

# praktická astronomie

dalekohledy, montáže, velké dalekohledy  
aktivní a adaptivní optické systémy  
detektory záření  
získání pozorovacího času

cvičení  
praktická astronomie „pro radost“ I  
(včetně kritického komentáře)



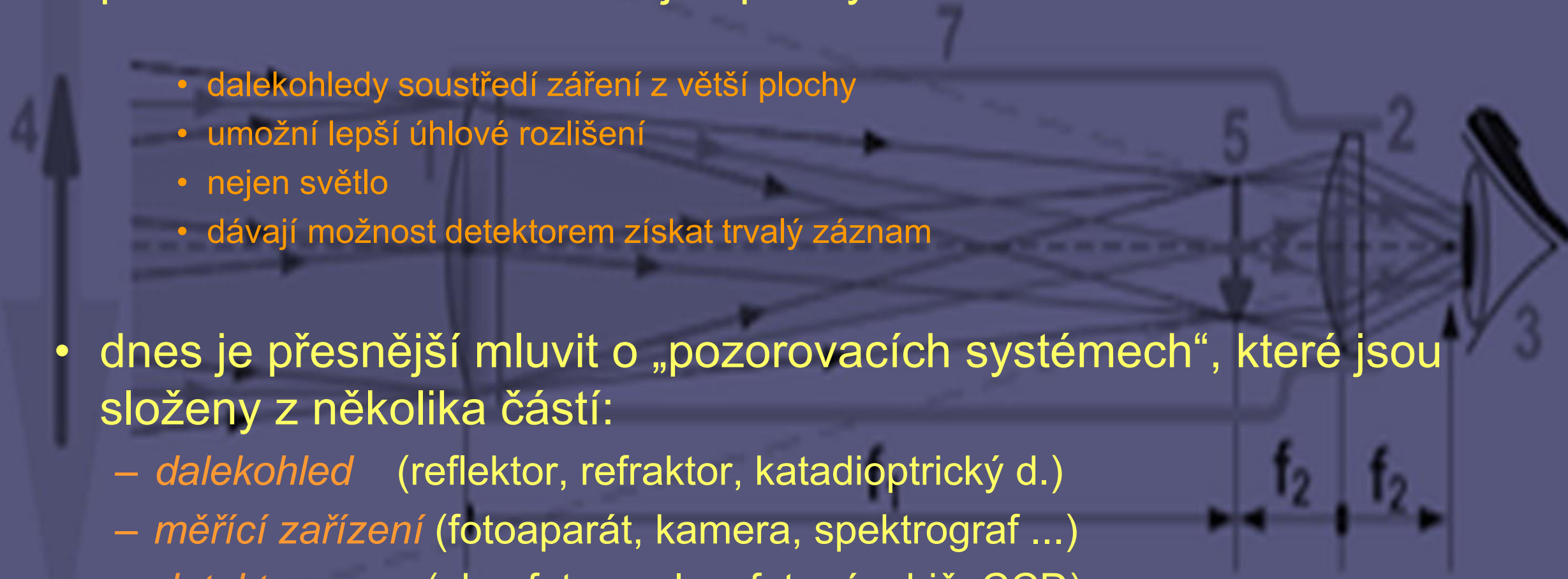
# dalekohledy

- proč nezkoumáme vesmír jen pouhýma očima?

- dalekohledy soustředí záření z větší plochy
- umožní lepší úhlové rozlišení
- nejen světlo
- dávají možnost detektorem získat trvalý záznam

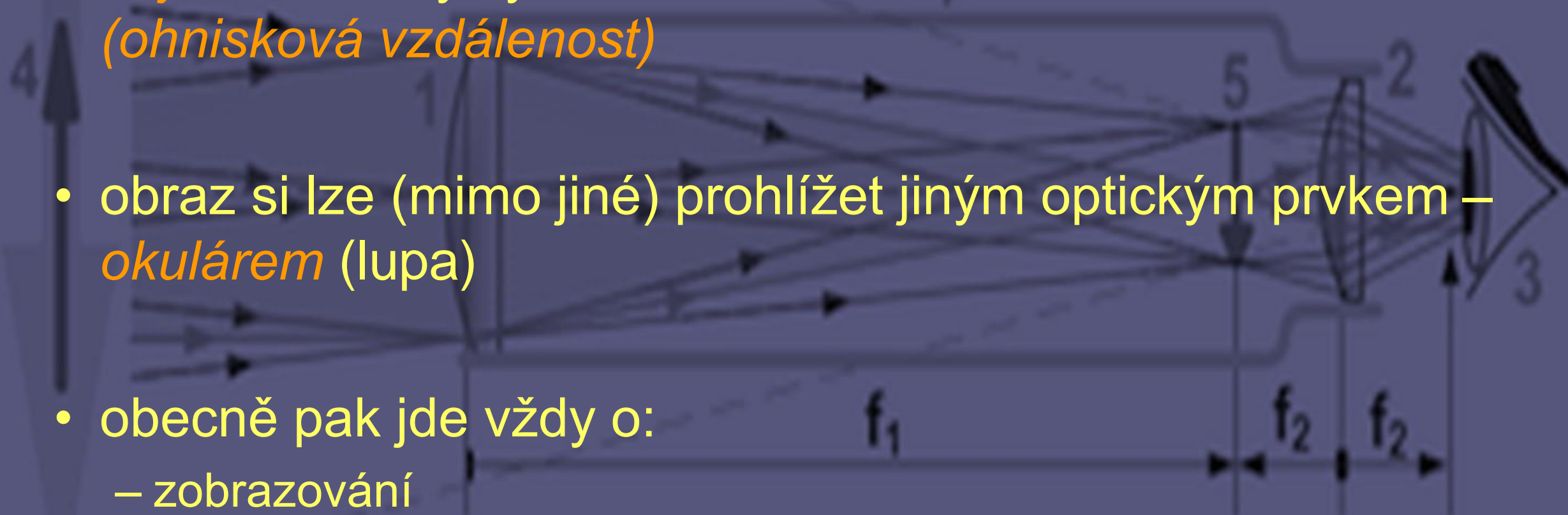
- dnes je přesnější mluvit o „pozorovacích systémech“, které jsou složeny z několika částí:

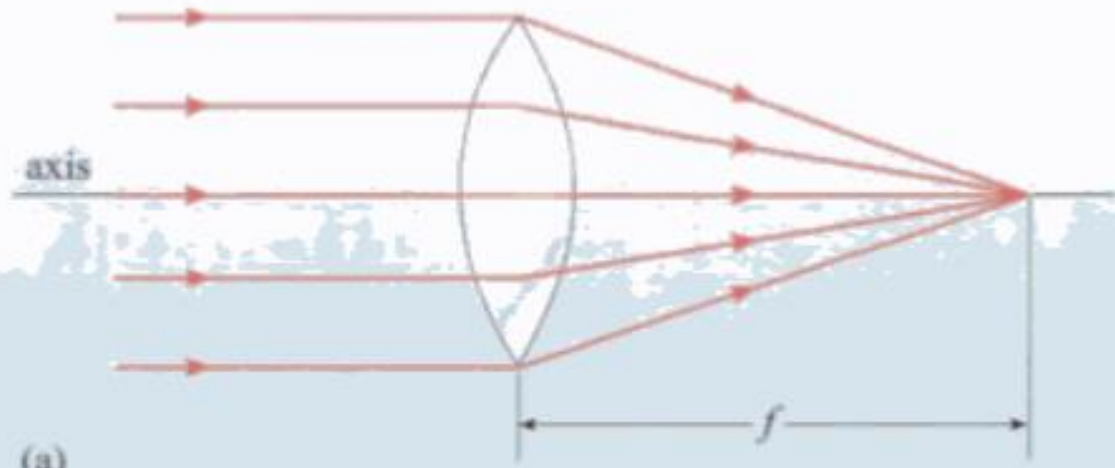
- *dalekohled* (reflektor, refraktor, katadioptrický d.)
- *měřicí zařízení* (fotoaparát, kamera, spektrograf ...)
- *detektor* (oko, fot. emulze, fotonásobič, CCD)



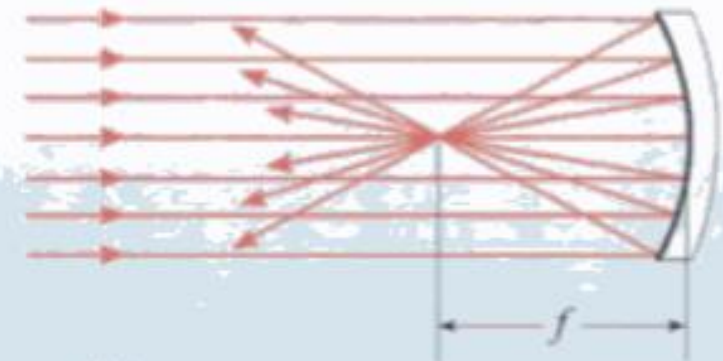
# dalekohledy

- dalekohled se skládá z hlavního optického prvku – tzv. *objektivu*, který vytváří obraz v *ohniskové rovině* (*ohnisková vzdálenost*)
- obraz si lze (mimo jiné) prohlížet jiným optickým prvkem – *okulárem* (lupa)
- obecně pak jde vždy o:
  - zobrazování
  - fotometrie – měření vlastností záření

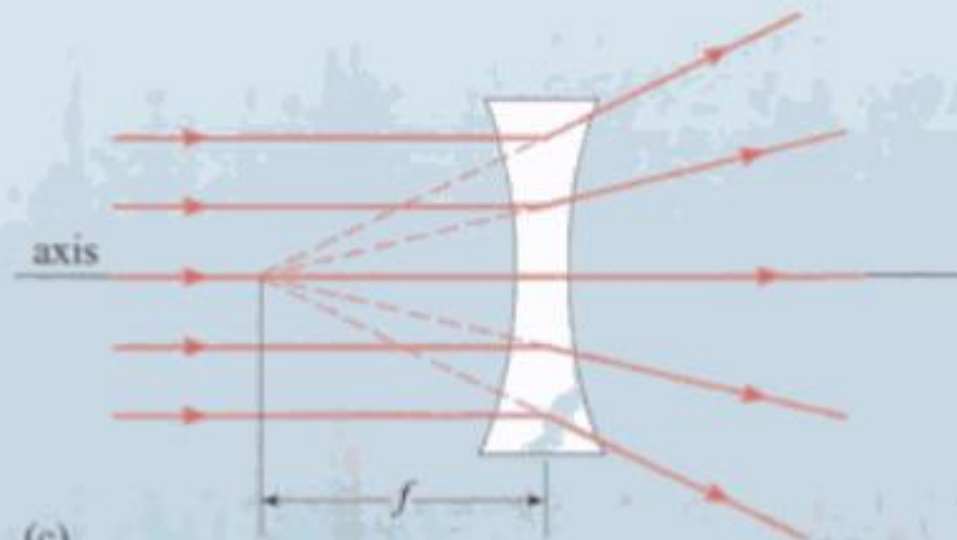




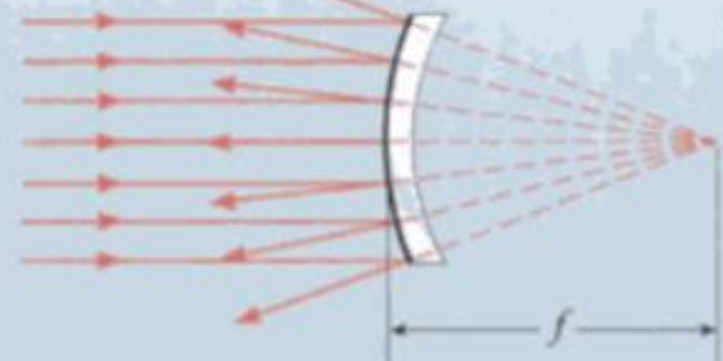
(a)



(b)



(c)

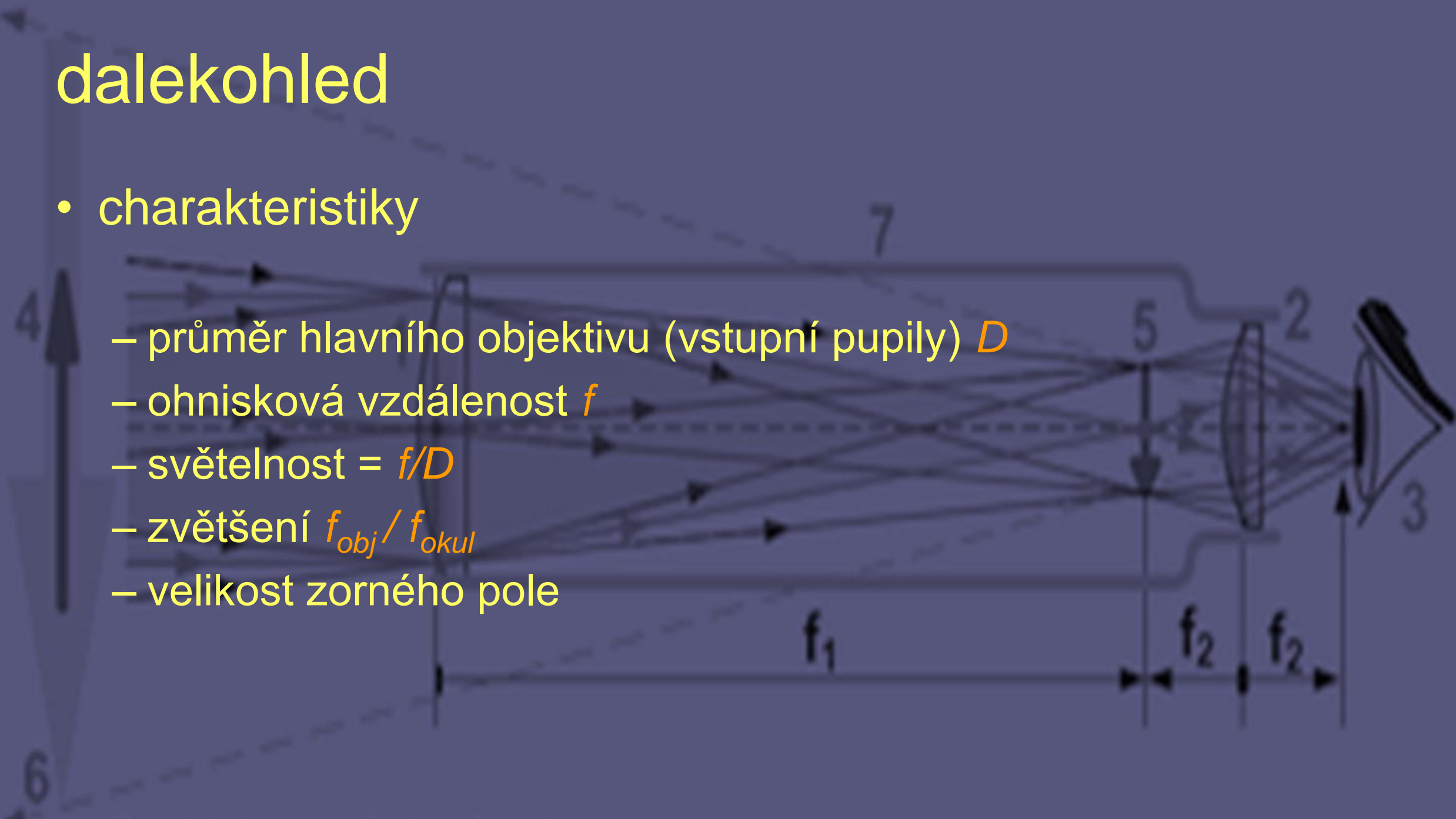


(d)

# dalekohled

- charakteristiky

- průměr hlavního objektivu (vstupní pupily)  $D$
- ohnisková vzdálenost  $f$
- světelnost =  $f/D$
- zvětšení  $f_{obj}/f_{okul}$
- velikost zorného pole



# dalekohledy

- mezní hvězdná velikost

$$\frac{J_D}{J_O} = \frac{D^2}{d^2}$$

$$\frac{F_D}{F_O} = \frac{D^2}{d^2}$$

$$m_D - m_O = -2,5 \log_{10} (F_D / F_O) = -5 \log_{10} (D / d)$$

$$m_{\text{lim}} = 6 + 5 \log_{10} (D / d)$$

$$m_{\text{lim}} \cong 16,5 + 5 \log_{10} D$$

$$m_{\text{lim}} \cong 16 + 5 \log_{10} D$$

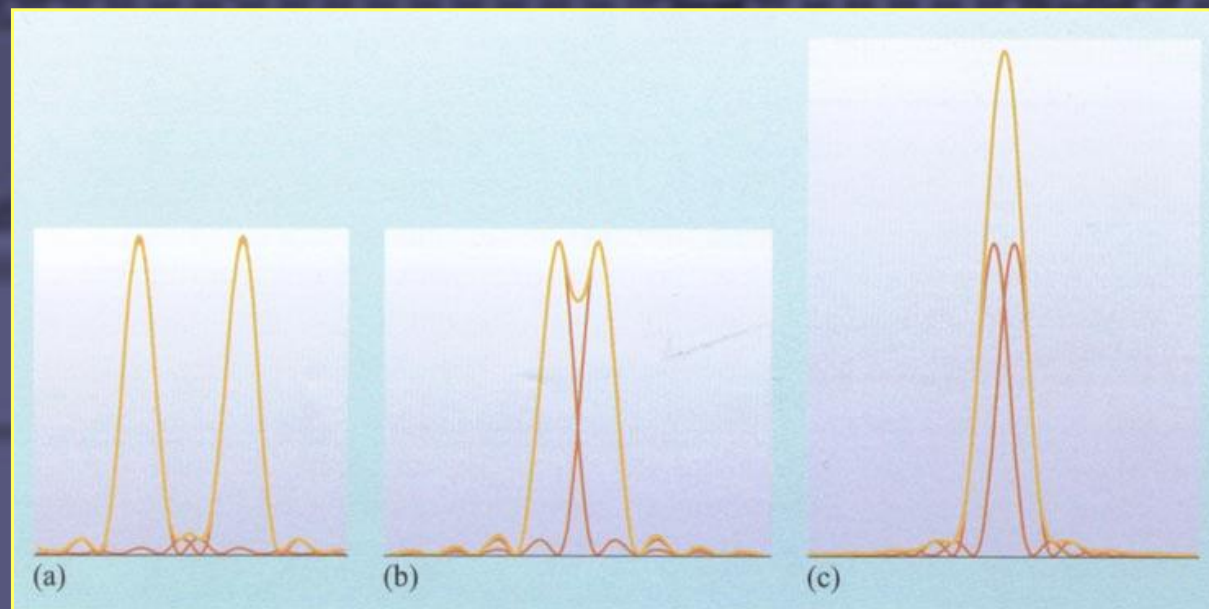
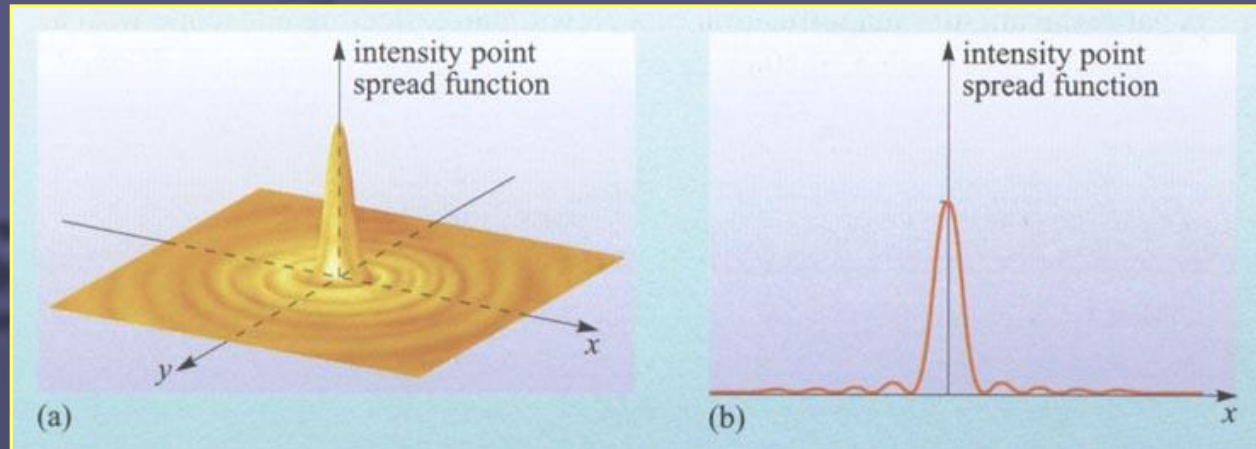
- průměry jsou v metrech, předp.  $d=0,008$  m a ztrátu světla v optické soustavě cca 0,5 mag

# dalekohledy

- úhlové rozlišení  
ani bodový zdroj se nezobrazí jako bod, ale jako kruhový difrakční obraz – tzv. *Airyho disk*
- tak je dáno maximální úhlové rozlišení dalekohledu (*difrakční limit*)
- SW lze tuto hranici překonat
- seeing bývá větší

$$\alpha = \frac{1,22\lambda}{D}$$

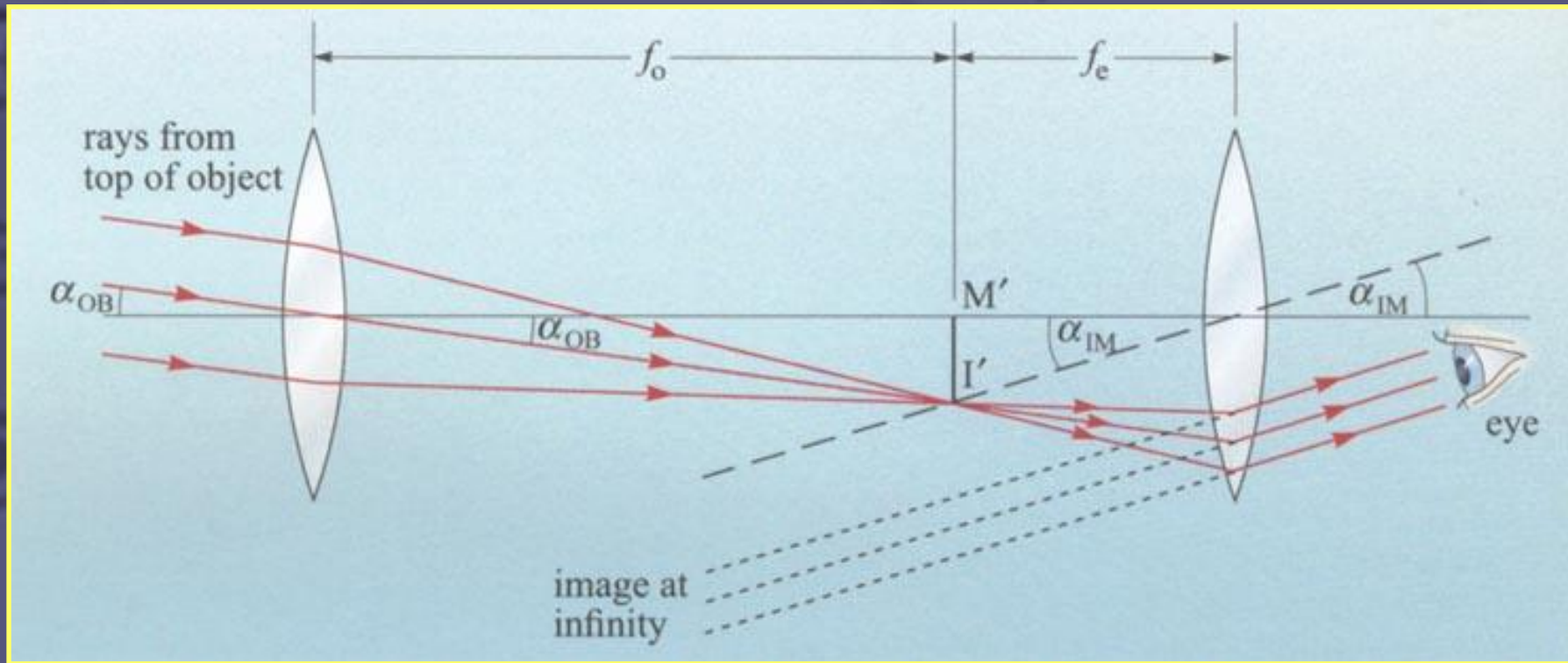
# dalekohled





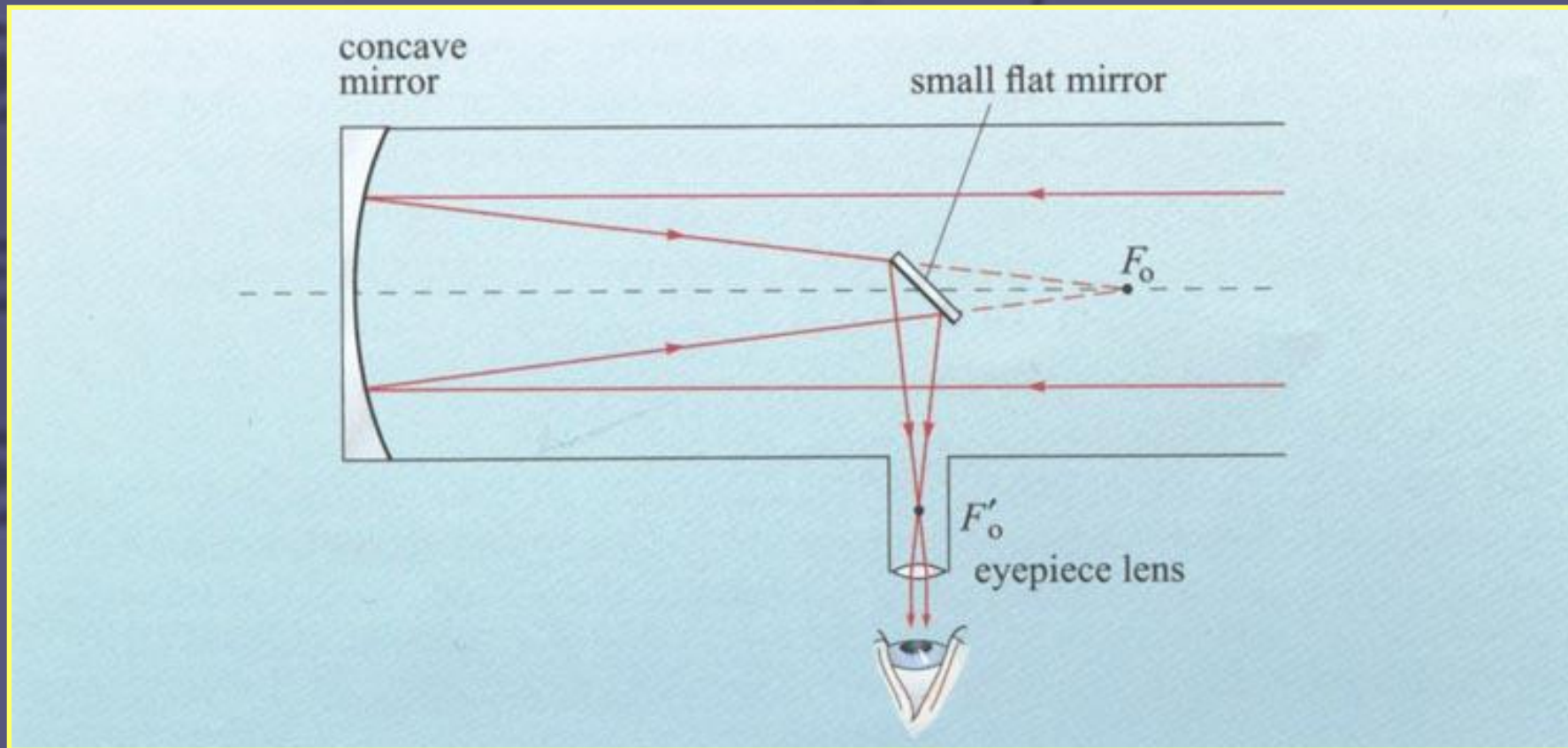
# dalekohledy

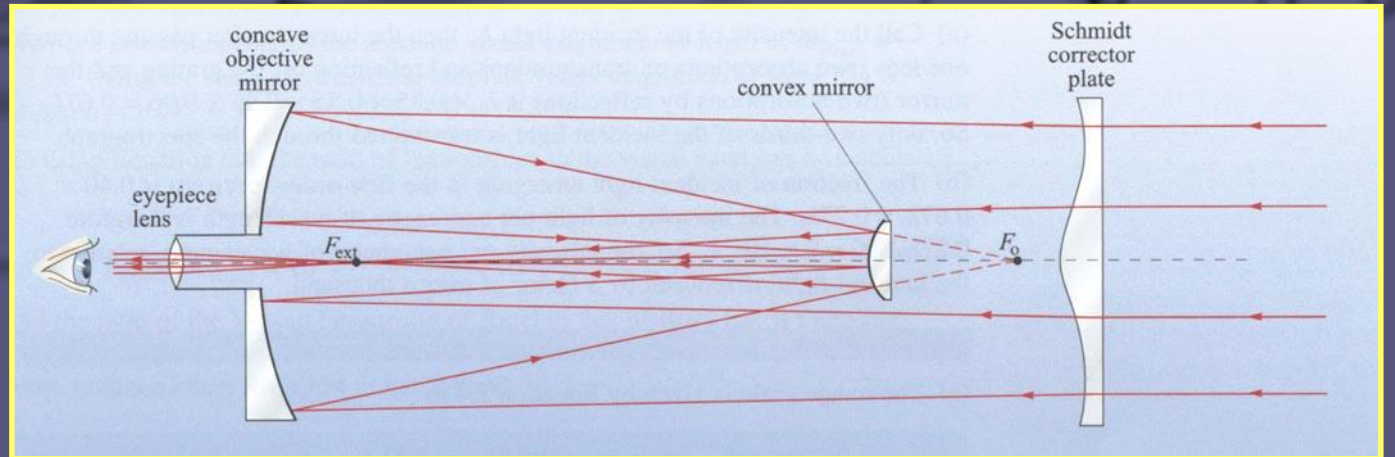
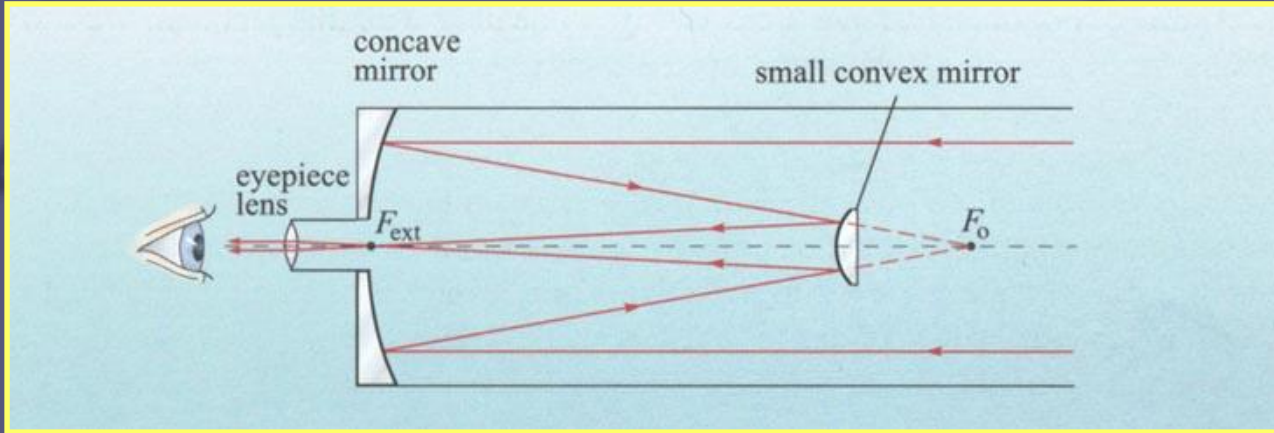
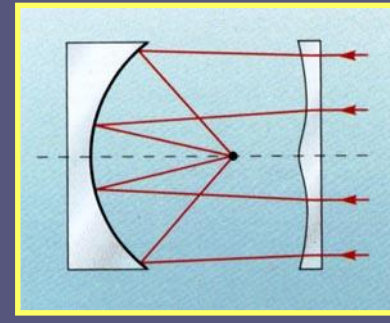
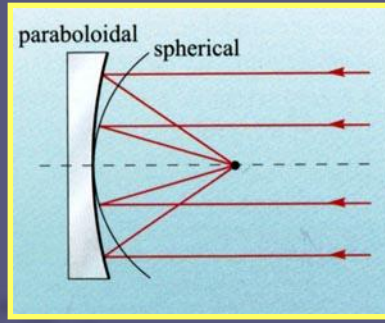
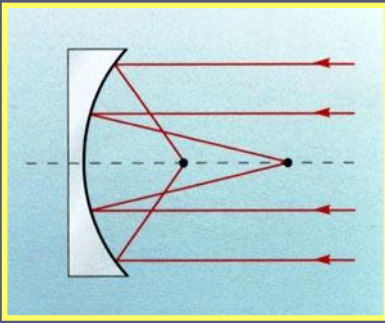
- refraktor



# dalekohledy

- reflektor

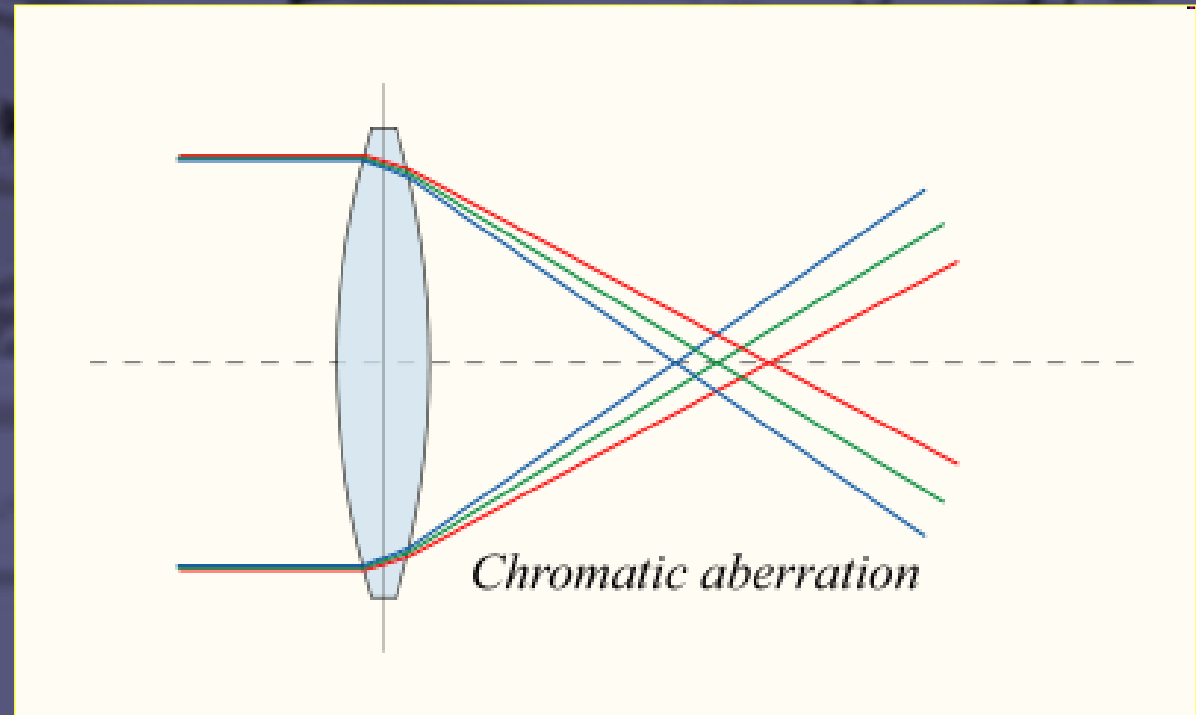




další varianty

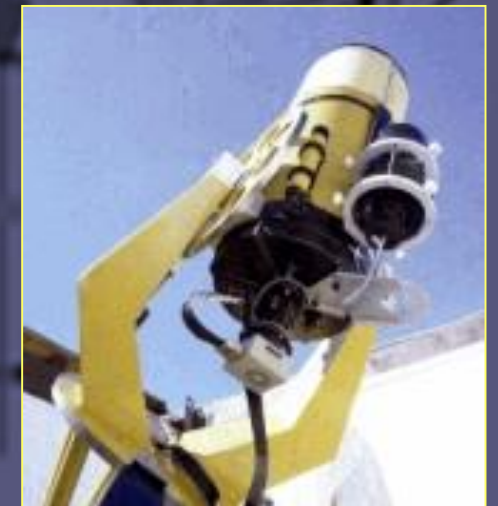
# vady optiky

- velmi dobře zpracovaný text o vadách optiky je zde
- [kvalita optických přístrojů](#)

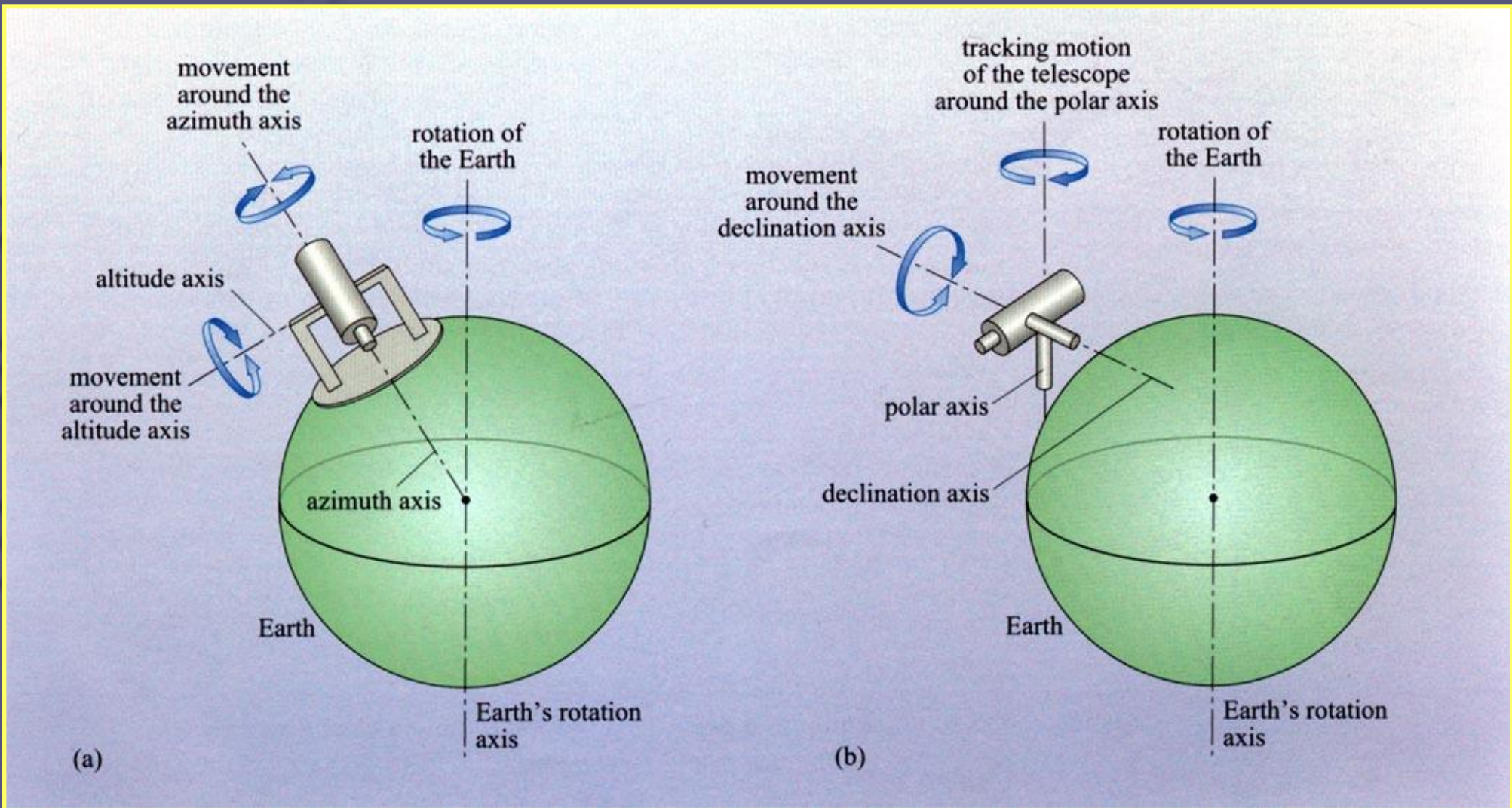


# montáže

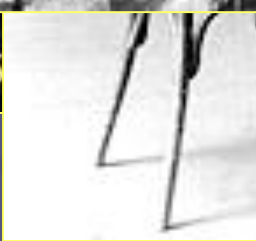
- **azimutální montáž**
  - stativ s vidlicí
  - **Dobsonova montáž**
- azimutální montáže u velkých dalekohledů převažují
- **paralaktická montáž**
  - **německá montáž**, hmotnost tubusu je kompenzována protizávažím
  - **vidlicová paralaktická montáž**, tubus dalekohledu je držen v těžišti jednou či dvěma vidlicemi



# montáže

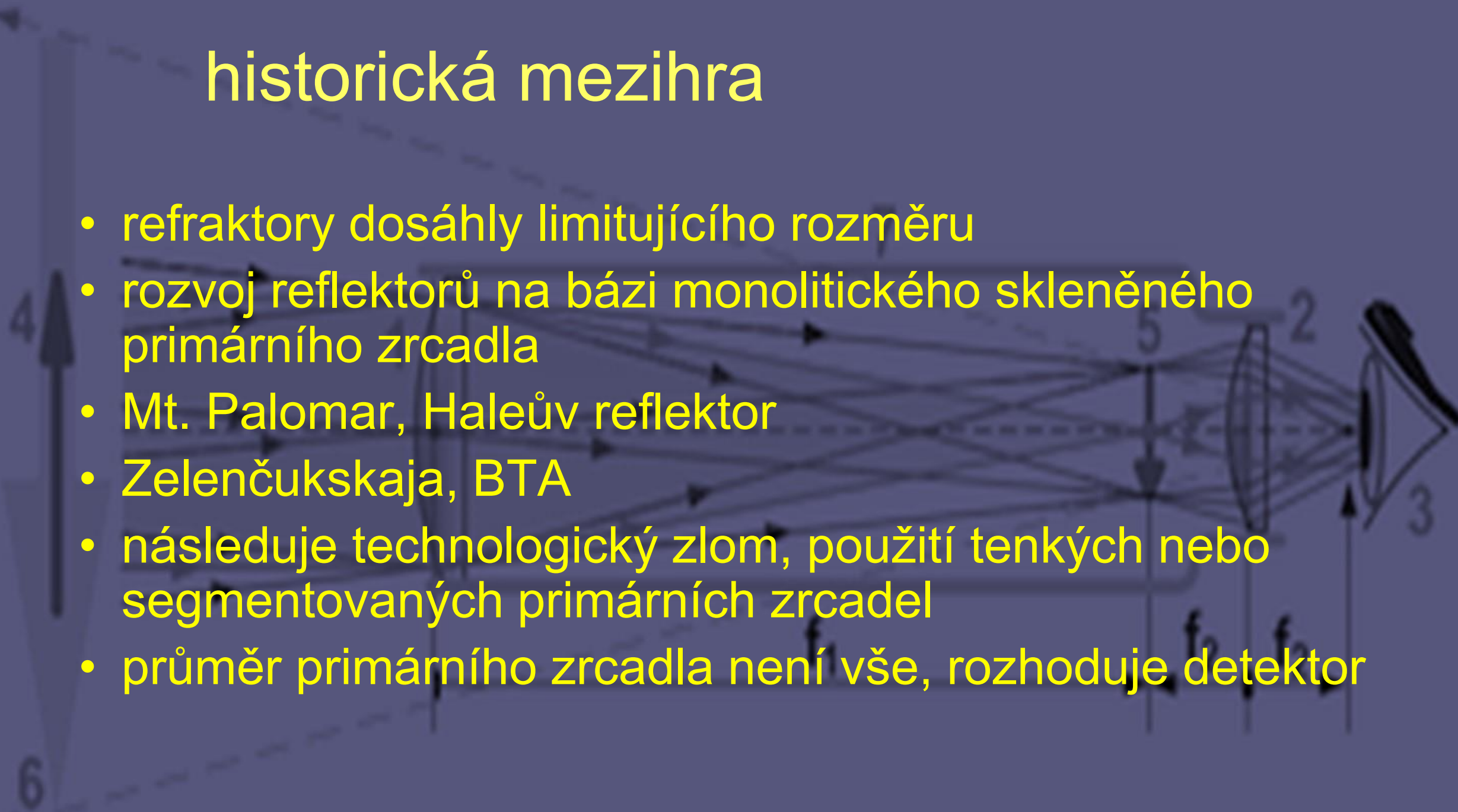


# historická meziphra



# historická mezihra

- refraktory dosáhly limitujícího rozměru
- rozvoj reflektorů na bázi monolitického skleněného primárního zrcadla
- Mt. Palomar, Haleův reflektor
- Zelenčukskaja, BTA
- následuje technologický zlom, použití tenkých nebo segmentovaných primárních zrcadel
- průměr primárního zrcadla není vše, rozhoduje detektor



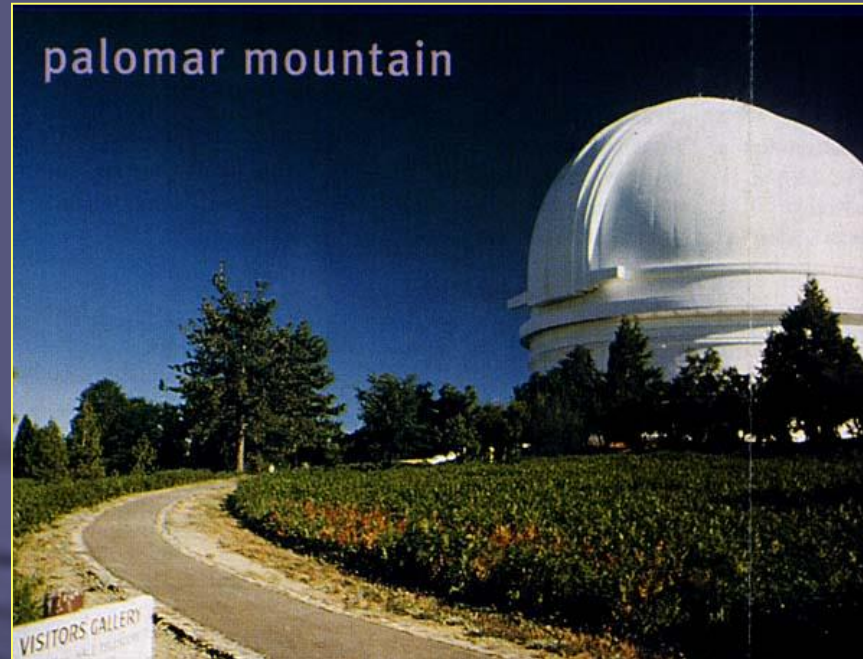




**2.5-m Hooker**  
Mount Wilson, CA • 1917



**5.1-m Hale**  
Palomar Mountain, CA • 1948



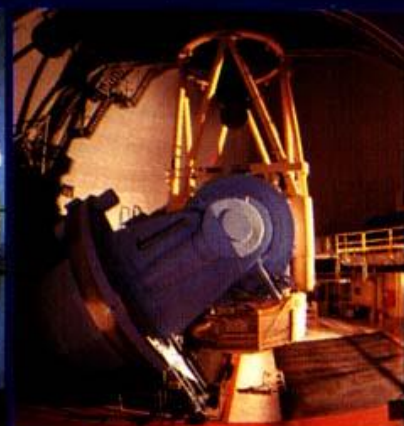
palomar mountain



**3.8-m Mayall**  
Kitt Peak, AZ • 1973



**3.9-m Anglo-Australian Telescope**  
Siding Spring Mountain,  
Australia • 1974



**3.6-m ESO**  
La Silla, Chile • 1977



**3.6-m Canada-France-Hawaii Telescope**  
Mauna Kea, HI • 1979

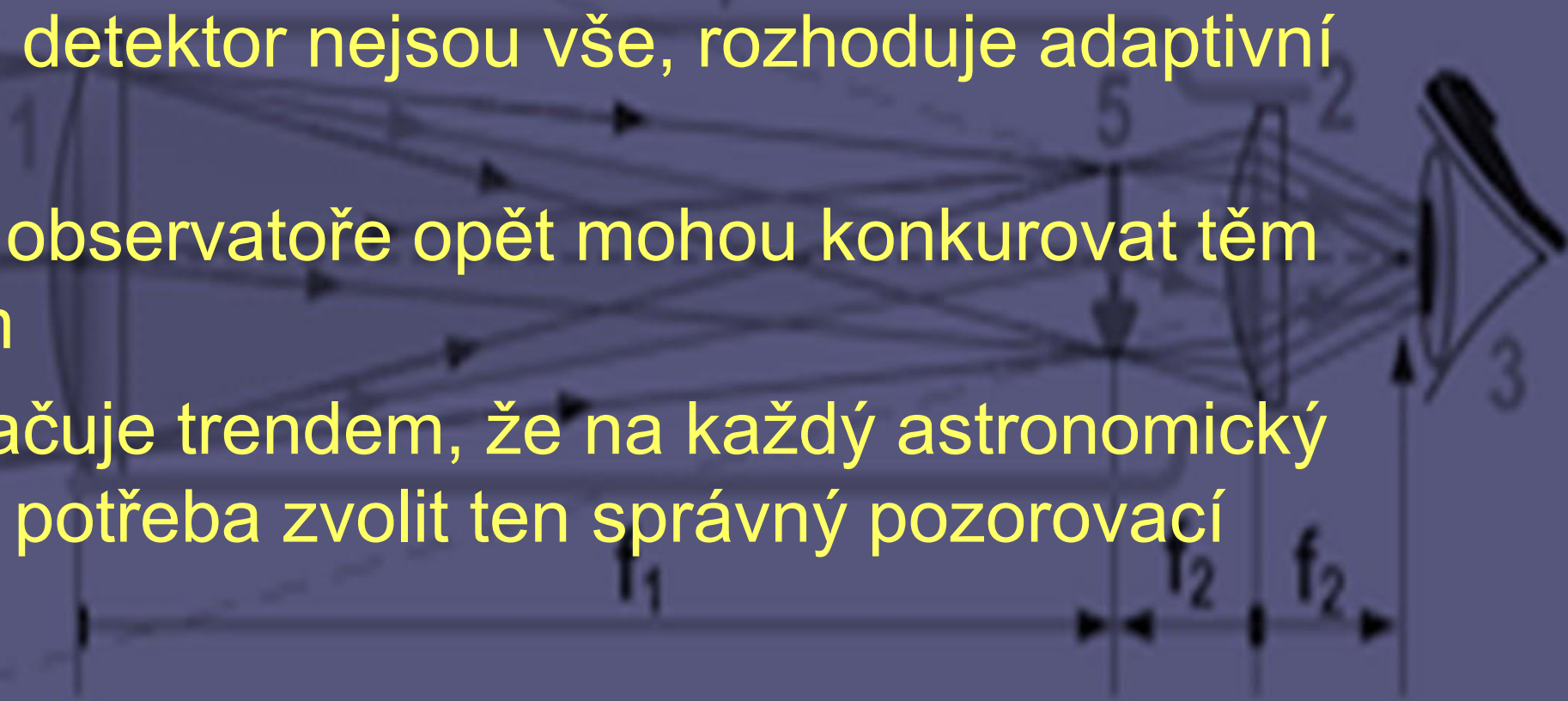


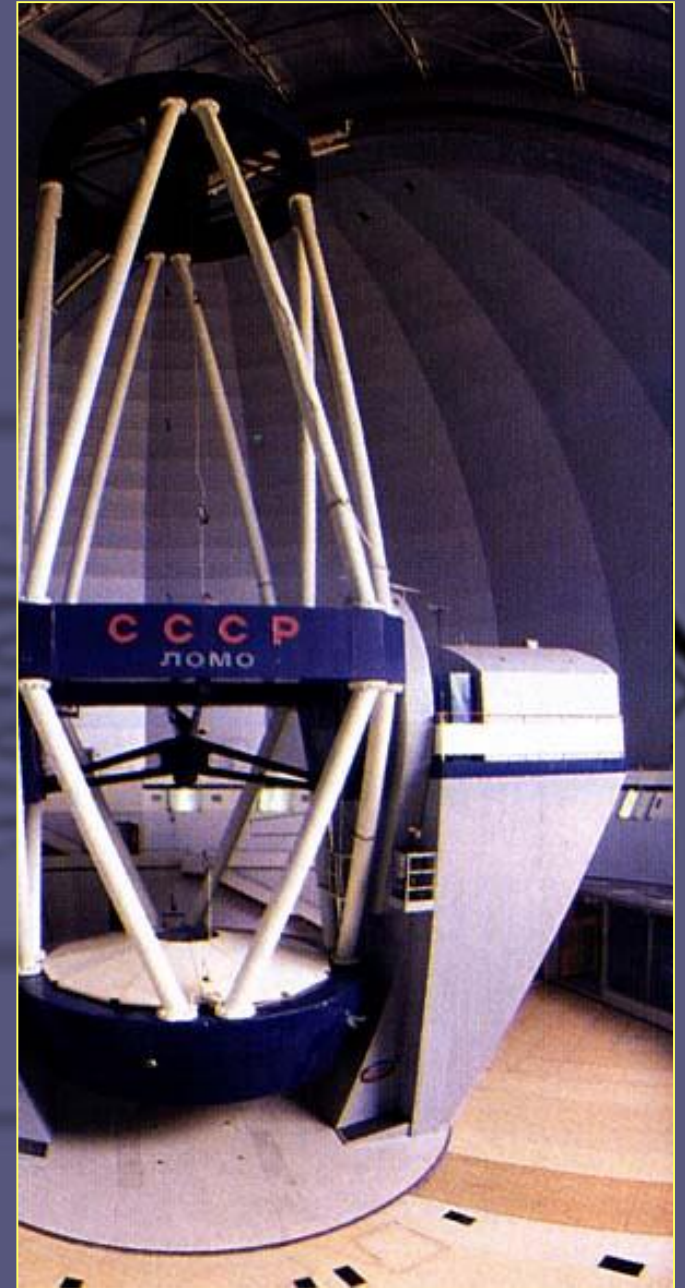
**3.5-m Calar Alto**  
Calar Alto, Spain • 1984



# historická mezihra

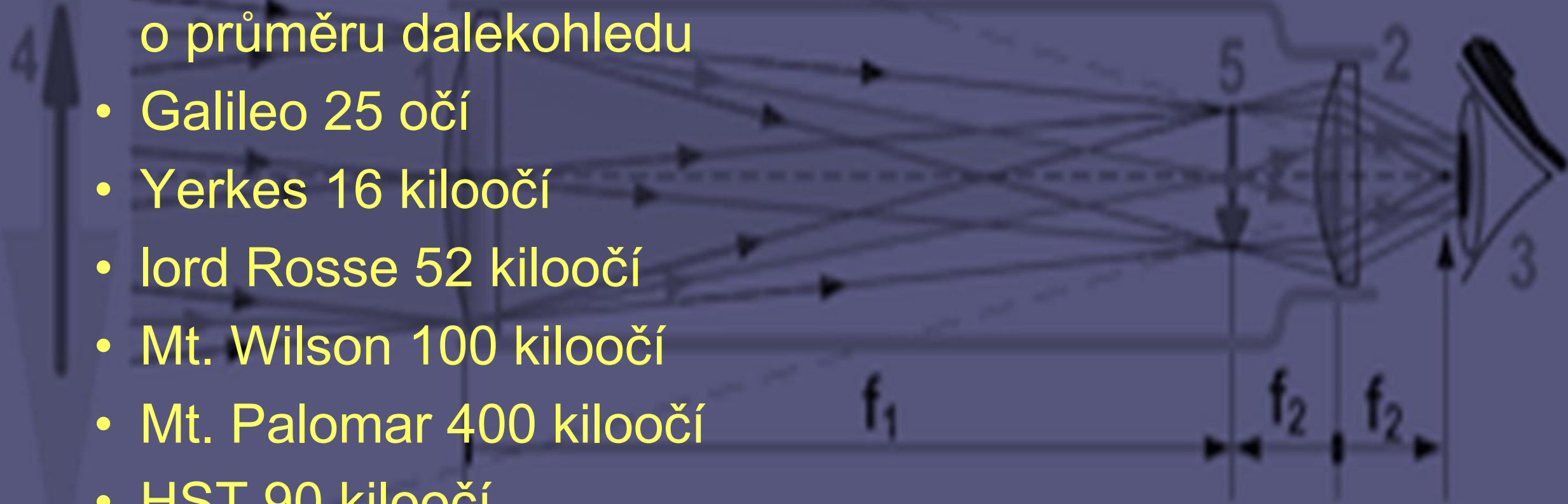
- observatoře na oběžné dráze, HST
- průměr ani detektor nejsou vše, rozhoduje adaptivní optika
- pozemské observatoře opět mohou konkurovat těm kosmickým
- vývoj pokračuje trendem, že na každý astronomický problém je potřeba zvolit ten správný pozorovací prostředek



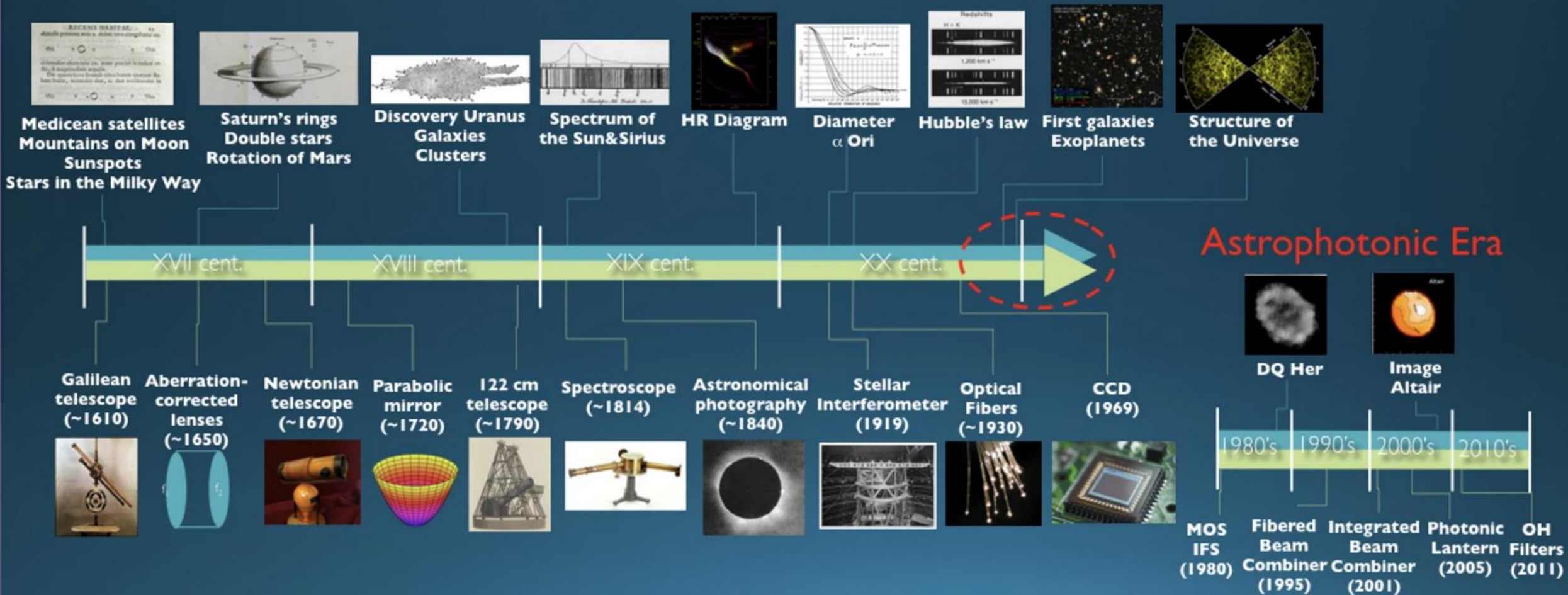


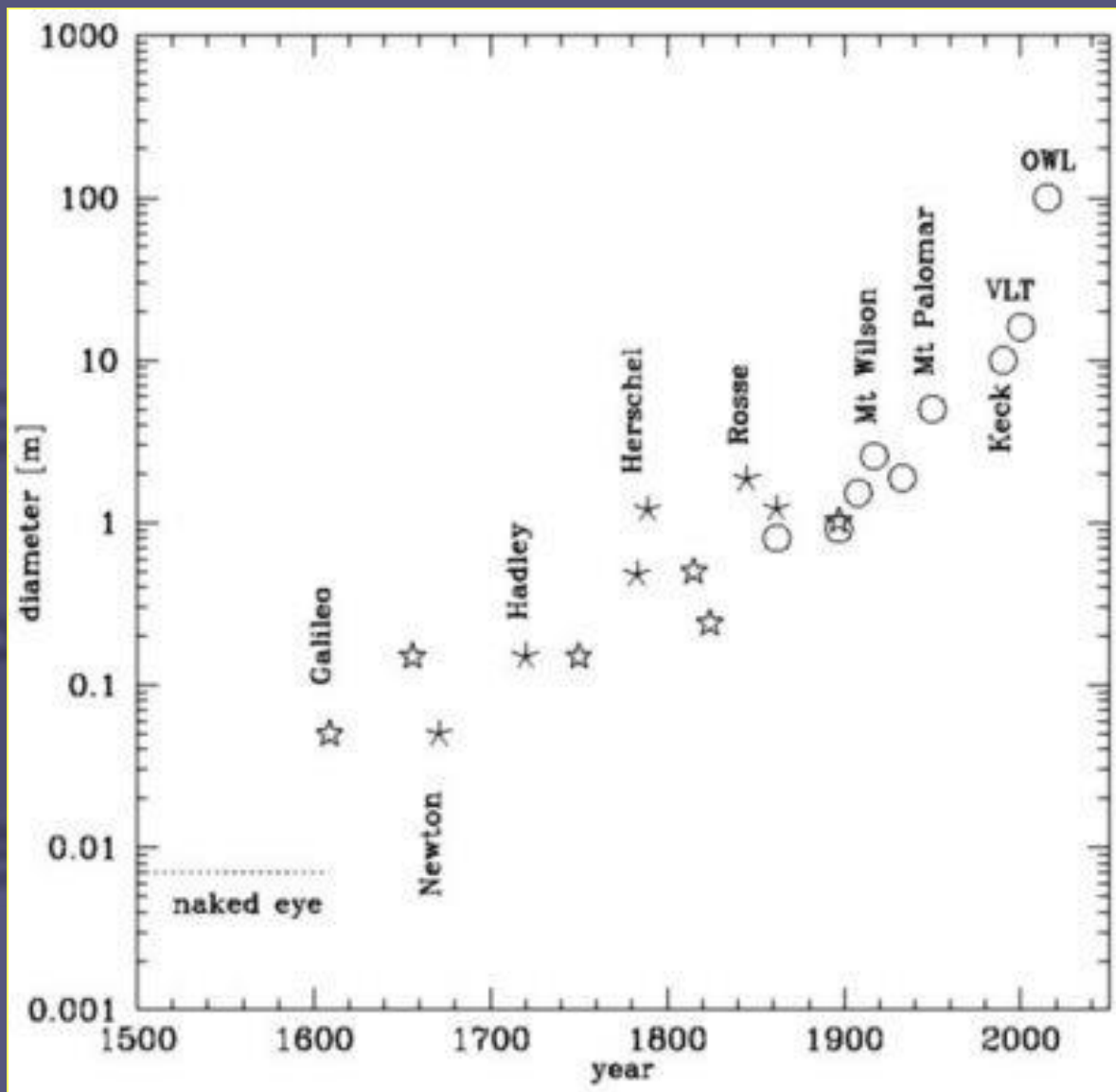
# Kolik očí máte pod tubusem, pane?

- netradiční jednotka nám může nahradit informaci o průměru dalekohledu
- Galileo 25 očí
- Yerkes 16 kiloočí
- lord Rosse 52 kiloočí
- Mt. Wilson 100 kiloočí
- Mt. Palomar 400 kiloočí
- HST 90 kiloočí



# A timeline of instruments and discoveries



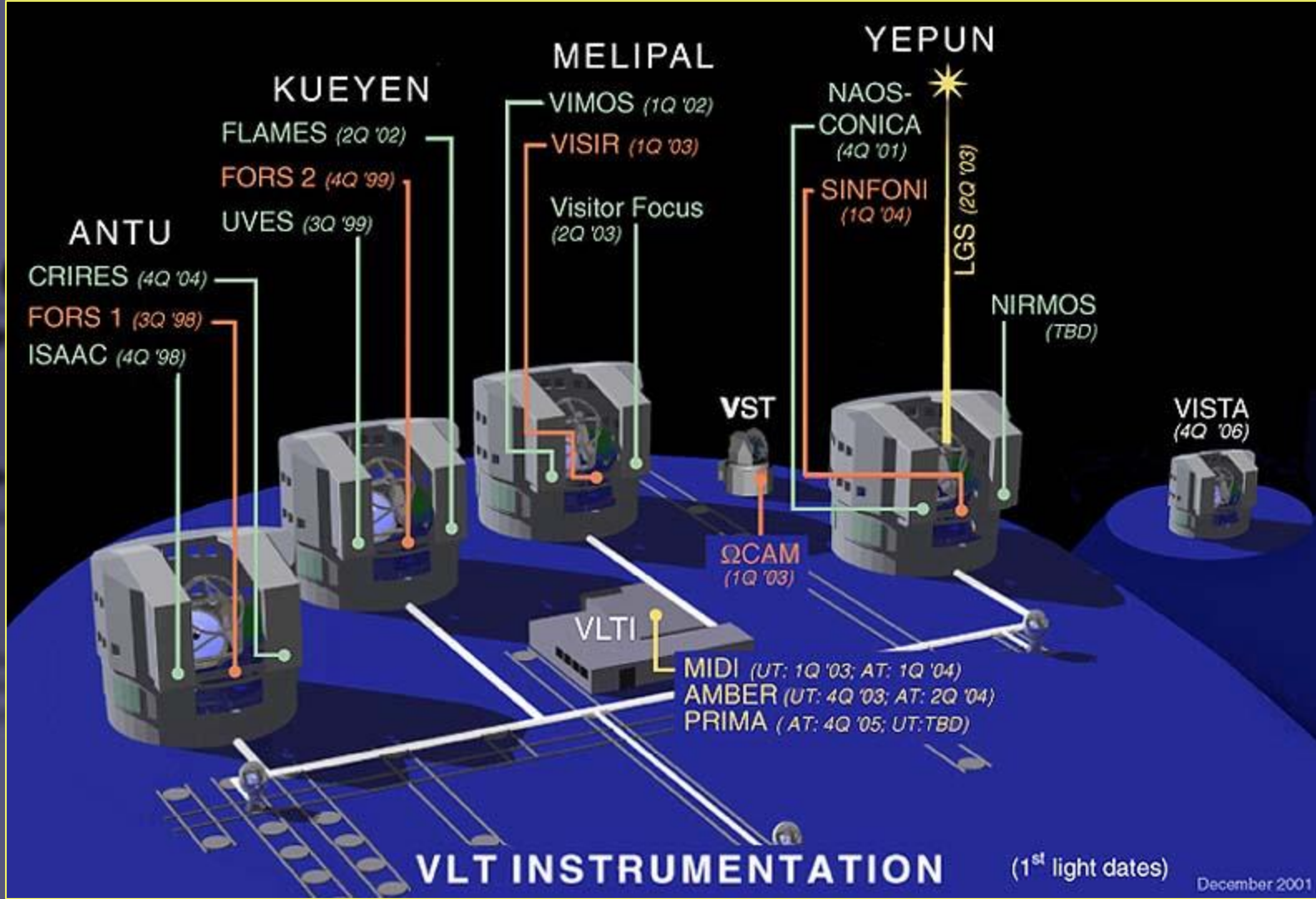


# top 10

- Very Large Telescope
- 4x 8,2 m - 4,2 megaočí
- ESO, Cerro Paranal
- pracují od r. 2001, také interferometr
- optika R-Ch, altazimut



- [https://en.wikipedia.org/wiki/Ritchey%E2%80%93Chr%C3%A9tien\\_telescope#/media/File:Diagram\\_Reflector\\_RitcheyChretien.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ritchey%E2%80%93Chr%C3%A9tien_telescope#/media/File:Diagram_Reflector_RitcheyChretien.svg)
- <https://www.eso.org/public/czechrepublic/teles-instr/paranal-observatory/vlt/>





# top 10

- Keckovy dalekohledy
- 2x 9,82 m - 3,06 megaočí
- Caltech, Mauna Kea
- 1991, 1996
- optika R-Ch, 36 hexagon. segmentů, altazimut, 300 t
- <https://keckobservatory.org/>



$f_1$

$f_2$

$f_2$

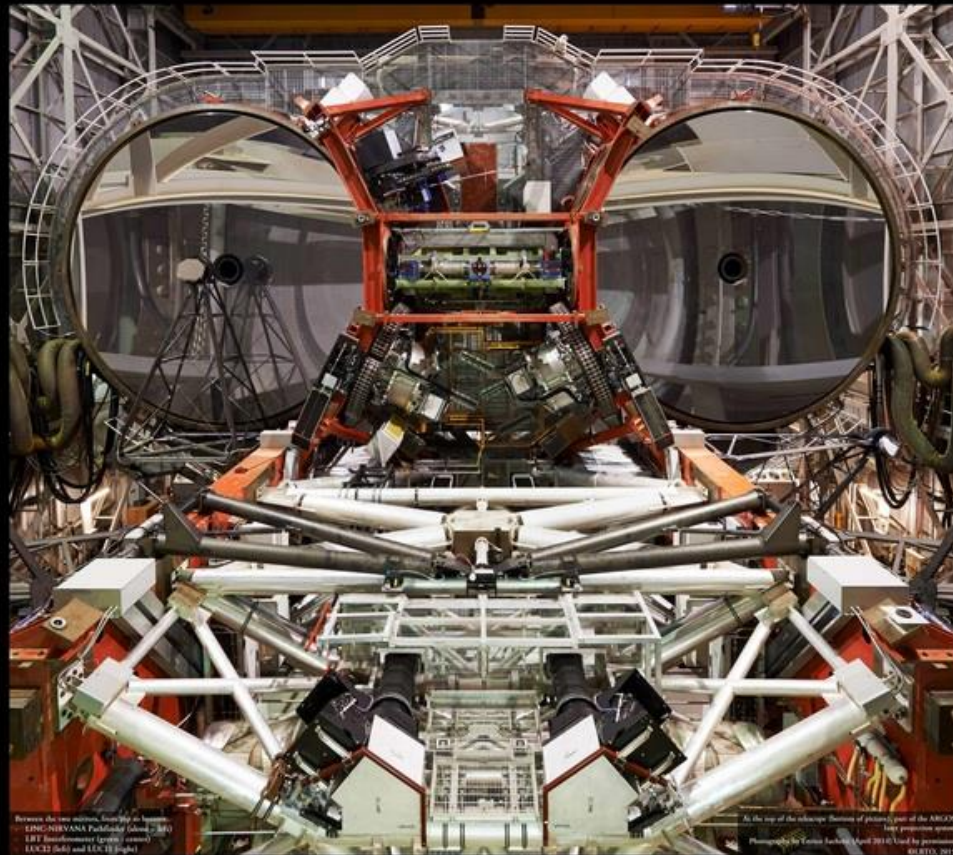
3

6

# top 10

- Large Binocular Telescope
- 2 x 8,4 m - 2,2 megaočí
- 12 partnerů USA, Itálie, SRN, Mt. Graham
- dokončení r. 2008
- optika Cass, altazimut, 350 t
- <https://www.lbto.org/>





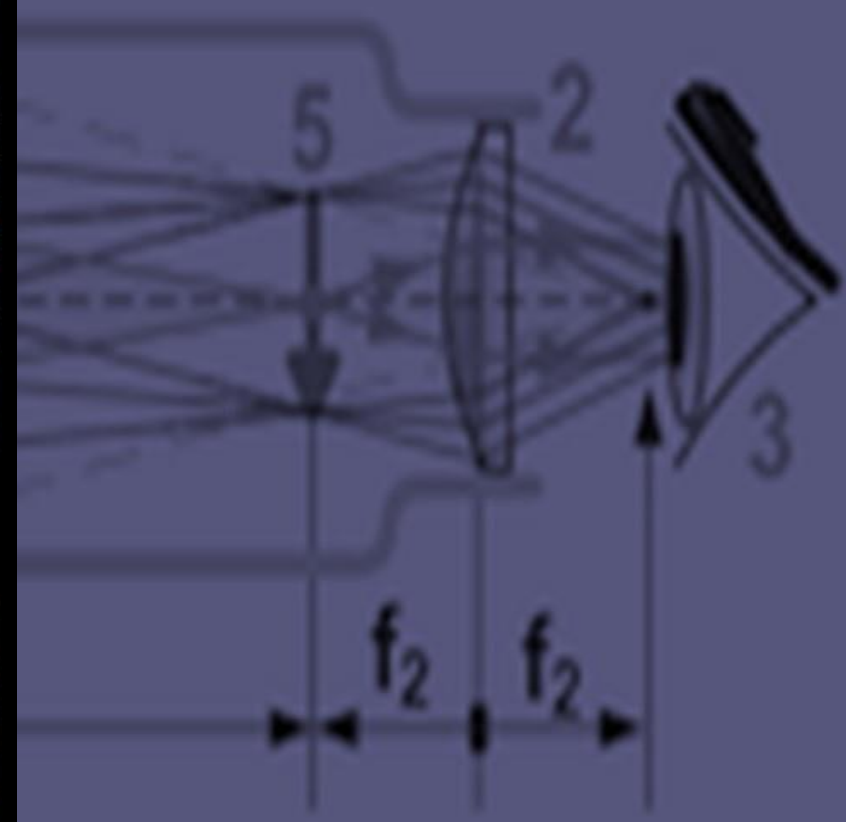
Between the two mirrors, from left to right:  
LINC-NIRVANA Fieldfinder (shown - left)  
LBT Environment (grey - center)  
LUCIF (left) and LUCY (right)

At the top of the telescope, bottom of photo, part of the ABIGOS large projection system  
Photography by Corbin Jackson, April 2010. Used by permission  
© LBT, 2011

# LBT Observatory 2014

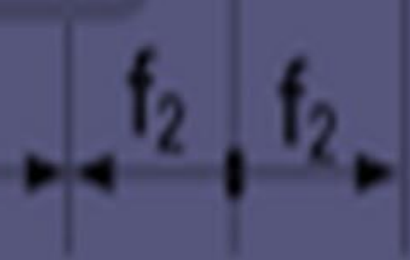
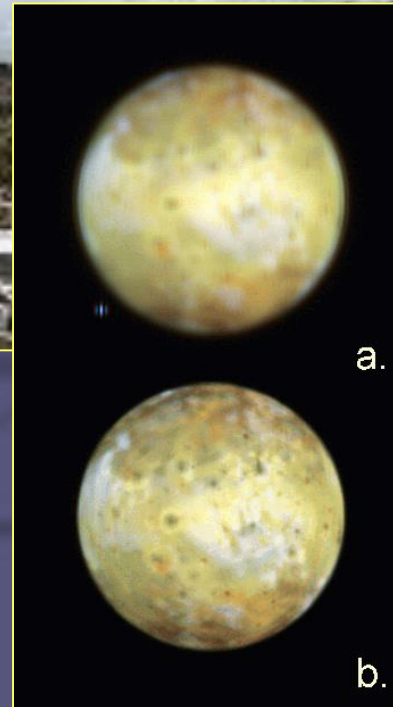


MOOSI (left) and MIMOS2 (right) at the Digital Composite Focus of each main mirror. Photography by Rick Pogge



# top 10

- Gran Telescopio Canarias
- 10,4 m - 1,7 megaočí
- Španělsko a partneři, La Palma, Kanárské ostrovy
- dokončení r. 2009
- optika R-Ch, altazimut, obdoba Keckova dal., 36 hexagonálních segmentů o 1,9 m
- <http://www.gtc.iac.es/>



# top 10

- Hobby - Eberly Telescope
- 9,1 m - 1,3 megaočí
- 5 univerzit USA, SRN, Mount Fowlkes, Texas
- dokončení r. 1997
- sférický tvar, pouze azimut, výška je fixní 55 st., 100 t
- <https://mcdonaldobservatory.org/research/telescopes/HET>



# top 10

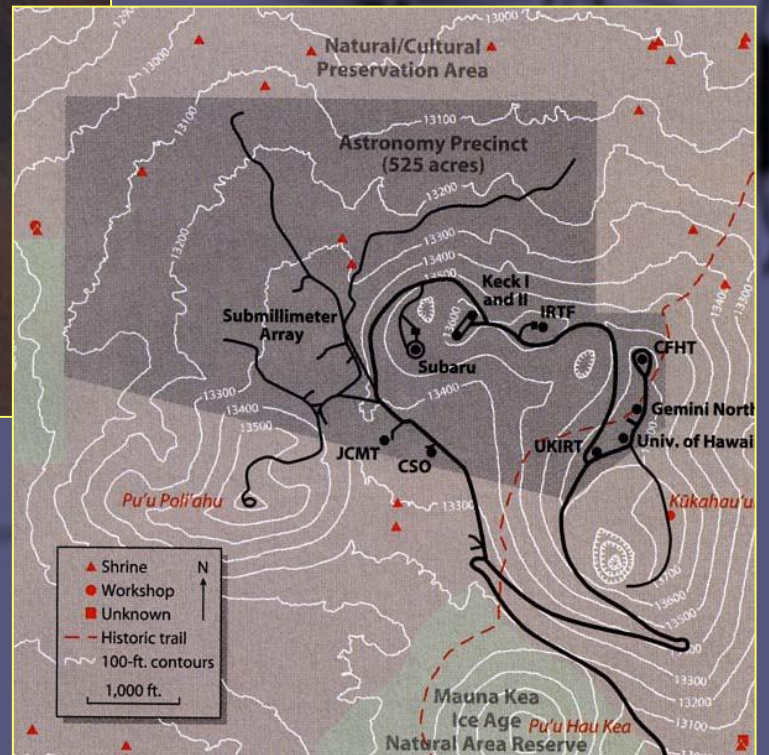
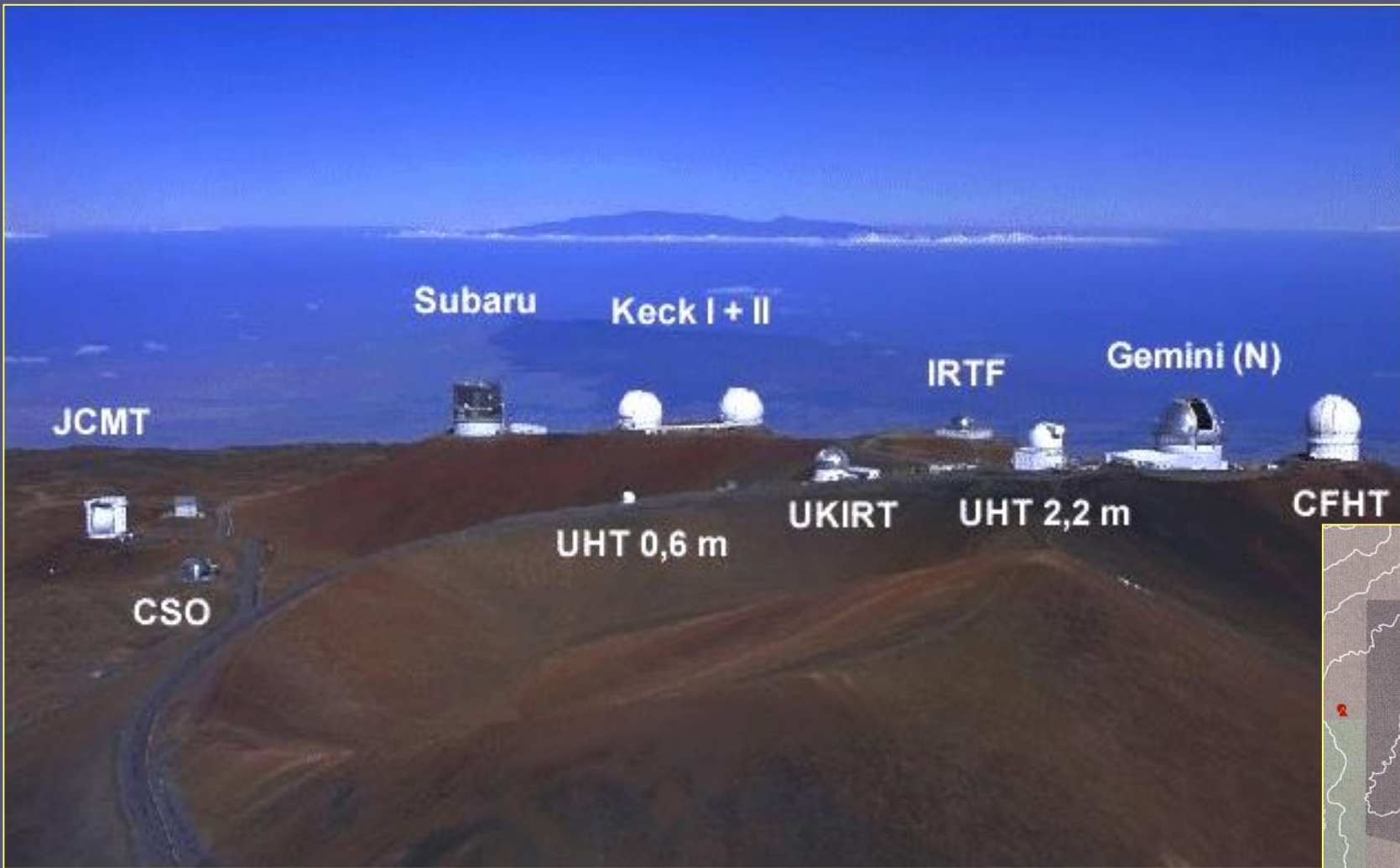
- Southern African Large Telescope
- cca 10 m - 1,5 megaočí
- dvojče HET, Sutherland, JAR
- dokončení r. 2005
- sférický tvar, pouze azimut, výška je fixní 55 st., 100 t
- <https://www.salt.ac.za/>



# top 10

- Subaru
- 8,2 m - 1,05 megaočí
- Japonsko, Mauna Kea
- dokončení r. 1999
- optika R-Ch, altazimut, hmotnost 500 tun, budova rotuje s dalekohledem
- <https://www.youtube.com/watch?v=r2i6RRZtx7E&t=3s>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Subaru\\_Telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Subaru_Telescope)







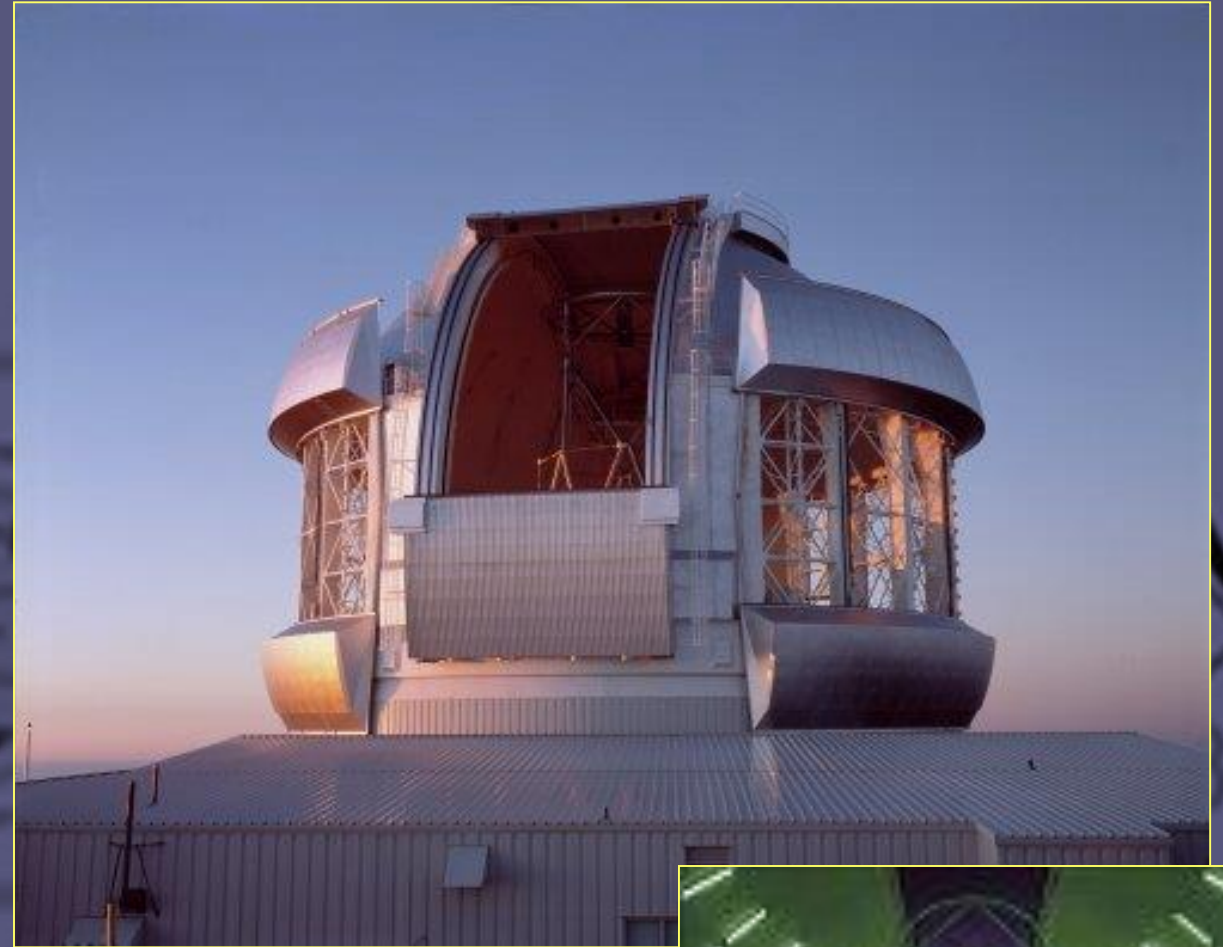
# top 10

- Gemini (sever)
- 8,1 m - 1,02 megaočí
- Mauna Kea
- dokončení r. 2000
- optika R-Ch, altazimut, hmotnost 342 t
- <http://www.gemini.edu/>



# top 10

- Gemini (jih)
- 8,1 m - 1,02 megaočí
- USA, GB, Kanada, Chile, Austrálie, Argentina, Brazílie, spravuje AURA, Cerro Pachón
- dokončení r. 2001
- optika R-Ch, altazimut, hmotnost 342 t
- <http://www.gemini.edu/>



# top 10

- Magellan
- 2 x 6,5 m - 1,3 megaočí
- USA, Las Campanas, Chile
- dokončení r. 2002
- optika Cass, altazimut, hmotnost 130 t
- <https://www.youtube.com/watch?v=JH3H3fXduVI&t=2s>
- <https://obs.carnegiescience.edu/Magellan>



# velké dalekohledy aktuálně

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_optical\\_reflecting\\_telescopes](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes)



**Great Paris Exhibition Telescope**  
(lens at the same scale)  
Paris, France (1900)

**Yerkes Observatory**  
(40" refractor lens at the same scale)  
Williams Bay, Wisconsin (1893)

**Hooker (100")**  
Mt Wilson, California (1917)

**Hobby-Eberly Telescope**  
Davis Mountains, Texas (1996)

**BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)**  
Zelenchuksky, Russia (1975)

**Large Zenith Telescope**  
British Columbia, Canada (2003)

**Gala**  
Earth-Sun L2 point (2014)

**James Webb Space Telescope**  
Earth-Sun L2 point (planned 2018)

Tennis court at the same scale

**Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope**  
Hebei, China (2009)

**Gran Telescopio Canarias**  
La Palma, Canary Islands, Spain (2007)

**Southern African Large Telescope**  
Sutherland, South Africa (2005)

**Large Binocular Telescope**  
Mount Graham, Arizona (2005)

**Very Large Telescope**  
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)

**Magellan Telescopes**  
Las Campanas, Chile (2000/2002)

**Keck Telescope**  
Mauna Kea, Hawaii (1993/1996)

**Gemini North**  
Mauna Kea, Hawaii (1999)

**Gemini South**  
Cerro Pachón, Chile (2000)

**Large Synoptic Survey Telescope**  
El Peñón, Chile (planned 2020)

**Giant Magellan Telescope**  
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)

Overwhelmingly Large Telescope (cancelled)  
Arecibo radio telescope at the same scale

**Subaru Telescope**  
Mauna Kea, Hawaii (1999)

**Thirty Meter Telescope**  
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)

**European Extremely Large Telescope**  
Cerro Armazones, Chile (planned 2022)

Human at the same scale

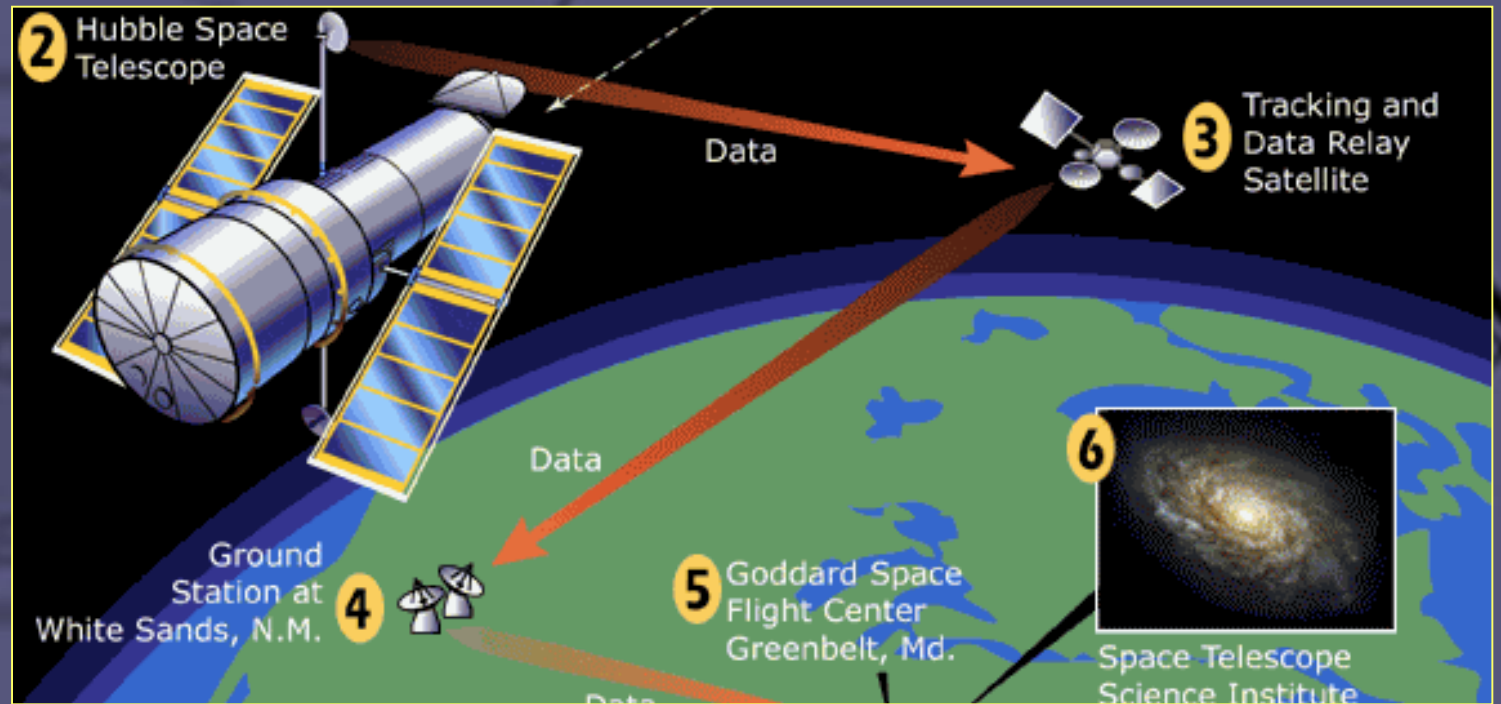
Basketball court at the same scale

0 5 10 m  
0 10 20 30 ft



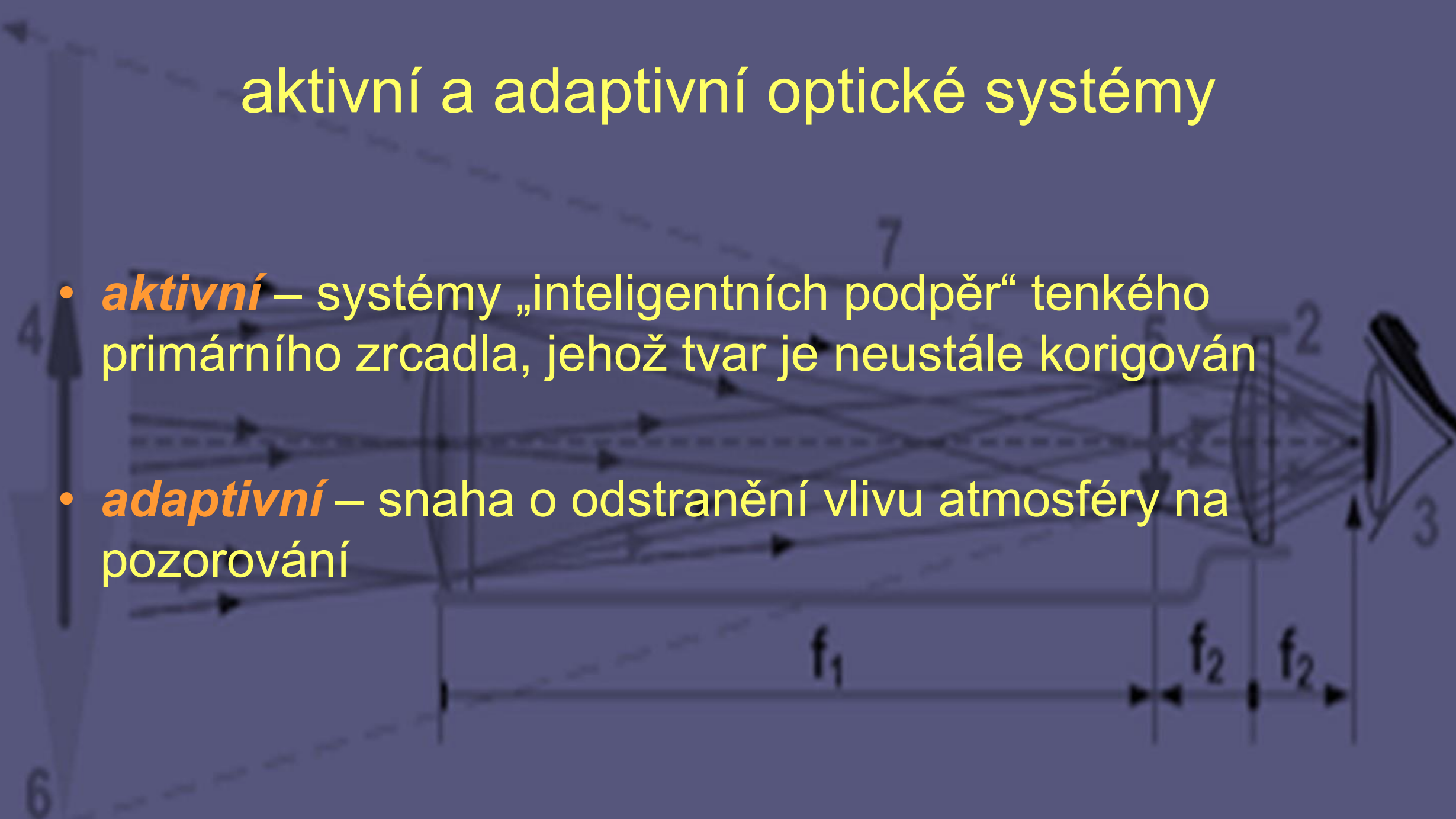
# observatoře na oběžné dráze

- IRAS
- ISO
- Spitzer Space Telescope
- HST
- Chandra
- Compton
- JWST
  
- cenová rozvaha
- HST x pozemní dal.



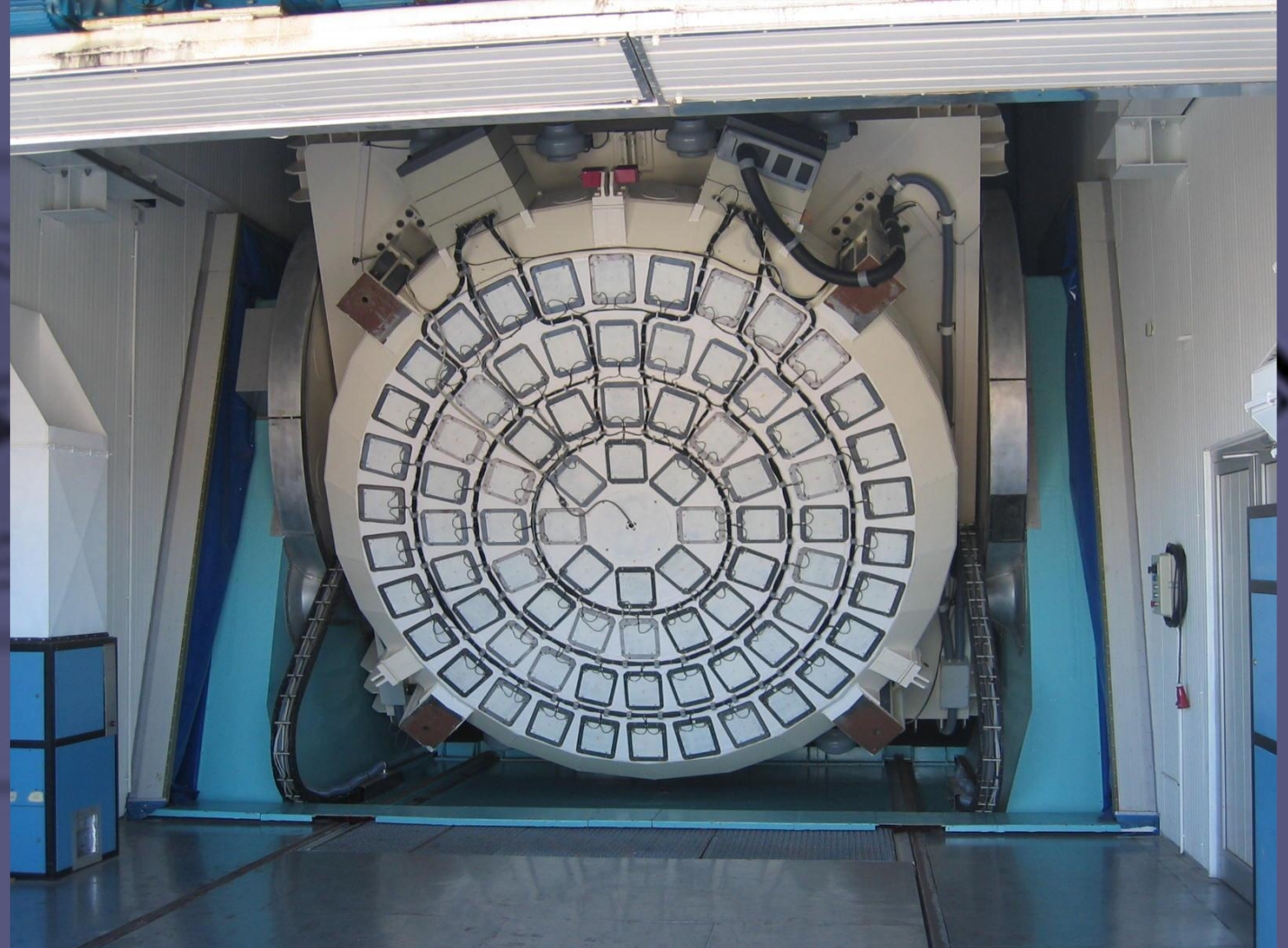
# aktivní a adaptivní optické systémy

- **aktivní** – systémy „intelligentních podpěr“ tenkého primárního zrcadla, jehož tvar je neustále korigován
- **adaptivní** – snaha o odstranění vlivu atmosféry na pozorování



# aktivní optické systémy

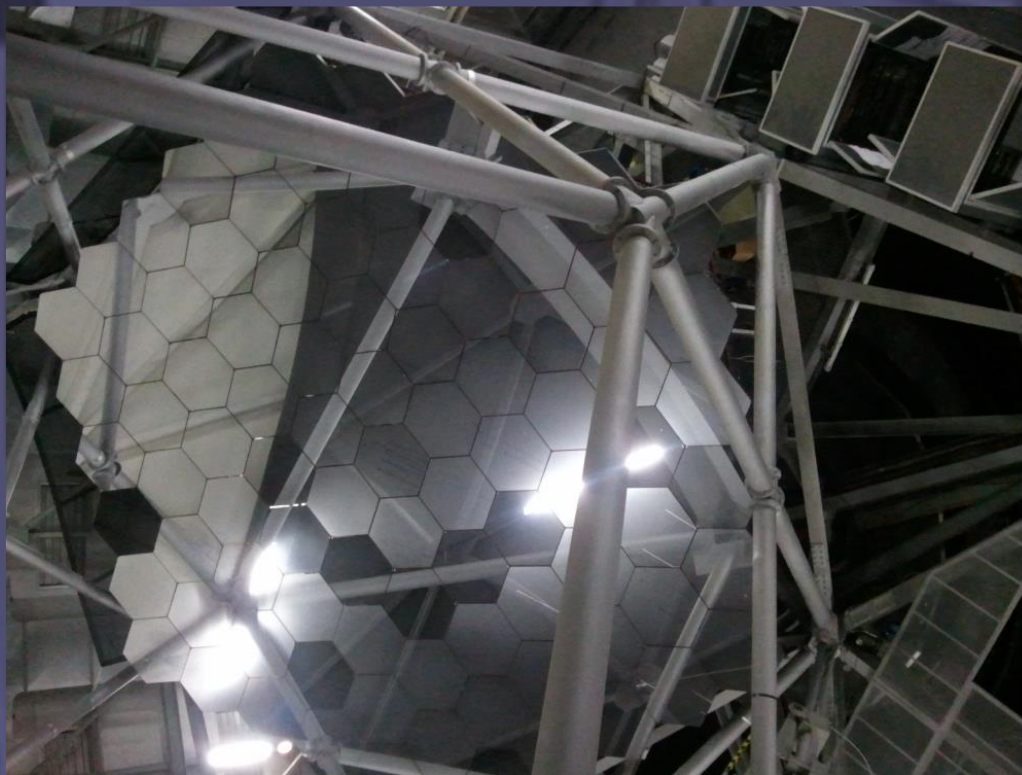
- Spodní strana zrcadla dalekohledu NTT na La Silla, na které je patrná elektronika aktivní optiky





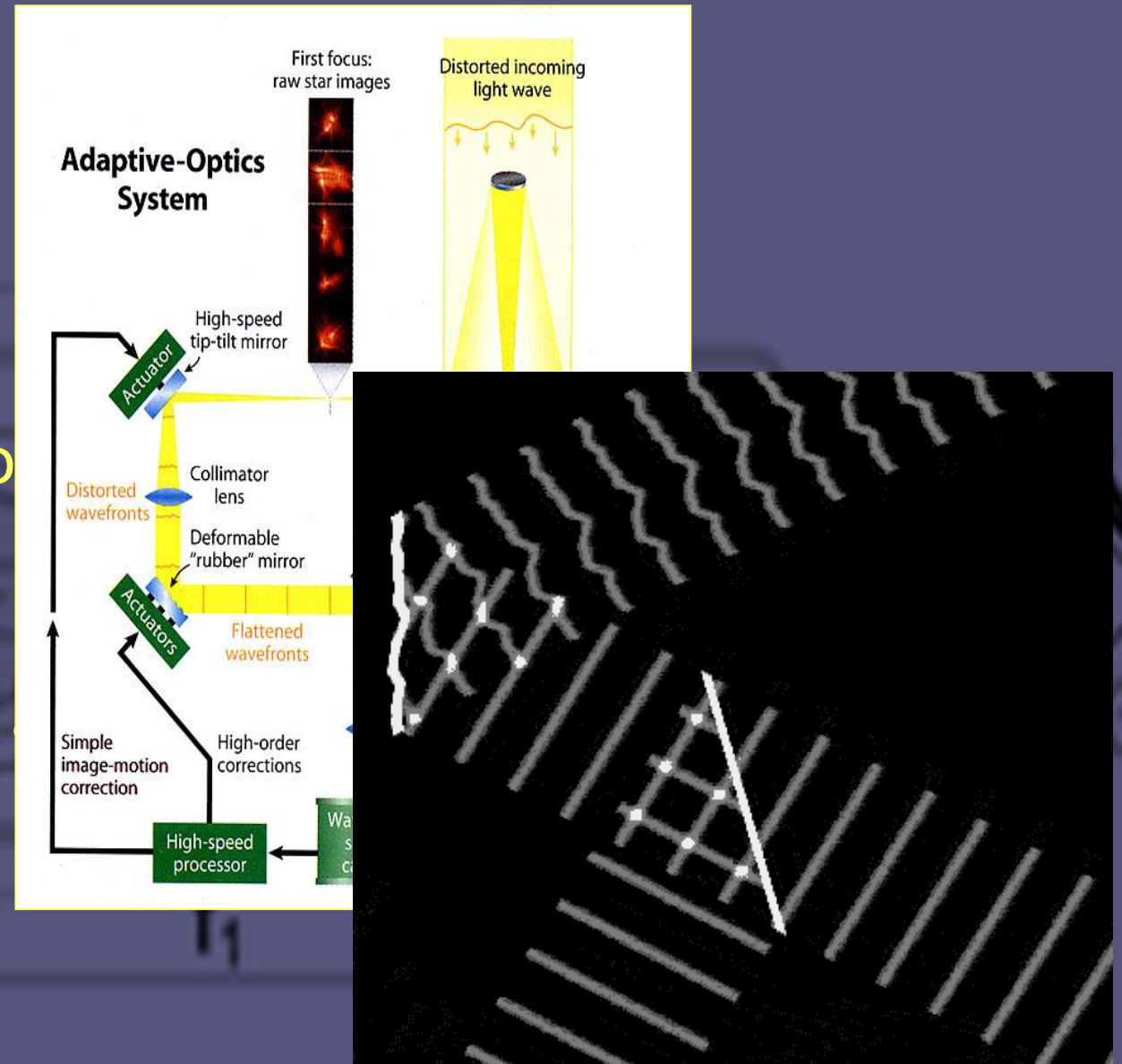
# aktivní optické systémy

- Segmentové zrcadlo dalekohledu SALT (South African Large Telescope, Sutherland), na kterém je vidět různá kvalita odrazové plochy, vpravo je pak držák jednotlivého segmentu



# adaptivní optika

- idea z 50. let, poprvé užito na konci 80. let na 3,6 m ESO
- odtajnění vojenských technologií 1991
- AO musí zjistit všechna zkreslení v každém okamžiku a vložit zkreslení „opačná“
- snazší v IR oblasti



# adaptivní optika

- metoda fixace vlnoplochy, jen pro jasné hvězdy v zorném poli
- metoda umělé hvězdy
- systém měření zakřivení vlnoplochy
- metoda atmosférické tomografie
- neuvěřitelné nároky na výpočetní techniku



# moderní projekty

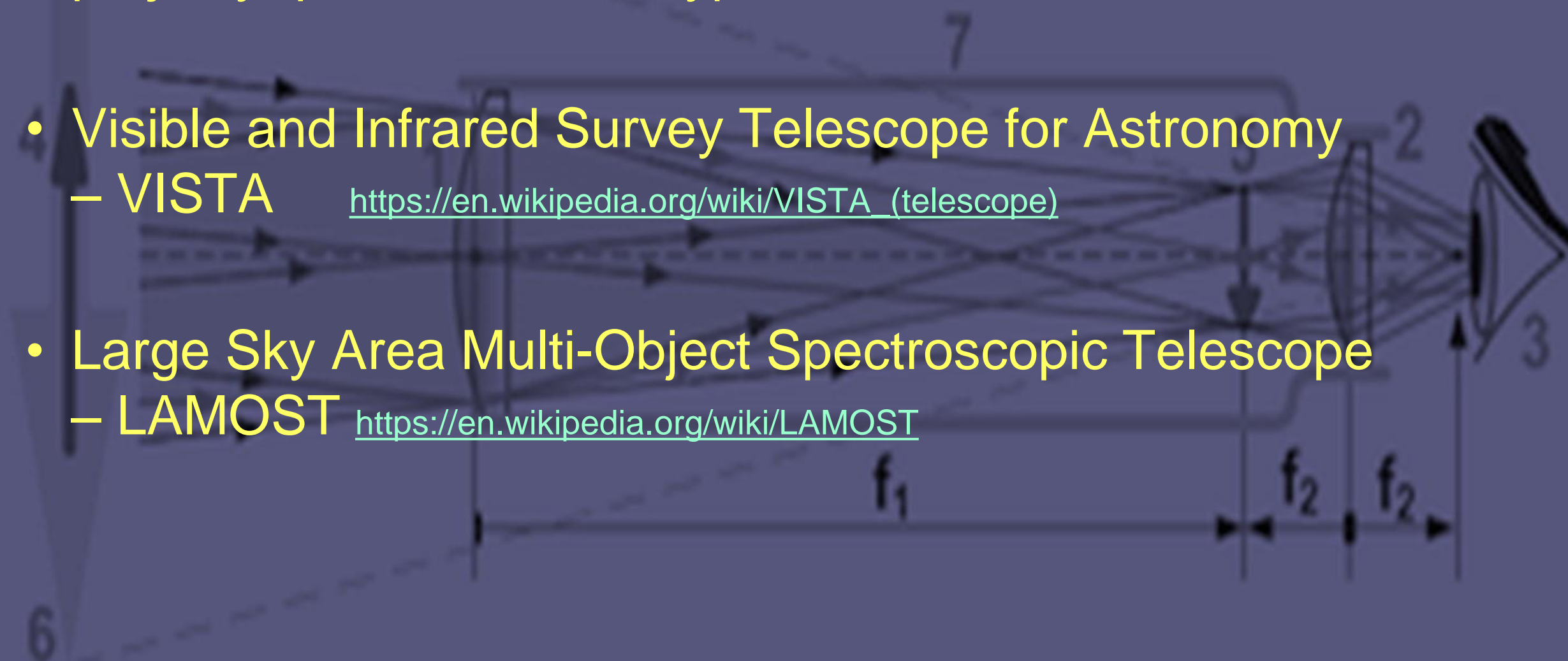
- projekty „přehlídkového“ typu

- Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy

– VISTA [https://en.wikipedia.org/wiki/VISTA\\_\(telescope\)](https://en.wikipedia.org/wiki/VISTA_(telescope))

- Large Sky Area Multi-Object Spectroscopic Telescope

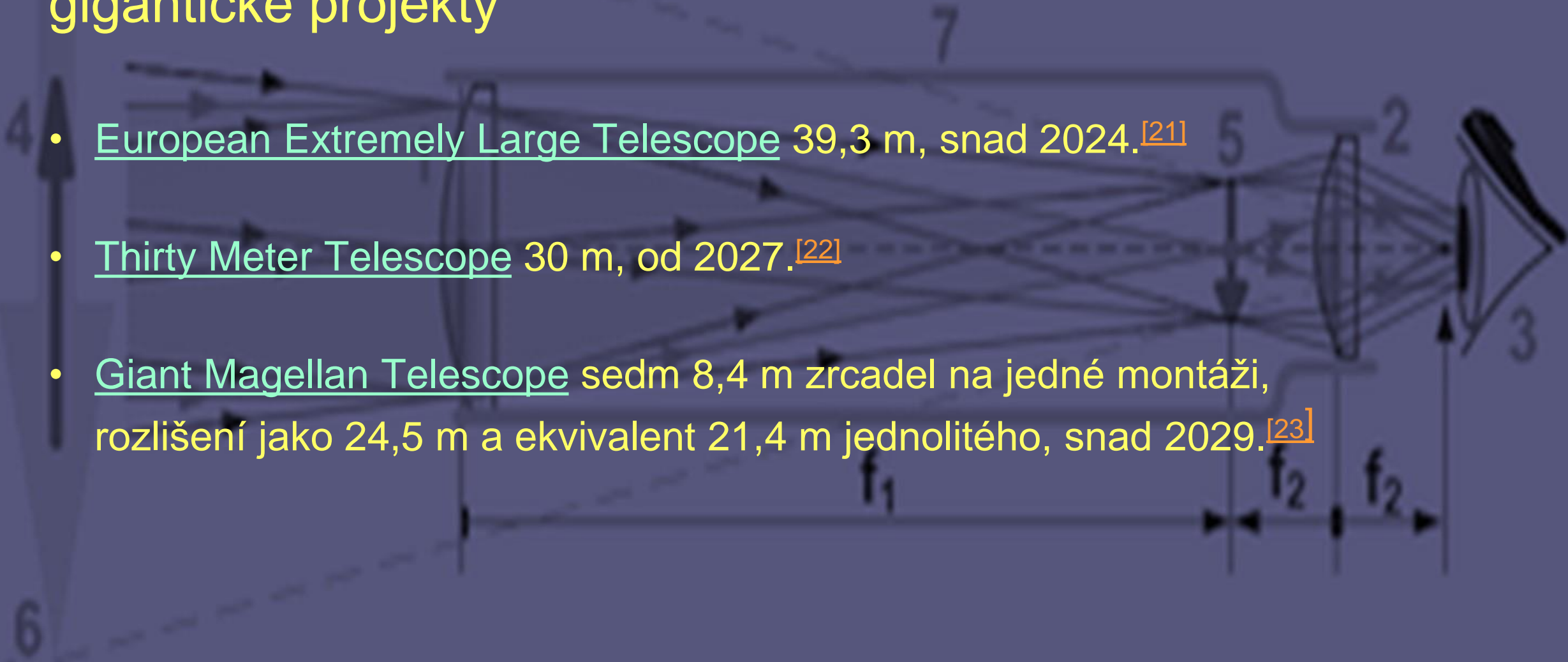
– LAMOST <https://en.wikipedia.org/wiki/LAMOST>



# trocha futurologie

## gigantické projekty

- [European Extremely Large Telescope](#) 39,3 m, snad 2024.<sup>[21]</sup>
- [Thirty Meter Telescope](#) 30 m, od 2027.<sup>[22]</sup>
- [Giant Magellan Telescope](#) sedm 8,4 m zrcadel na jedné montáži, rozlišení jako 24,5 m a ekvivalent 21,4 m jednolitého, snad 2029.<sup>[23]</sup>



# trocha futurologie

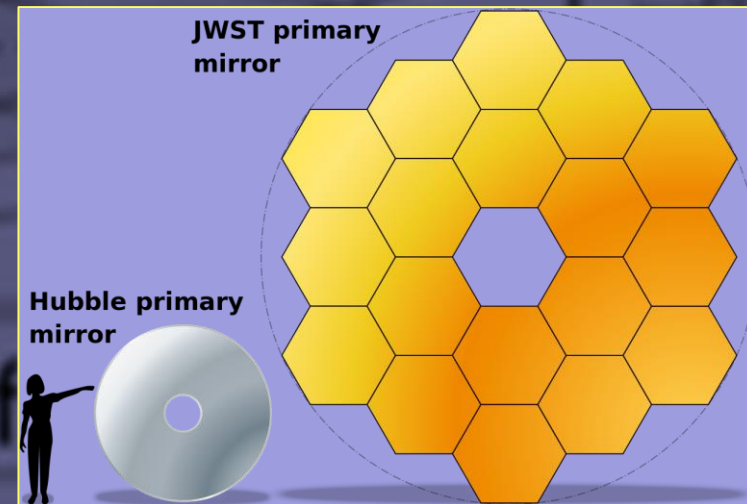
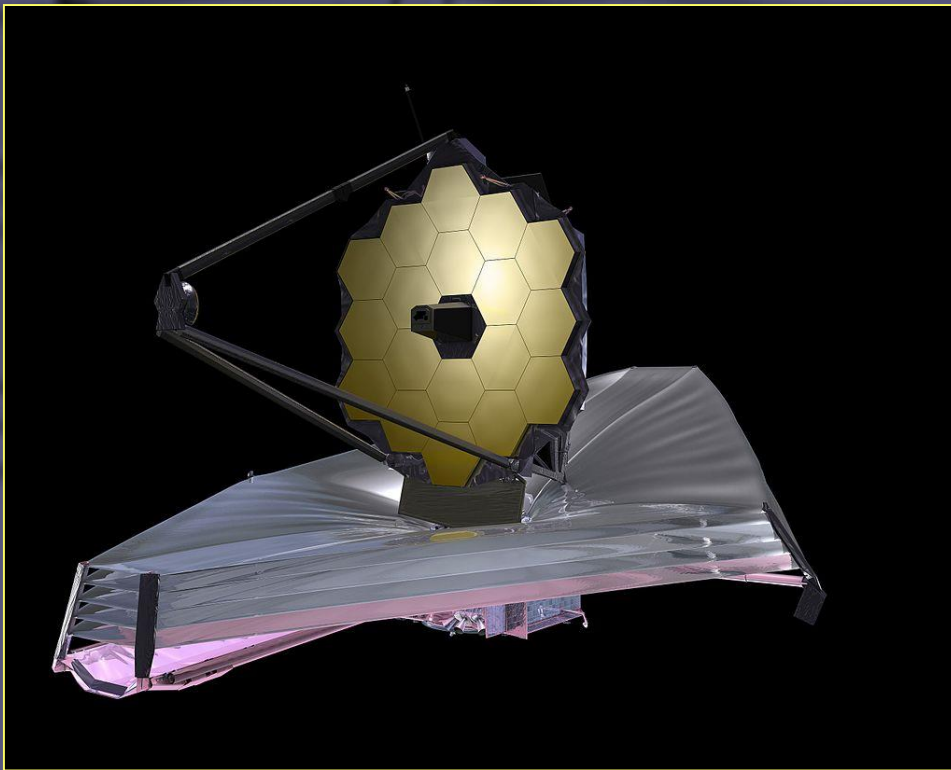
## gigantické projekty

- [Vera C. Rubin Observatory](#) 8,4 m, plný provoz 2022
- [San Pedro Martir Telescope](#) 6.5 m, snad 2023.<sup>[25]</sup>
- [Magdalena Ridge Observatory Telescope Array](#) optický interferometr, 10 dalekohledů, každý 1,4 m (ekvivalent 4,4 m zrcadlu)



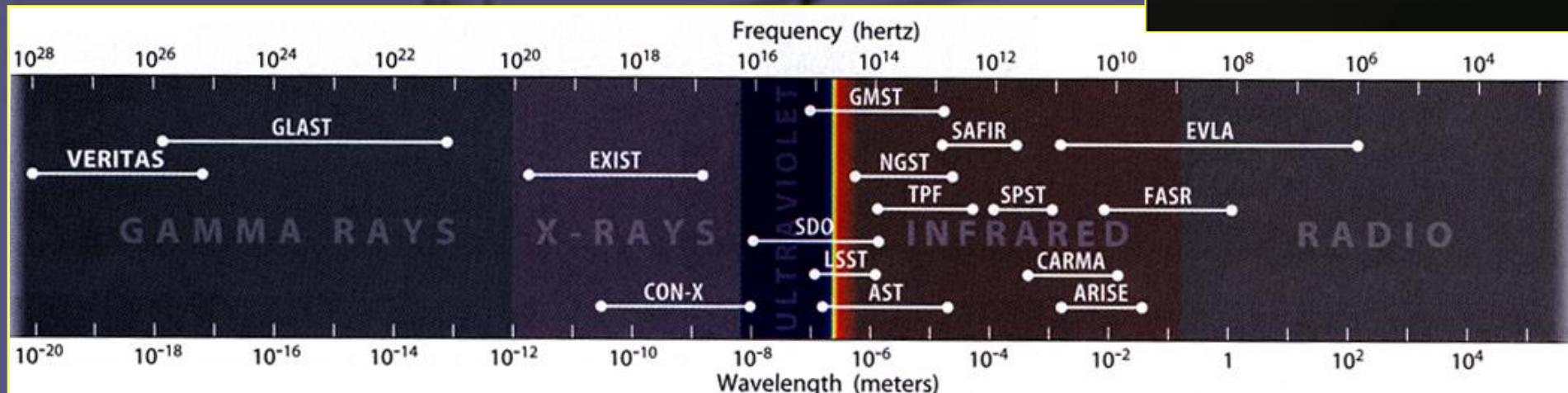
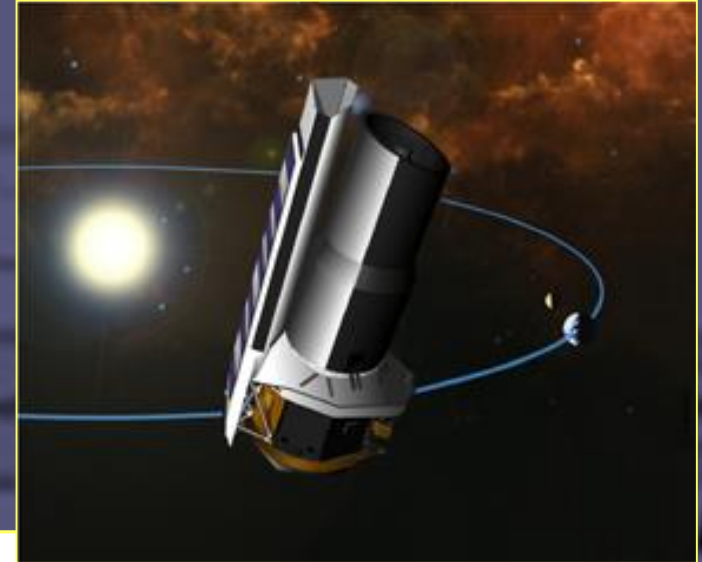
# oběžná dráha

- James Webb Space Telescope 6,5 m, prosinec 2021. [\[24\]](#)



# Quo vadis, pozorovací astronomie?

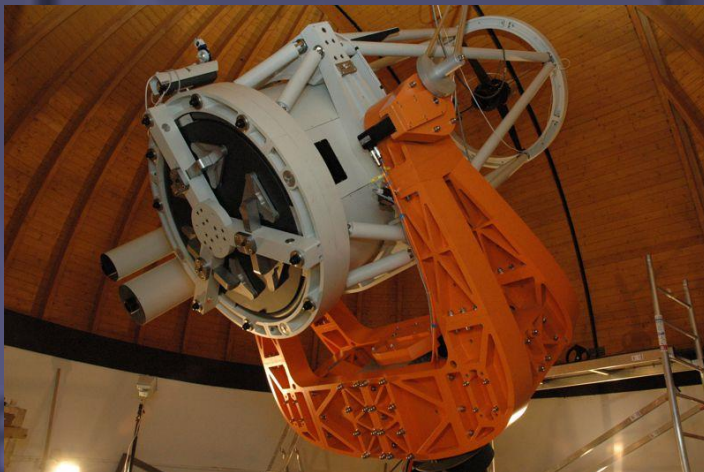
- [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_proposed\\_space\\_observatories](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_proposed_space_observatories)





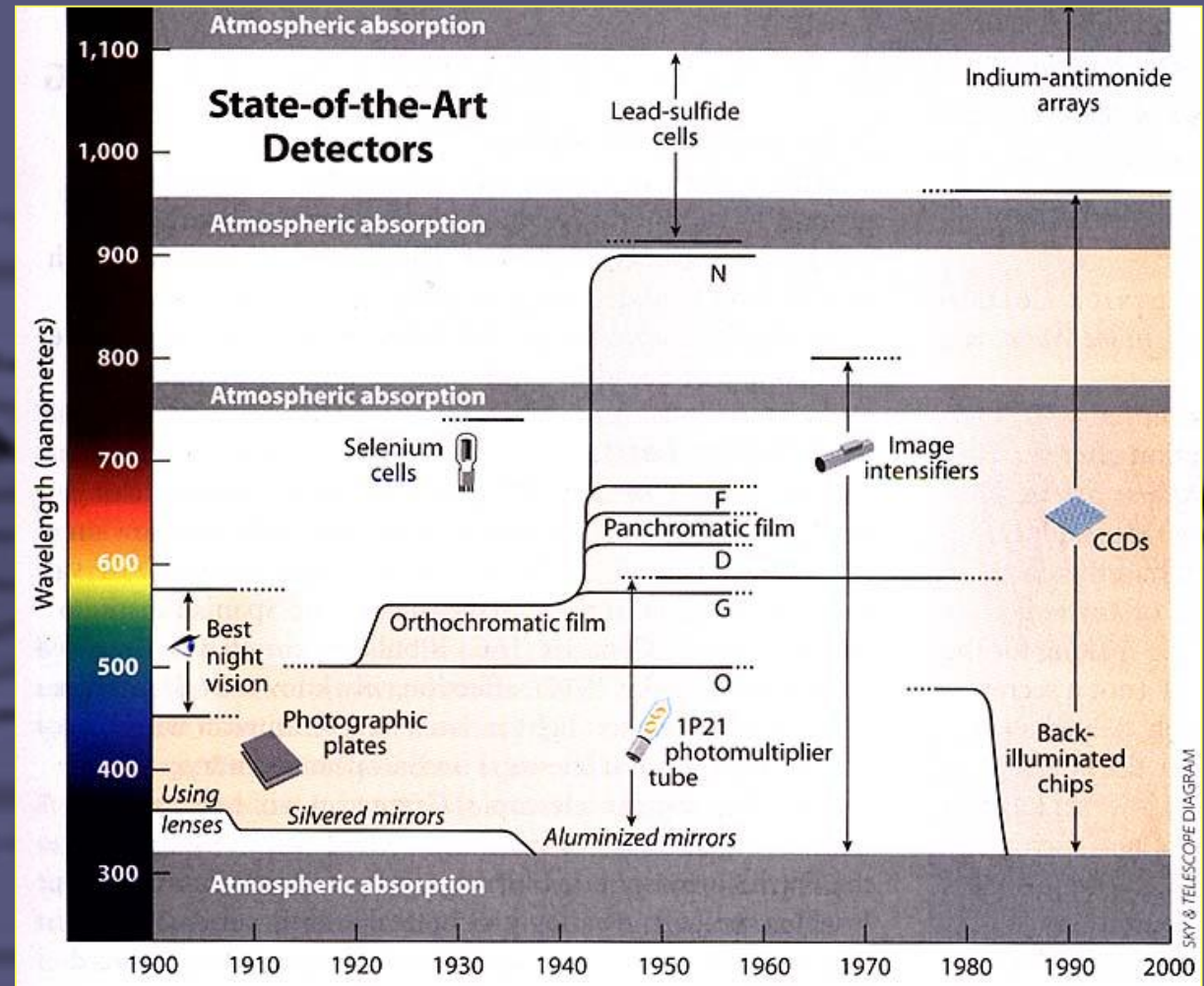
# jakpak je dnes u nás doma?

- ondřejovský Perkův dalekohled (2 m) - 65,5 kiloočí
- KLENOT, 1,06 m - 17,5 kiloočí
- dalekohled MU Brno ve Ždánicích
- 2007 jsme se stali členy ESO !!!
- La Silla 1,54 m "Dánský dalekohled,"
- Český dalekohled E152 na La Silla v Chile



# detektory

- 1887 astrofotografie
- 1940 speciální emulze pro spektroskopii (Kodak)
- 1930 použití fotoel. článků
- 1940 fotonásobiče
- 1990 CCD



# získání pozorovacího času

- pozorovací režimy
  - pozorování astronomem přímo na místě
  - vzdálené pozorování
  - pozorování prováděné profesionální obsluhou dalekohledu (plánování systémem „fronta“)
  - robotické dalekohledy (ASAS a jiné)

<https://lco.global/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Robotic\\_telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Robotic_telescope)

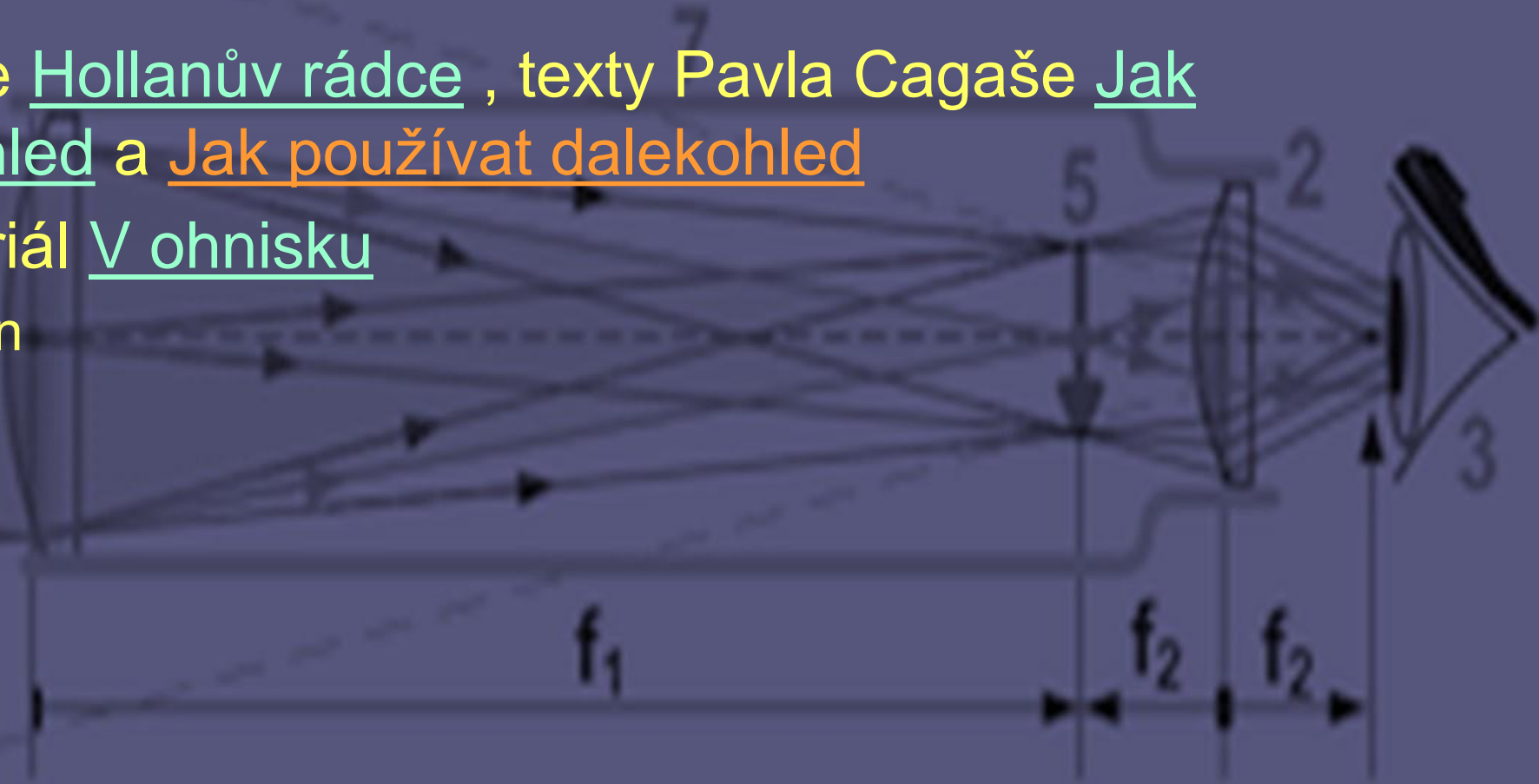
<http://www.astro.physik.uni-goettingen.de/~hessman/MONET/links.html>



# praktická astronomie „pro radost“ I

(včetně kritického komentáře)

- technika a praxe [Hollanův rádce](#) , texty Pavla Cagaše [Jak kupovat dalekohled](#) a [Jak používat dalekohled](#)
- pozorování - seriál [V ohnisku](#)
  - slunečních skvrn
  - zatmění Slunce
  - Měsíce
  - zákrytů hvězd
  - planetek
  - planet



... game is over ...

