praktická astronomie

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

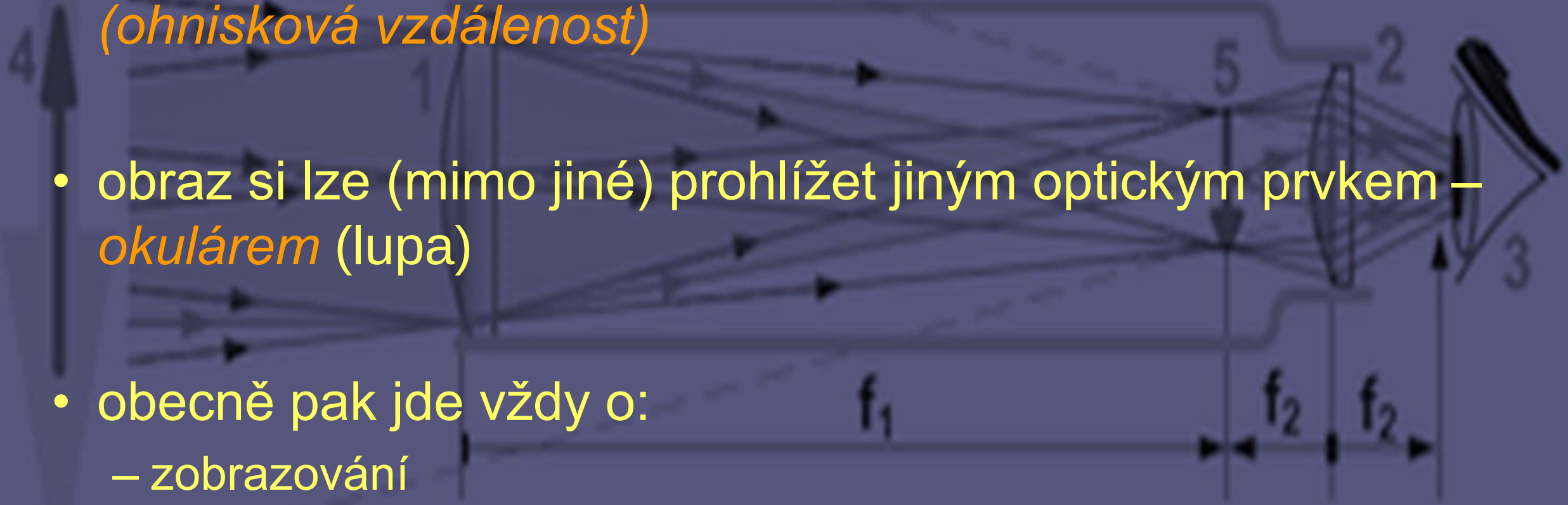
cvičení
praktická astronomie „pro radost“ I
(včetně kritického komentáře)

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.)
  - *měřící zařízení* (fotoaparát, kamera, spektrograf ...)
  - *detektor* (oko, fot. emulze, fotonásobič, CCD)

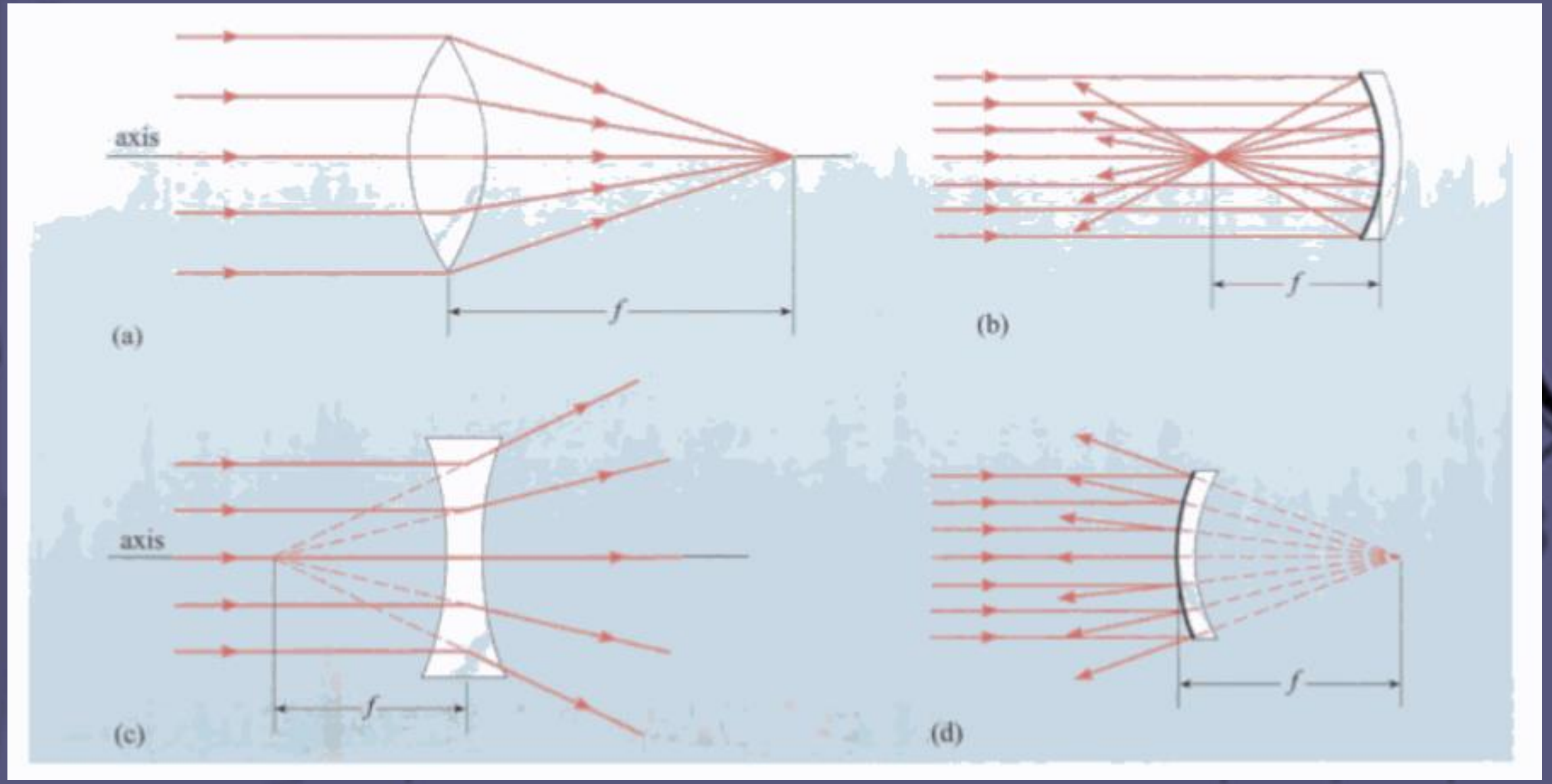
dalekohledy

- dalekohled se skládá z hlavního optického prvku – tzv. *objektivu*, který vytváří obraz v *ohniskové rovině (ohnisková vzdálenost)*



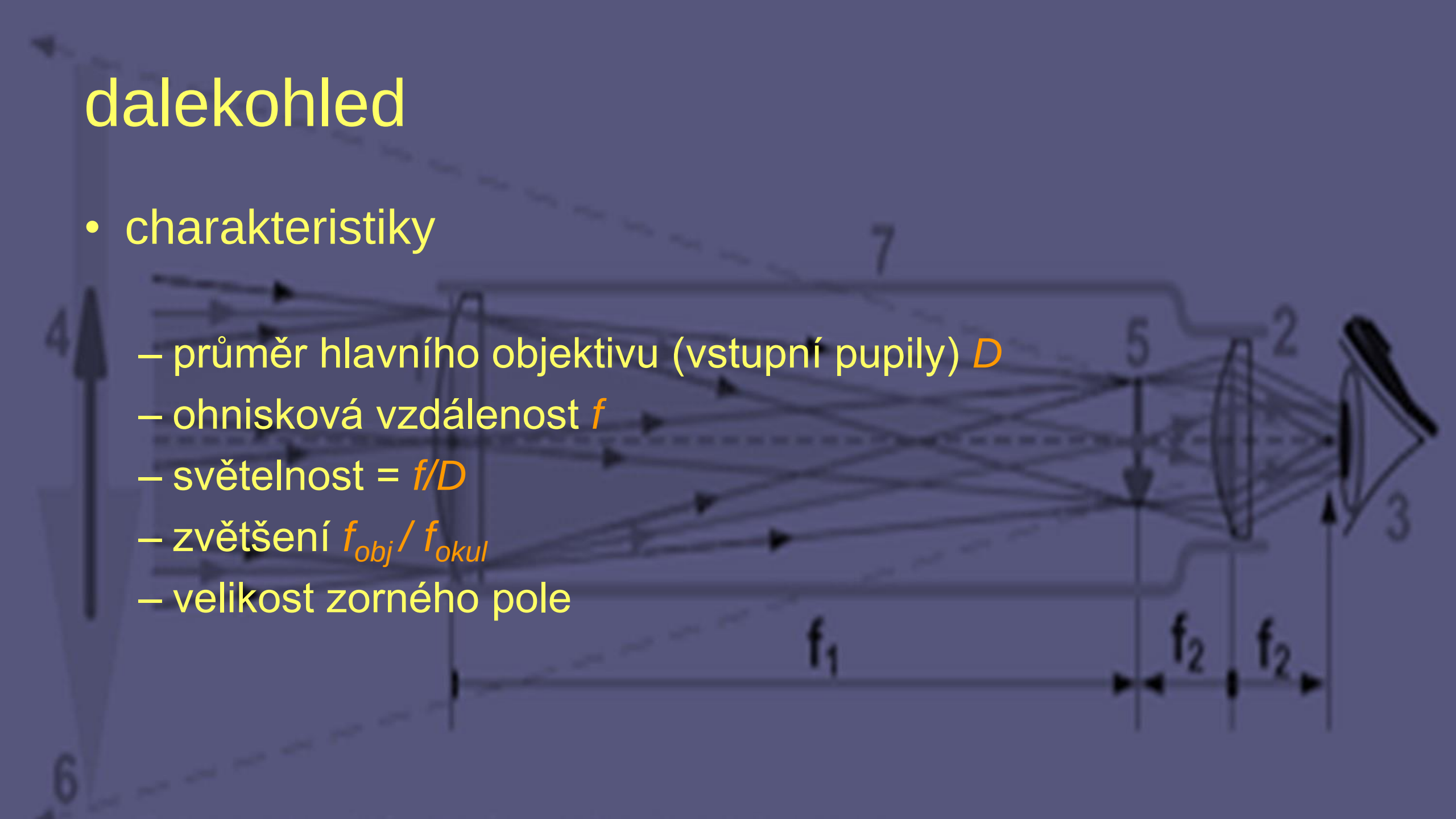
- obraz si lze (mimo jiné) prohlížet jiným optickým prvkem – *okulárem* (lupa)

- obecně pak jde vždy o:
  - zobrazování
  - fotometrie – měření vlastností záření


axis
f
(a)
f
(b)
axis
f
(c)
f
(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

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

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

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

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

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

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

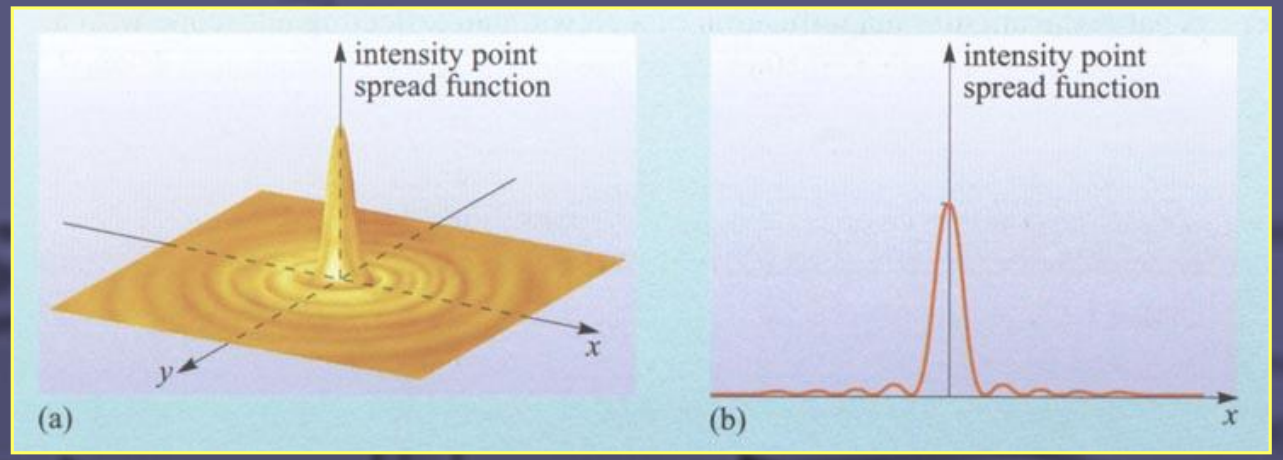
dalekohledy

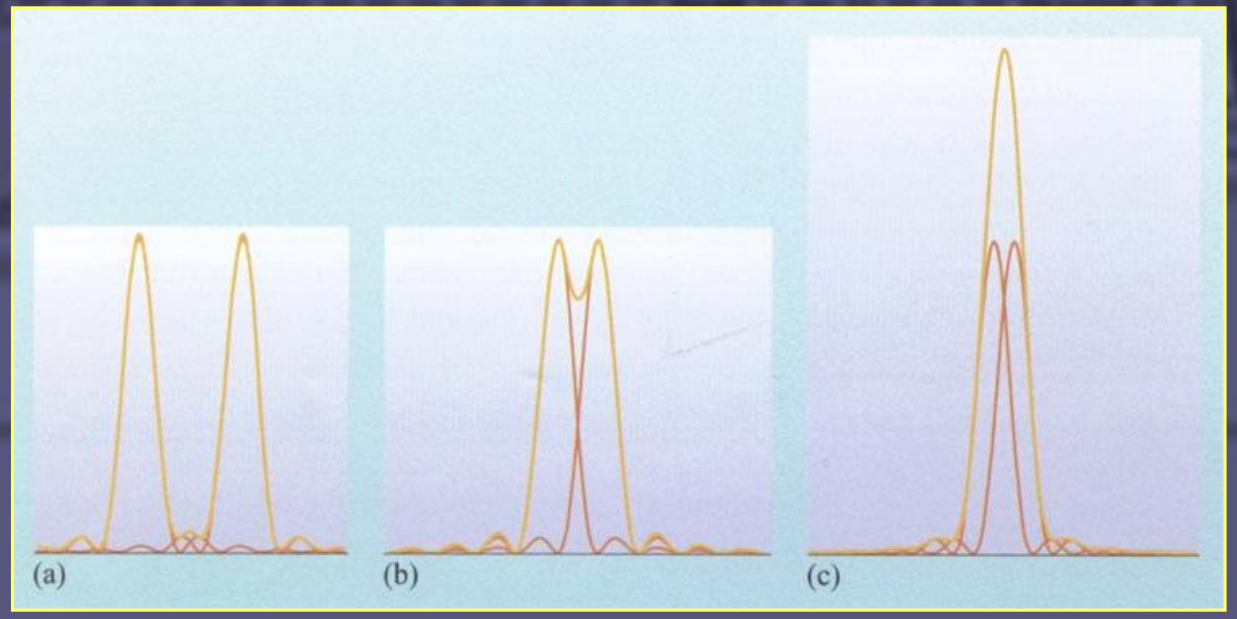
- úhlové rozlišení

  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

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

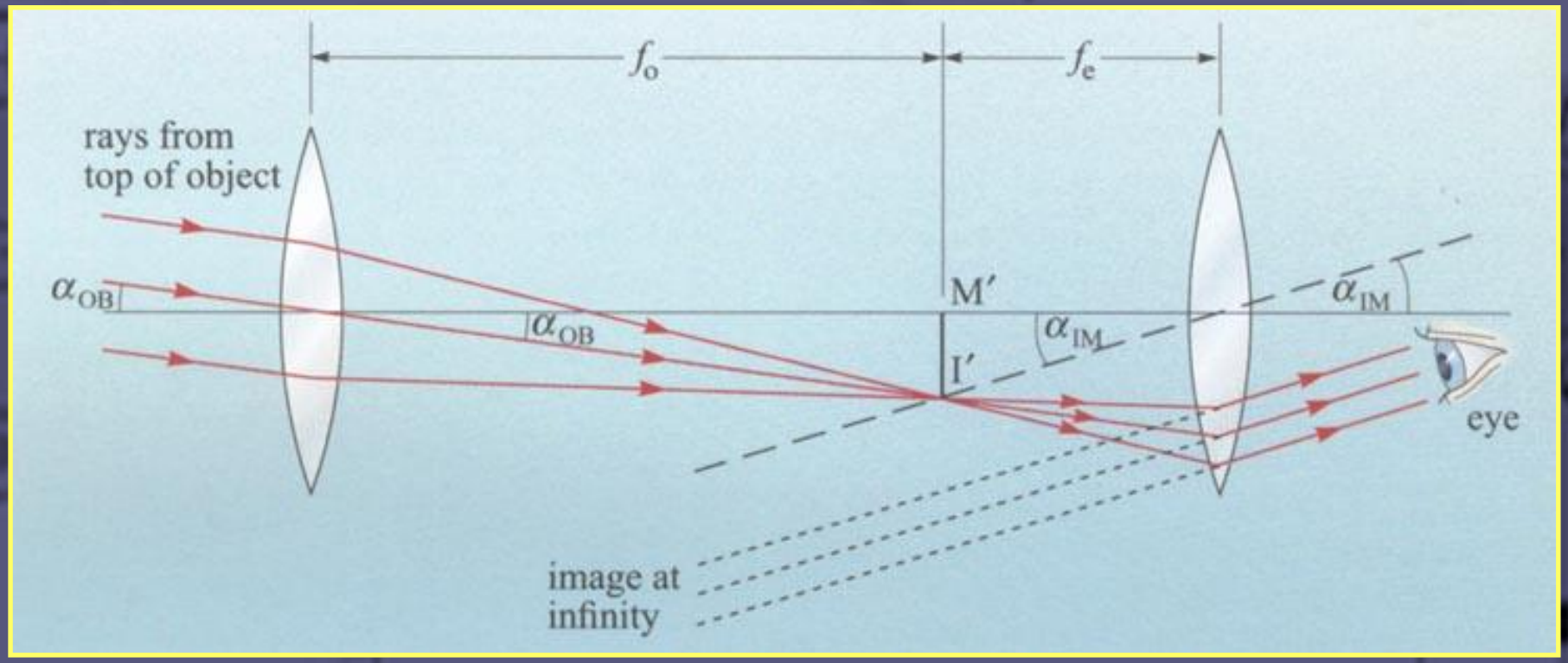
dalekohled


intensity point
spread function
x
y
(a)
intensity point
spread function
x
(b)


(a)
(b)
(c)

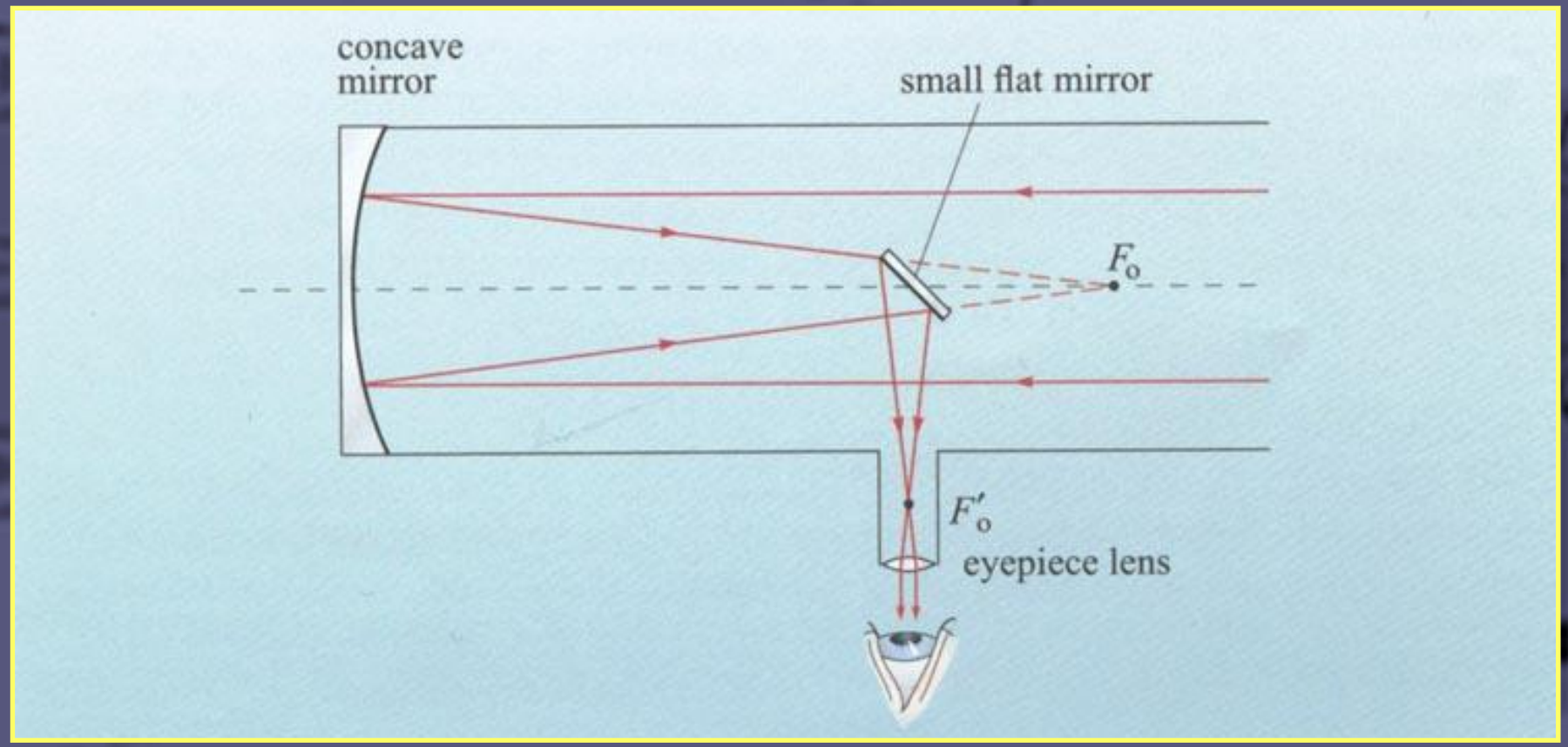
dalekohledy

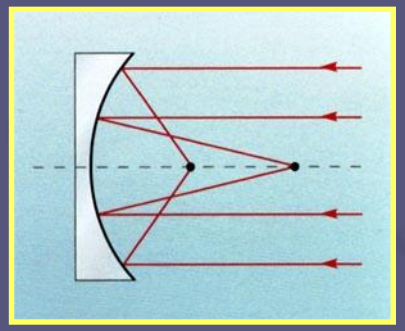
- refraktor

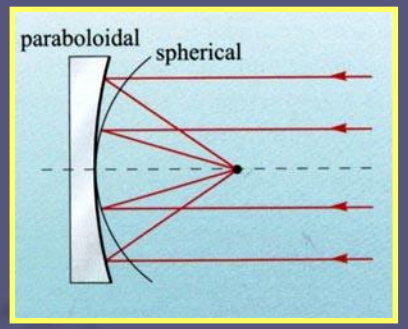


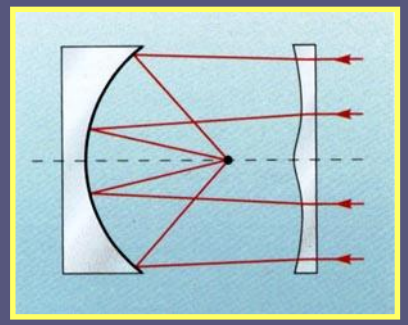
dalekohledy

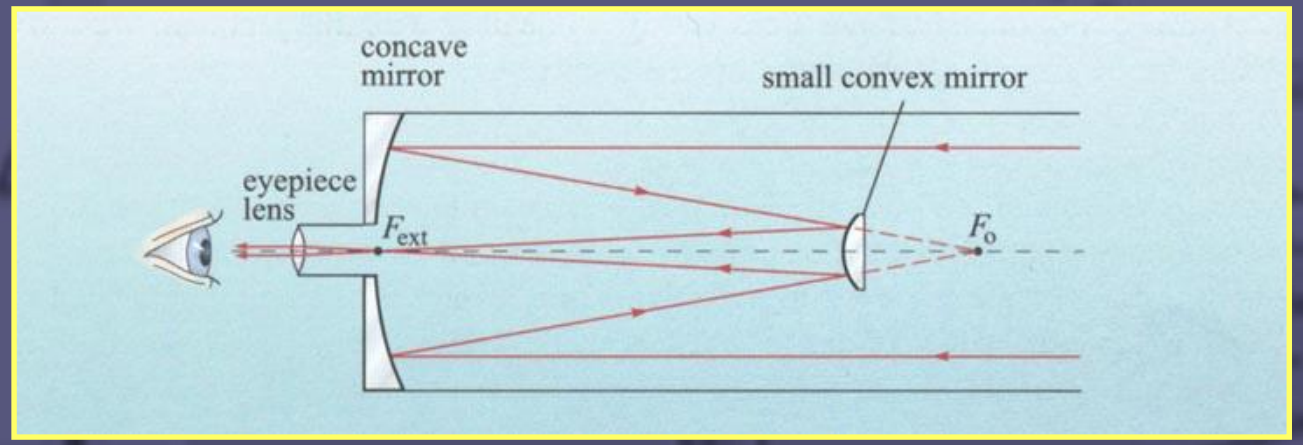
- reflektor

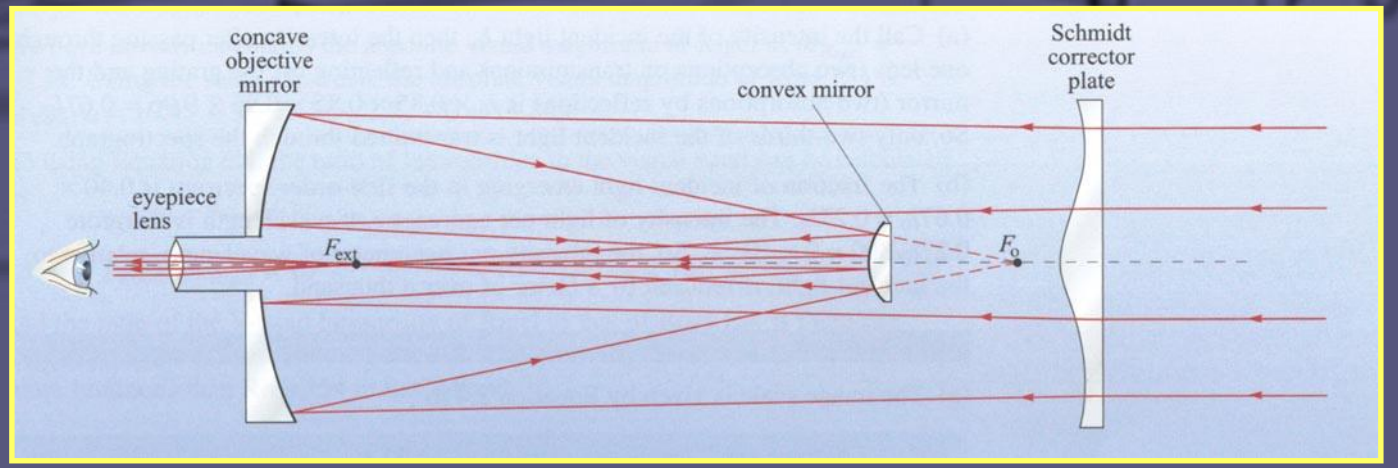








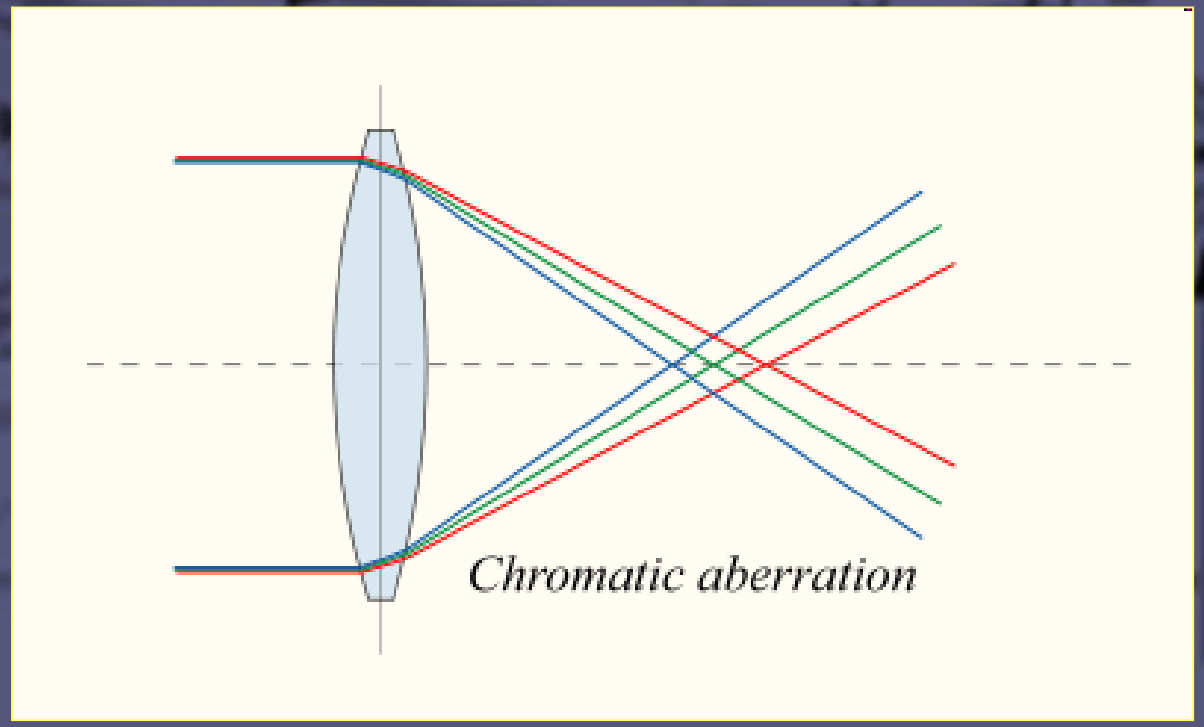




[další varianty]

vady optiky

- velmi dobře zpracovaný text o vadách optiky je zde
- kvalita optických přístrojů



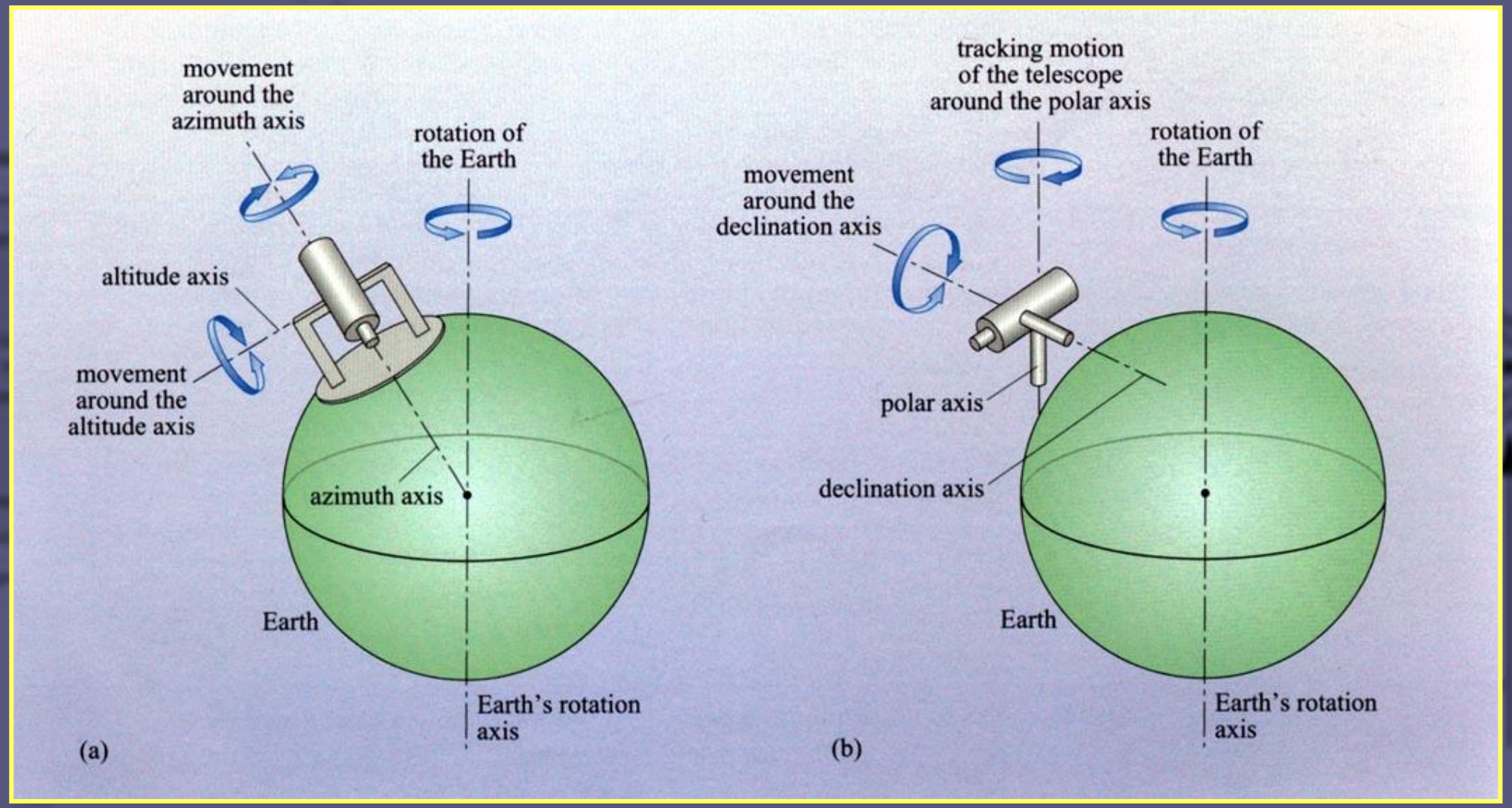
montáže

- **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, t**ubus dalekohledu je držen v těžišti jednou či dvěma vidlicemi

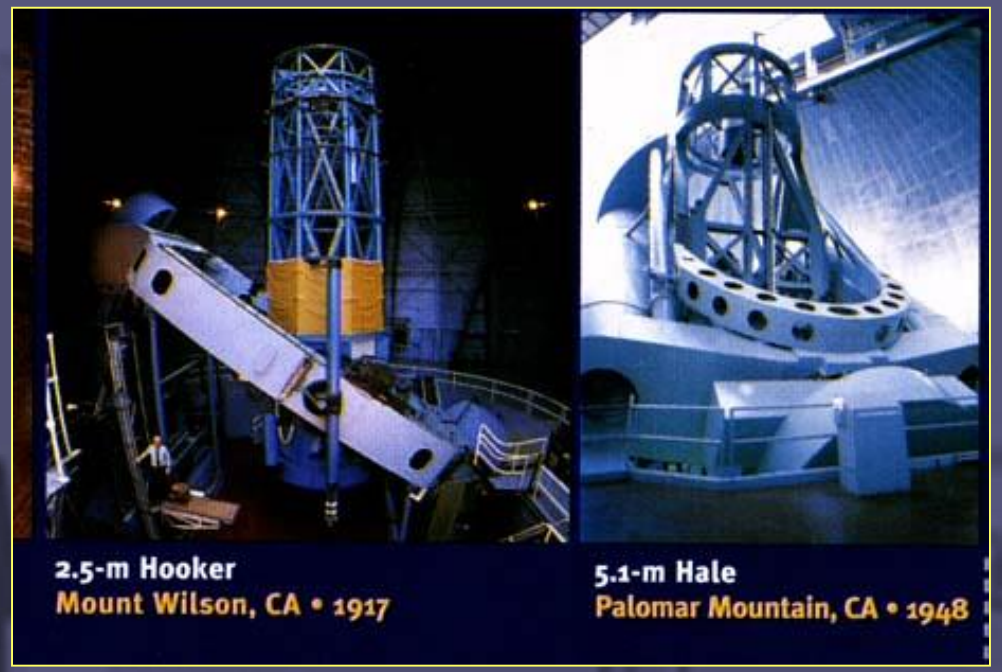
montáže


movement
around the
azimuth axis
rotation of
the Earth
altitude axis
movement
around the
altitude axis
azimuth axis
Earth
Earth's rotation
axis
(a)
tracking motion
of the telescope
around the polar axis
rotation of
the Earth
movement
around the
declination axis
polar axis
declination axis
Earth
Earth's rotation
axis
(b)

historická mezihra

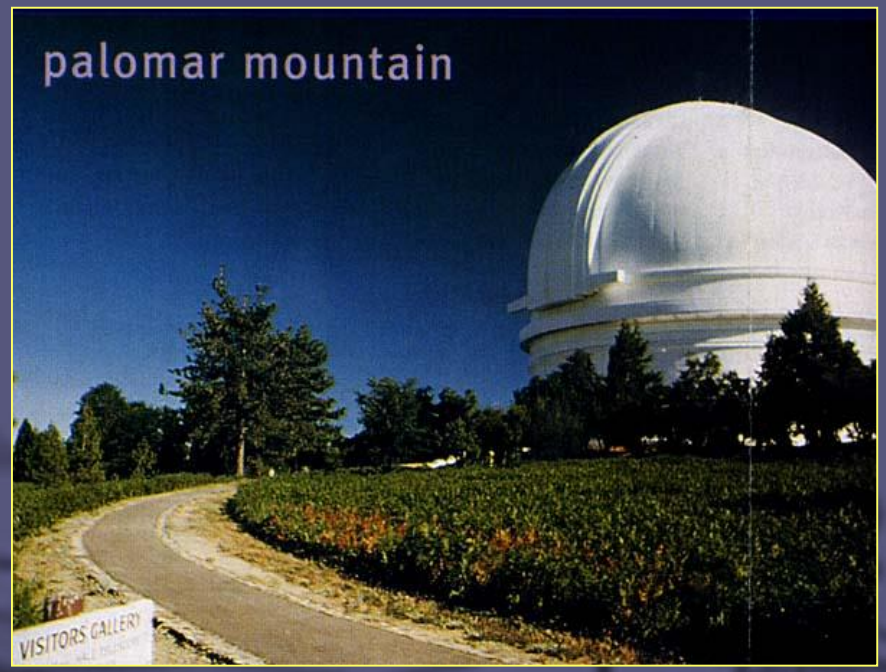
historická mezihra

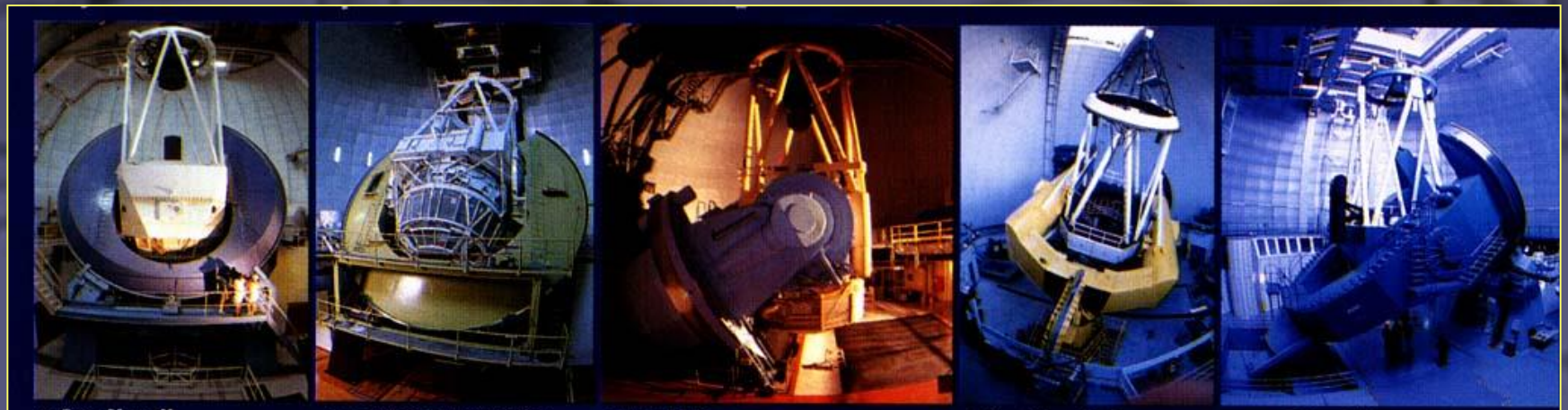
- refraktory dosáhly limitujícího rozměru
- rozvoj reflektorů na bázi monolitického skleněného primárního zrcadla
- Mt. Palomar, Haleův reflektor
- Zelenčukskaja, BTA
- následuje technologický zlom, použití tenkých nebo segmentovaných primárních zrcadel
- průměr primárního zrcadla není vše, rozhoduje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



2.5-m Hooker
Mount Wilson, CA • 1917

5.1-m Hale
Palomar Mountain, CA • 1948





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

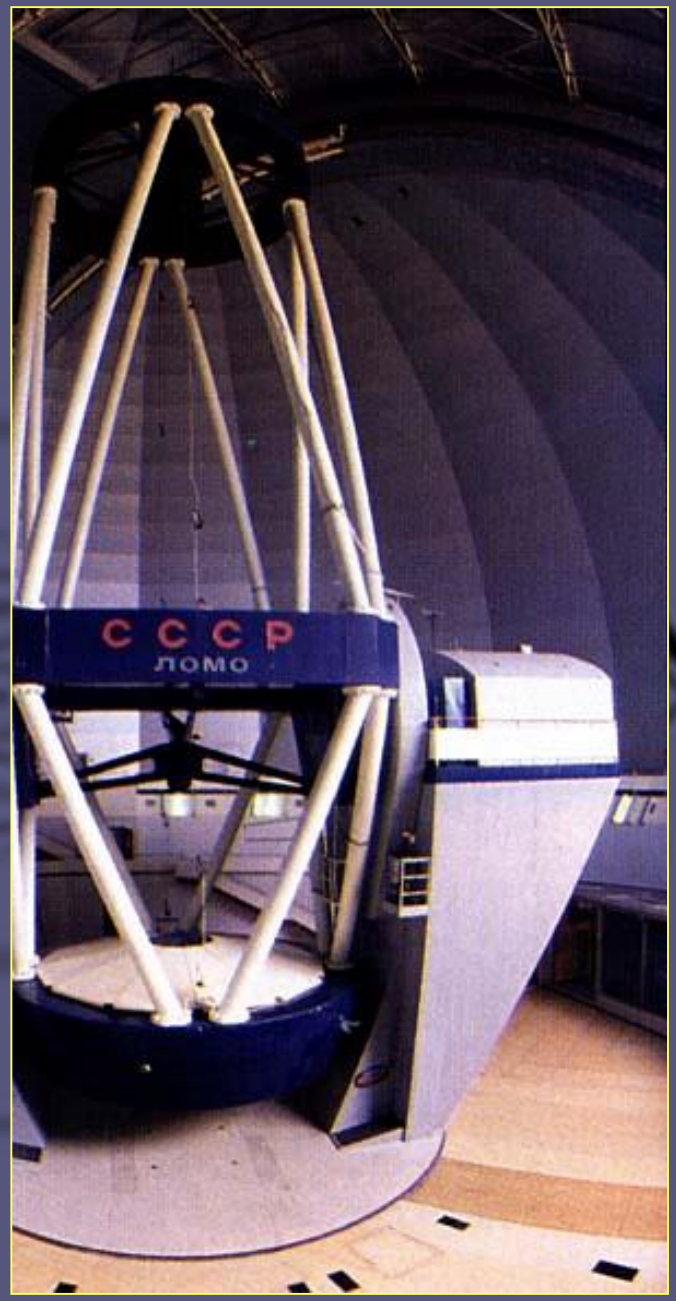
3.6-m Canada-France-Hawaii Telescope
Mauna Kea, HI • 1979

3.5-m Calar Alto
Calar Alto, Spain • 1984

historická mezihra

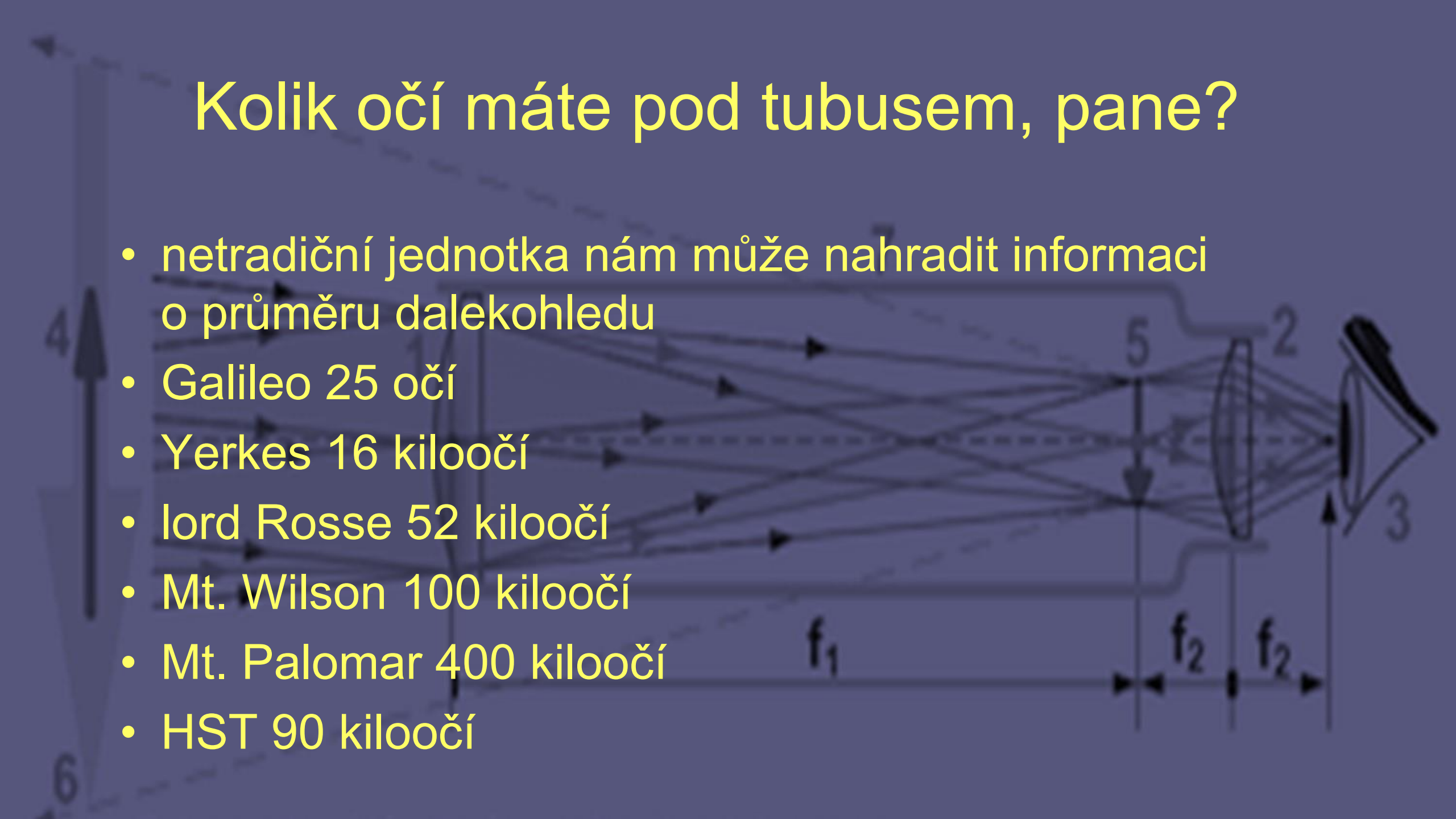
- observatoře na oběžné dráze, HST
- průměr ani detektor nejsou vše, rozhoduje adaptivní optika
- pozemské observatoře opět mohou konkurovat těm kosmickým
- vývoj pokračuje trendem, že na každý astronomický problém je potřeba zvolit ten správný pozorovací prostředek

NASA
2.4-m Hubble Space Telescope
Earth orbit • 1990
9.8-m Keck I
Mauna Kea, HI • 1991
8.1-m Gemini (north)
Mauna Kea, HI • 1999
Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile • 2001

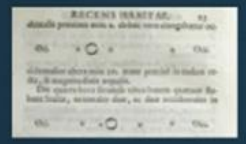

СССР
ЛОМО

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

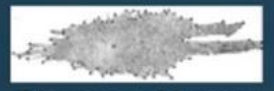


A timeline of instruments and discoveries

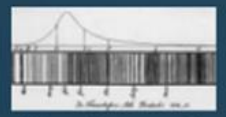


Medicean satellites
Mountains on Moon
Sunspots
Stars in the Milky Way

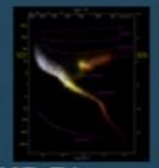
Saturn's rings
Double stars
Rotation of Mars



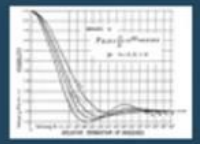
Discovery Uranus
Galaxies
Clusters



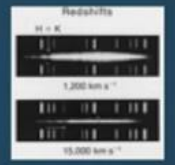
Spectrum of
the Sun&Sirius



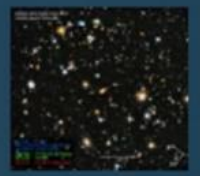
HR Diagram



Diameter
α Ori



Hubble's law

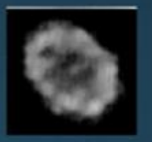


First galaxies
Exoplanets

Structure of
the Universe

XVII cent. | XVIII cent. | XIX cent. | XX cent.

Astrophotonic Era



DQ Her

Image
Altair

1980's | 1990's | 2000's | 2010's

MOS
IFS
(1980)

Fibered
Beam
Combiner
(1995)

Integrated
Beam
Combiner
(2001)

Photonic
Lantern
(2005)

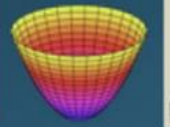
OH
Filters
(2011)

Galilean
telescope
(~1610)

Aberration-
corrected
lenses
(~1650)

Newtonian
telescope
(~1670)

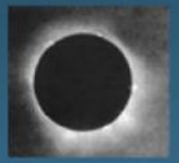
Parabolic
mirror
(~1720)



122 cm
telescope
(~1790)

Spectroscope
(~1814)

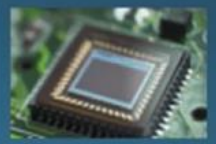
Astronomical
photography
(~1840)

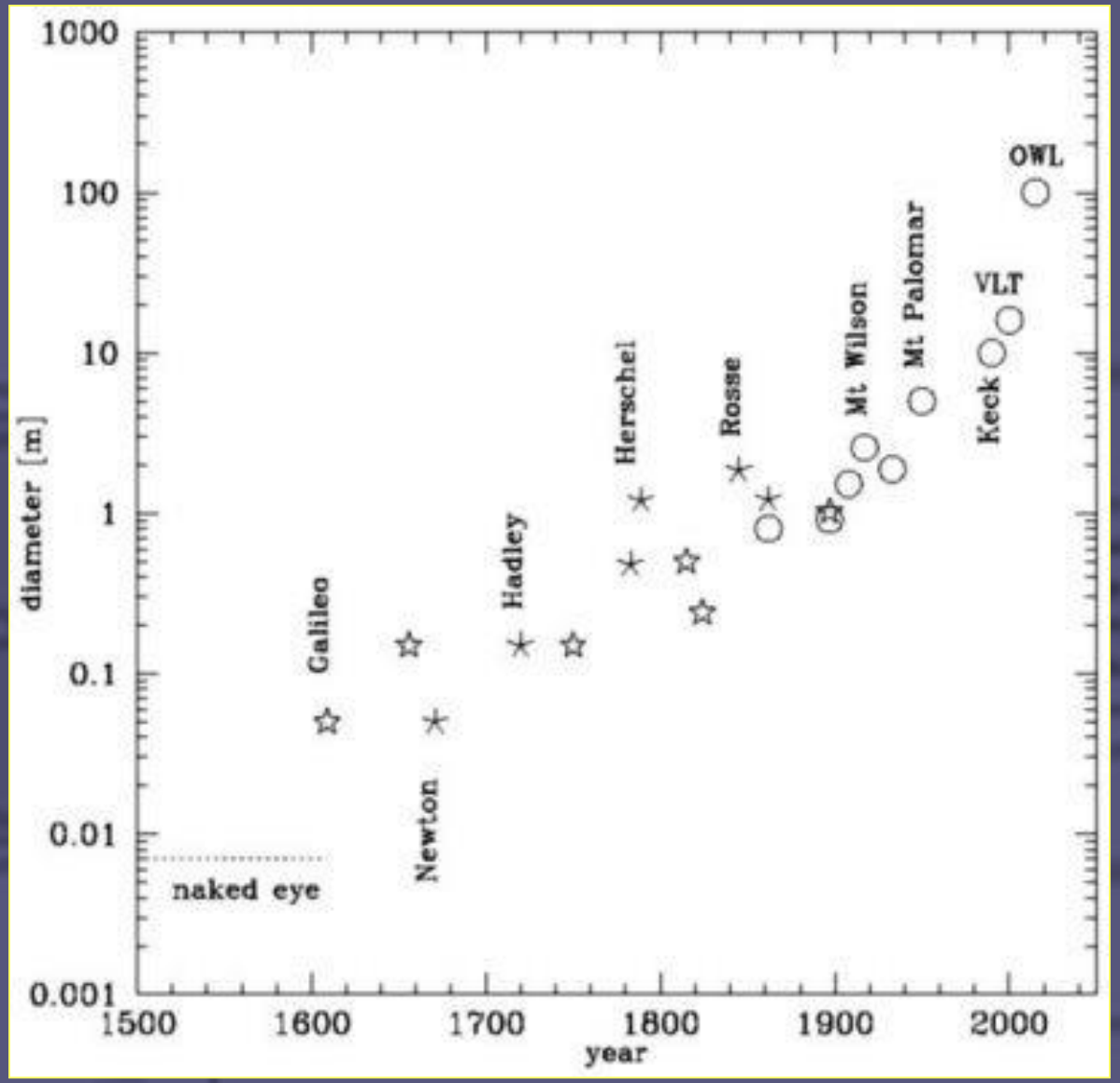


Stellar
Interferometer
(1919)

Optical
Fibers
(~1930)

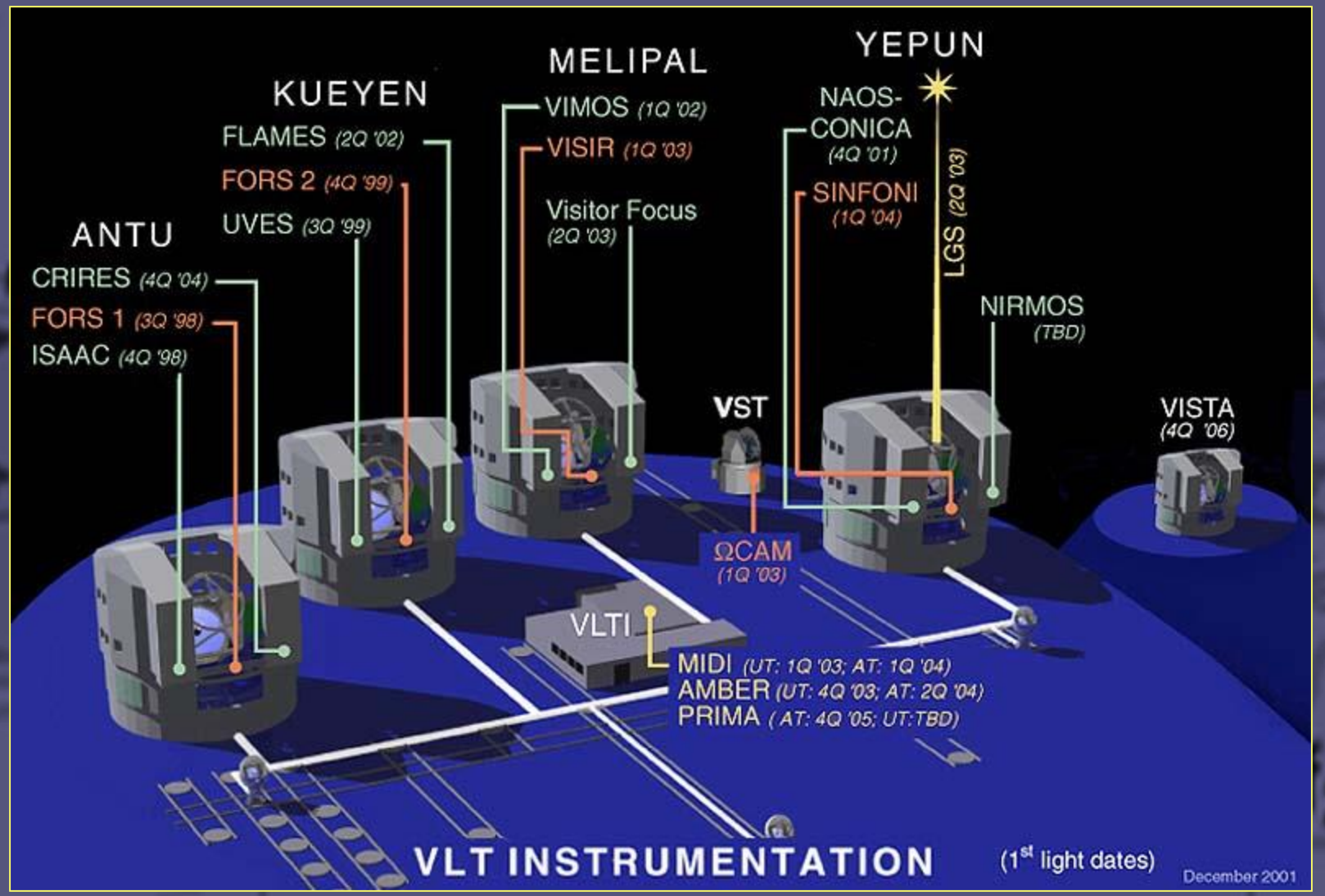
CCD
(1969)




1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
diameter [m]
1500
1600
1700
1800
1900
2000
year
Galileo
Newton
Hadley
Herschel
Rosse
Mt Wilson
Mt Palomar
Keck
VLT
OWL
naked eye

top 10

- Very Large Telescope
- 4x 8,2 m - 4,2 megaočí
- ESO, Cerro Paranal
- pracují od r. 2001, nyní i jako interferometr
- optika R-Ch, altazimut
- https://www.eso.org/public/czechrepublic/teles-instr/paranal-observatory/vlt/

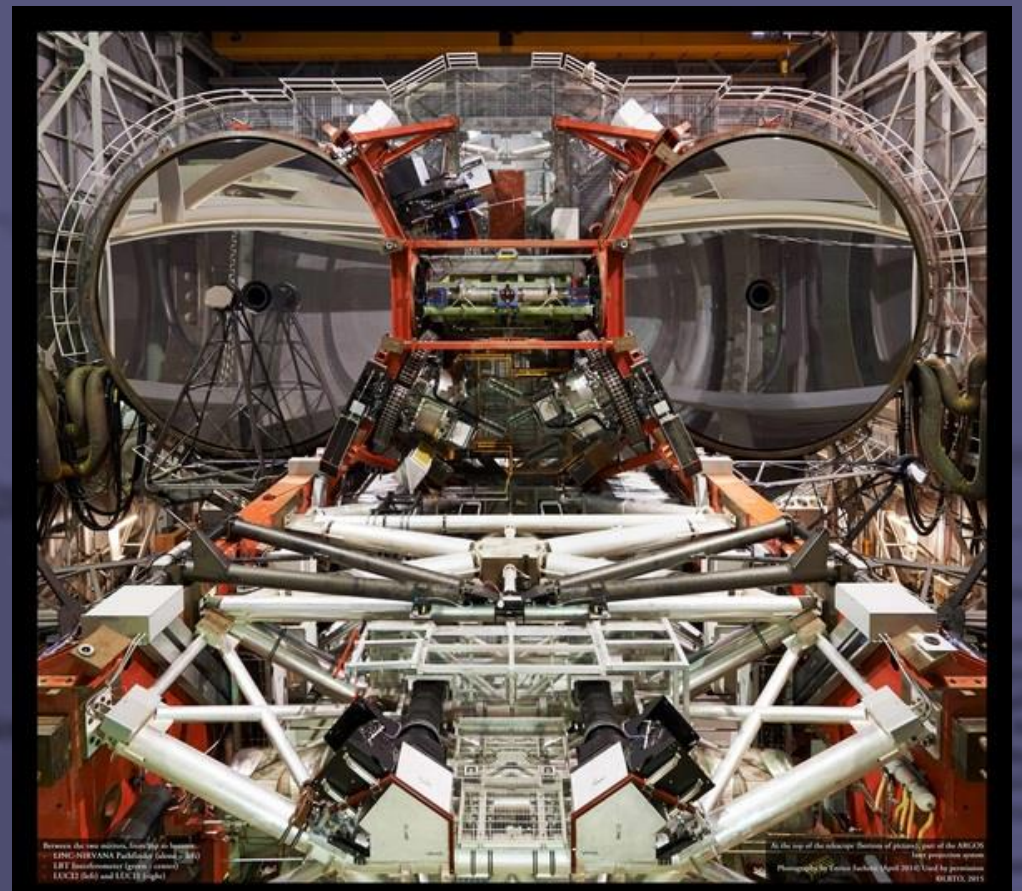

ANTU
CRIRES (4Q '04)
FORS 1 (3Q '98)
ISAAC (4Q '98)
KUEYEN
FLAMES (2Q '02)
FORS 2 (4Q '99)
UVES (3Q '99)
MELIPAL
VIMOS (1Q '02)
VISIR (1Q '03)
Visitor Focus
(2Q '03)
YEPUN
NAOS-
CONICA
(4Q '01)
SINFONI
(1Q '04)
LGS (2Q '03)
NIRMOS
(TBD)
VST
VISTA
(4Q '06)
ΩCAM
(1Q '03)
VLTI
MIDI (UT: 1Q '03; AT: 1Q '04)
AMBER (UT: 4Q '03; AT: 2Q '04)
PRIMA (AT: 4Q '05; UT:TBD)
VLT INSTRUMENTATION
(1st light dates)
December 2001

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/

top 10

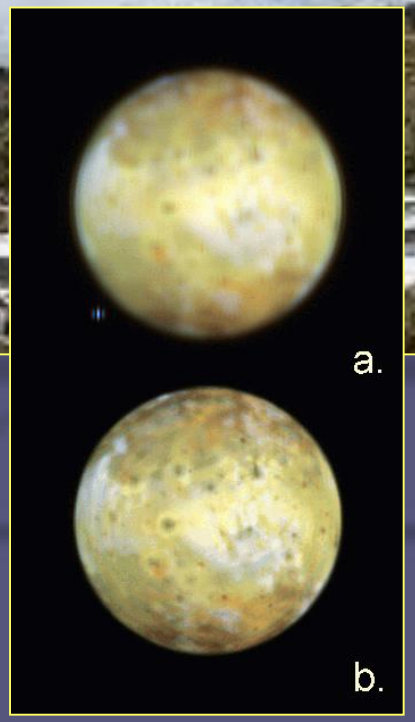
- Large Binocular Telescope
- 2 x 8,4 m - 2,2 megaočí
- 12 partnerů USA, Itálie, SRN, Mt. Graham
- dokončení r. 2008
- optika Cass, altazimut, 350 t
- https://www.lbto.org/



LBT Observatory 2014

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

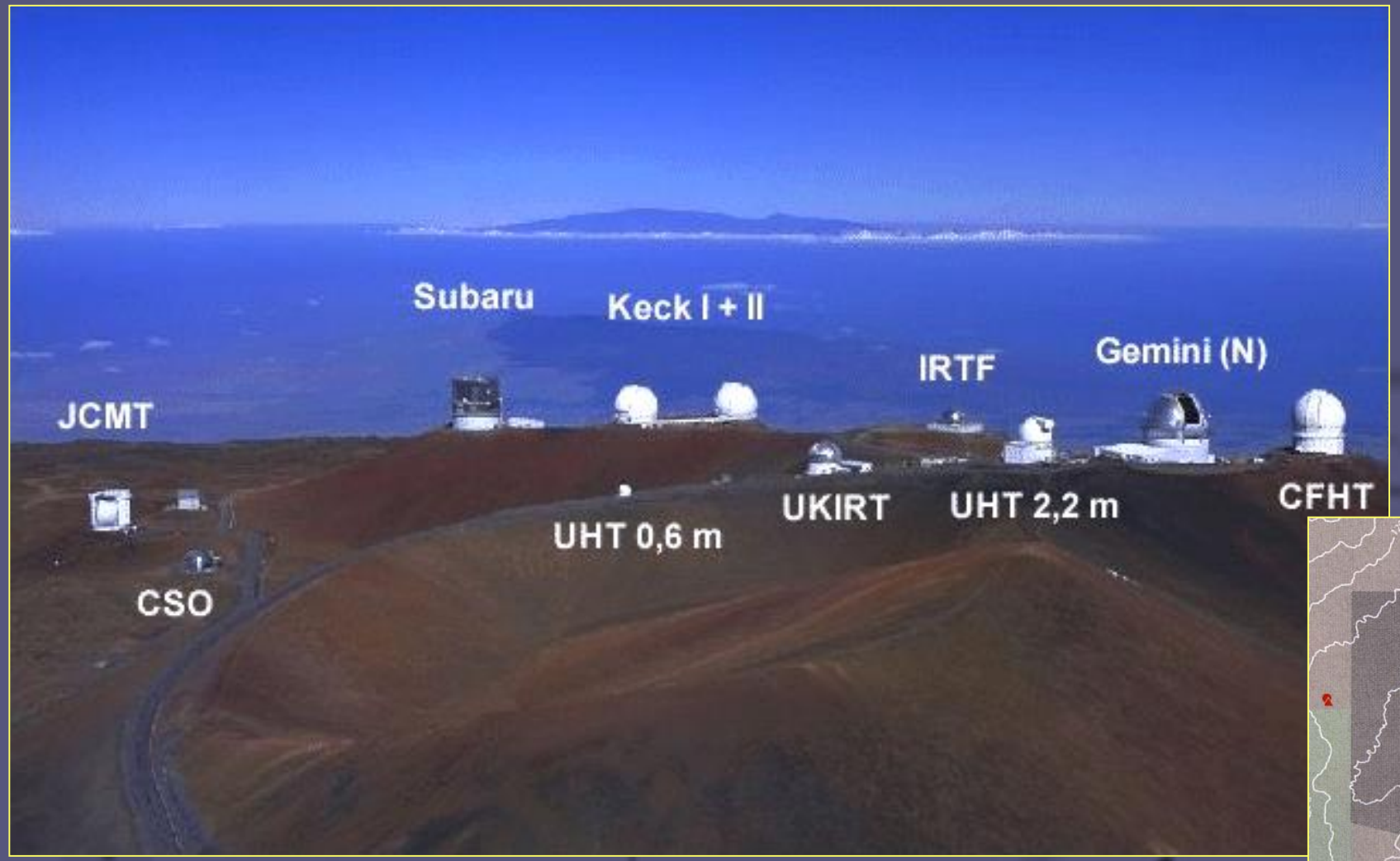
- Hobby - Eberly Telescope
- 9,1 m - 1,3 megaočí
- 5 univerzit USA, SRN, Mount Fowlkes, Texas
- dokončení r. 1997
- sférický tvar, pouze azimut, výška je fixní 55 st., 100 t
- https://mcdonaldobservatory.org/research/telescopes/HET

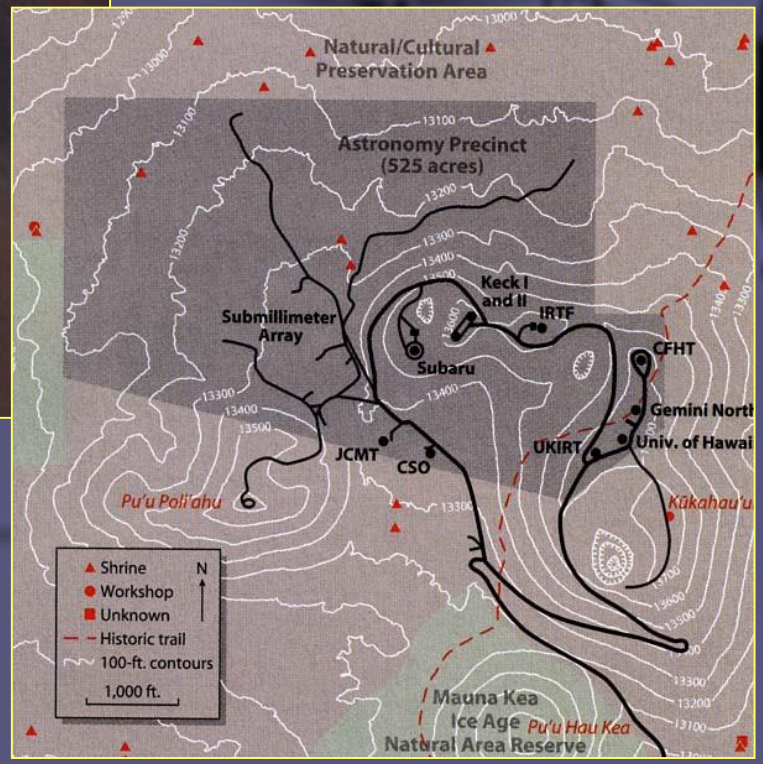
top 10

- 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

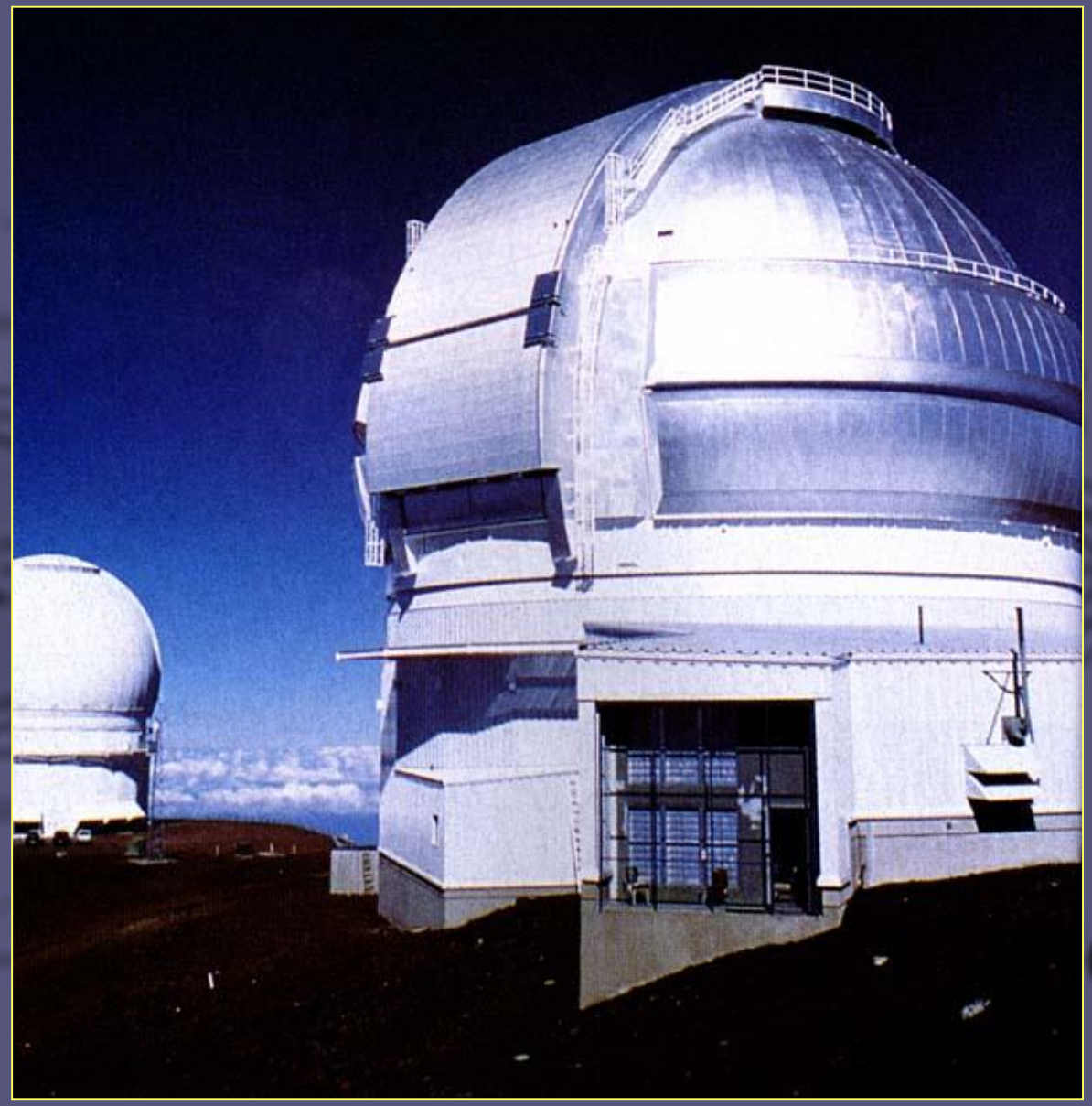
- Subaru
- 8,2 m - 1,05 megaočí
- Japonsko, Mauna Kea
- dokončení r. 1999
- optika R-Ch, altazimut, hmotnost 500 tun, budova rotuje s dalekohledem
- https://en.wikipedia.org/wiki/Subaru_Telescope


Subaru
Keck I + II
IRTF
Gemini (N)
JCMT
UHT 0,6 m
UKIRT
UHT 2,2 m
CFHT
CSO


Natural/Cultural
Preservation Area
Astronomy Precinct
(525 acres)
Keck I
and II
IRTF
Submillimeter
Array
Subaru
CFHT
Gemini North
Univ. of Hawai
UKIRT
JCMT
CSO
Pu'u Poli'ahu
Kūkahau'u
Shrine
Workshop
Unknown
Historic trail
100-ft. contours
1,000 ft.
N
Mauna Kea
Ice Age
Natural Area Reserve
Pu'u Hau Kea

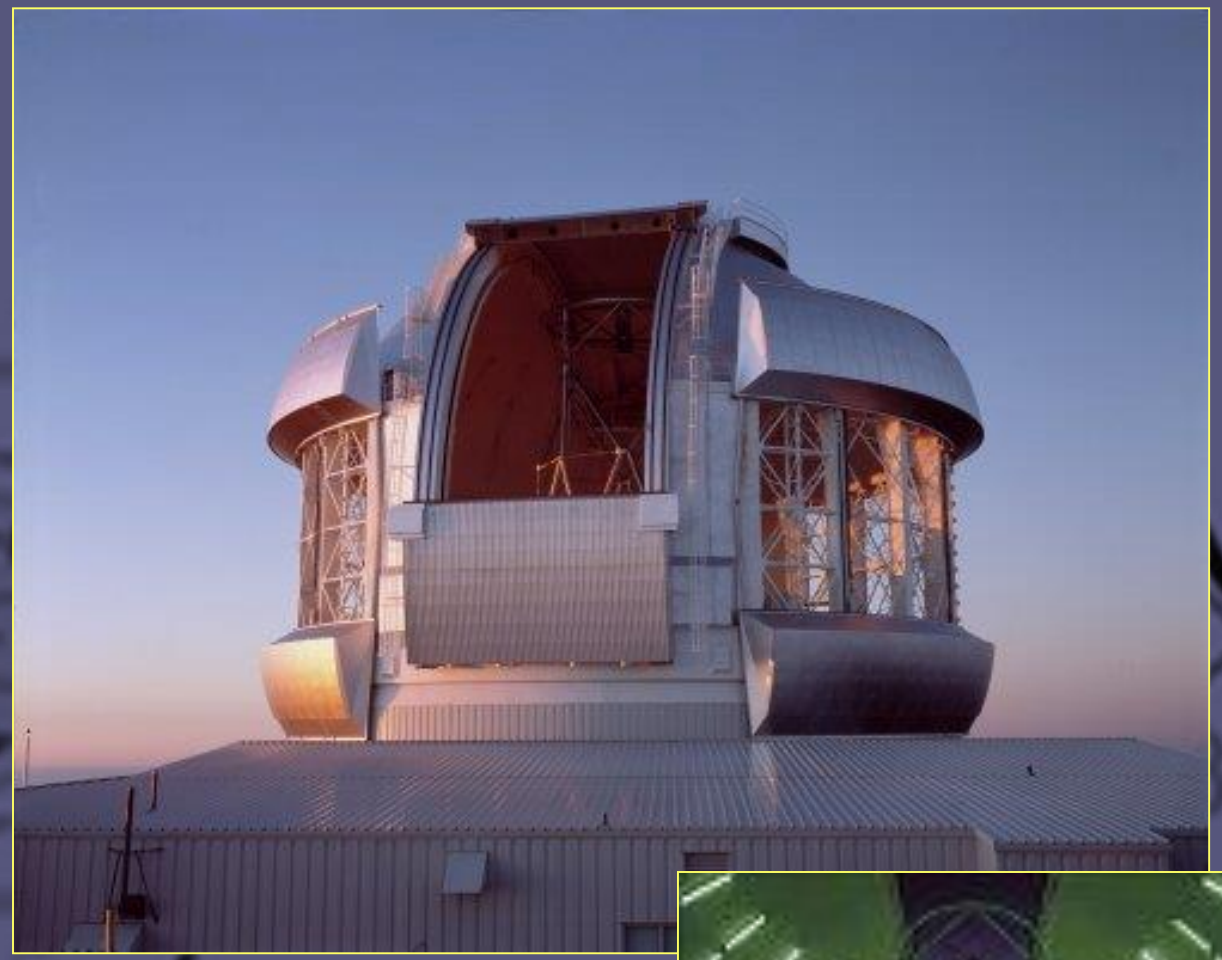
top 10

- 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/

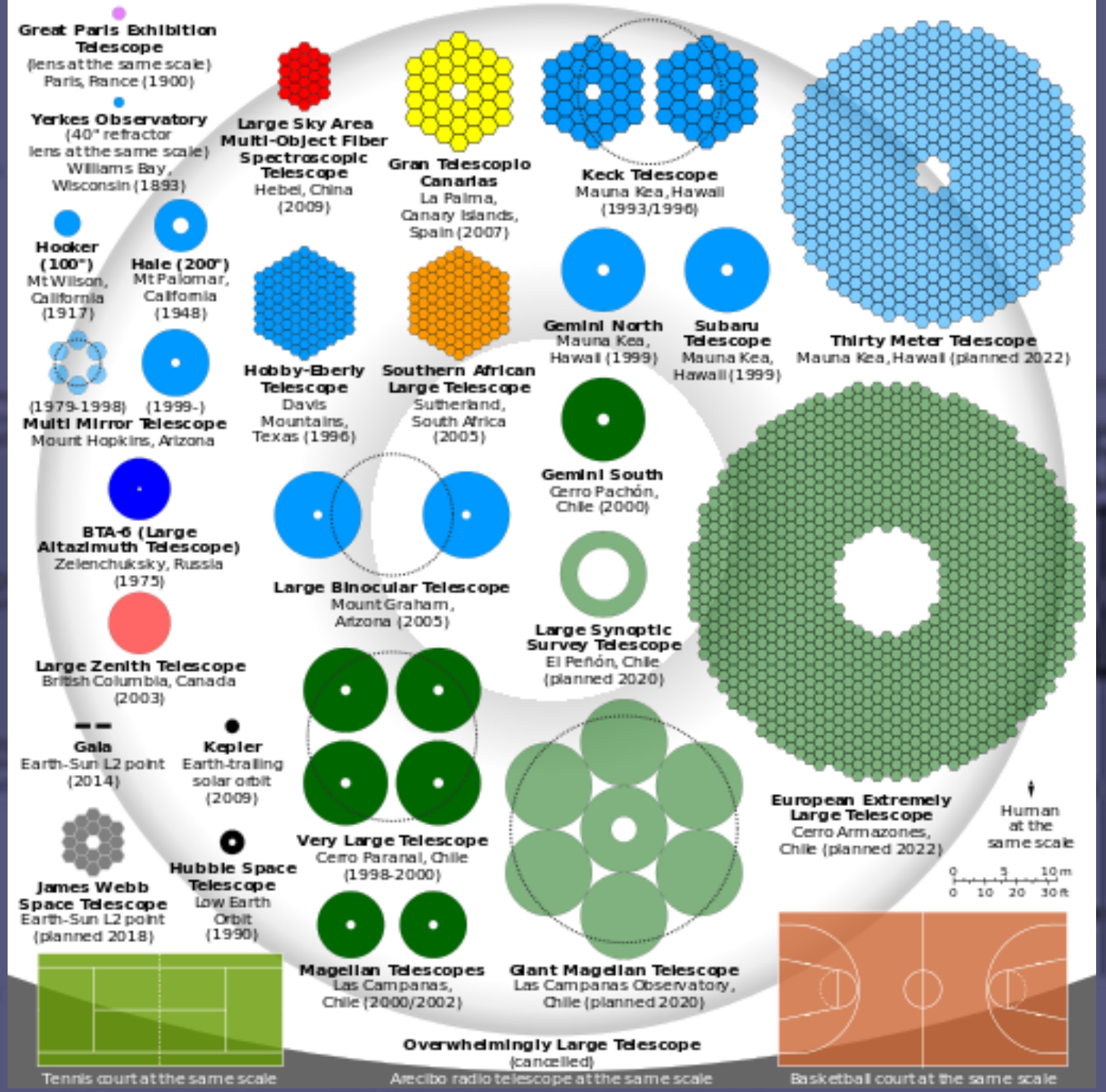


top 10

- Magellan
- 2 x 6,5 m - 1,3 megaočí
- USA, Las Campanas, Chile
- dokončení r. 2002
- optika Cass, altazimut, hmotnost 130 t
- https://obs.carnegiescience.edu/Magellan

velké dalekohledy aktuálně

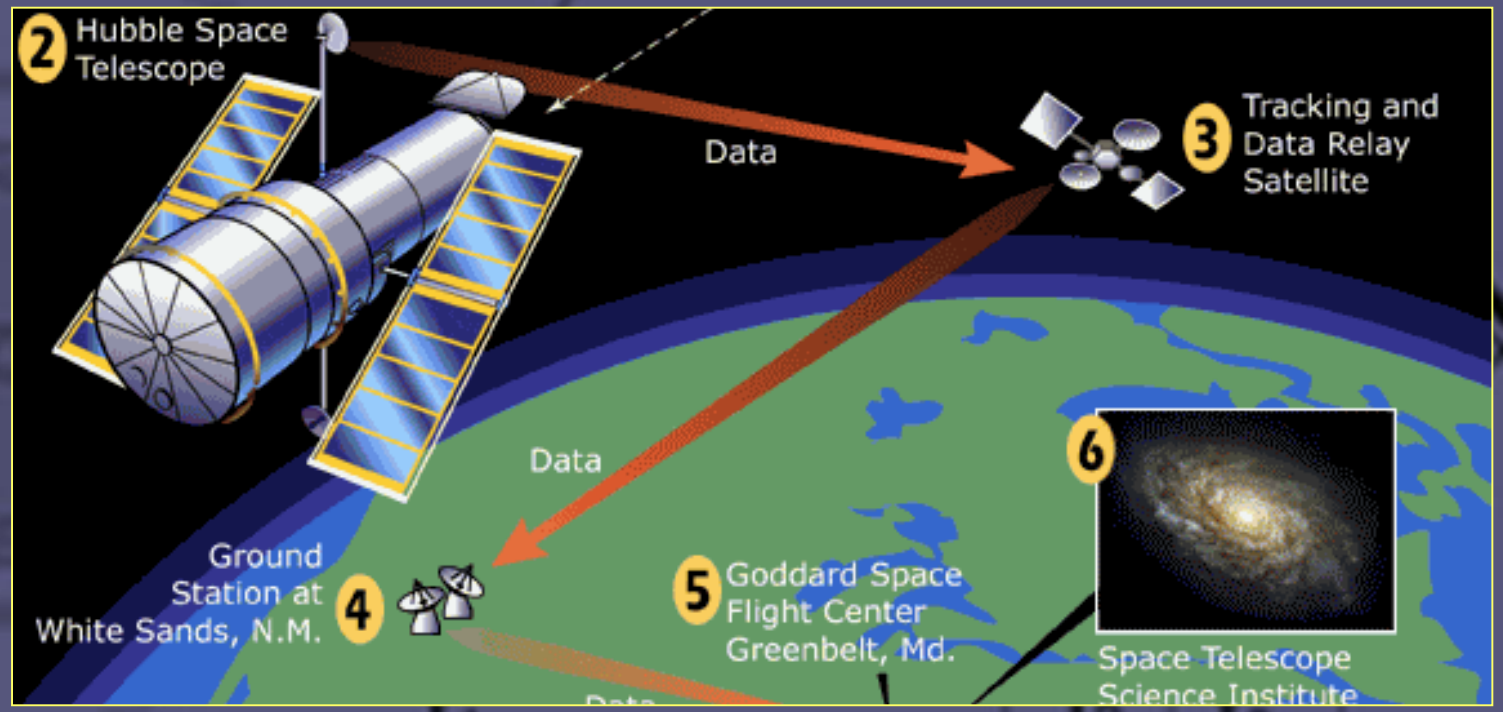
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes


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)
Hale (200")
Mt Palomar, California (1948)
(1979-1998)
(1999-)
Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona
BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)
Zelenchuksky, Russia (1975)
Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada (2003)
Gaia
Earth-Sun L2 point (2014)
Kepler
Earth-trailing solar orbit (2009)
James Webb Space Telescope
Earth-Sun L2 point (planned 2018)
Hubble Space Telescope
Low Earth Orbit (1990)
Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
Hebei, China (2009)
Gran Telescopio Canarias
La Palma, Canary Islands, Spain (2007)
Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1993/1996)
Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)
Southern African Large Telescope
Sutherland, South Africa (2005)
Gemini North
Mauna Kea, Hawaii (1999)
Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1999)
Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)
Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)
Large Binocular Telescope
Mount Graham, Arizona (2005)
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile (planned 2020)
European Extremely Large Telescope
Cerro Armazones, Chile (planned 2022)
Human at the same scale
0 5 10 m
0 10 20 30 ft
Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)
Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)
Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)
Overwhelmingly Large Telescope
(cancelled)
Tennis court at the same scale
Arecibo radio telescope at the same scale
Basketball court at the same scale

observatoře na oběžné dráze

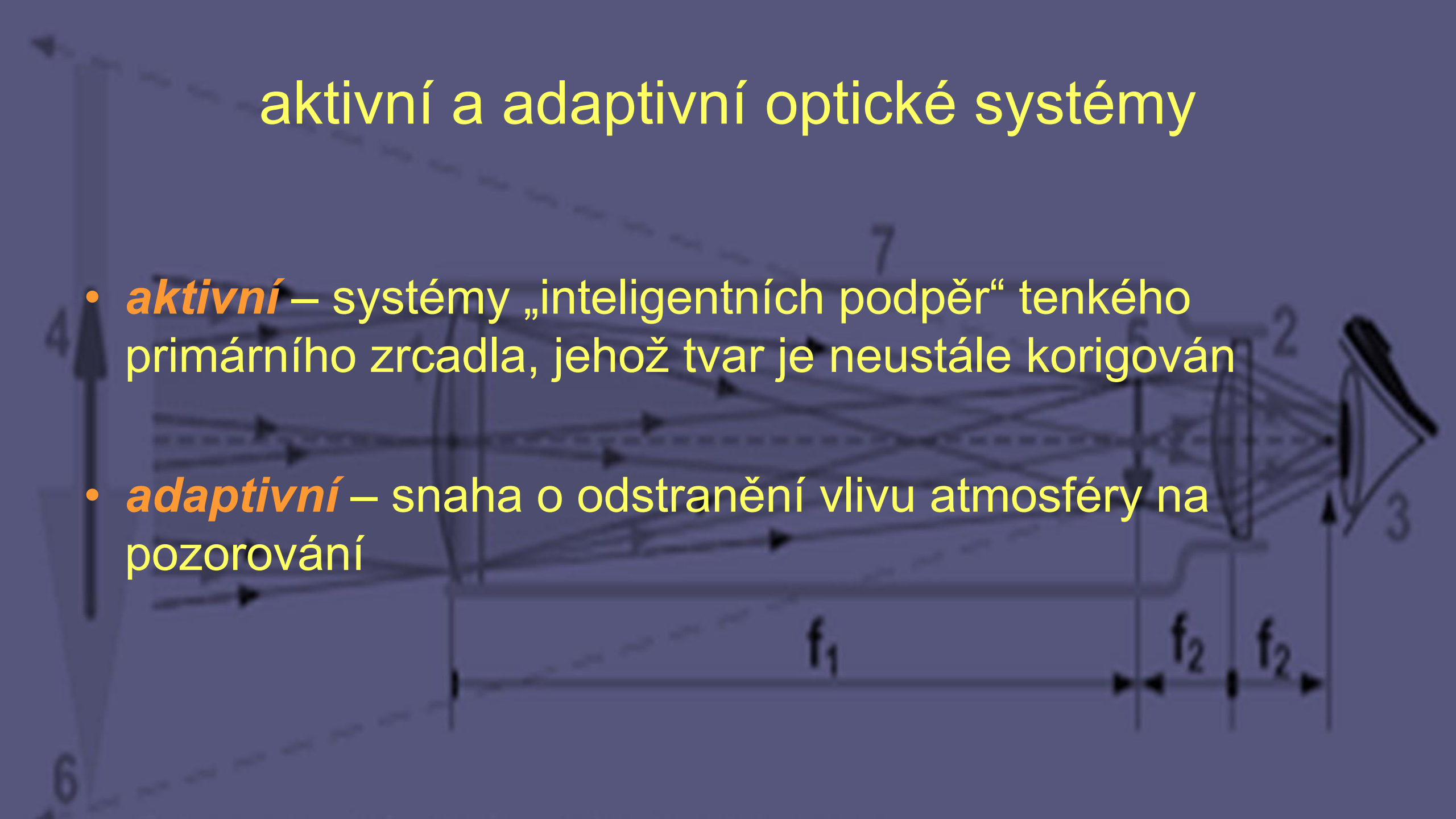
- IRAS
- ISO
- Spitzer Space Telescope
- HST
- Chandra
- Compton
- JWST

- cenová rozvaha
- HST x pozemní dal.



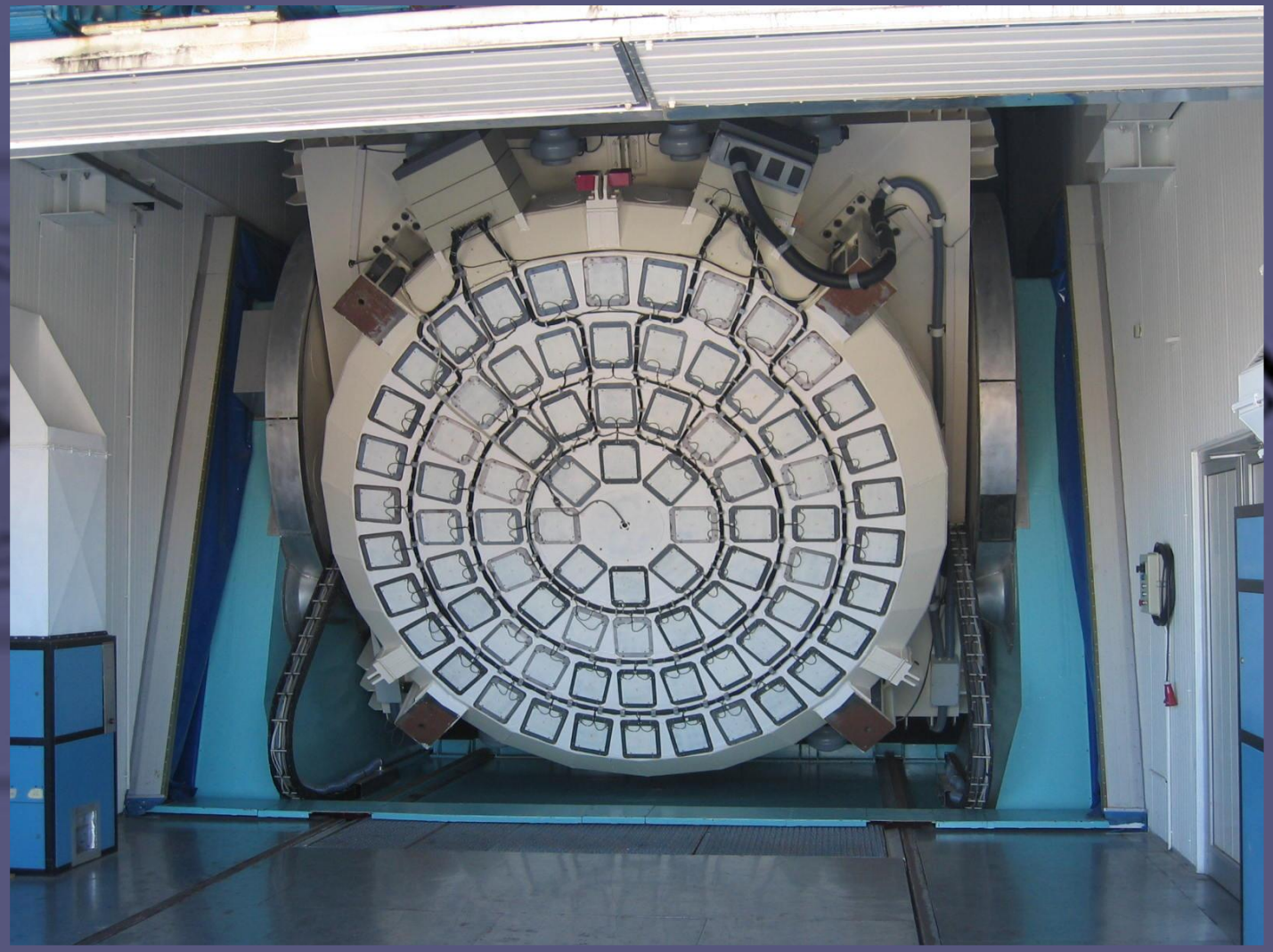
aktivní a adaptivní optické systémy

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



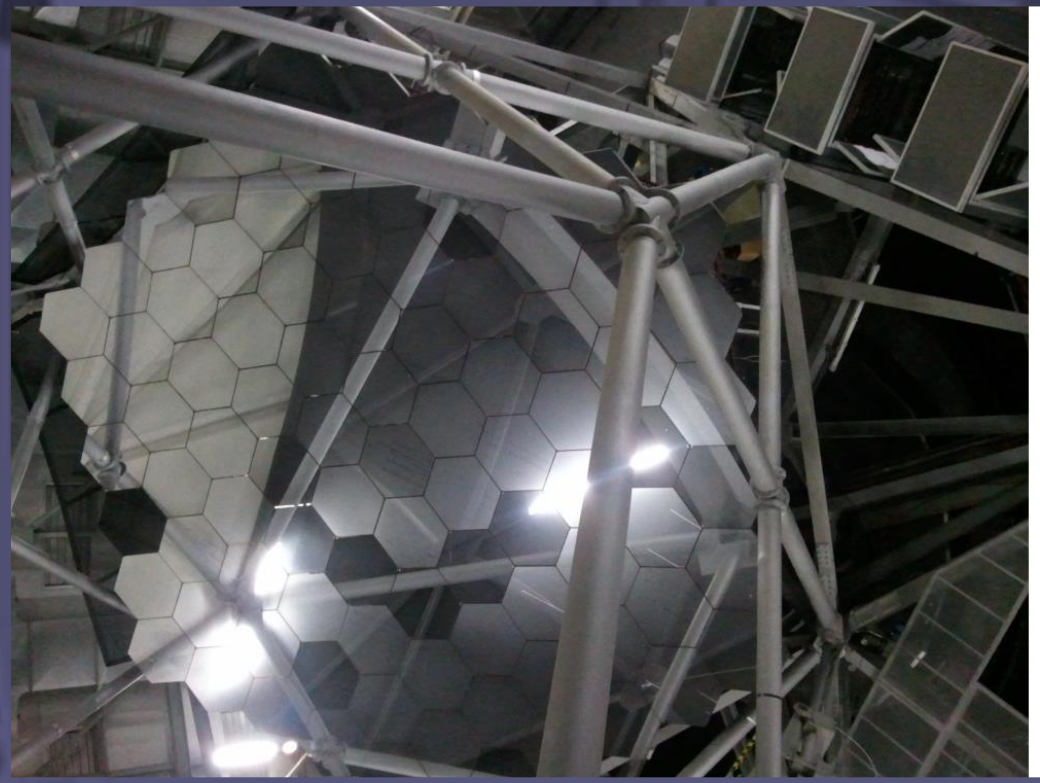
aktivní optické systémy

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



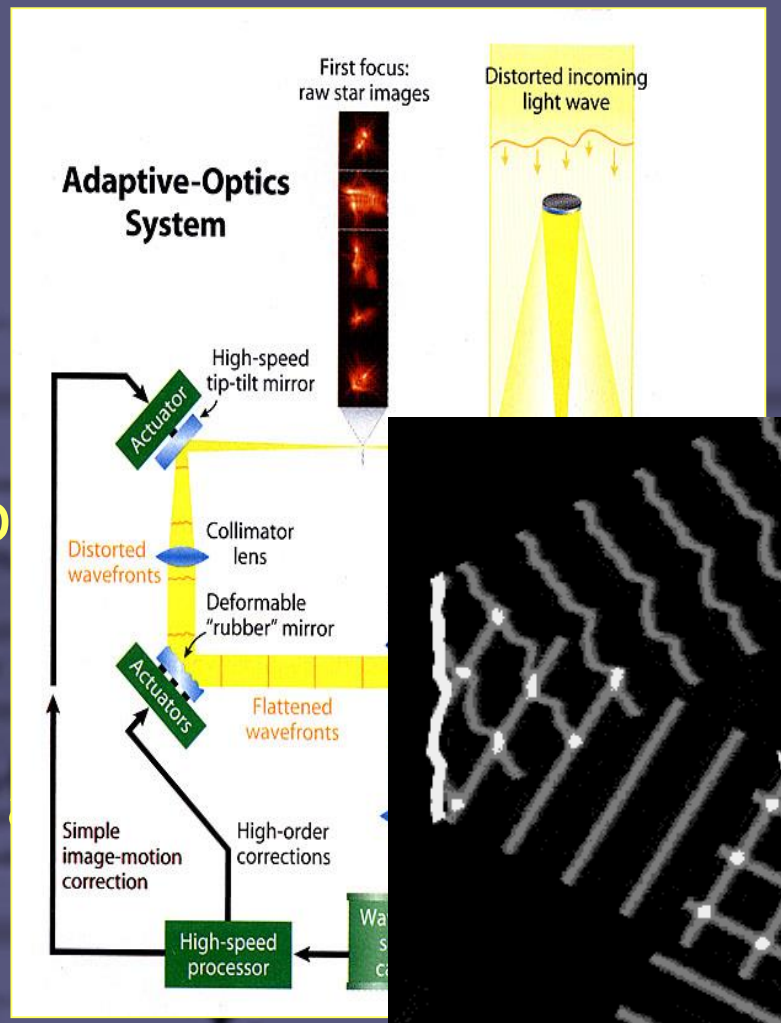
aktivní optické systémy

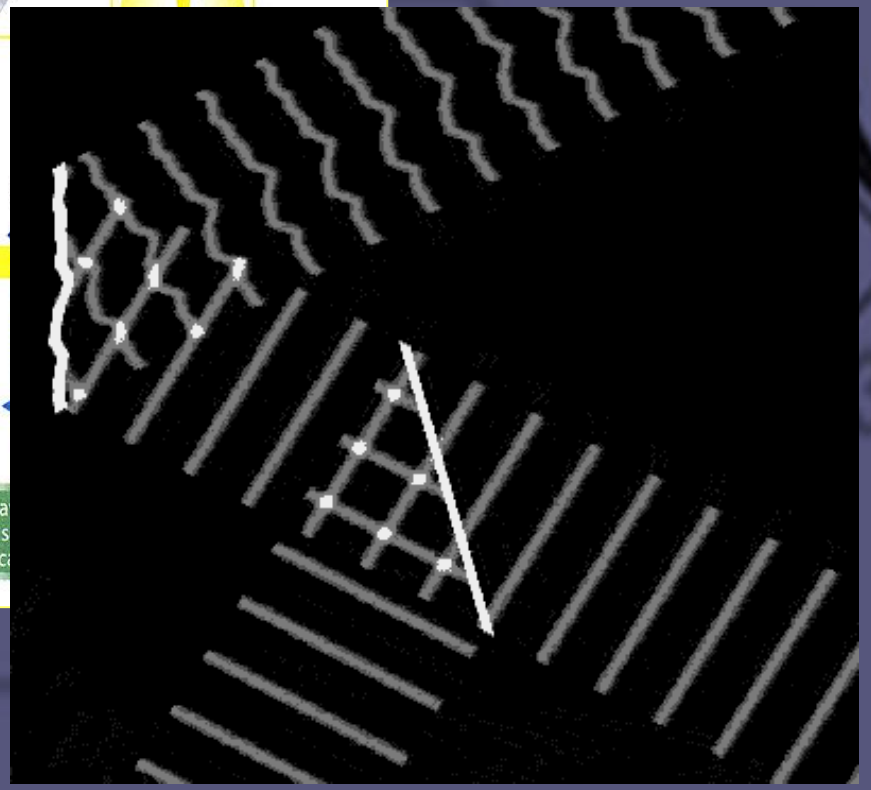
- Segmentové zrcadlo dalekohledu SALT (South African Large Telescope, Sutherland), na kterém je vidět různá kvalita odrazové plochy, vpravo je pak držák jednotlivého segmentu



adaptivní optika

- idea z 50. let, poprvé užito na konci 80. let na 3,6 m ESO
- odtajnění vojenských technolo 1991
- AO musí zjistit všechna zkreslení v každém okamžiku 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)

- 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.[21]
- Thirty Meter Telescope 30 m, od 2027.[22]
- Giant Magellan Telescope sedm 8,4 m zrcadel na jedné montáži, rozlišení jako 24,5 m a ekvivalent 21,4 m jednolitého, snad 2029.[23]

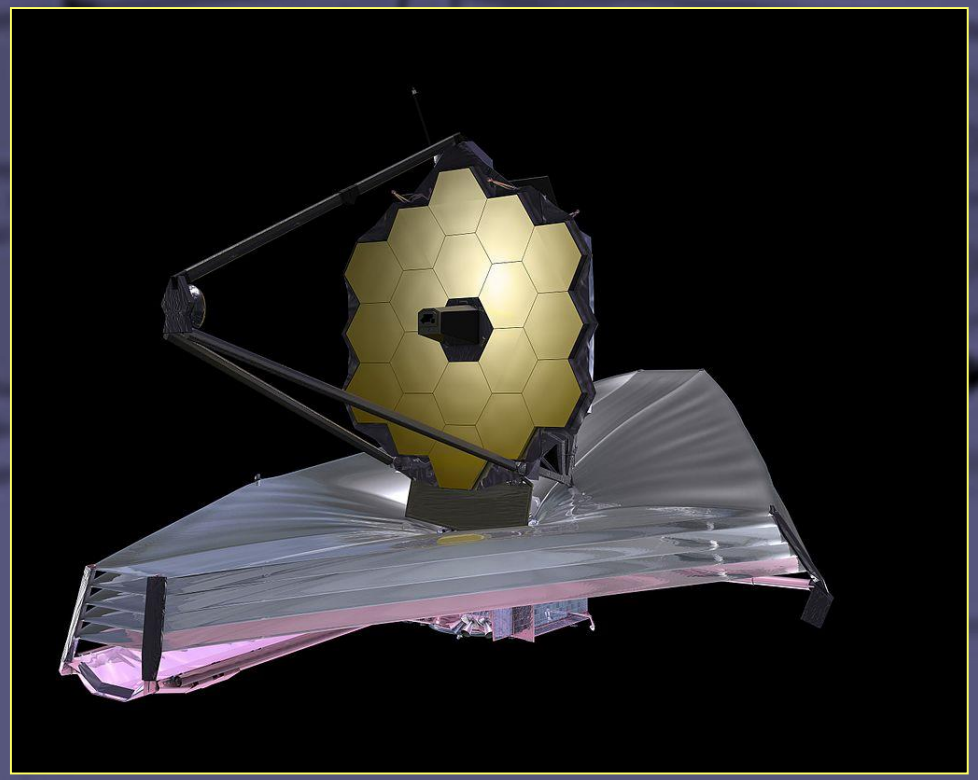
trocha futurologie

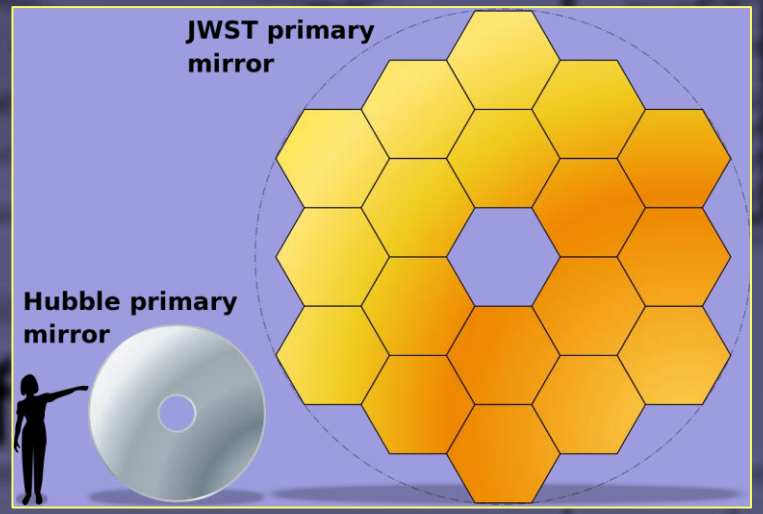
gigantické projekty

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

oběžná dráha

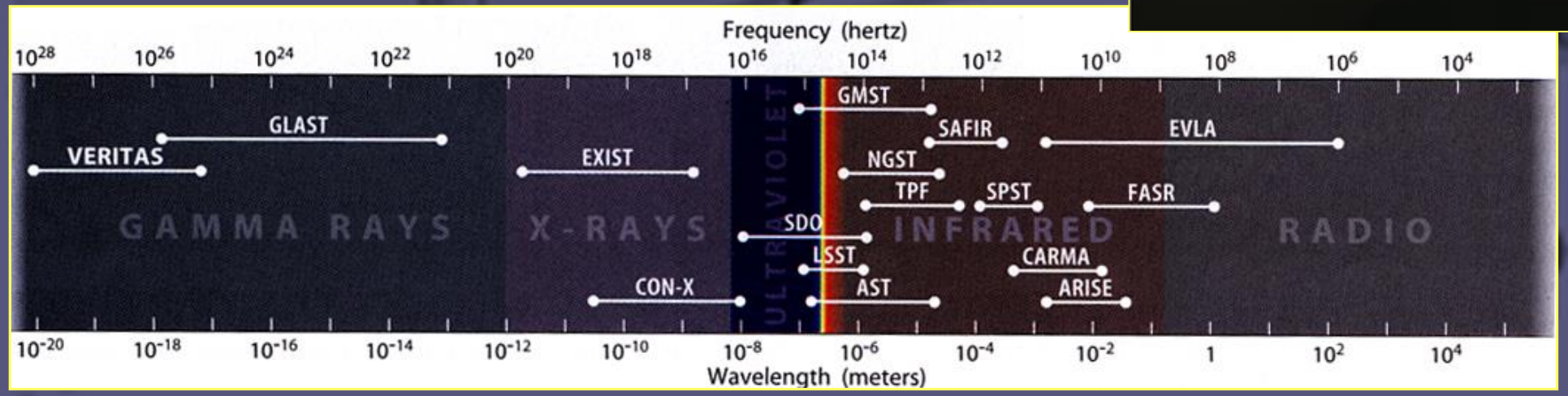
- James Webb Space Telescope 6,5 m, prosinec 2021.[24]





Quo vadis, pozorovací astronomie?

- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_proposed_space_observatories

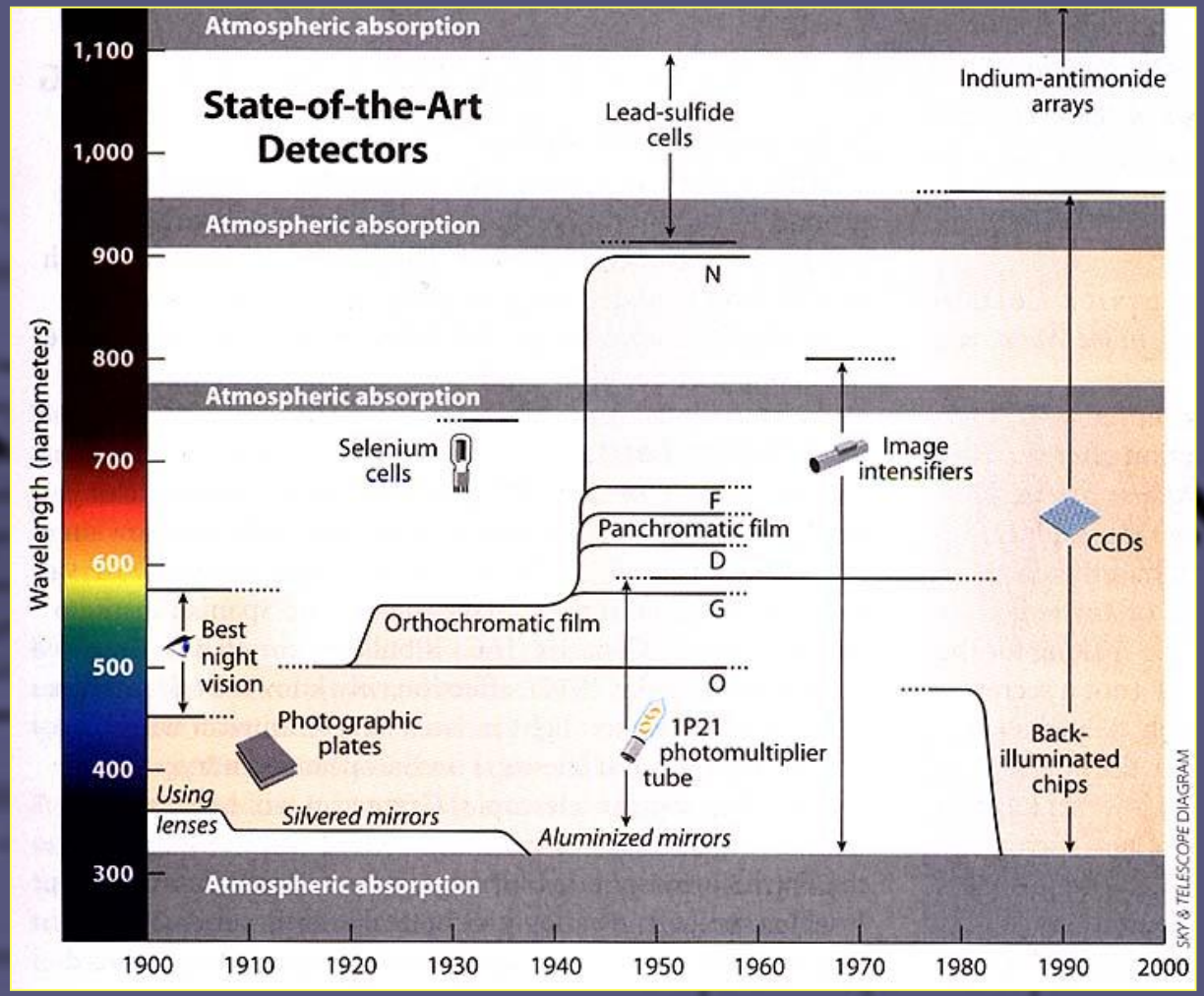


jakpak je dnes u nás doma?

- Perkův 2 m - 65,5 kiloočí
- KLENOT, 1,06 m - 17,5 kiloočí
- 2007 jsme se stali členy ESO !!!
- La Silla 1,54 m "Dánský dalekohled"

detektory

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



získání pozorovacího času

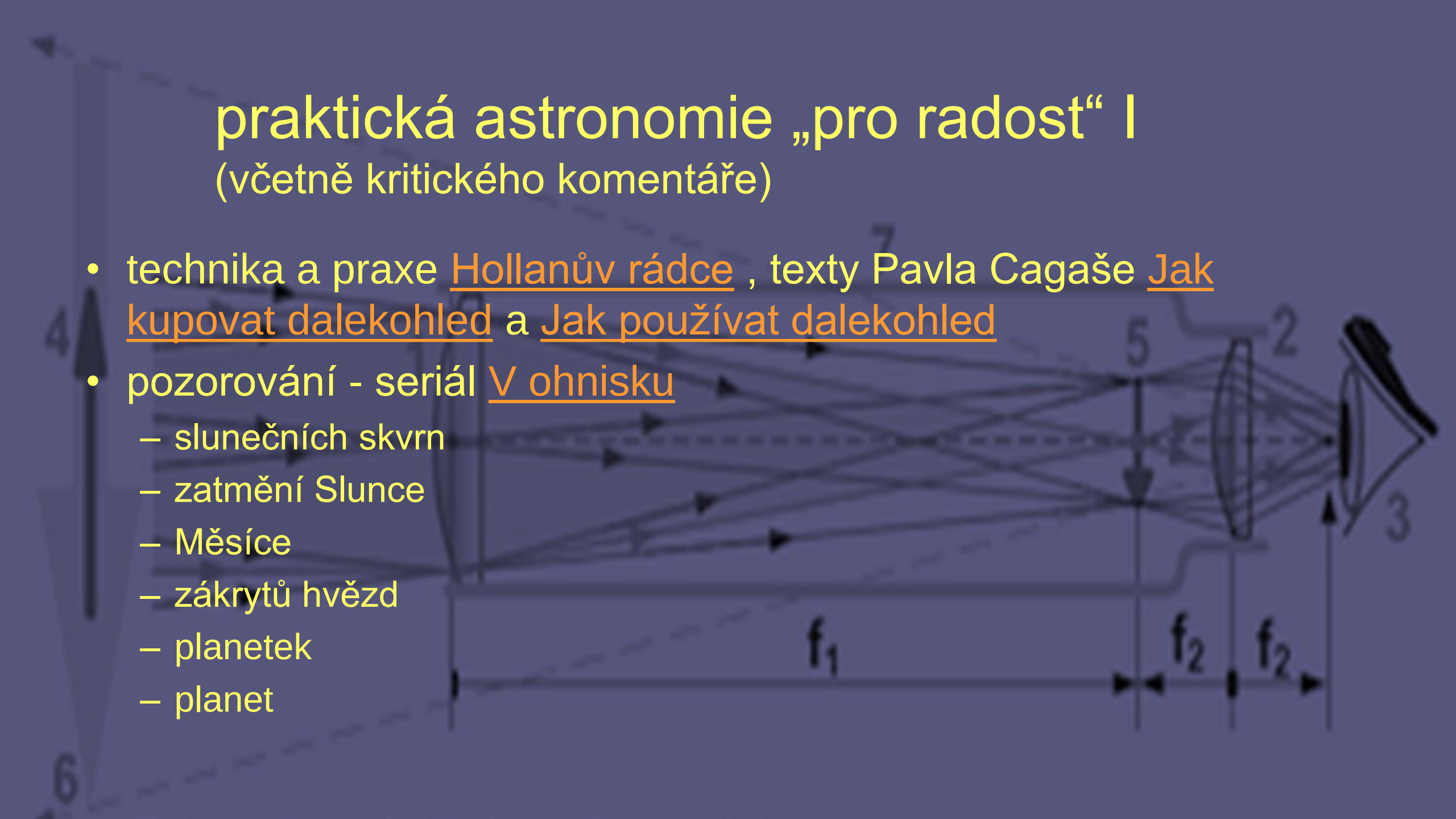
- neexistuje žádný „zázračný návod“
- pozorovací režimy
  - pozorování astronomem přímo na místě
  - vzdálené pozorování
  - pozorování prováděné profesionální obsluhou dalekohledu (plánování systémem „fronta“)
  - robotické dalekohledy (ASAS a jiné)

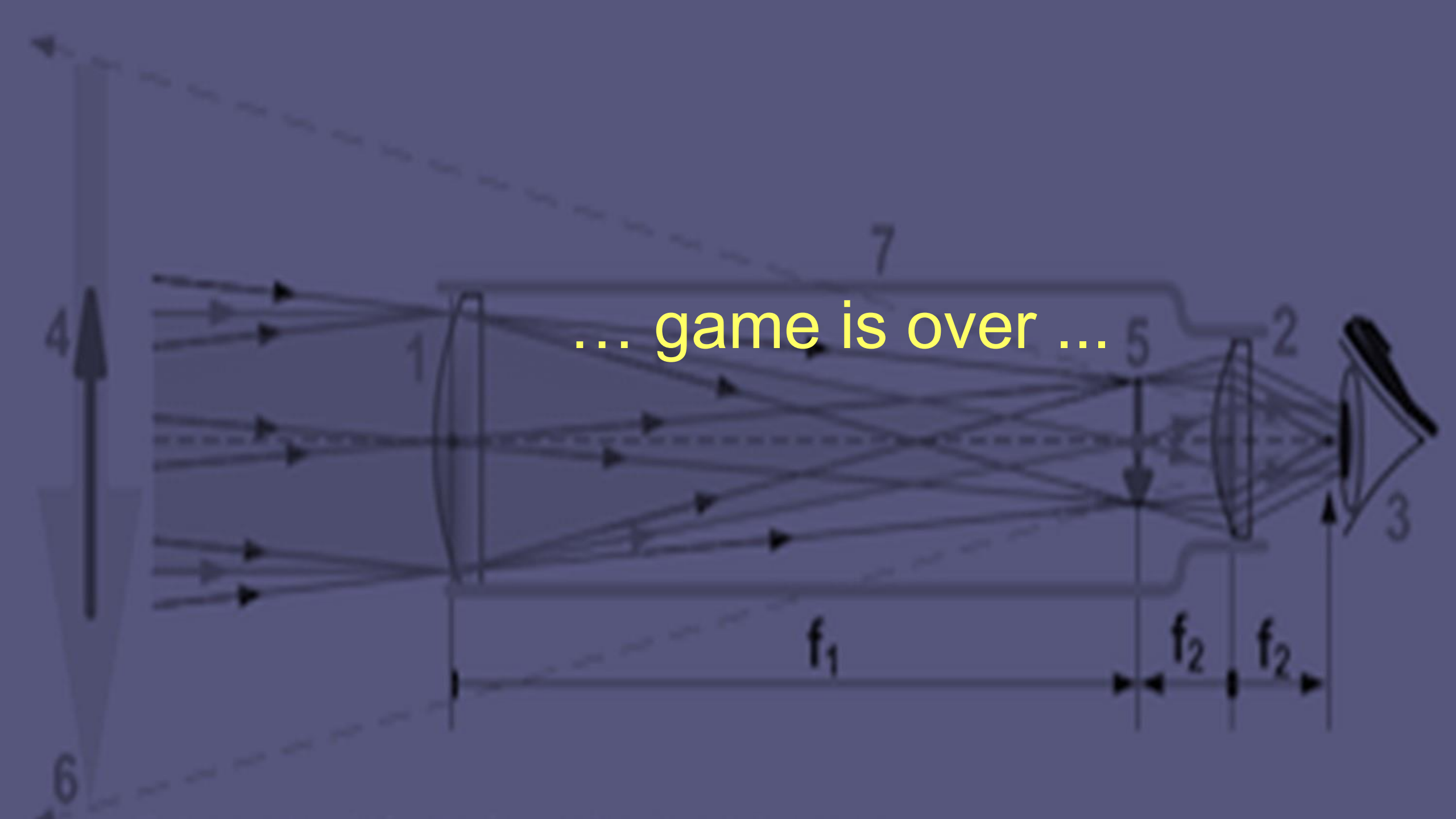
https://en.wikipedia.org/wiki/Robotic_telescope

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 ...