

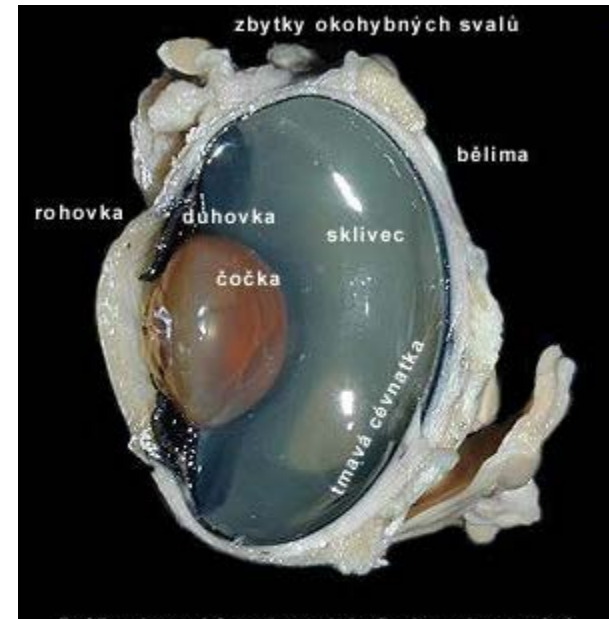
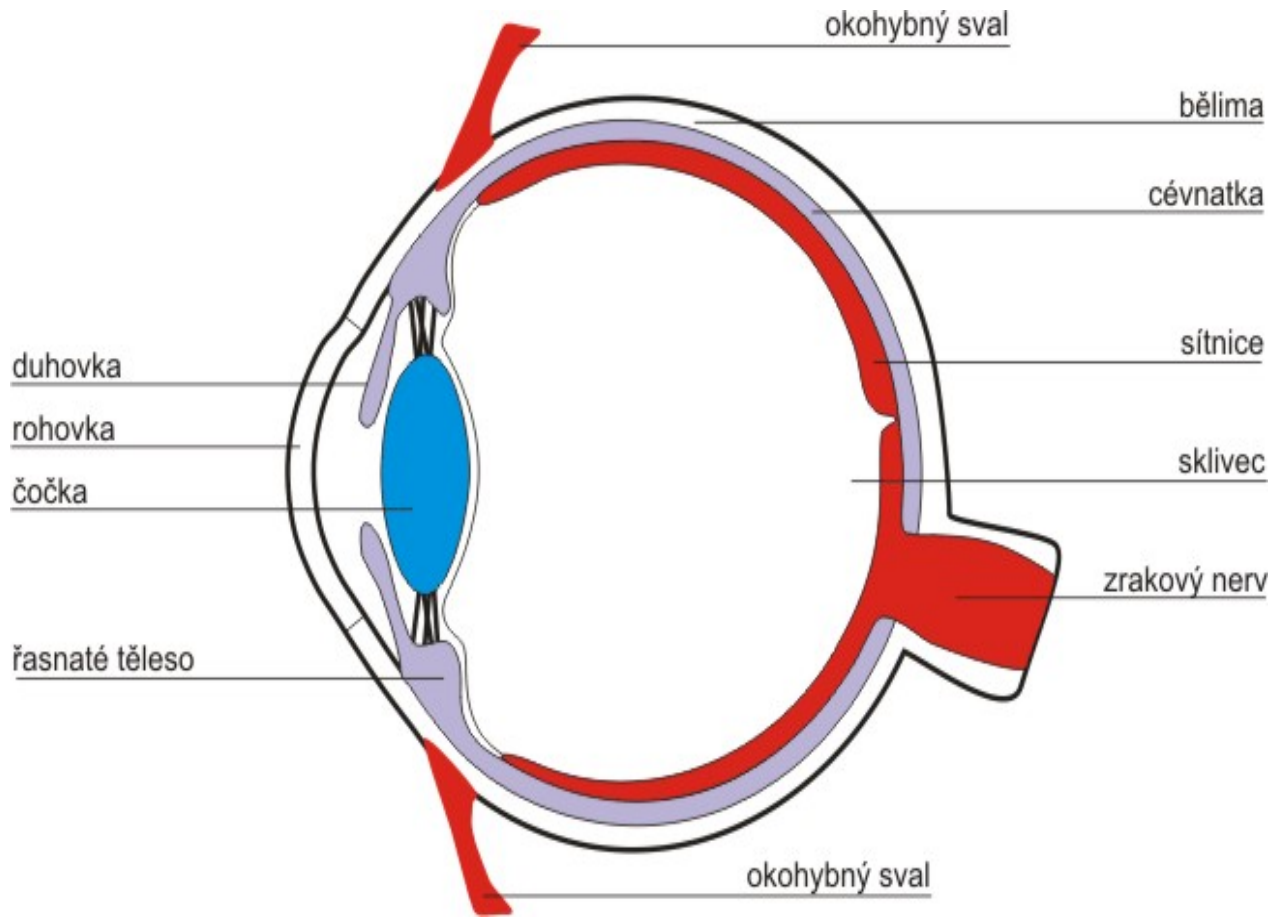
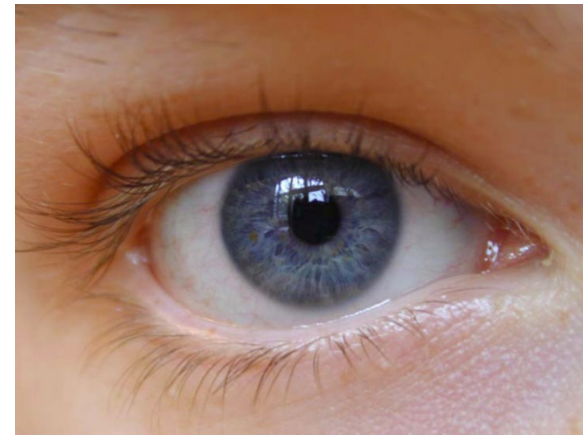
Optická astronomie



Astronomův nejcennější přístroj

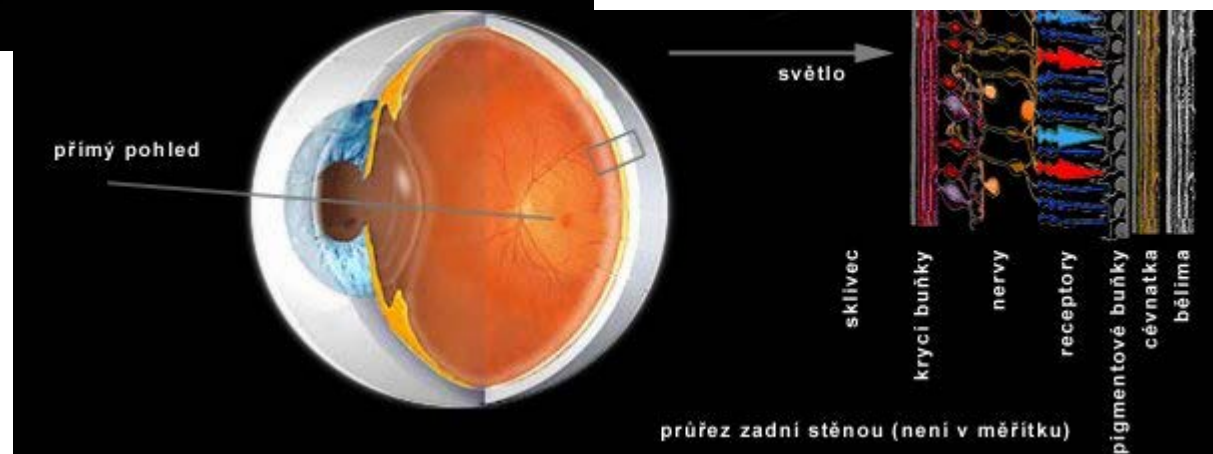
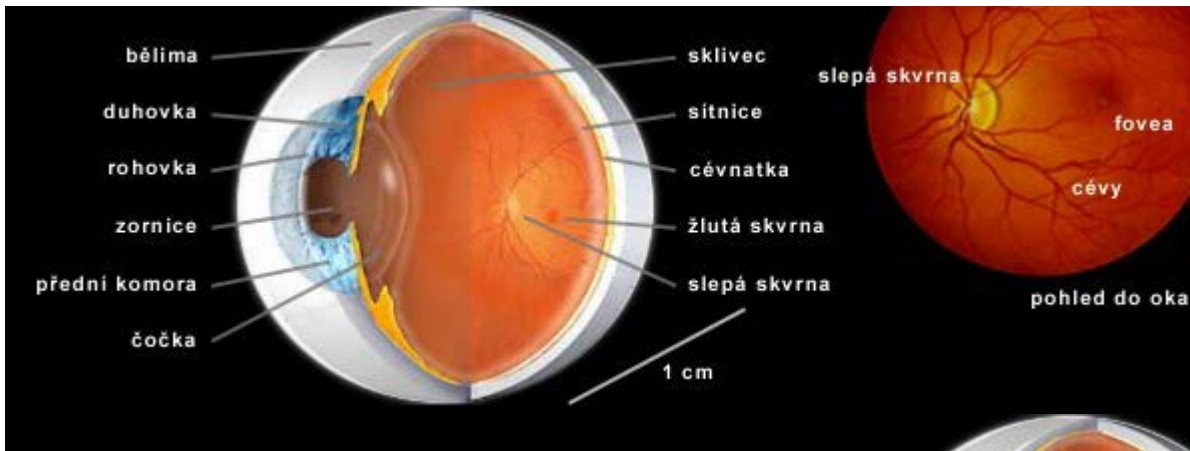
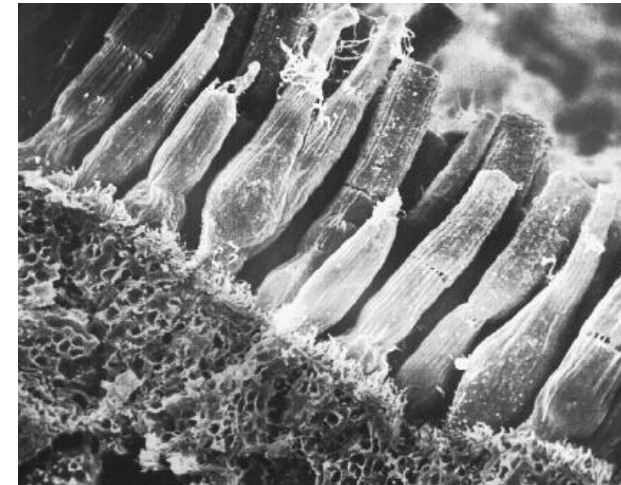
testová otázka – a) dalekohled, b) počítač, c) něco jiného?

c - lidské oko



světločivé buňky:

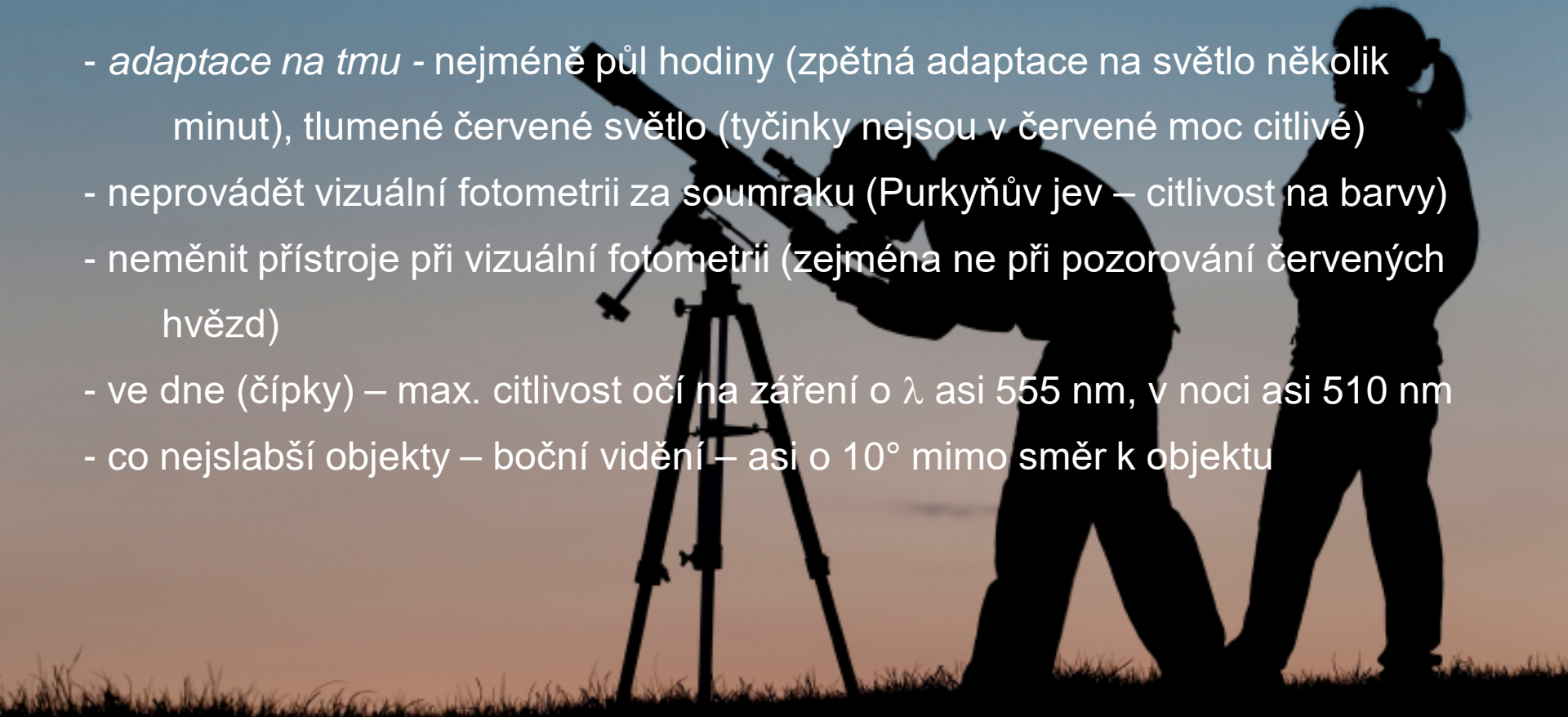
- *čípky* - v okolí optické osy čočky, barevné vidění, 3 typy, celkem 6-8 milionů
- *tyčinky* - noční černobílé vidění; o několik řádů citlivější než čípky; nejvíce tyčinek - asi 20° od optické osy oční čočky; celkem až 150 mil.



video – pitva oka

Zásady správného vizuálního pozorování

- *adaptace na tmu* - nejméně půl hodiny (zpětná adaptace na světlo několik minut), tlumené červené světlo (tyčinky nejsou v červené moc citlivé)
- neprovádět vizuální fotometrii za soumraku (Purkyňův jev – citlivost na barvy)
- neměnit přístroje při vizuální fotometrii (zejména ne při pozorování červených hvězd)
- ve dne (čípky) – max. citlivost očí na záření o λ asi 555 nm, v noci asi 510 nm
- co nejslabší objekty – boční vidění – asi o 10° mimo směr k objektu



Oko jako přístroj

perfektní přístroj, ale někdy klame

BEFORE 6 BEERS



AFTER 6 BEERS

AFTER 6 BEERS



BEFORE 6 BEERS



- proč se hvězdy malují cípaté, když jsou kulaté?
- odhady jasností hvězd – vedle sebe a nad sebou (paralaktická chyba)
- citlivost na barvy hvězd (Purkyňův jev)

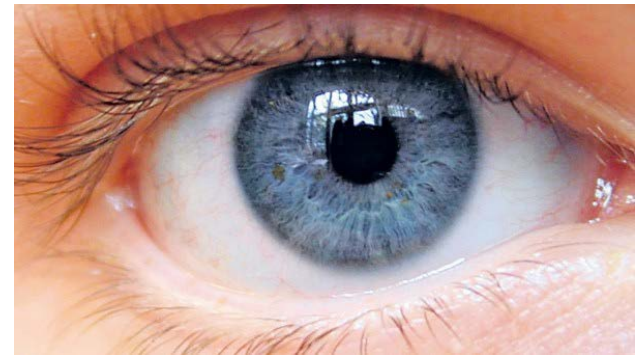
Péče o zrak

citlivost sítnice - zvyšuje vitamin A a okysličení,
- snižuje kouření a požívání alkoholu

UV záření - působí šedý oční zákal a degeneraci žluté skvrny => přes den - chránit
oči – tmavé brýle s UV filtrem, zaclonění očí (kšilt, klobouk...)

velké světlo => prodloužení doby adaptace na tmu

pravidelně kontroly u lékaře, živiny, cvičení (oční jóga)



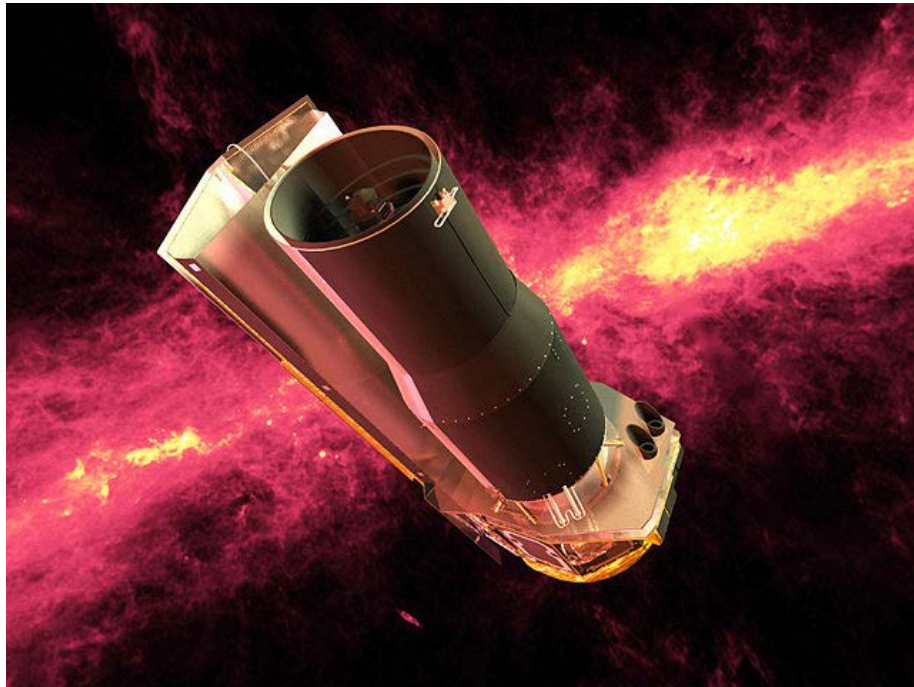
Astronomie jednoduchými prostředky

- vizuální pozorování – astrometrická - pohyby po obloze, hvězdné obloze,
 - fotometrická – proměnné hvězdy
 - sluneční aktivita (velké skvrny)
- určování souřadnic – průchody meridiánem
- sluneční hodiny
- měsíční hodiny

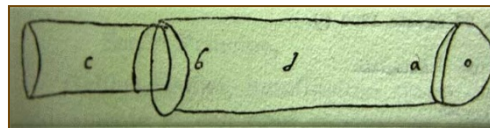


Hvězdářské dalekohledy

- jednoduché přístroje (v principu)
- moderní teleskopy - nové technologie - zvýšení účinnosti
- obří teleskopy, urychlovače - největší přístroje



Funkce dalekohledu

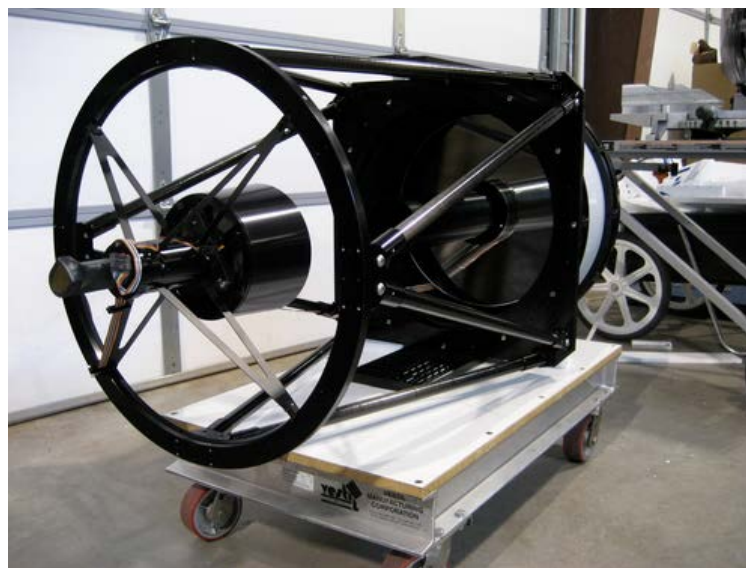


- sběrač světla – větší sběrná plocha
- zvětšení rozlišovací schopnosti



Typy dalekohledů

- čočkové
- zrcadlové
- kombinované



Zrození dalekohledu

I. Prehistorie

1850 – nalezena čočka z doby kolem 3000 př.n.l. z Asýrie

antika – 423 př.n.l. Aristofanés – „zapalující sklíčka“

- přelom letopočtu – zmínky o lupách rytců v Pompejích

- 287 – 212 př.n.l. – Archimédés – měděná zrcadla, zapálení lodí(?)

1011-1021 Alhazen (Ibn al-Haytham) – camera obscura s čočkou

poč. 13. st. - Robert Grosseteste (1175-1253) – první popis přístroje, který umožňuje, aby se malé věci jevily veliké

Roger Bacon - jeho žák – také popis dalekohledu

kolem 1286 - první brýle v Itálii (Pisa, Benátky, Florencie) a v Číně

kolem 1350 - výroba brýlí a čoček



Detail portrétu kardinála Hugh de Provence
(1352 Tommaso da Modena)

1550-1570 - Leonard Digges – otec astronoma Thomase Diggese – údajně zkonstruoval čočkový i zrcadlový dalekohled (nezávisle potvrzeno; modely ani náčrtky se nedochovaly)

1574 - ottomanský astronom Taki al-Din - popis

1586 - Giambattista della Porta – popis dalekohledu

Zrození dalekohledu

II. Historie

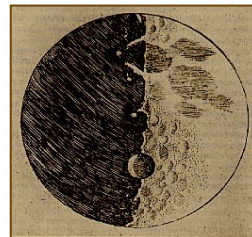
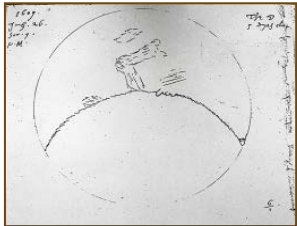
2.10.1608 – přihláška patentu dalekohledu – **Hans Lippershey**
odmítnut – přístroj je již znám!

o dva týdny později – Jacob Metius z Alkmaaru

téhož roku – Sacharius Jansen z Middelburgu – prodej dalekohledů
na frankfurtském veletrhu

duben 1609 – v brýlařství v Pont Neuf (Paříž)

poč. léta 1609 – **Galileo Galilei** – dalekohled (3x zv.) – kresby Měsíce (IX.-X. 1609)
– **Thomas Harriot** (6x zvětšení) – kresby Měsíce (červenec),
sl. skvrn (prosinec); objeveno až r. 1784



Observationes Jovianae

2. Jovis	○ * *
30. Jovis	○ ○ ○ *
2. Jovis	○ * * *
3. Jovis	○ * * *
3. Jovis	* ○ *
4. Jovis	* ○ * *
6. Jovis	* ○ *
8. Jovis	* * * ○
10. Jovis	* * * ○ *
11.	* * * ○ *
12. Jovis	* * * ○ *
13. Jovis	* * * ○ *
14. Jovis	* * * ○ *



srpen 1609 – Galilei předvádí dalekohled zákonodárcům v Benátkách

duben 1611 – Galileův přítel Federico Cesi – termín „telescopium“



Zrození dalekohledu

II. Historie

1611 Johannes Kepler – princip čočkového dalekohledu
jiné konstrukce

1630 Christopher Scheiner, Antonín Maria Šírek z Rejty
– konstrukce dalekohledu Keplerova typu



zrcadlový dalekohled

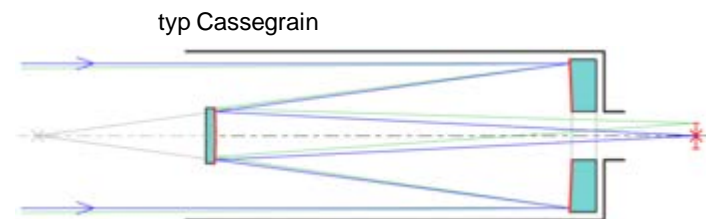
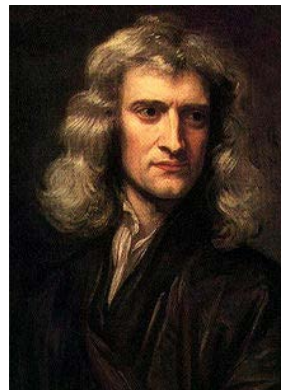
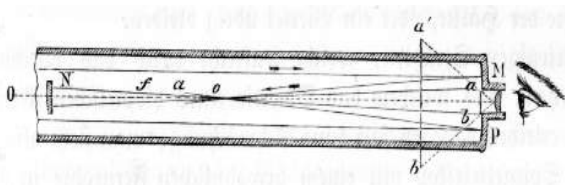
1550-1570 Leonard Digges

1616 Nicollò Zucchi – bronzové vyduté zrcadlo (neúspěch)

1663 James Gregory – systém s provrtaným dutým zrcadlem; model až roku 1674,
použitelné až 1721

1668 Isaac Newton – jednoduchý systém s dutým zrcadlem

1672 Laurent Cassegrain – podobný systém jako Gregory



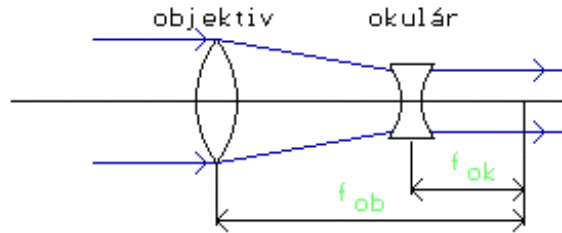
Čočkové dalekohledy (refraktory)

Keplerův dalekohled (2 spojné čočky):

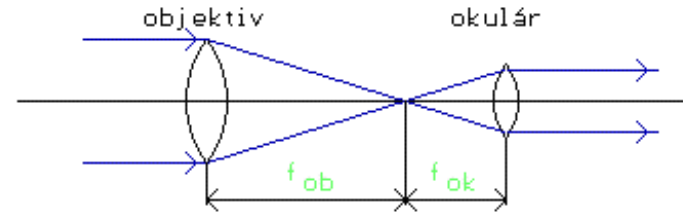
Objektiv – spojka, velká ohnisková vzdálenost f_{ob} , obraz vzdáleného předmětu v ohniskové rovině je převrácený, zmenšený a skutečný

Okulár – spojka $f_{ok} < f_{ob}$; obraz vytvořený objektivem v jeho ohniskové rovině předmětového prostoru => obraz předmětu jako pod lupou

Galileův dalekohled (1609)



Keplerův dalekohled (1611)



Největší refraktory:

125 cm – Expo Paříž 1900

110(98) cm – Švédský solární teleskop,
La Palma (2002-)

102 cm – Yerkes observatory (1897-)



Zvětšení dalekohledu

úhlové zvětšení dalekohledu

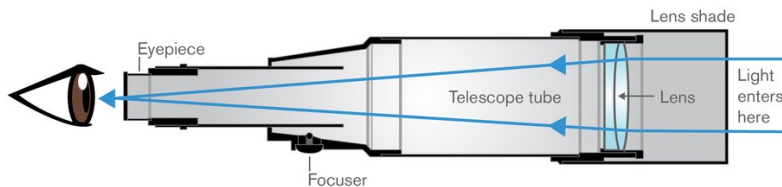
$$z = f_{ob}/f_{ok} \quad z = D/D' \text{ (vstupní/výstupní pupila)}$$

největší uplatnění – pozorování planet, Měsíce, ale i dvojhvězd ...

mění se změnou okuláru (jeho ohniskové vzdálenosti) - *nelze libovolně!*

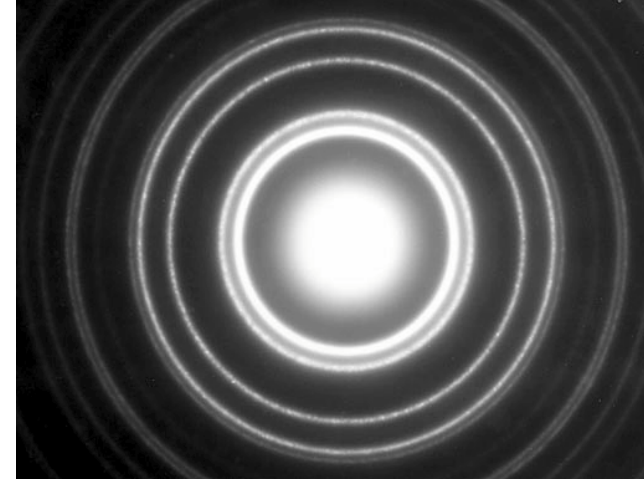
užitečné zvětšení – $D/2$ až $2D$ (průměru objektivu v mm)

maximální zvětšení $< 700 \times$ – vliv atmosféry, vad dalekohledu...



Rozlišovací schopnost dalekohledu

- závisí na průměru objektivu
- difrakce => bodový objekt -> malý kotouček s difrakčními kroužky
- vždy! - i v ideálním dalekohledu bez vlivu atmosféry!
- důsledek ohybového jevu při dopadu světelných vln na okrajích objektivu
- průměr centrálního kroužku => jak (úhlově) blízké zdroje lze daným dalekohledem ještě rozeznat



rozlišovací schopnosti dalekohledu:

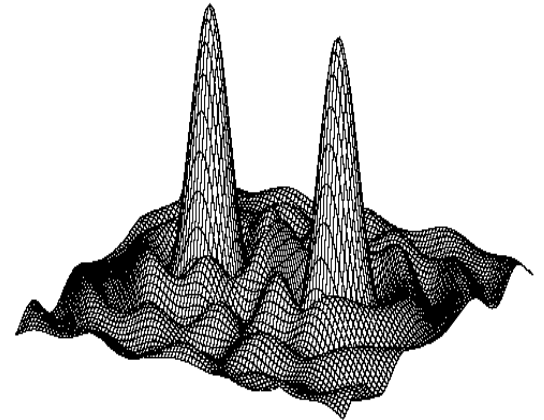
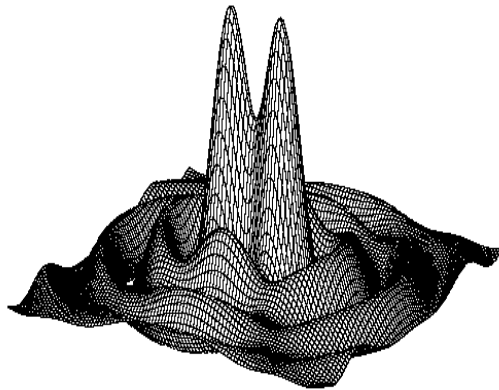
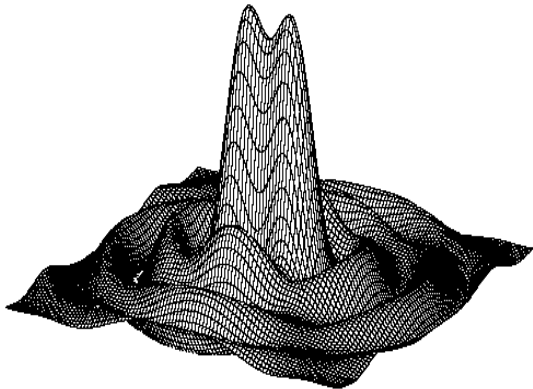
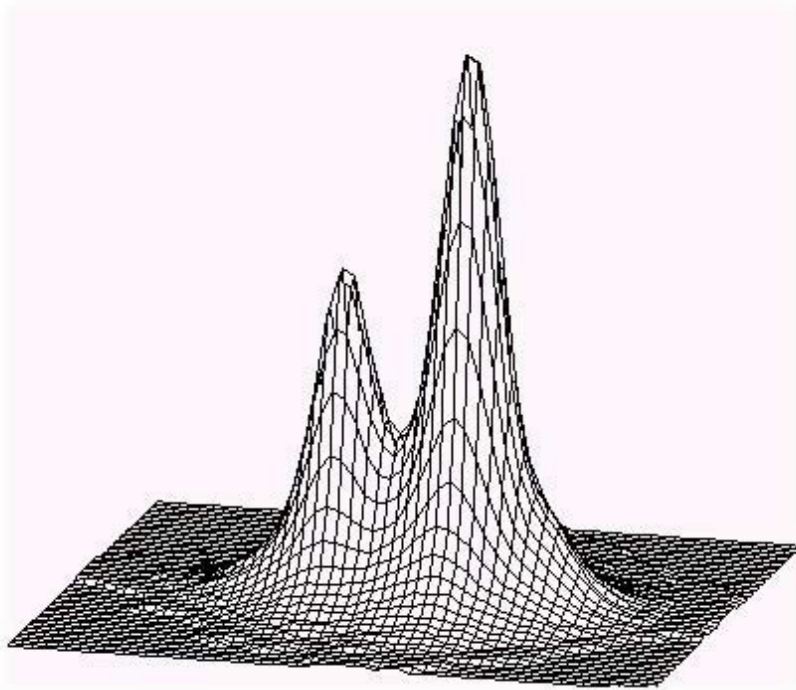
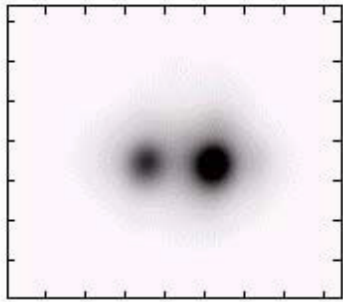
tím lepší, čím větší je průměr objektivu a čím je kratší vlnová délka záření

teoretická rozlišovací schopnost

$\delta_{\text{teor}} = 1.22\lambda/D$ (v radiánech, D v mm), pro $\lambda = 550 \text{ nm}$ $\delta'' = 140/D$ (D v mm)

$\delta_{\text{reál}} < \delta_{\text{teor}}$ (2m Ondřejov $\delta = 0,057''$, ale seeing $1''$)

reálná rozlišovací schopnost - kvalita dalekohledu, pozorovací podmínky (seeing), poměry jasností dvou objektů ...



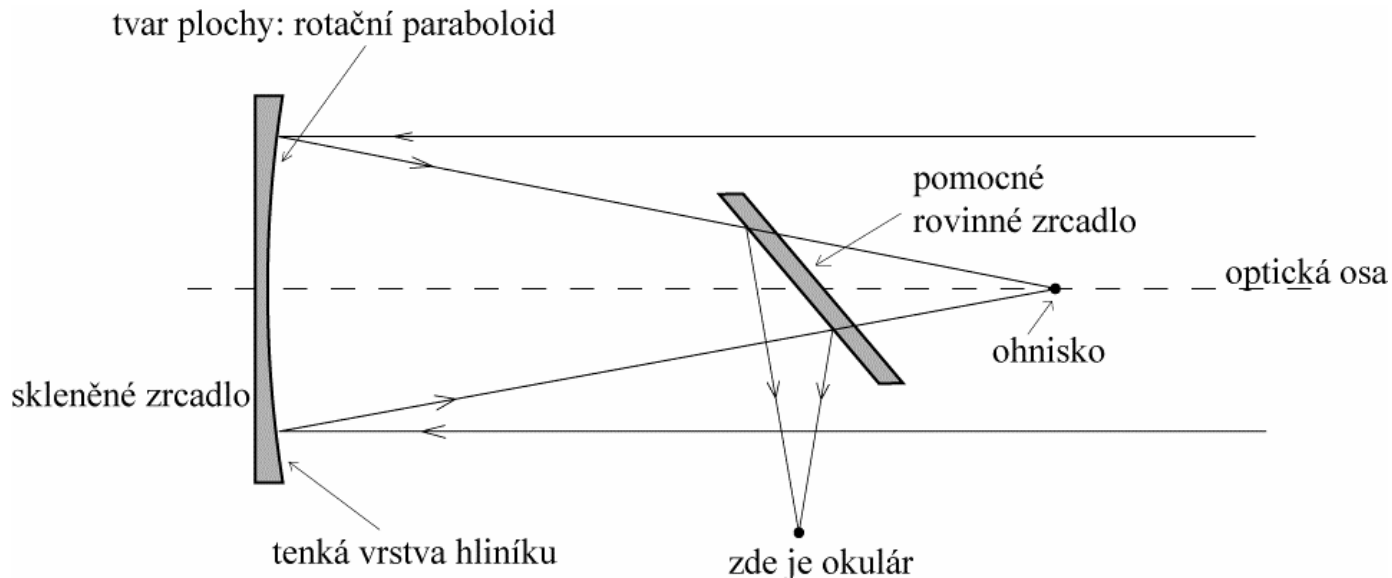
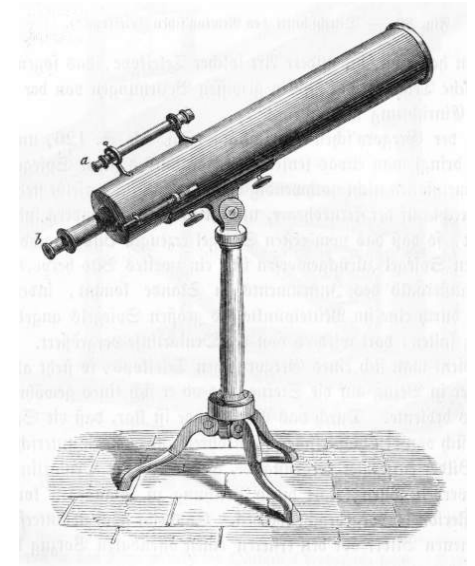
Světelnost dalekohledu

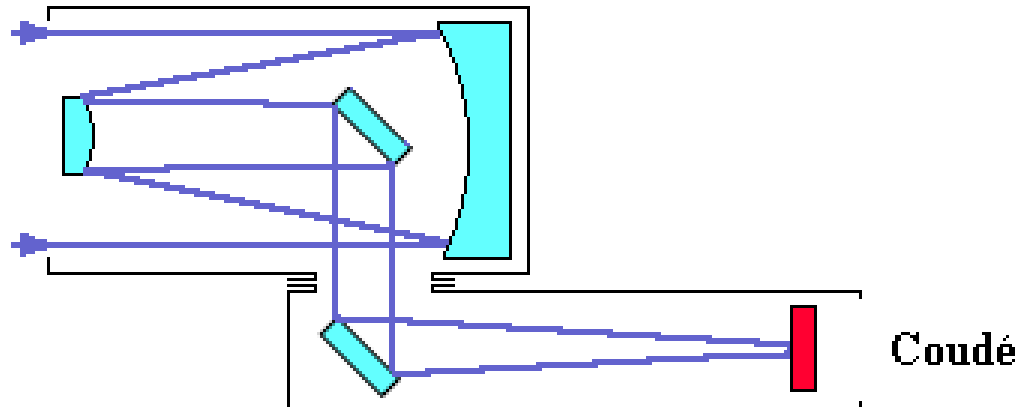
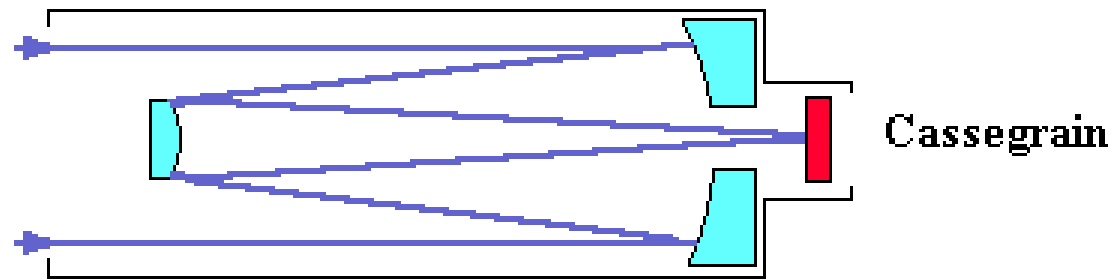
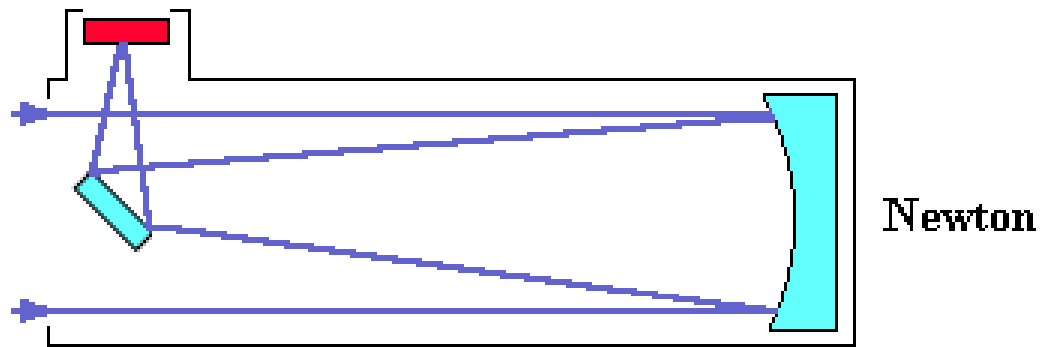
- několik významů – různé definice
- poměr průměru objektivu D k jeho ohniskové vzdálenosti $f \Rightarrow$
např. dalekohled o průměru objektivu 20 cm a ohniskové vzdálenosti 2 m
 \Rightarrow světelnost 1:10
- velké světelnosti - nad asi 1:5 (tedy např. 1:4, 1:3)



Zrcadlové dalekohledy (reflektory)

- základní prvek – (skleněné) pokovené zrcadlo
- povrch – většinou Al+ochranná vrstva => lze pozorovat čočkami pohlcované UV záření ($\lambda > 300 \text{ nm}$)
- rozšířené, populární – cena/výkon
- nevýhoda - malé zorné pole => konstruují se speciálně pro daný účel (fotografie, spektroskopie)

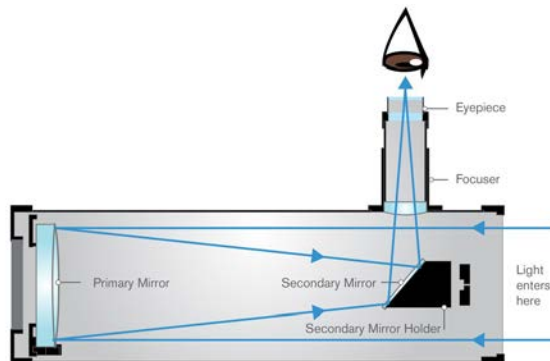




Vlastnosti dalekohledu typu Newton

nejběžnější amatérský dalekohled

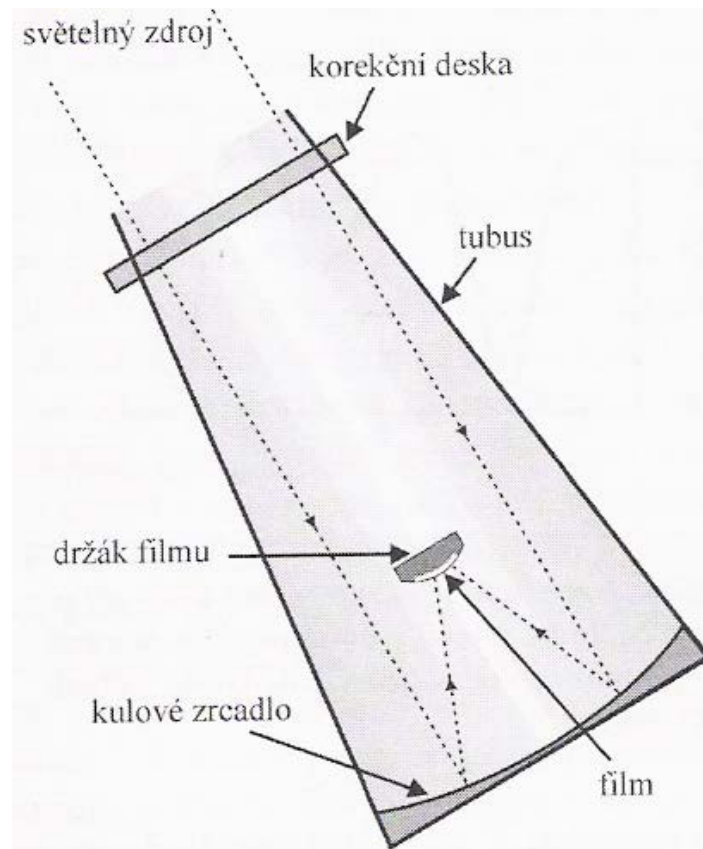
Výhody	Nevýhody
- relativně malé centrální stínění	- malé zorné pole
- nulová barevná vada	- v okraji zorného pole obraz zatížen komou
- výborná kresba v optické ose	- nutná příležitostná kolimace
- velmi výhodný poměr ceny a průměru	

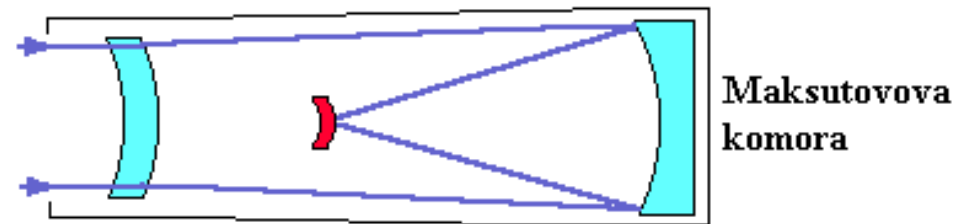
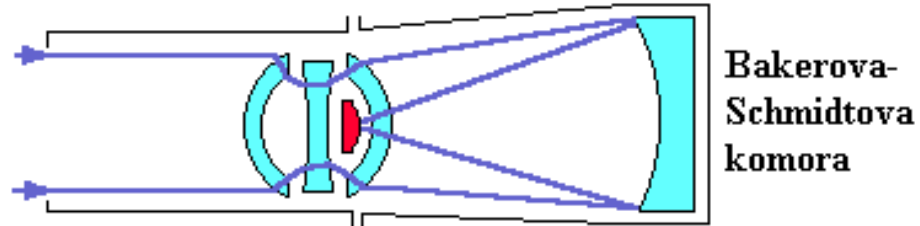
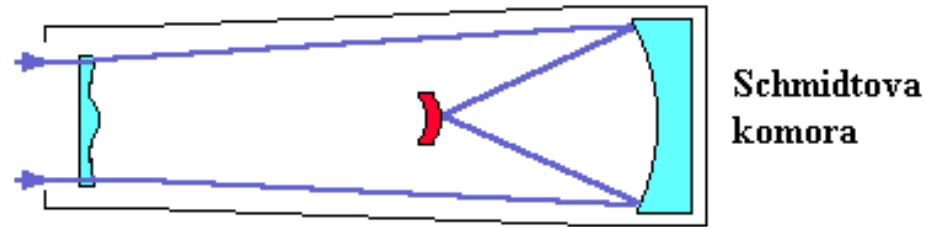


Kombinované dalekohledy

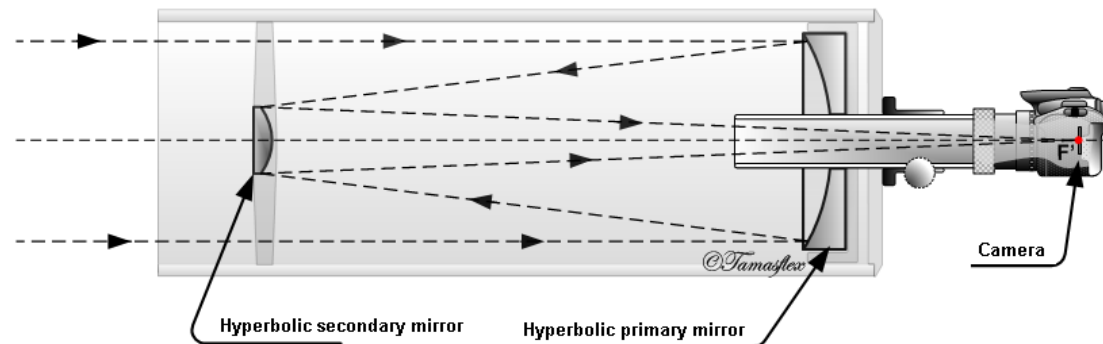
primární zrcadlo + *korekční čočka* - 1930 Bernhard Schmidt (1879–1935)

čočka – náprava chronických vad reflektorů (např. zvýšení kvality zobrazení ve větším zorném poli)





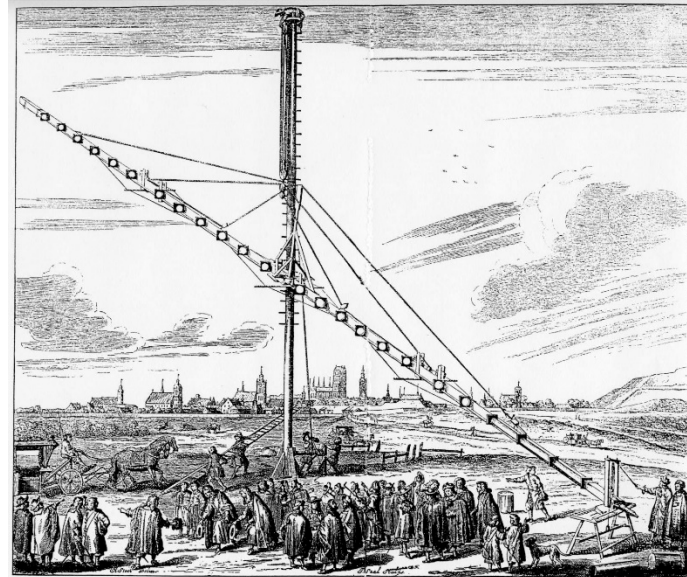
System Ritchey-Chretien – na HST, obě zrcadla hyperbolická



Ritchey - Chrétien (RCT)

Montáže dalekohledů

montáž – nedílná součást dalekohledu, často určuje využití dalekohledu; umožňuje otáčet tubus dalekohledu kolem 2 vzájemně kolmých os

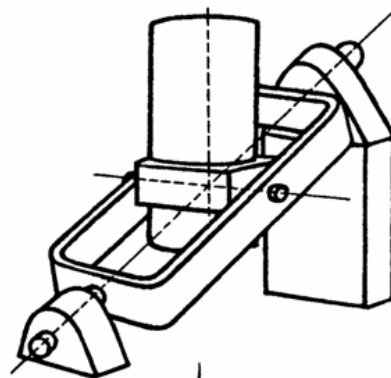
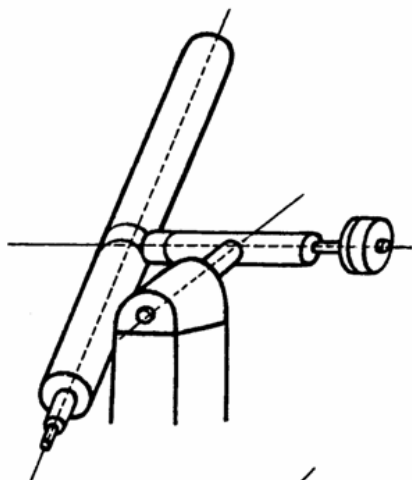


Montáže (podle orientace os):

- **azimutální** - jedna osa je svislá, druhá vodorovná
- **paralaktické** - *polární osa* (\equiv světová osa), *deklinální osa*

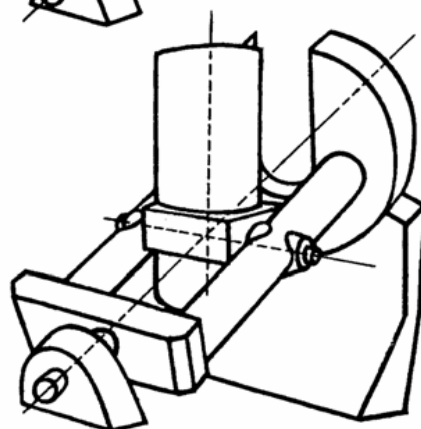
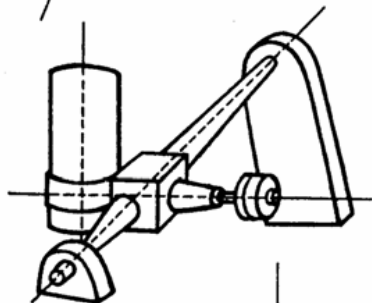


německá



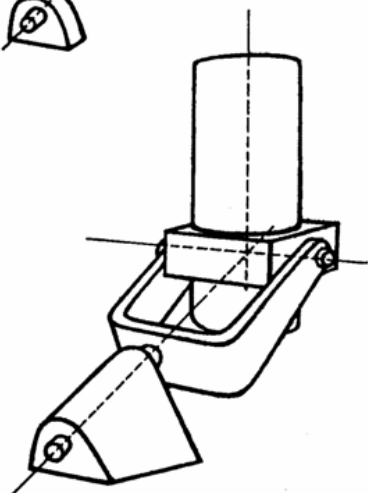
anglická rámová

anglická osová

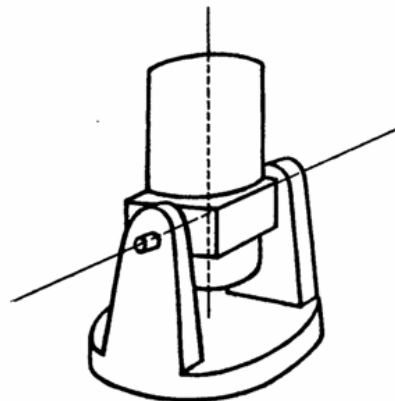


rámová s
podkovou

vidlicová



azimutální



Největší teleskopy světa

výběr vhodného místa:

- temné nebe,
- klidné ovzduší (malý seeing),
- malá vlhkost ovzduší,
- velký počet jasných (fotometrických) nocí.

⇒ nejlepší místa na vysokých místech v pouštích, v horách (Mauna Kea na Havajských ostrovech, Atacama v Chile, v horské oblasti Kanárských ostrovů, v jihovýchodní části Austrálie, ve Skalnatých horách v americké Arizoně....

seeing - úhlový průměr osamocené hvězdy při pozorování dalekohledem - na špičkových vysokohorských observatořích $< 1''$.

„vylepšení seeingu“:

adaptivní optika – kompenzace neklidu atmosféry z pozorování jasné nebo umělé (laserové) hvězdy

aktivní optika – korekce deformace zrcadel i konstrukce montáže, které vznikají např. nakláněním teleskopu do různých poloh, tepelnou roztažností materiálu apod.

Efekt. průměr	Přístroj	Observatoř	Umístění
10.4	Gran Telescopio Canarias	La Palma, Kanárské ostrovy, Španělsko	28 46 N; 17 53 W 2400 m
10.0	Keck	Mauna Kea, Hawaii, USA	19 50 N; 155 28 W 4123 m
	Keck II		
9.2	SALT (11x9.8 m)	South African Astronomical Observatory, JAR	32 23 S; 20 49 E; 1759 m
9.2	Hobby-Eberly (11x9.8 m)	Mt. Fowlkes, Texas, USA	30 40 N; 104 1 W; 2072 m
2x8.4	Large Binocular Telescope	Mt. Graham, Arizona, USA	32 42 N; 109 53 W 3170 m
8.3	Subaru	Mauna Kea, Hawaii, USA	19 50 N; 155 28 W; 4100 m
8.2	Antu	Cerro Paranal, Chile	24 38 S; 70 24 W 2635m
	Kueyen		
	Melipal		
	Yepun		
8.1	Gillett	Mauna Kea, Hawaii, USA	19 50 N; 155 28 W, 4100 m
	Gemini South	Cerro Pachon, Chile	30 20 S; 70 59 W (approx) 2737 m

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)

Multi Mirror Telescope
(1979-1998)
Mount Hopkins, Arizona

Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)

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)



Tennis court at the same scale

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

Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)

Large Binocular Telescope
Mount Graham, Arizona (2005)

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

Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)

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

Southern African Large Telescope
Sutherland, South Africa (2005)

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

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

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)

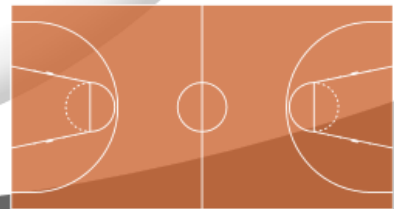
Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1999)

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

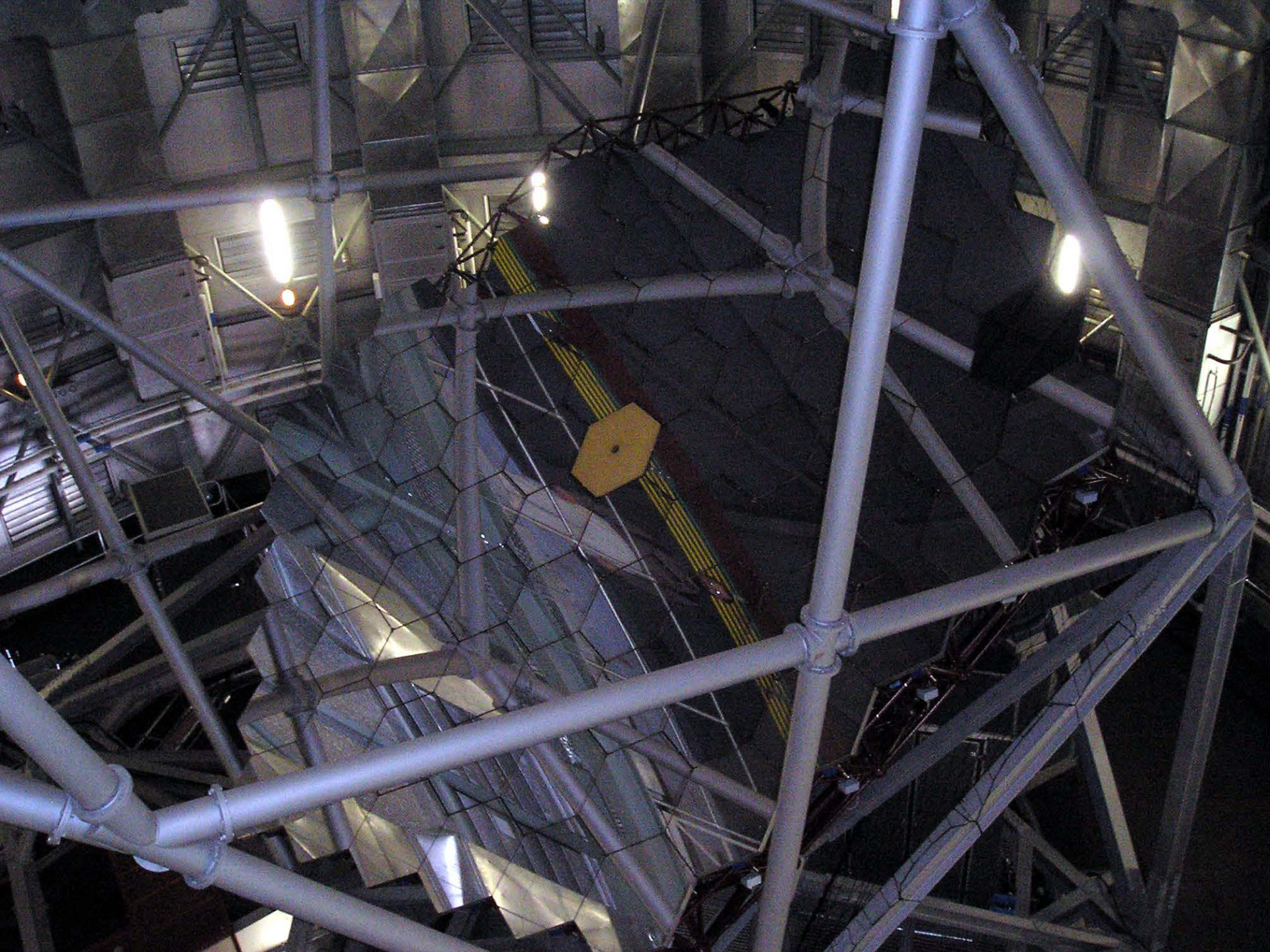
Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)

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

Human at the same scale
0 10 20 30 ft



Basketball court at the same scale





Část observatoří
na havajské hoře
Mauna Kea.





Část Evropské jižní observatoře (ESO) v Chile (La Silla).



Plánované dalekohledy:

- [Extremely Large Telescope](#) ELT, ESO (Chile) 39.3 m (2027)
- [Thirty Meter Telescope](#), Hawaii, USA 30 m (2027)
- [Giant Magellan Telescope](#), mezinár., Chile 7×8.4 m zrcadla = průměr 24.5 m (2029)
- Rubin Observatory ([Large Synoptic Survey Telescope](#)) 8.4 m, USA (2023)
- [James Webb Space Telescope](#) 6.5 m, USA (plánovaný start 18.12. 2021)
- [Magdalena Ridge Observatory Telescope Array](#) (USA) 2.4 m+10 x 1.4 m (2020 – 2. dalekohled)

- [International Liquid Mirror Telescope \(Indie\)](#) 4 m - v provozu od 2018?

Uvažované nebo plánované

- ALPACA telescope, 8 m, USA liquid mirror
- Advanced Technology Large-Aperture Space Telescope (ATLAST), 8-15m v kosmu (2025-2035)
- MUNI – 0.8m dalekohled (Ždánice), 0.3m Boyden (JAR), 0.18m Toscana (Itálie)

Dřívější projekty

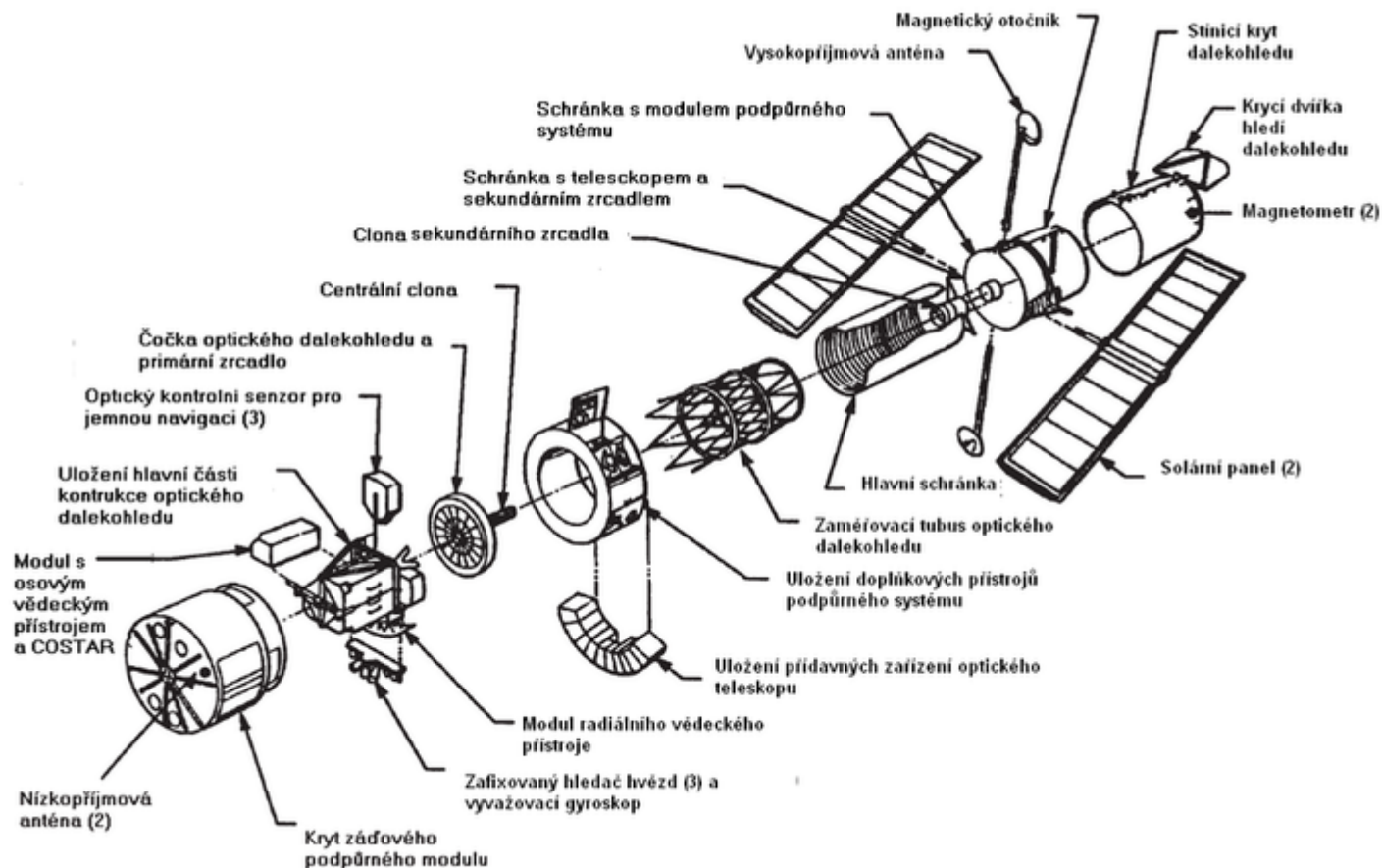
- Overwhelmingly Large Telescope 60-100 m – studie ukončena
- Euro 50 - 50 m - studie ukončena
- Hubble Origins Probe – studie ukončena

Kosmické teleskopy

Hubbleův kosmický dalekohled – zásadní pro celou astronomii

Základní data:

družice tvaru válce – délka 13 m, šířka 4,3 m, hmotnost téměř 12 tun,
hlavní zrcadlo: 2,4 m, sférická vada – $2 \mu\text{m}$, sekundární 30 cm,
systém Ritchey-Chrétien (typ Cassegrain); cena 1,5 mld dolarů



Před startem

1923 – první návrhy na dalekohledy v kosmu - Hermann Oberth

1946 – projekt kosmického dalekohledu - Lyman Spitzer (1914–1997)

1977 - návrh na vypuštění Hubbleova kosmického dalekohledu

1983 – předpokládaný termín realizace HST, technické potíže + havárii raketoplánu *Challenger* (1986) => start 1. velkého kosmického dalekohledu až 1990

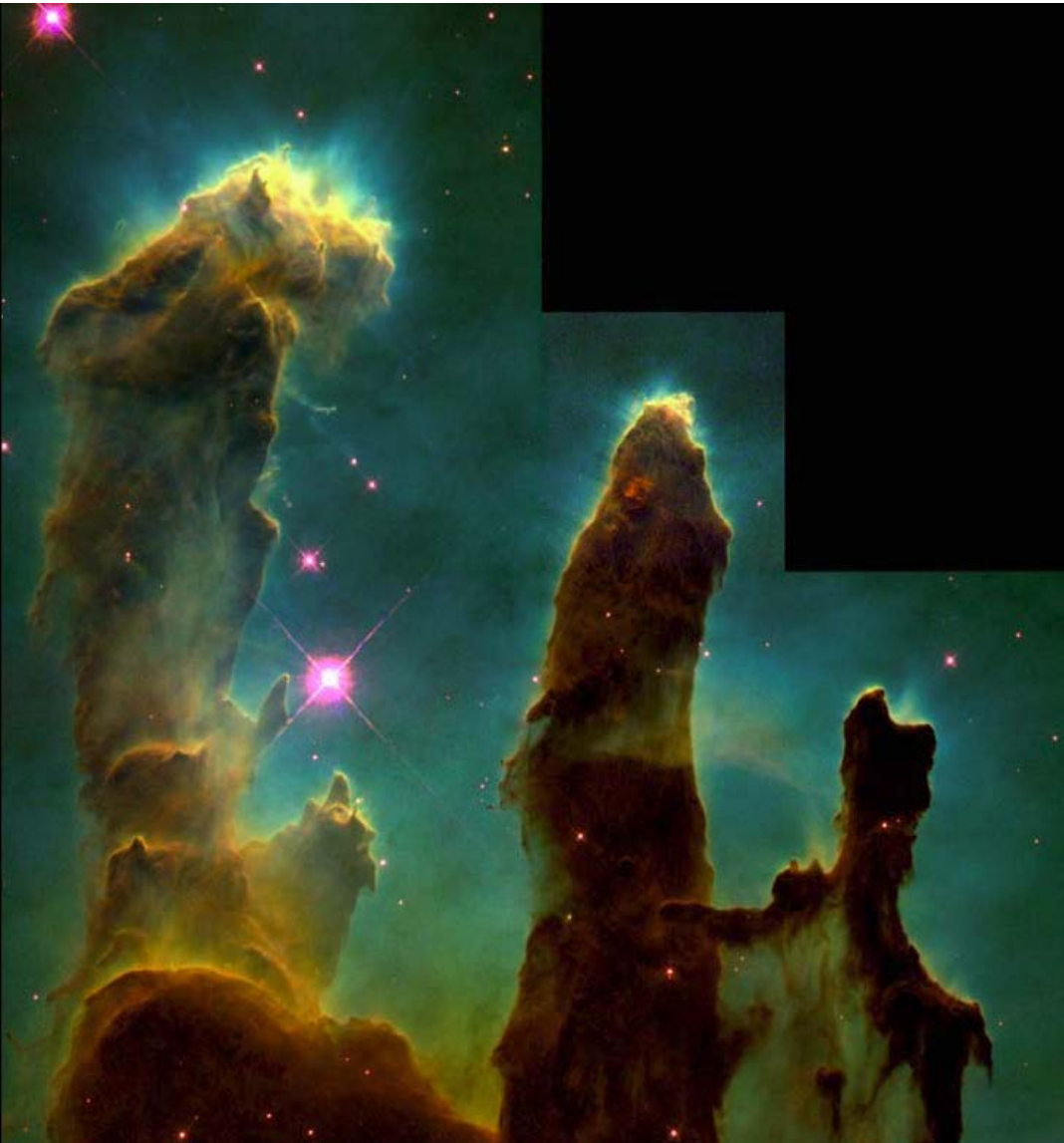


<https://hubblesite.org/>

https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html

<https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/hubble/>

<https://esahubble.org/>



Další kosmické dalekohledy

projekt NASA *Origins* - velké astronomické dalekohledy

Comptonova observatoř - pro sledování objektů v oboru γ záření,

Chandra - rentgenová observatoř

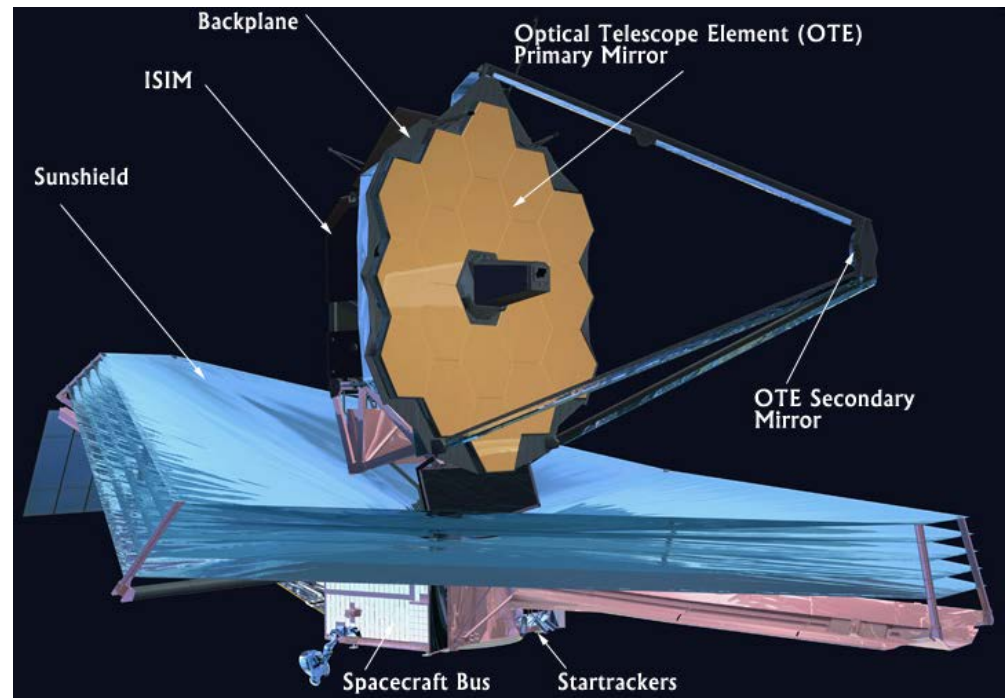
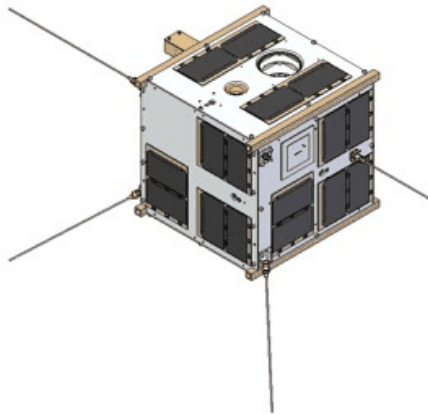
Spitzerův kosmický dalekohled - reflektor 0,85 m, od 2003, IR obor ($\lambda = 3-180 \mu\text{m}$)

COROT, KEPLER, MOST, TESS, GAIA (2 zrcadla 1,45 m x 0,5 m)

BRITe – nanosatelity (3 cm), GRBA α - MUNI

malý velikostí, ale velký významem – HIPPARCOS – 29 cm zrcadlo

plány: James Webb Space telescope – 6,5 m zrcadlo



GAIA

(start listopad 2012, 1. data 2016, DR2 2018, EDR3 2021, DR3 2022)

Fotometrie:

1.3 miliard objektů 6 - 20 mag

Astrometrie:

přesnost určení polohy:

7 μ s pro objekty <12 mag

25 μ s pro objekty <15 mag

300 μ s pro objekty <20 mag

Spektroskopie:

radiální rychlosti s přesností
2 - 10 km/s pro objekty <17 mag

dvě zrcadla – 1,45x0,5 m
řada CCD kamer,
celkem 4500 x 1966 pixelů

