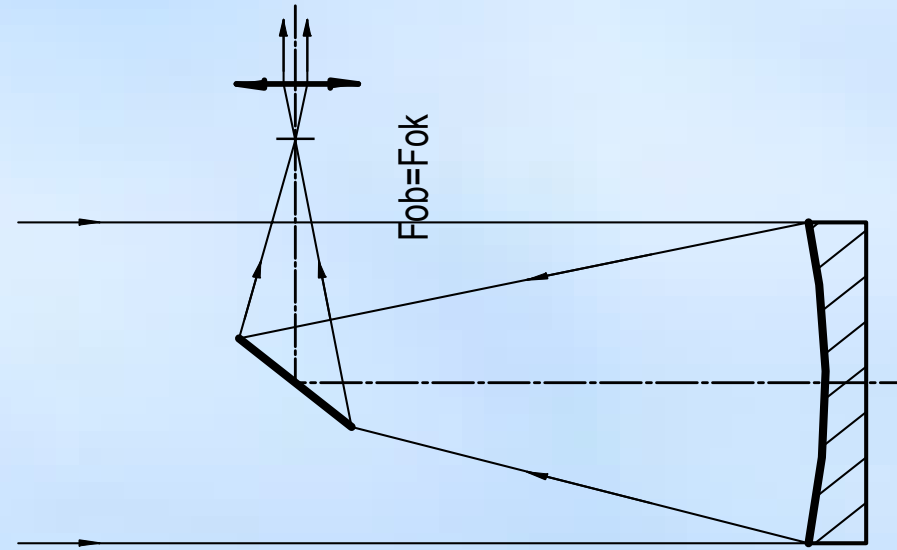
Refraktor (čočkový dalekohled)

Výhody	Nevýhody
- velmi dobrá až výborná ostrost a kontrast kresby	- u APO vysoký poměr cena/průměr
- mohou mít velké zorné pole	- zbytková barevná vada u achromátu
- konstrukce umožňuje pomocí vnitřních clon účinně potlačit parazitní odrazy	- rosení objektivu
- uzavřený tubus chrání vnitřní optický systém	- nelze pořídit soustavy velkých průměrů
- nenáročné na údržbu či seřízení	

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

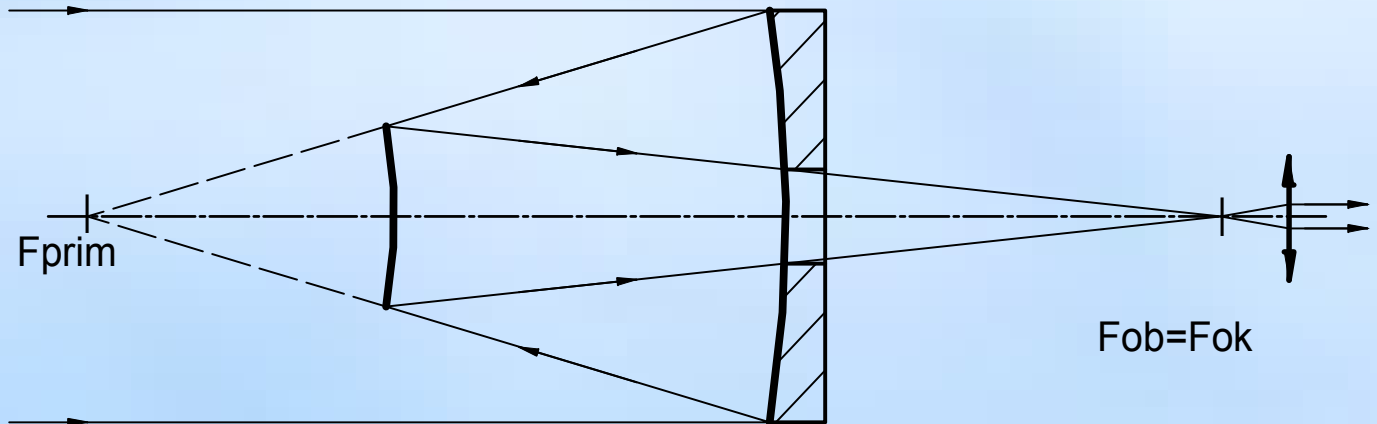
Reflektor (zrcadlový dalekohled)

Zrcadlový dalekohled typu NEWTON

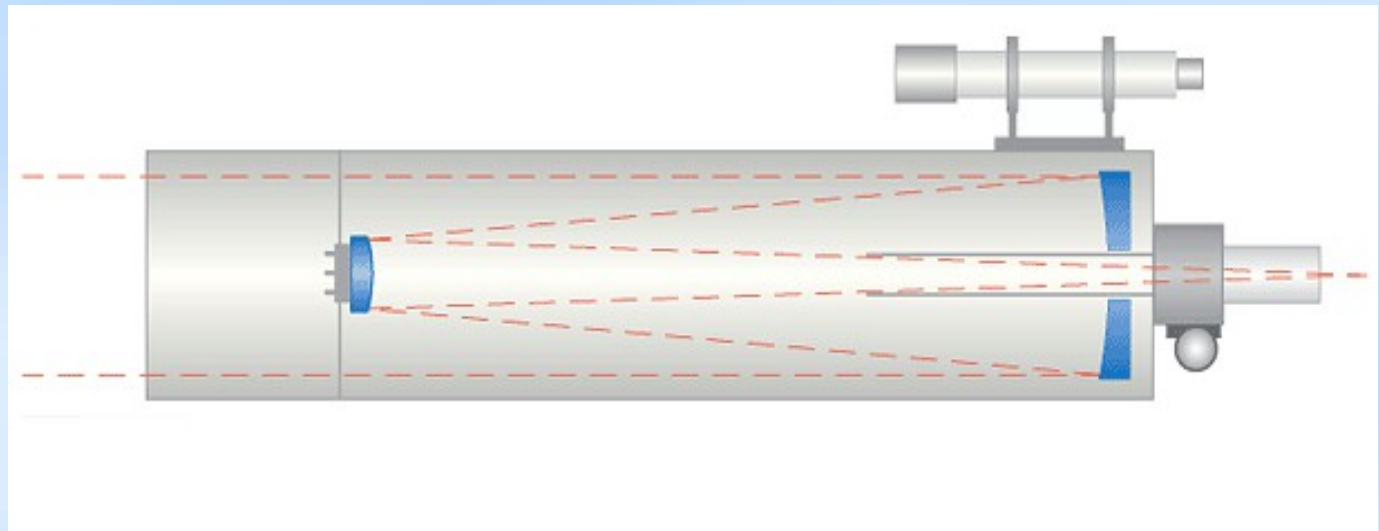


1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Reflektor (zrcadlový dalekohled)



Zrcadlový dalekohled typu CASSEGRAIN



Reflektor (zrcadlový dalekohled)

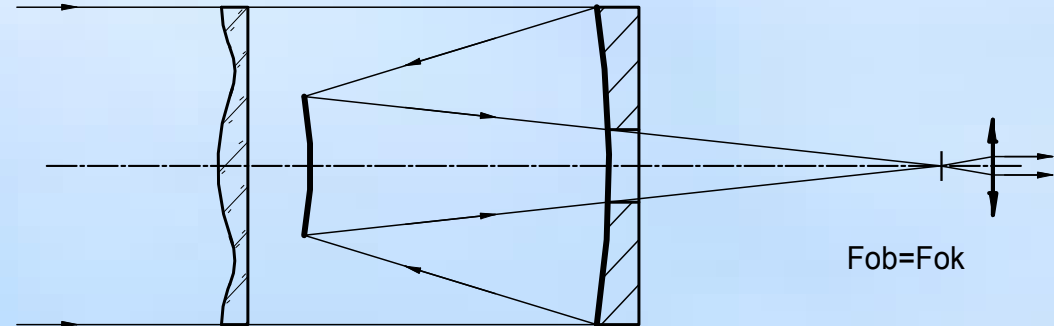
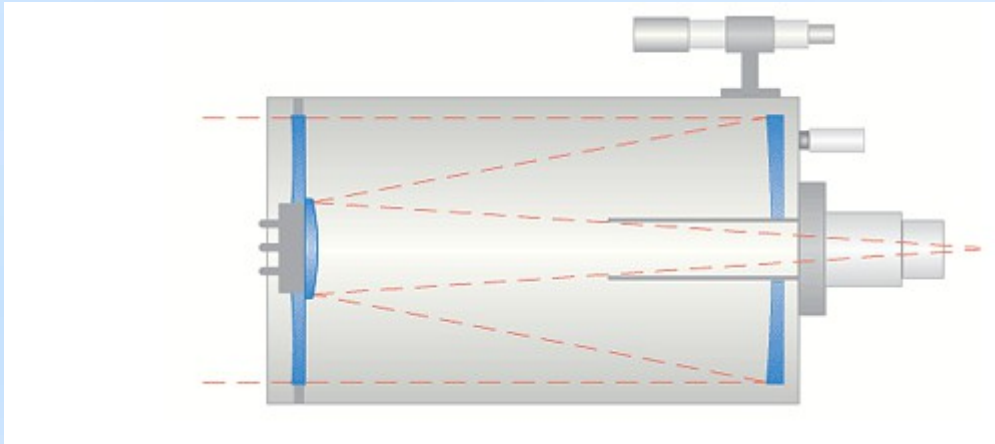
Zrcadlový dalekohled typu NEWTON

Výhody	Nevýhody
- relativně malé centrální stínění	- malé zorné pole
- nulová barevná vada	- v okraji zorného pole obraz zatížen komou
- výborná kresba v optické ose	- nutná příležitostná kolimace
- velmi výhodný poměr ceny a průměru	

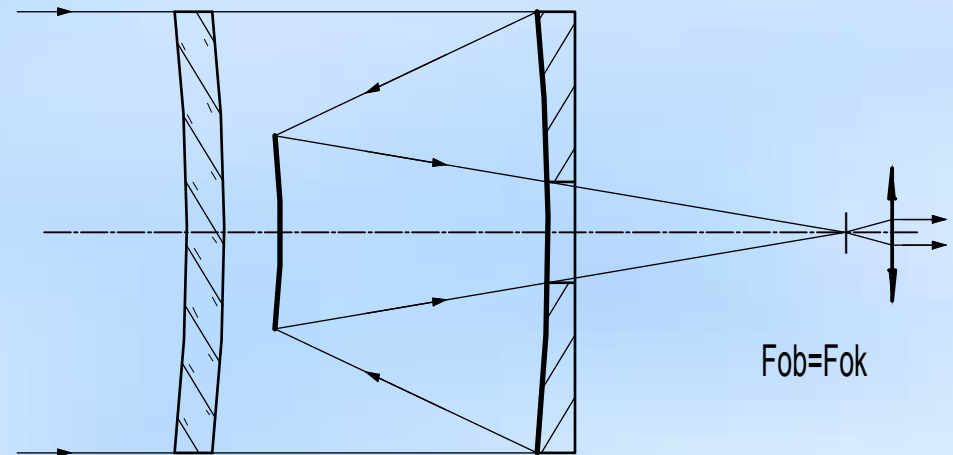
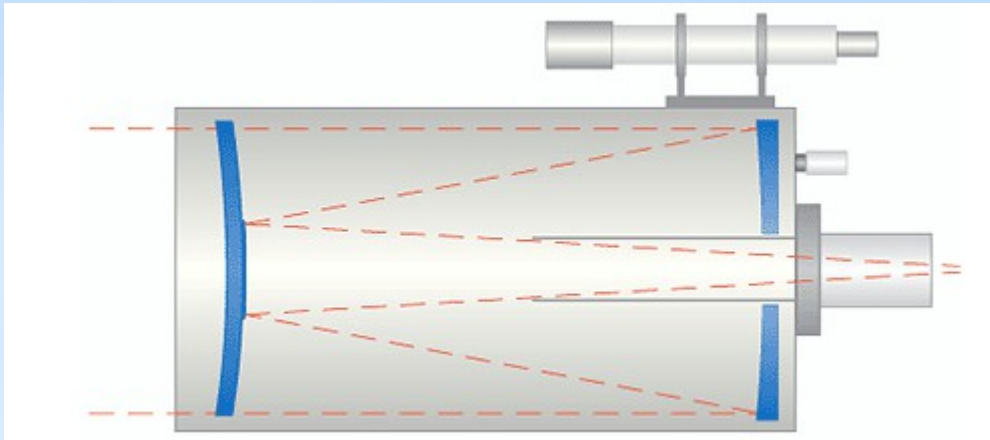
1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Katadioptrický dalekohled

Zrcadlový dalekohled typu Schmidt-Cassegrain

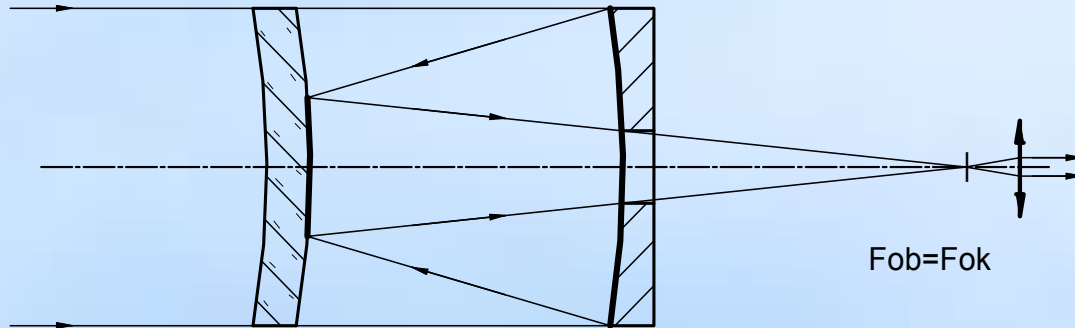


Zrcadlový dalekohled typu Maksutov-Cassegrain



1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

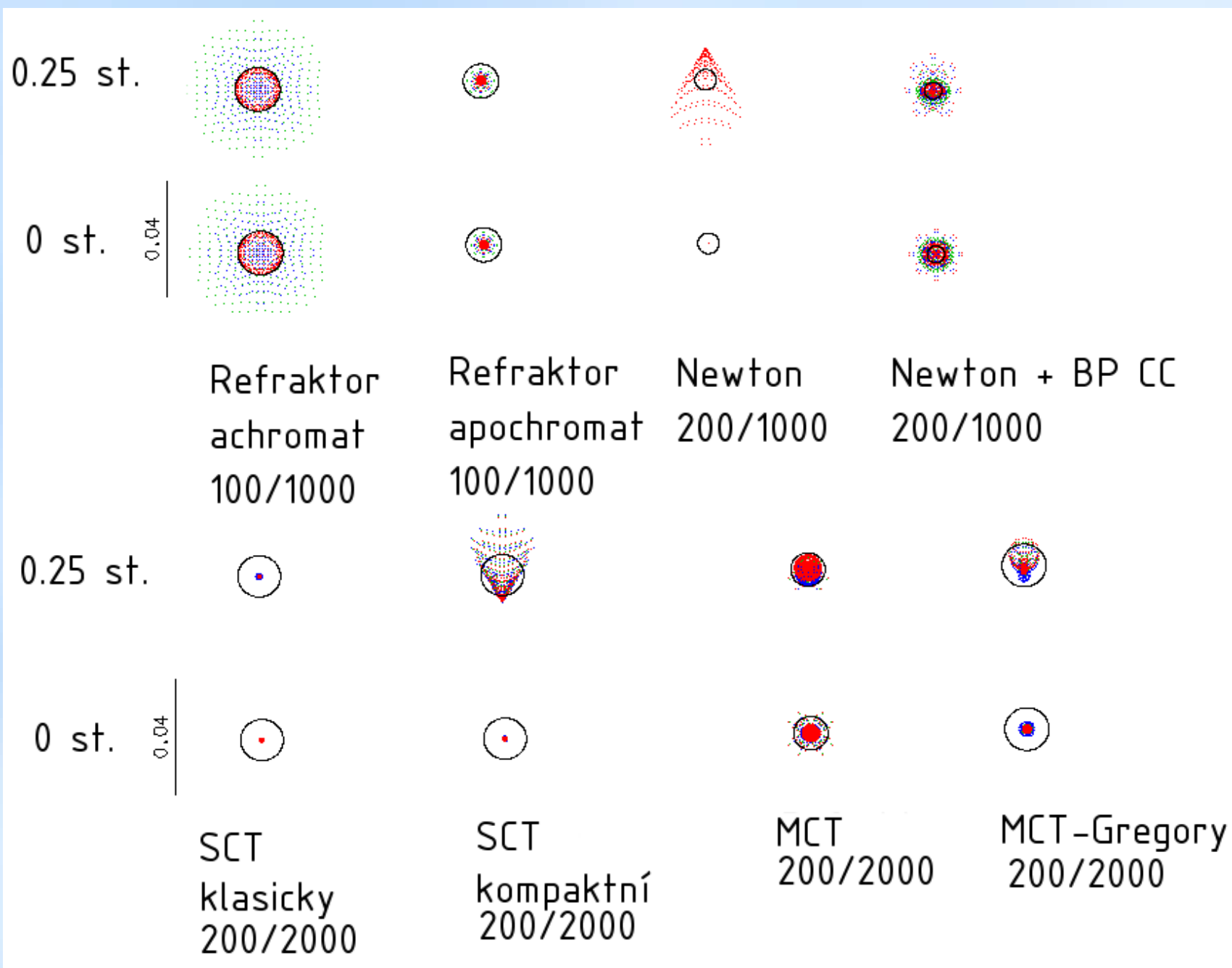
Katadioptrický dalekohled



Výhody	Nevýhody
- velmi malá nebo žádná barevná vada	- malé zorné pole
- velmi kompaktní rozměry	- rosení korekční desky
- uzavřený tubus	- větší centrální stínění
- vyrovnaná kvalita kresby v celém zorném poli (zejména MCT a nezkrácený SCT)	- u větších průměrů může být relativně dlouhá doba potřebná k vytemperování přístroje (zejména u MCT)
- malé nároky na údržbu (občasná kolimace)	

1. Základní konstrukce astronomického dalekohledu

Srovnání vlastností základních konstrukcí



Proč montáž dalekohledu

Musí zajistit:

- pevné a stabilní uchycení přístroje
- snadnou manipulaci
- hrubé i jemné pohyby po obloze

Alt/Azimutální

Vidlicová/Polovidlicová
Dobsonova



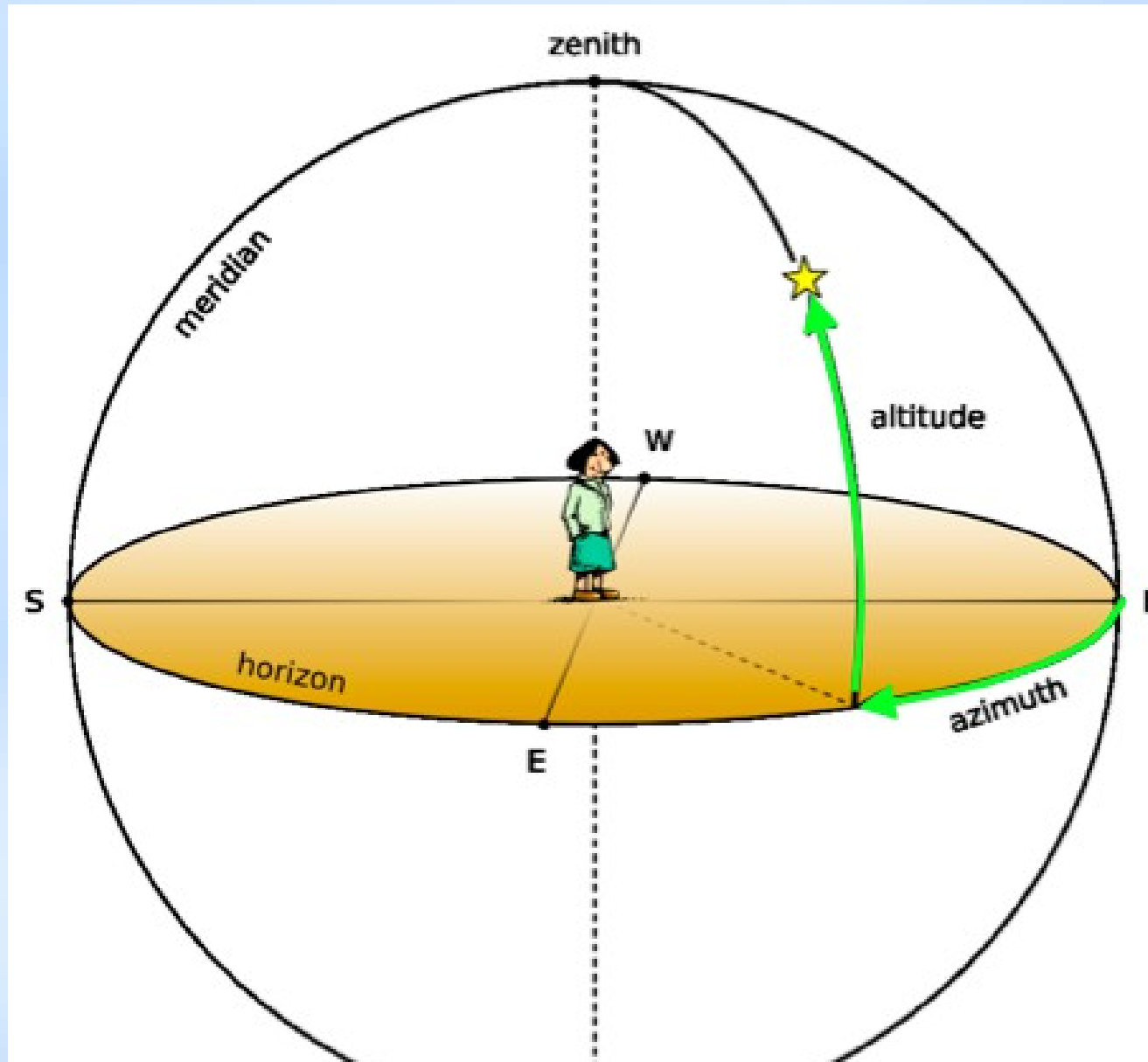
Equatoriální

Vidlicová
Německá paralaktická



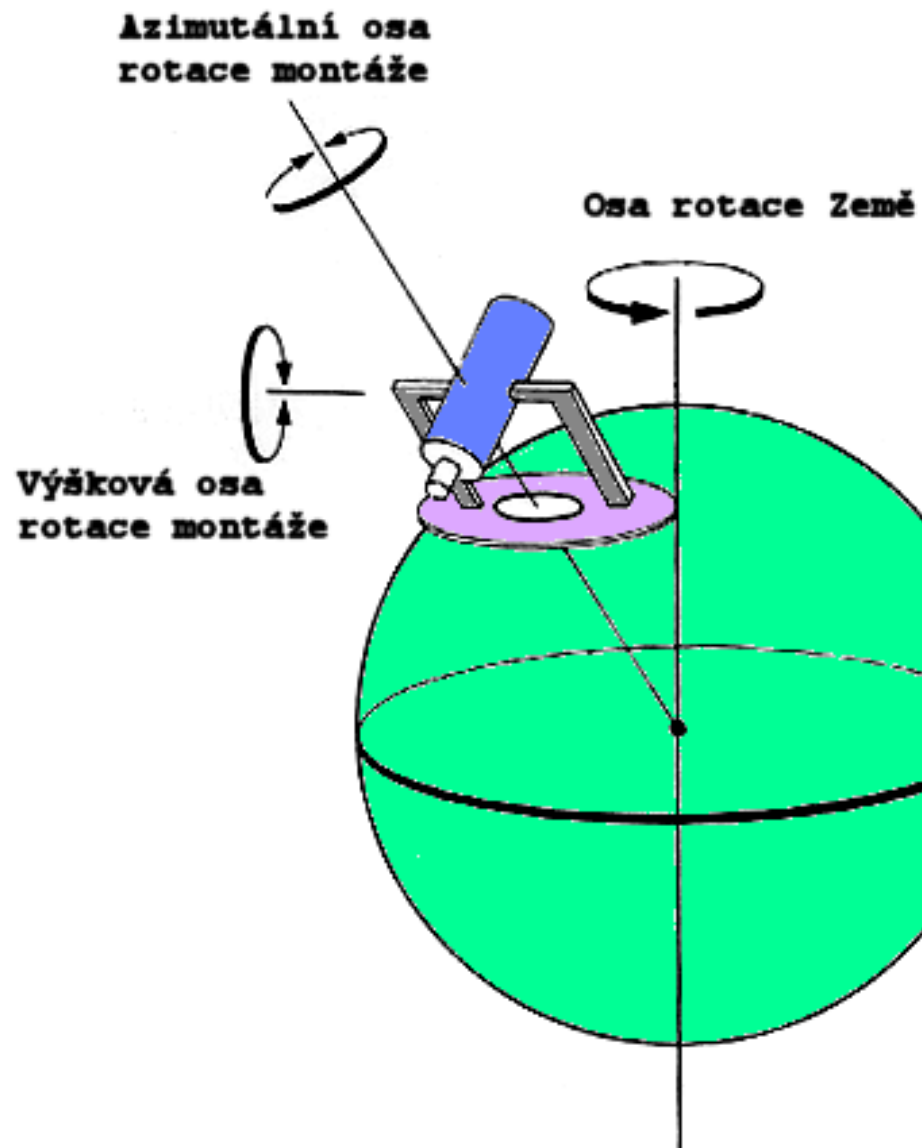
Montáž dalekohledu

Pohyby na obloze



Montáž dalekohledu

Azimutální montáž



Montáž dalekohledu

AltAzimutální montáž

- + intuitivní ovládání
- + zpravidla menší
- + snadnější vyvážení

- složitější automatické sledování hvězd



*Jednoduchá
Polovidlicová*



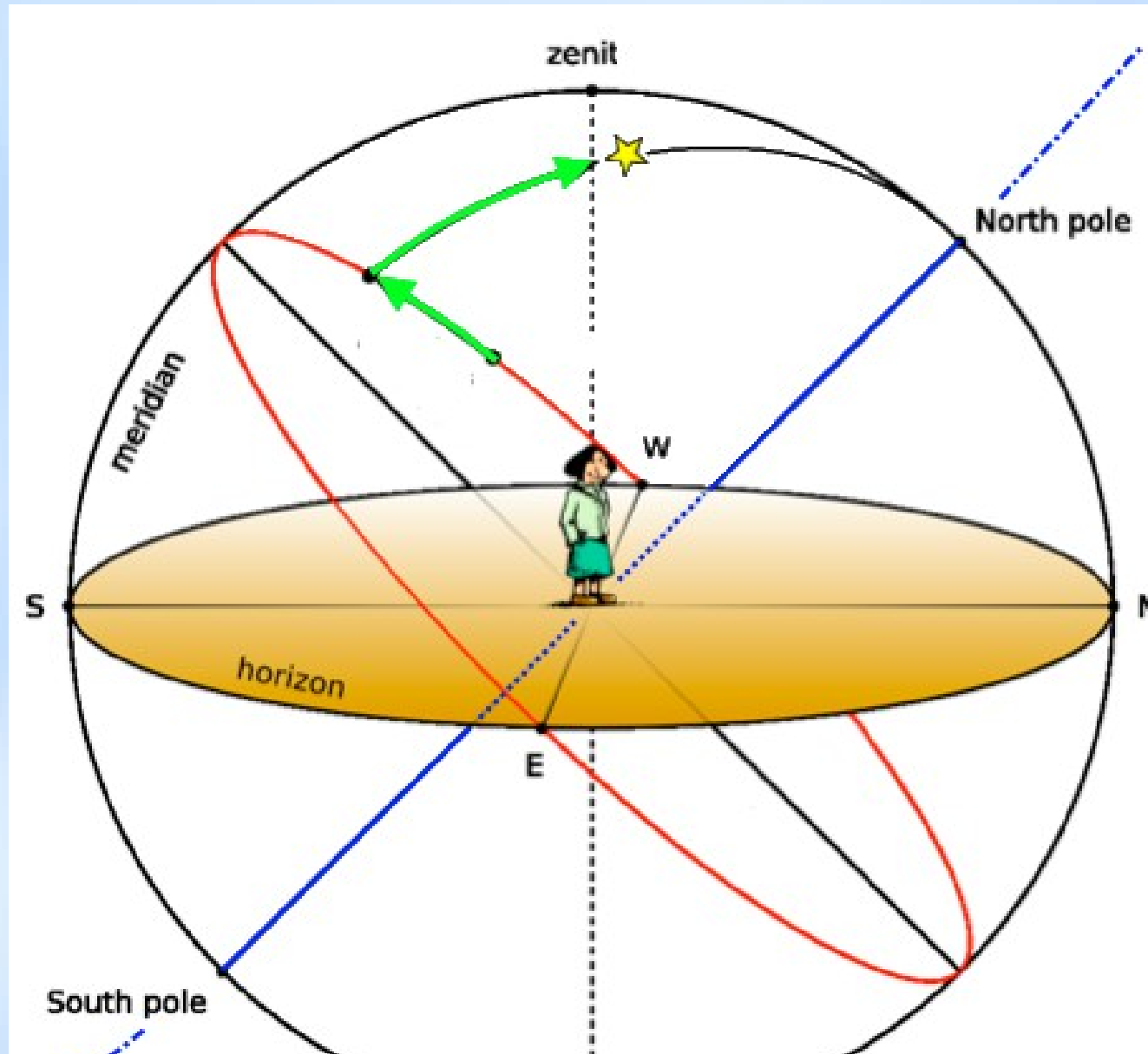
Dobson



Vidlicová

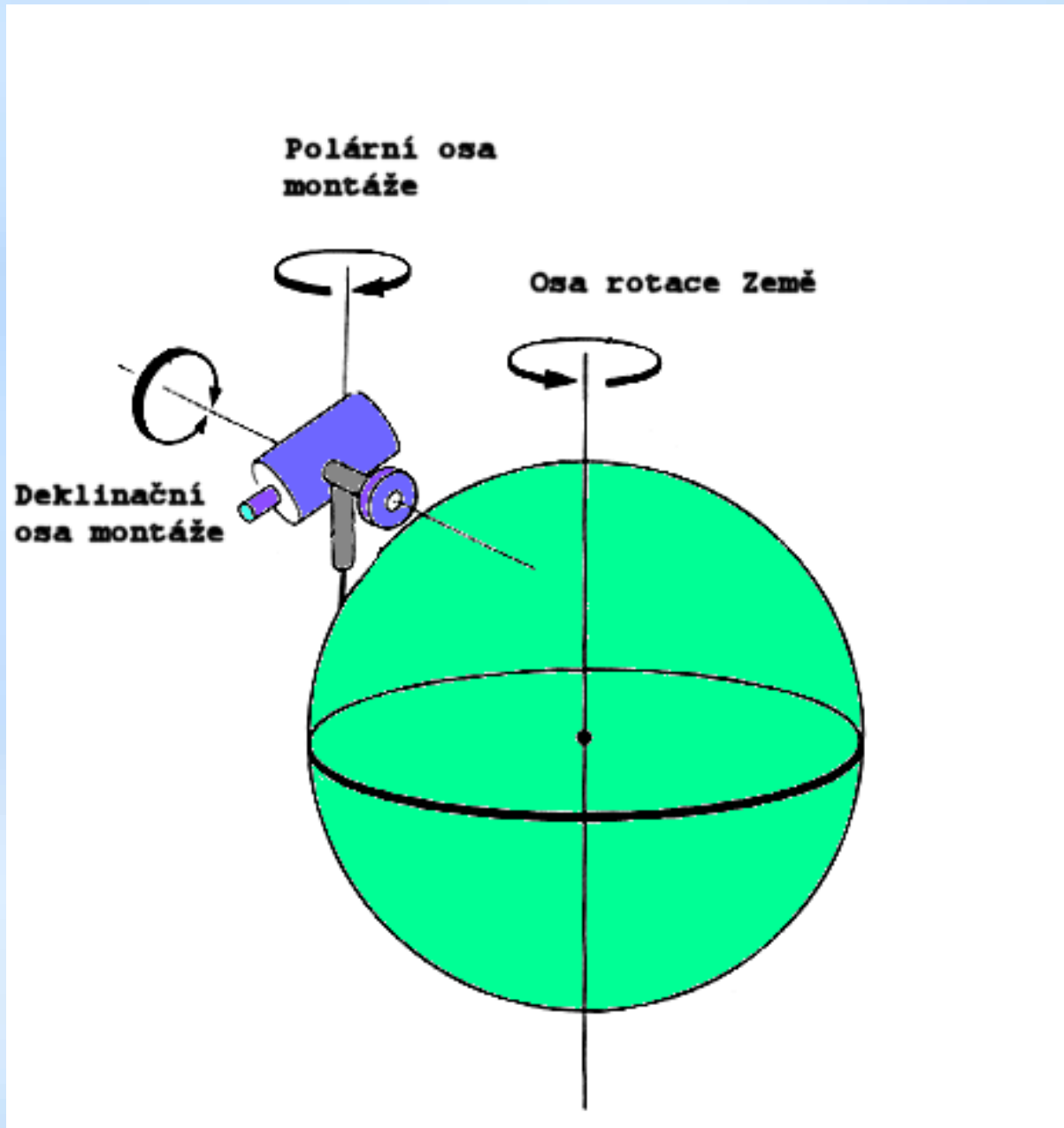
Montáž dalekohledu

Pohyby na obloze



Montáž dalekohledu

Equatoriální montáž



Montáž dalekohledu

Přeměna AltAzimutální montáže na equatoriální



Montáž: AltAzimutální



Equatoriální

Equatoriální montáž

- + sledovaný objekt se snadno udrží v zorném poli
- + lze využít i pro delší expozice

- pro začínající složitější manipulace
- nutnost protiváhy



*Vidlicová
(polovidlicová)*



*paralaktická
(německá)*

Equatoriální montáž

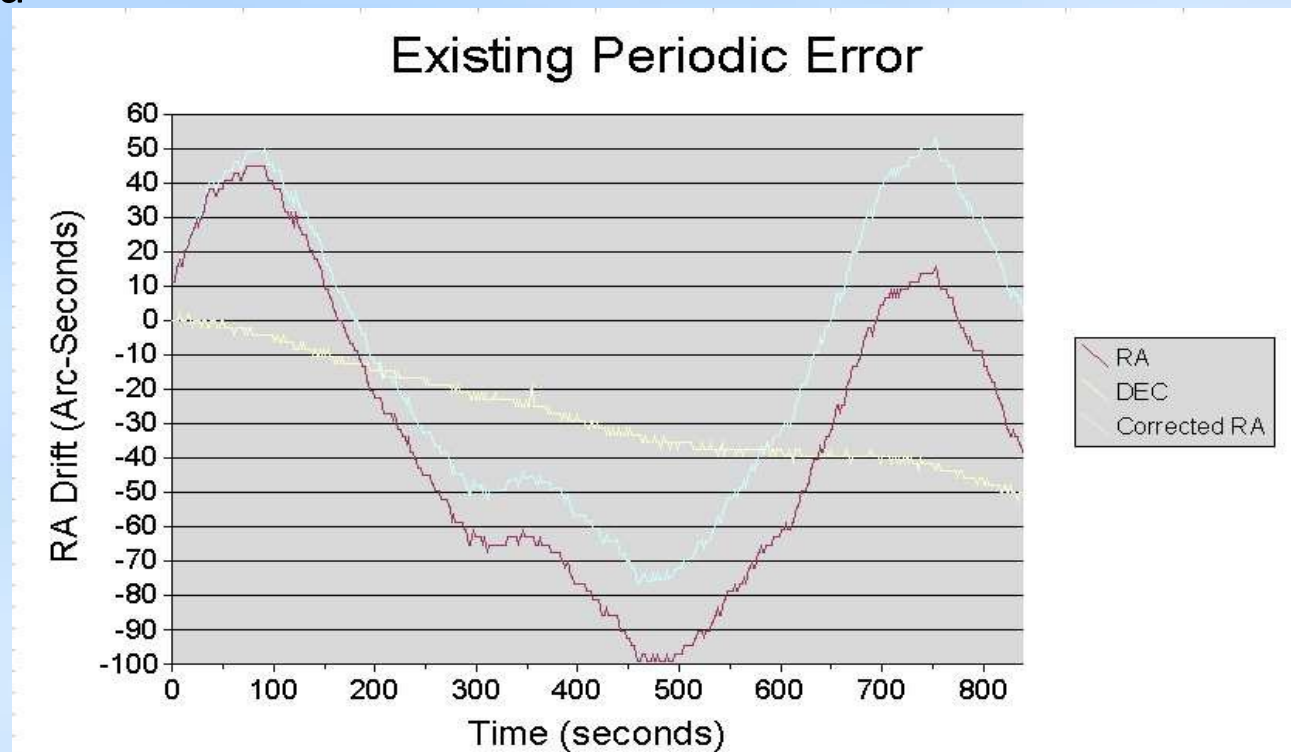
Základní parametry:

Nosnost

- maximální zatížení montáže
 - Na kříží / přístrojové
 - Pro vizuální / fotografické použití

Periodická chyba

- chyba sledování objektu



Pohled do útrob montáže



Pohled do útrob montáže

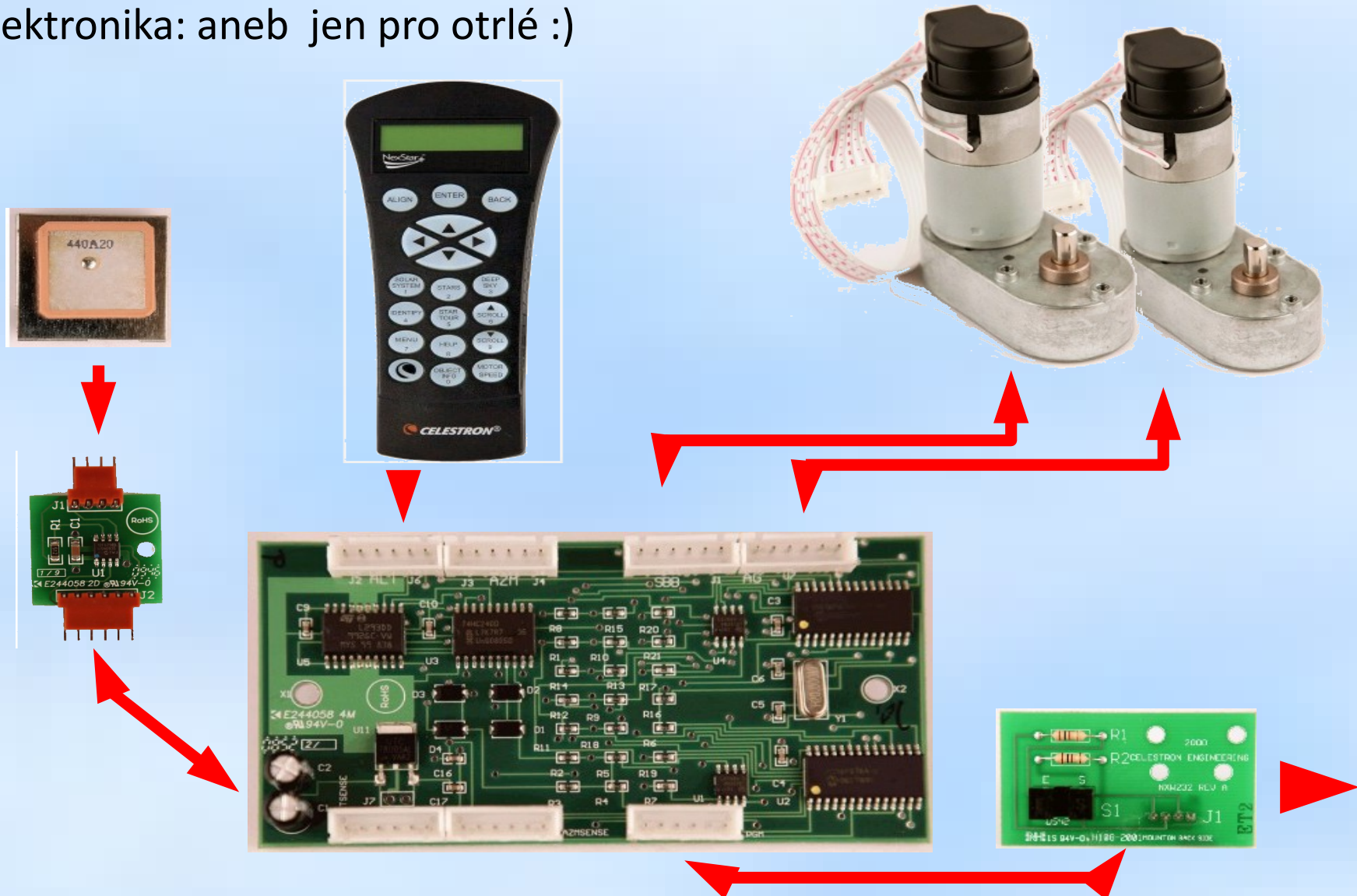
!!! základní pravidlo: ***opravdu víš, kam to patří?***



Obrázek: Kam s tím?

Pohled do útrob montáže

- Elektronika: aneb jen pro otrlé :)



Obrázek: Elektronika z montáže Celestron CPC (vidlicová robotizovaná montáž)

Astronomická kamera

Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

Stěžejní parametry:

- *všeobecné*
- *elektrické/optické*

LINEARITA

Udává linearitu odezvy na dopadající signál

ABG (anti-blooming gate) – omezuje přetečení náboje do sousedních pixelů,
ale zhoršuje linearitu senzoru při vyšších ohodnotách ozáření

→ zhoršení linearity se udává v poměru max. chyby (odchylky od lineární hodnoty)
ku této hodnotě: např. 1:100

(v max. ozáření je nelinearita 1 jednotku na 100 jednotek)



Astronomická kamera

Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

Stěžejní parametry:

- *všeobecné*
- *elektrické/optické*



Linearita

Udává linearitu odezvy na dopadající signál

ABG (anti-blooming gate) – omezuje přetečení náboje do sousedních pixelů, ale zhoršuje linearitu senzoru při vyšších ohodnotách ozáření

→ zhoršení linearity se udává v poměru max. chyby (odchylky od lineární hodnoty) ku této hodnotě: např. 1:100

(v max. ozáření je nelinearita 1 jednotku na 100 jednotek)

Rozlišení A/D převodníku

- Závisí na něm minimálně rozlišitelný rozdíl dvou signálů
- 8/16/32 bitů

Dynamický rozsah

Rozsah signálů, který vyvolá měřitelnou odezvu na senzoru

Astronomická kamera

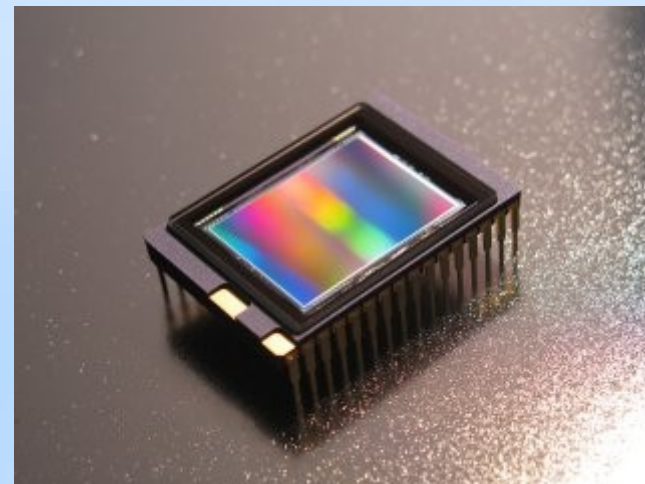
Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

Stěžejní parametry:

Velikost chipu

Větší hodnota:

- + větší záznamované zorné pole
- větší nároky na optickou soustavu (kresba u okraje)



Astronomická kamera

Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

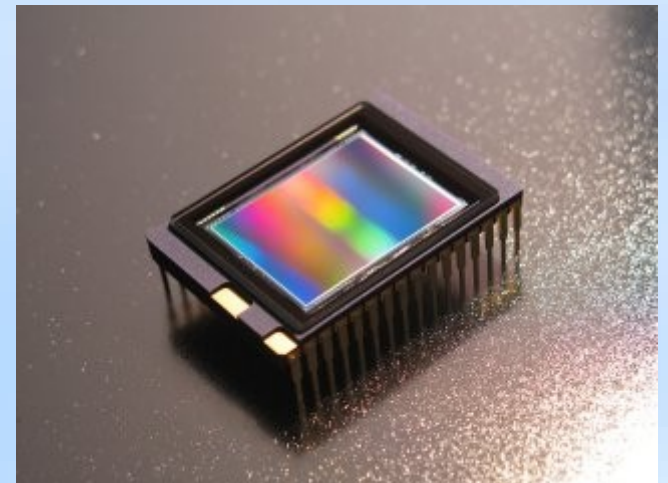
Stěžejní parametry:

Velikost chipu

Velikost pixelu

Větší hodnota:

- + obecně větší citlivost
- + zpravidla (ne vždy) větší dynamický rozsah (závisí i A/D převodníku za chipem)
- + citlivější na IR oblast (lze snadno odstínit IR filtrem)
- menší úhlové rozlišení (→ malé objekty – planety nutno obraz zvětšit)



Astronomická kamera

Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

Stěžejní parametry:

Velikost chipu

Velikost pixelu

Citlivost

Ovlivňuje jak slabý signál lze ještě zachytit

- **Kvantová účinnost detektoru (QE)** → udává efektivitu přeměny dopadajícího interagujícího fotonu na elektorn (tj. elektrický signál)



Astronomická kamera

Zvolený typ závisí na fotografovaném objektu a možnostech

Stěžejní parametry:

Velikost chipu

Velikost pixelu

Citlivost/šum

Šum (elektroniky)

Ovlivňuje kvalitu obrazu jako takového a má význam zejména u slabých objektů

- **Chlazení kamery** - bez chlazení
- Peltier. Článek
- tekutým N_2 , He

Minimální užitečný signál (základní podmínka detekce):

resp.
$$MUS = QE * \Phi * A > Noise$$
$$MUS/Noise > 1$$



Příklad specifikace astronomické kamery

Chip KAF8300

Rozlišení

3358 (H) × 2536 (V) pixelů

Velikost pixelu

5,4 μm (H) × 5,4 μm (V)

Obrazová plocha

18,1 mm (H) × 13,7 mm (V)

Plná kapacita pixelu

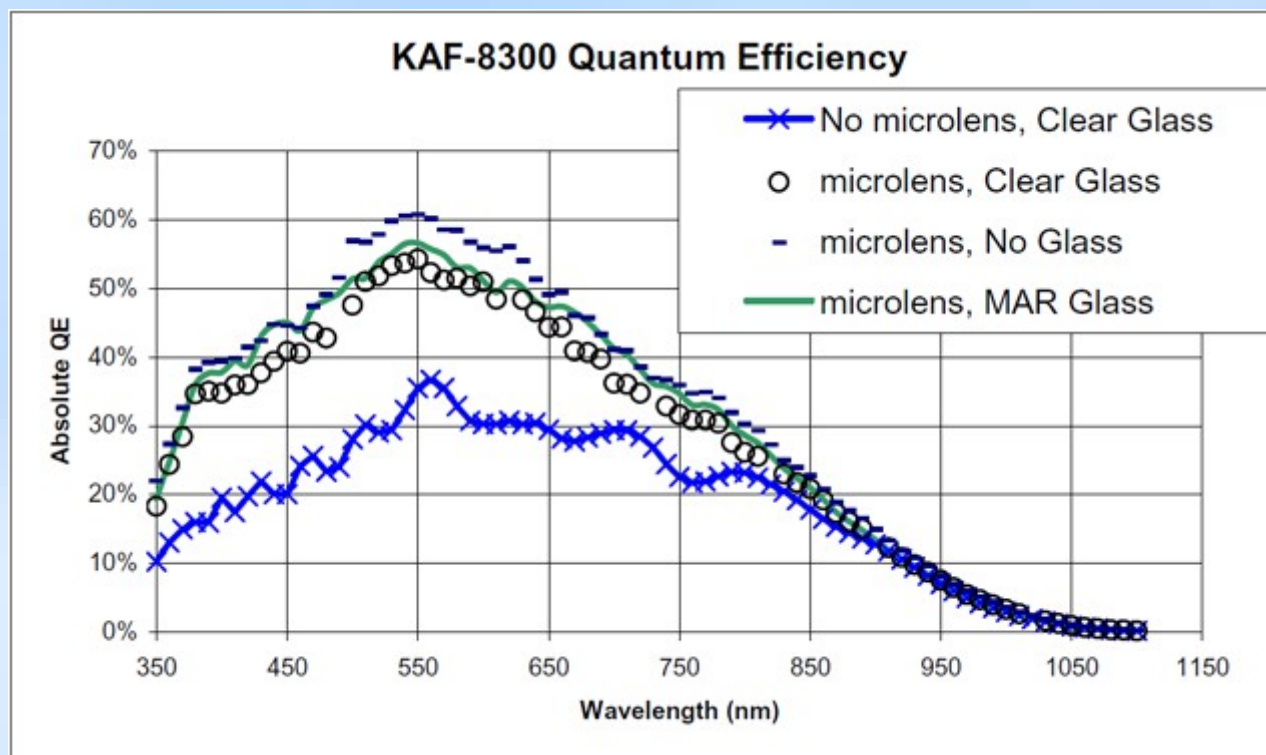
~25 000 e⁻

Temný proud

0,2 e⁻/s/pixel při 0 °C

Zdvojení tepelného šumu

5,8 °C



Pro chip shodné velikosti:

Černobílá

vs

Barevná

- Větší pixel

- citlivější
- menší úhlové rozlišení

- Pro barevný snímek nutno
použít barevné filtry

- Menší pixel

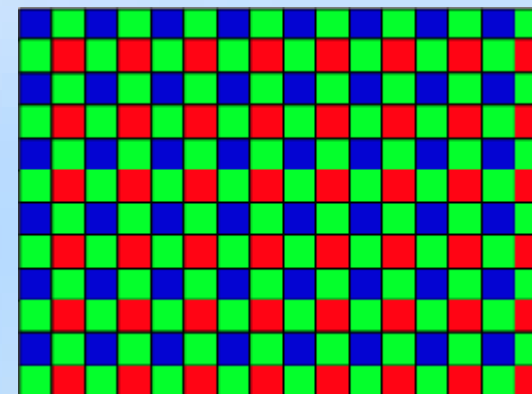
- méně citlivá (min. 4x, zpravidla i 10x)
- mírně větší úhlová rozl. Schopnost

- Barevný snímek pořizován jedinou expozicí

→ vhodná zjeměna na (není dogma!)

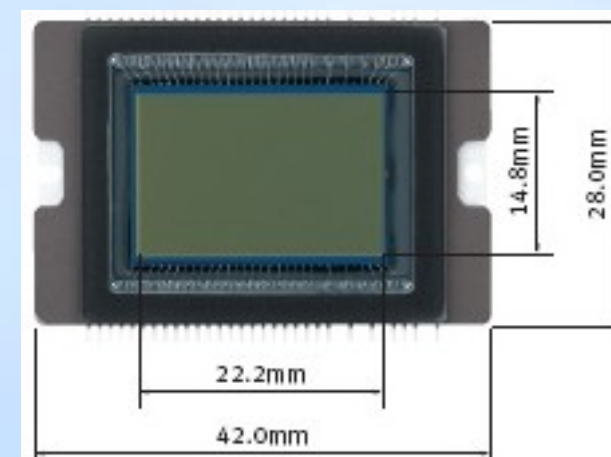
Velké slabé objekty

Malé jasné objekty



Příklad: Fotoaparát coby astronomická kamera

Digitální zrcadlovka – nejčastější nástroj
amatérského astrofotografa



	CANON 350D	CANON 400D	CANON 20D	CANON 40D
Citlivý povrch <i>snímače</i>	22,2 mm x 14,8 mm	22,2 mm x 14,8 mm	22,5 mm x 15,0 mm	22,2 mm x 14,8 mm
Počet pixelů	3456 x 2304	3888 x 2592	3504 x 2336	3888 x 2592
Velikost pixelu	6,4 mikronů	5,7 mikronů	6,4 mikronů	5,7 mikronů
A / D převod	12 bitů	12 bitů	12 bitů	14 bitů
Převodový poměr	2,67 elektrony / ADU	2,74 elektrony / ADU	6.3 elektrony / ADU	0,78 elektrony / ADU
Čtecí šum při ISO 400 (RMS)	3,00 ADU (8,0 e-gold)	2,54 ADU (7,0 e-gold)	2,35 ADU (nebo 7,2 e-)	8,38 ADU (6,5 e-gold)
Průměrná úroveň signálu Offset	256 ADU	256 ADU	128 ADU	1024 ADU

1. Zenitální zrcátka/hranoly

Hranolové

- Zpravidla jen 1,25"
- Úhel zalomení opt. osy 90° nebo 45° (často vzpřimující)
- Mechanicky robustnější, nepatrně horší optické vlastnosti (ostrost orbazu)
- Při nedostatečných antireflexních vrstvách můž způsobovat nežádoucí reflexe
(duchy v obrazu)



Zrcadlové

- 2" i 1.25" varianta s 90° zalomením optiké osy
- Různé varianty pokovení → různá odrazivost (optické ztráty)
- Různé technologie pokovení – doporučeno dielektrické zrcátka



2. Astronomické okuláry

<u>Varianty</u>	0,96“ (staré, dnes se již prakticky nepoužívají)
	1,25“ (pro malé dalekohledy a menší ohniskové vzdálenosti)
	2“ (základní rozměr)

Nejdůležitější parametry

1. Ohnisková vzdálenost

Volba f' :

- Minimální zvětšení

Věk	10	20	30	40	50	60	70	80
Průměr zorničky [mm]	8	8	7	6	5	4	3	2

- Maximální zvětšení: průměr výstupní pupily cca 0.5 mm



$$\Gamma = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{D_{ob}}{D_{vyp}} = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega}$$

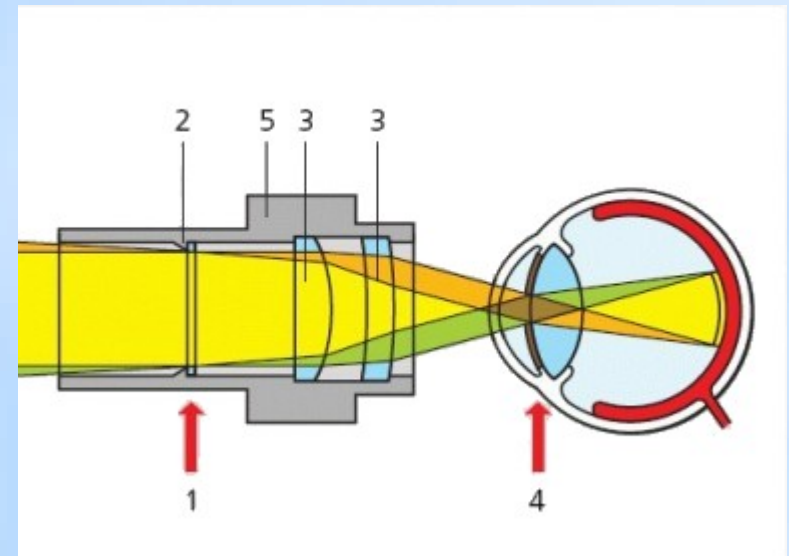
2. Astronomické okuláry

Nejdůležitější parametry

2. Zorné pole

- lidské oko:

- ostře jen v poměrně malém zorném poli (cca $1-2^\circ$)
- základní tvary a detaily je schopno ale v mnohem větším rozsahu ($65-75^\circ$)
- ve větších úhlech (v perifériích) pak je oko schopno rozpoznávat jen omezeně (zejména změnu, tj. pohybující se objekty).

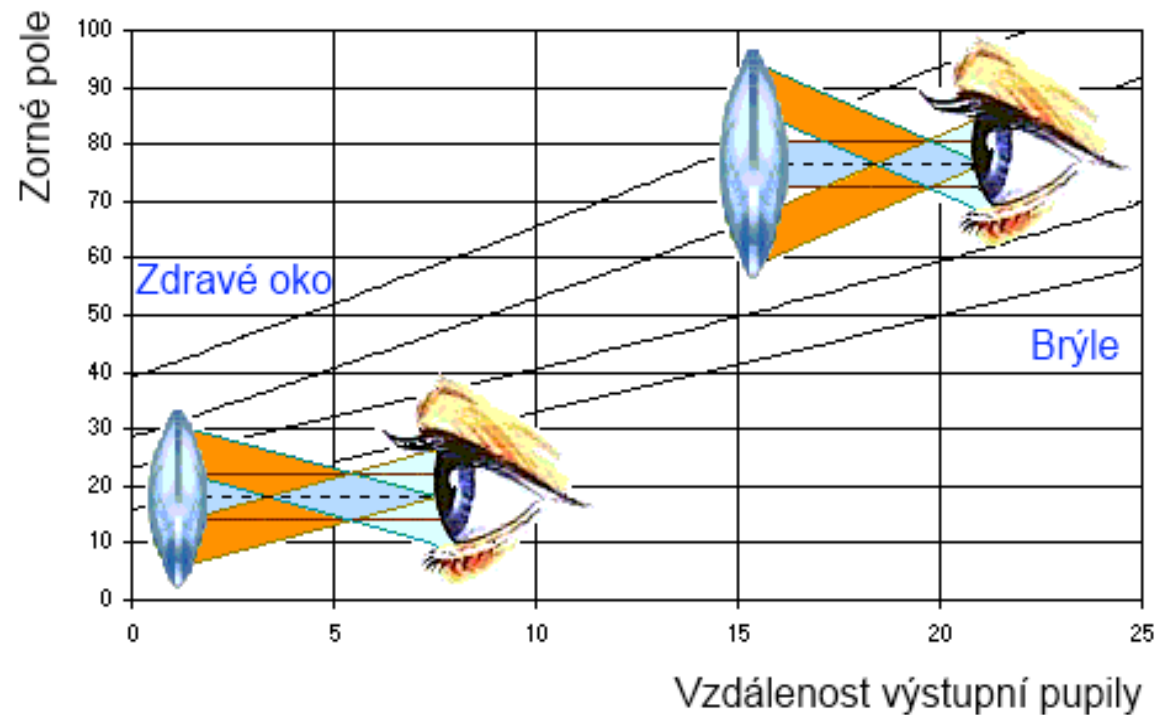
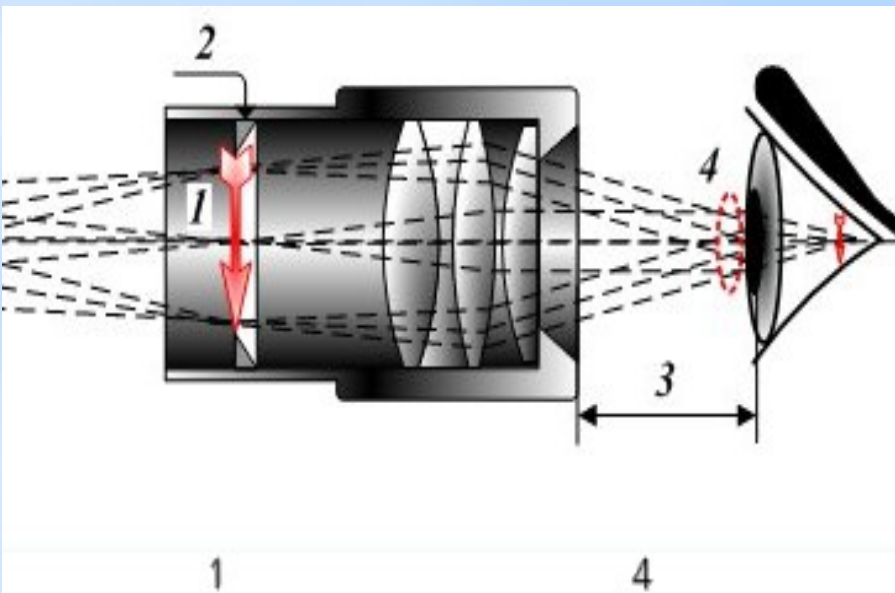


2. Astronomické okuláry

Nejdůležitější parametry

3. Vzdálenost výstupní pupily

- nejlépe v rozsahu 12-18 (20) mm
- je-li menší než cca 5-6 mm je pozorování takovýmto okulárem značně nepohodlné



2. Astronomické okuláry

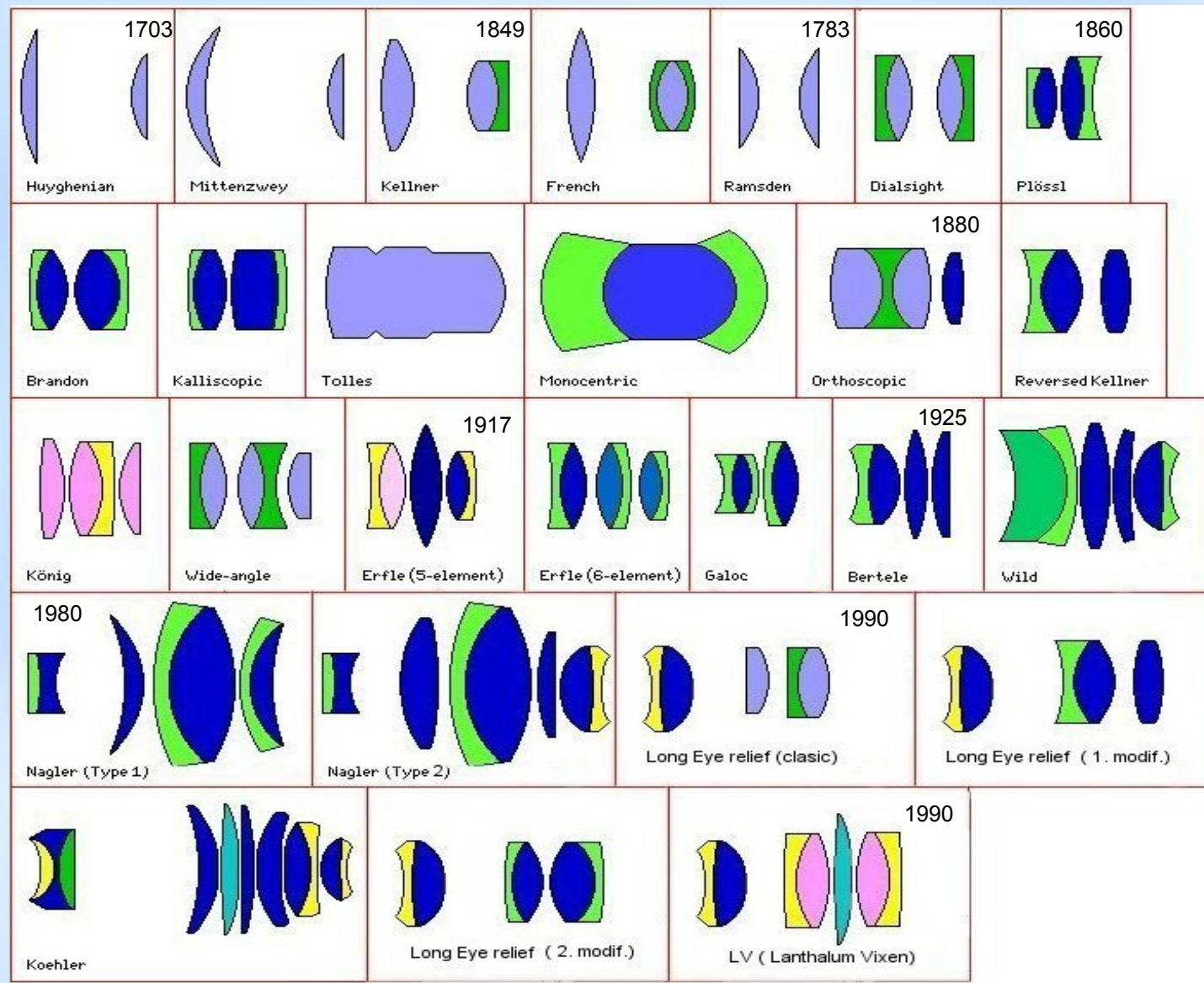
Základní kategorie okulárů

1. Univerzální okuláry
2. Širokoúhlé okuláry
3. Okuláry pro planetární astronomii
4. Projekční a speciální okuláry



2. Astronomické okuláry

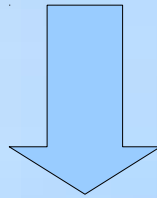
Základní kategorie okulárů



1. Astronomické okuláry

Základní kategorie okulárů

1. Univerzální okuláry
2. Širokoúhlé okuláry
3. Okuláry pro planetární astronomii
4. Projekční a speciální okuláry



1. Univerzální okuláry

2. Planetární okuláry

3. Okuláry pro deepsky objekty



1. Astronomické okuláry

Základní kategorie okulárů

1. Univerzální okuláry

- typické zorné pole kolem 60°
- vzdálenost výstupní pupily 15-20mm
- Pro menší a střední zvětšení (Plössel), LE

2. Planetární okuláry

- menší zorné pole (i jen kolem 50°), ostrá kresba v celém poli
- vzdálenost výstupní pupily i pod 12mm
- typická konstrukce: Plössel, Ortho

3. Okuláry pro deepsky objekty

- větší zorné pole (i nad 70°)
- menší ostrost kresby a kontrast u okrajů
- velmi velká zorná pole → problém s umístěním výstupní pupily
(optimum zorná pole $70-80^\circ$)

1. Astronomické okuláry

III. Výběr vhodného typu okuláru

Základní zásady:

1. Volba konstrukce dle primárního určení okuláru

2. Volba parametrů:

- výsledné zvětšení
- výsledné zorné pole
- druh antireflexních vrstev

(*FC* – fully coated, *MC* – multi coated, *FMC* – fully multi coated)

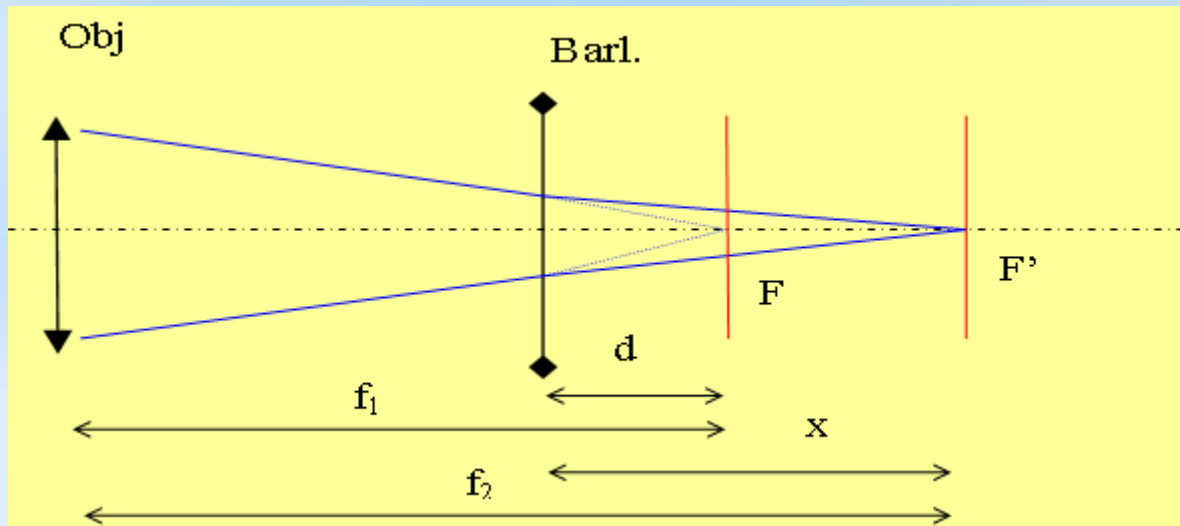
Různá komerční označení *XLT*, *XMC*, *Phantom*



2. Reduktory, extendery a korektory

Barlowova čočka

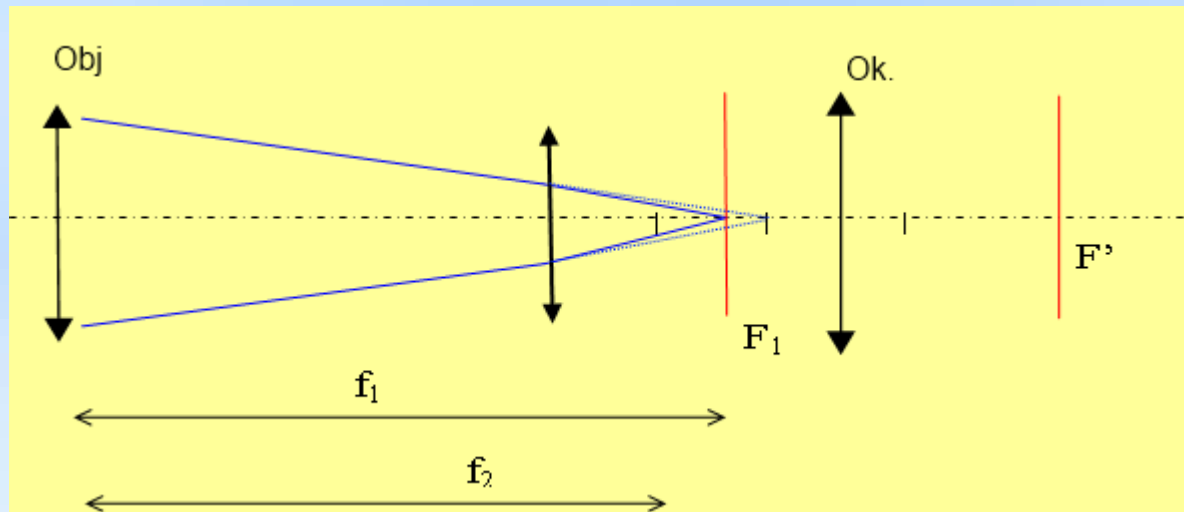
- Určena primárně pro vizuální pozorování
- Prodlužuje efektivní ohniskovou vzdálenost objektivu
- Umožňuje v kombinaci s okulárem dosáhnout různých výsledných zvětšení
- Při určení pro astrofotografii označení **EXTENDER**



2. Reduktory, extendery a korektory

Shapleyova čočka

- Obdoba Barlowa, používá se pro vizuální pozorování jen zřídka
- Zkracuje efektivní ohniskovou vzdálenost objektivu
- Umožňuje v kombinaci s okulárem dosáhnout různých výsledných zvětšení, popř. dosáhnout větší zorná pole
- Při určení pro astrofotografii běžnější označení **REDUKTOR**



2. Reduktory, extendery a korektory

Reduktor, korektor rovnač zorného pole

- Reduktor

- zkracuje ohniskovou vzdálenost a tím zvětšuje zorné pole



- Korektor

- korekce některých optických vad **konkrétních** konstrukcí
- nutné vybírat dle předpokládaného využití (visual x foto)
- pro některé konstrukce kombinován s reduktorem (např. Pro SCT)



- Rovnač

- koriguje sklenutí zorného pole do roviny → určen pro asrofoto
- volba dle konkrétní konstrukce a parametrů dalekohledu
- často kombinován s reduktorem (refraktory, Celestron Edge HD)



3. Astronomické filtry

Planetární filtry

- barevné filtry - zvýraznění pozorovaných útvarů na povrchu planet
- některé jednoduché absorpční filtry doplňovány interferenčními vrstvami (navrženy pro zvýraznění některých útvarů, např. oblaků na Marsu)
- speciální IR filtry pro astrofotografii planet

Mlhovinové filtry

- užší oblast propustnosti než barevné filtry
- cíl: potlačení rušivého světla z okolního osvětlení
- podle šířky pásma (stupně potlačení):

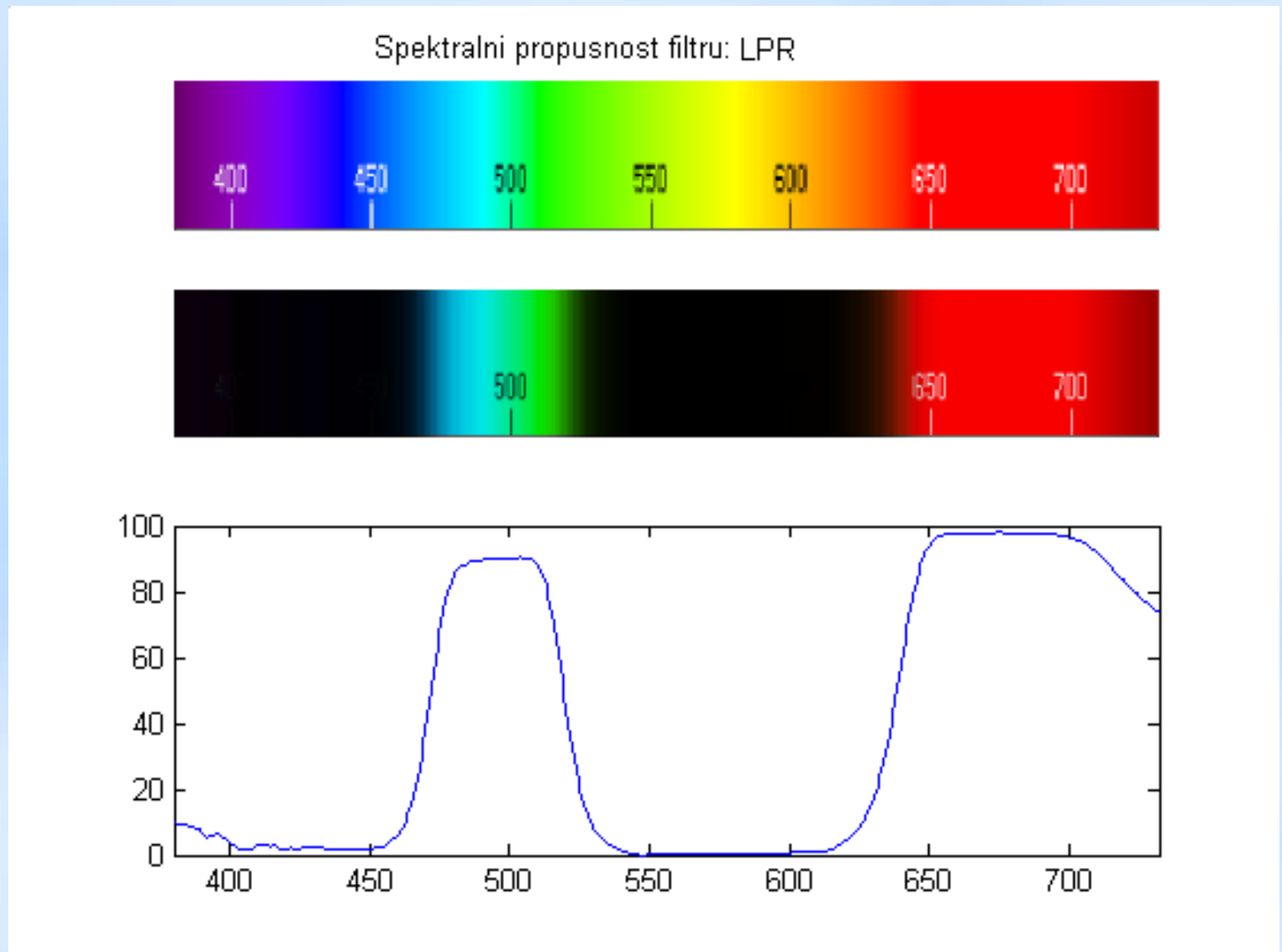
LPR (Light Pollution Reduction)

UHC (Ultra High Contrast)

Úzkopásmové (OIII, H _{β} , H _{α})

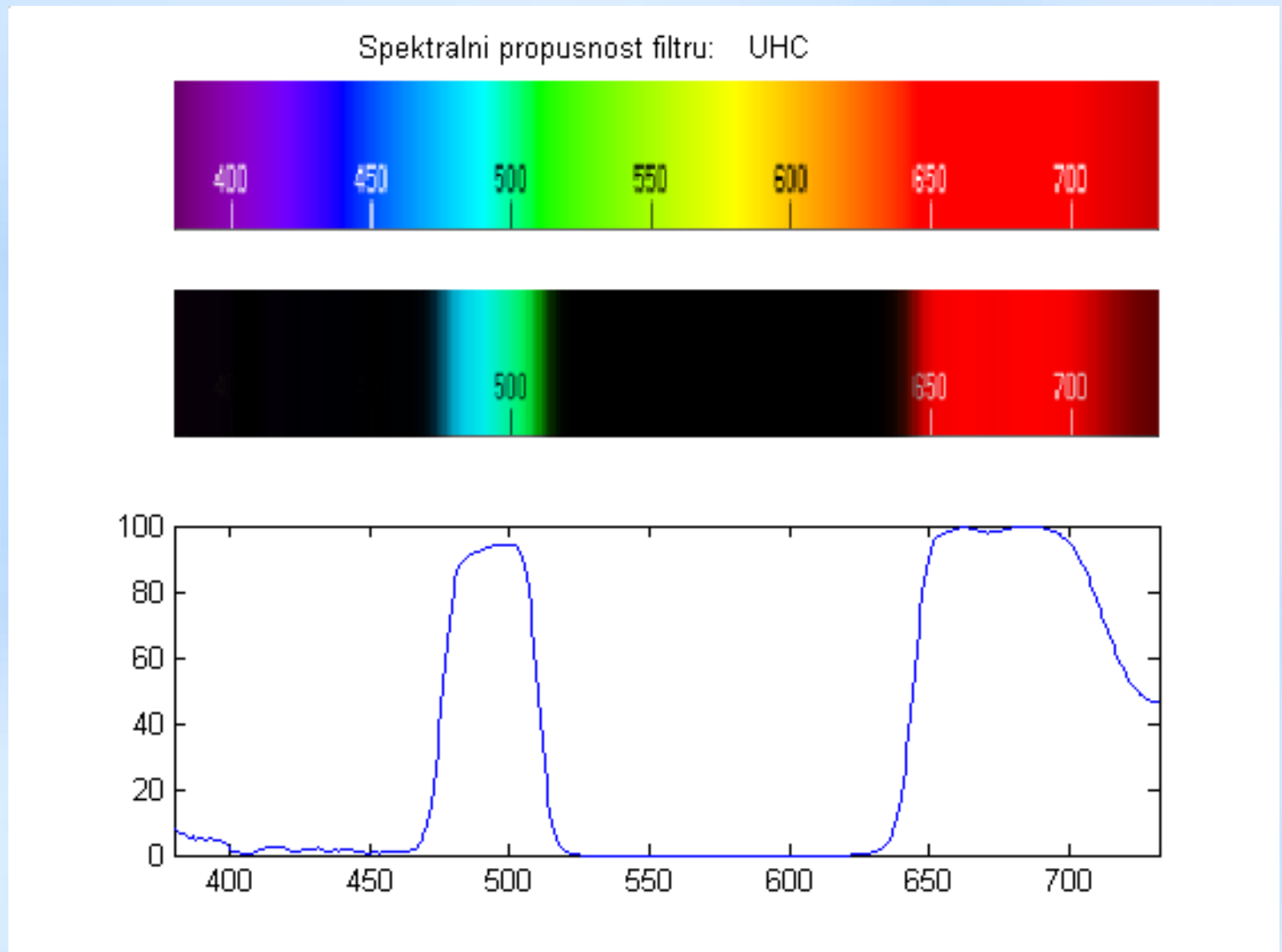
3. Astronomické filtry

Mhovinové filtry LPR



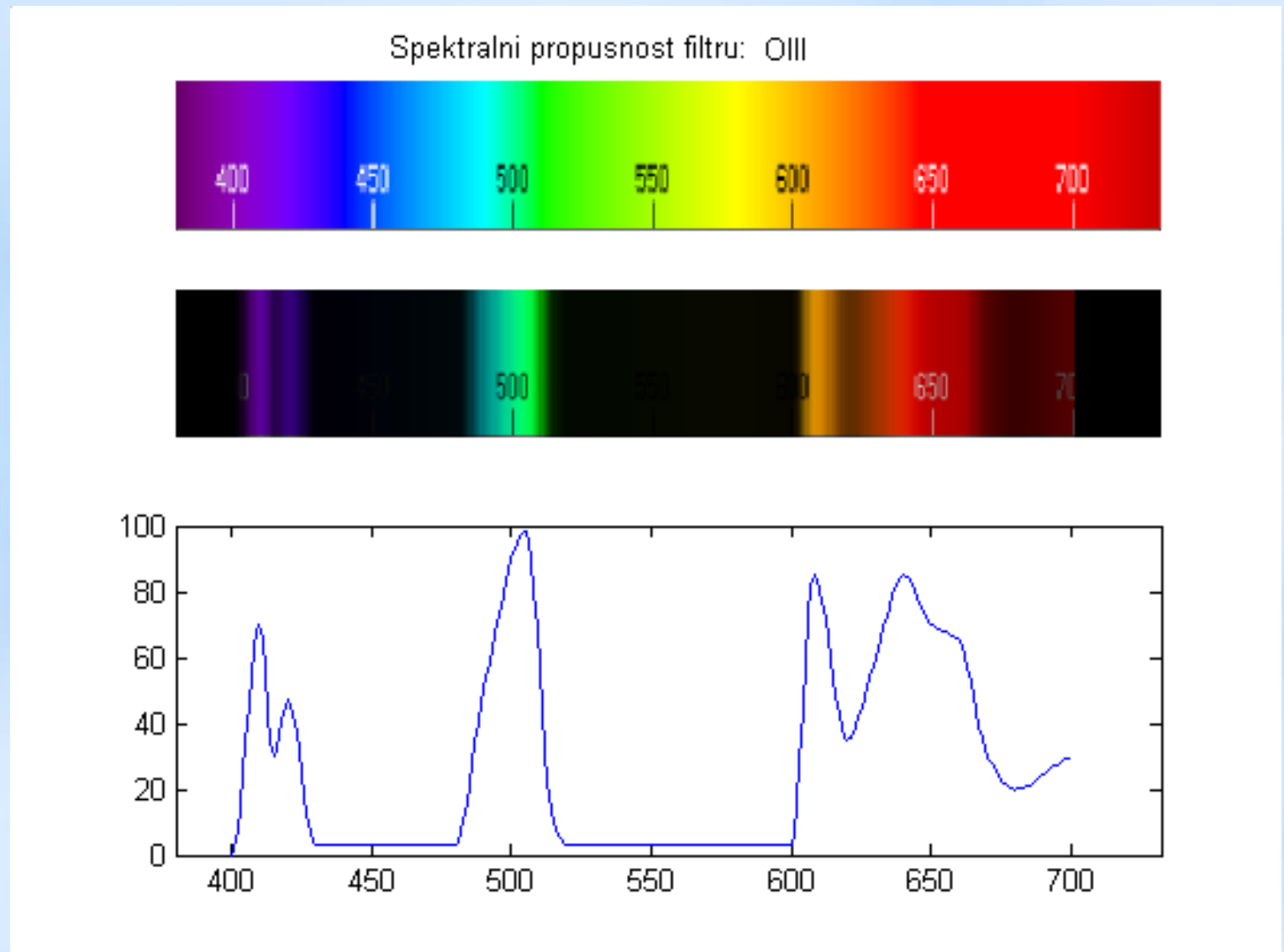
3. Astronomické filtry

Mhovinové filtry UHC



3. Astronomické filtry

Úzkopásmové filtry





Dr. Ing. Zdeněk Řehoř, PhD.

Děkuji za pozornost



Při odchodu prosím zkontrolujte, zda se probudil i Váš soused.