

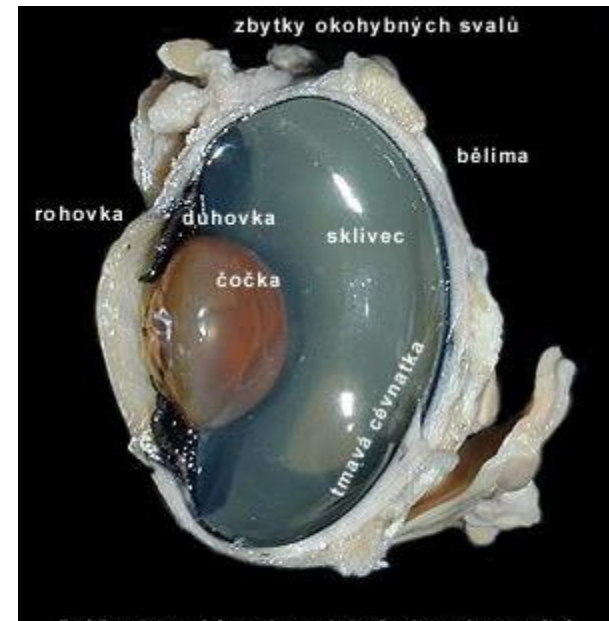
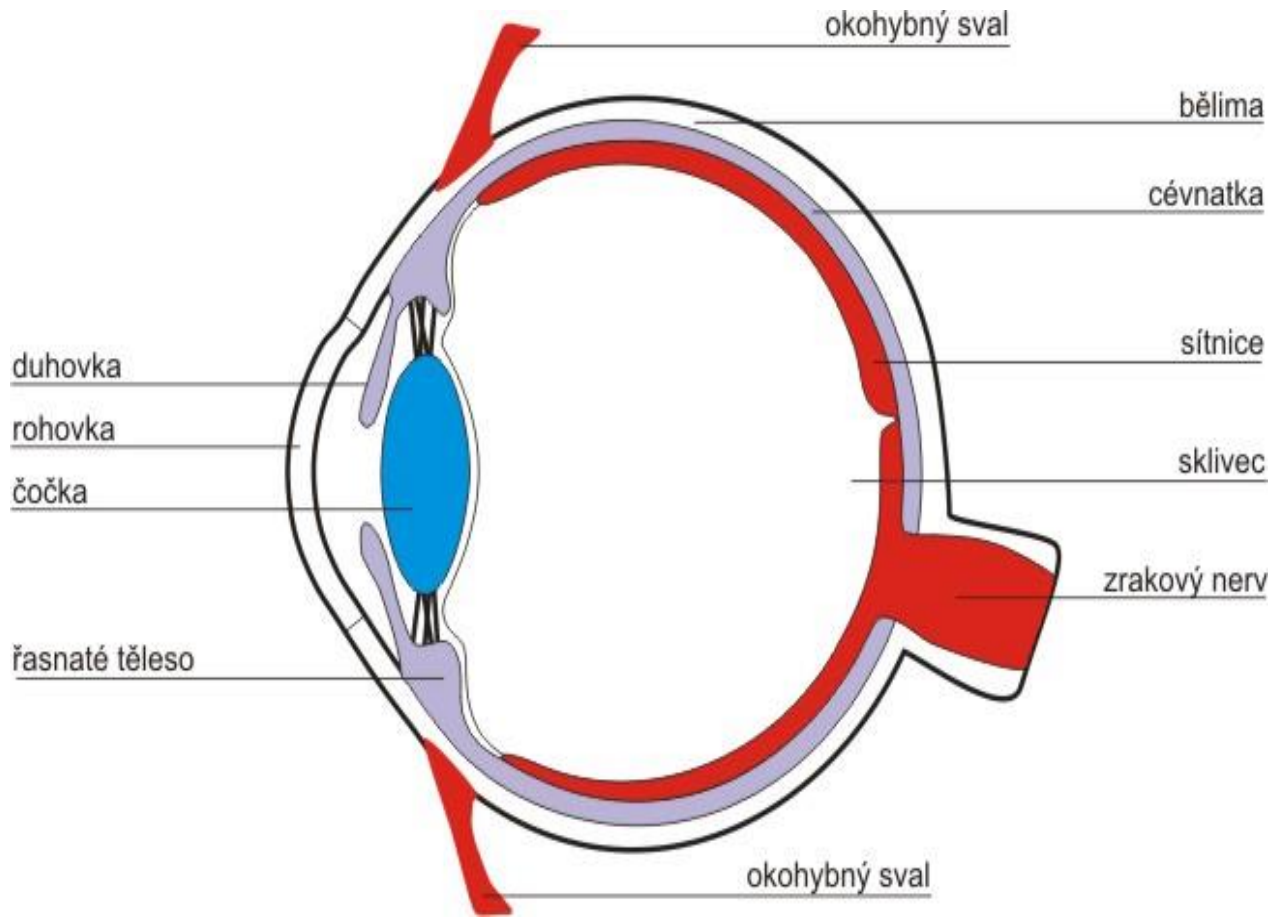
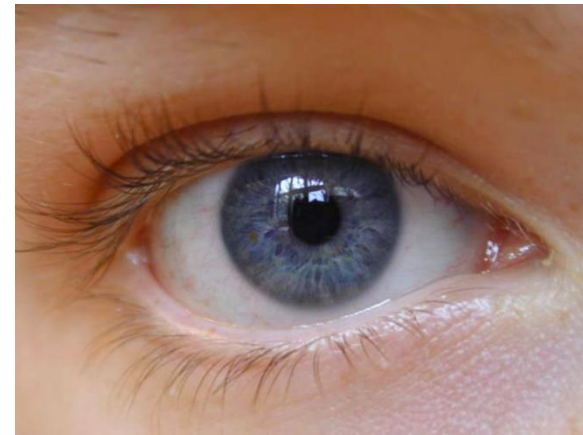
# Optická astronomie



# Astronomův nejcennější přístroj

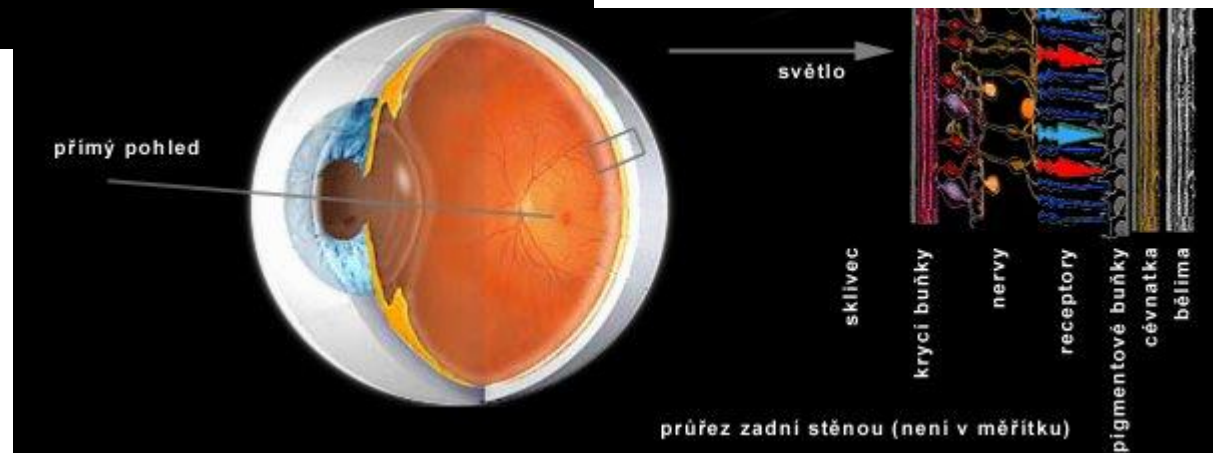
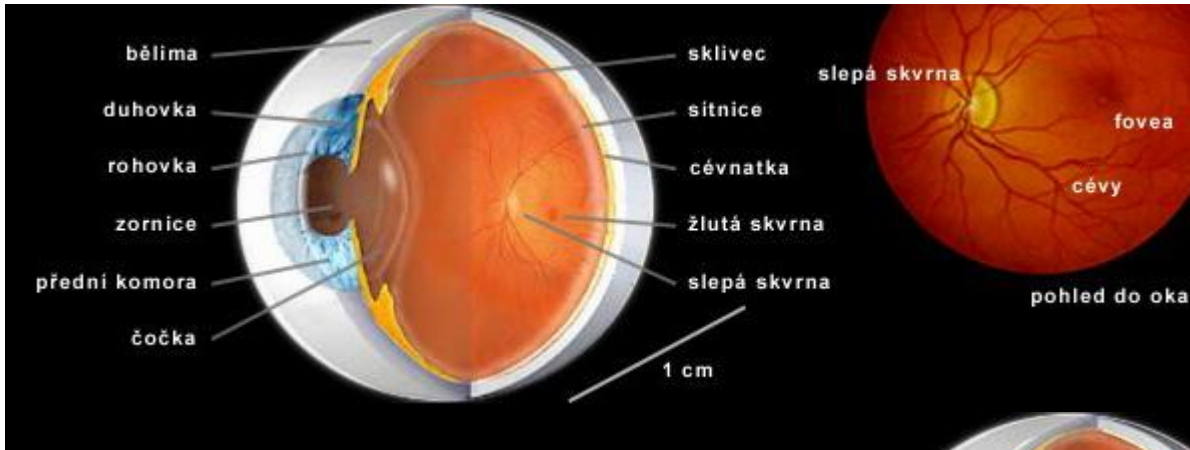
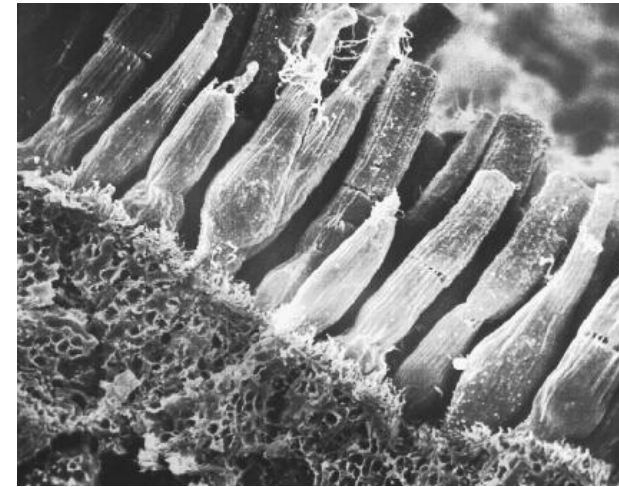
testová otázka – a) dalekohled, b) počítač, c) něco jiného?

**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.

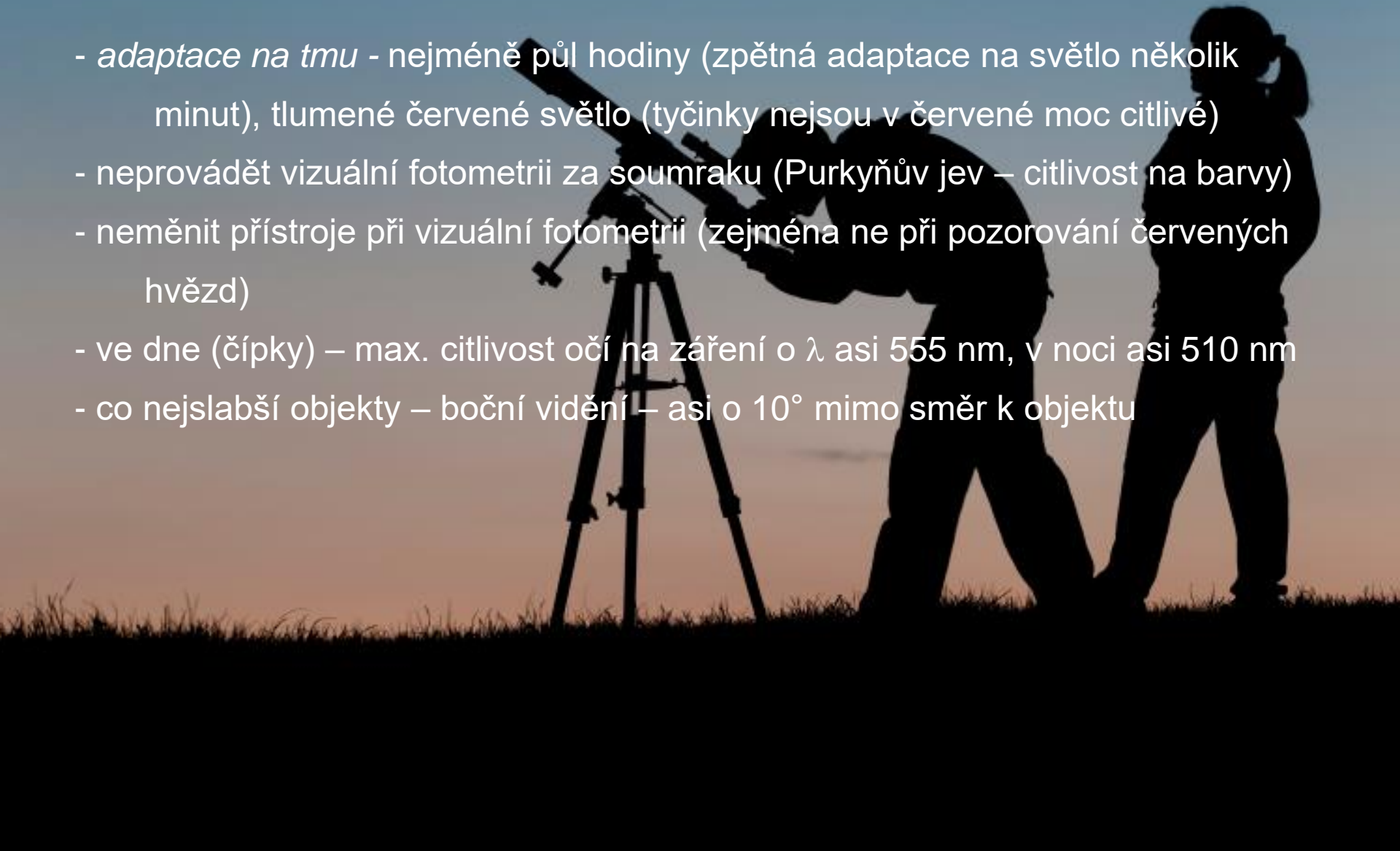


video – pitva oka



# 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  $\lambda$  asi 555 nm, v noci asi 510 nm
- co nejslabší objekty – boční vidění – asi o  $10^\circ$  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)

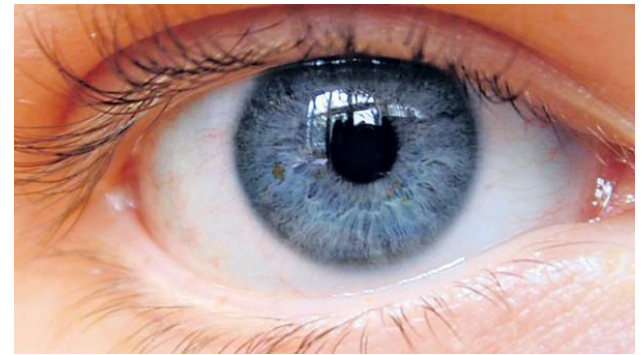
## Péče o zrak

citlivost sítnice - zvyšuje vitamin A a okysličené,  
- 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 tmou

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



# Astronomie jednoduchými prostředky

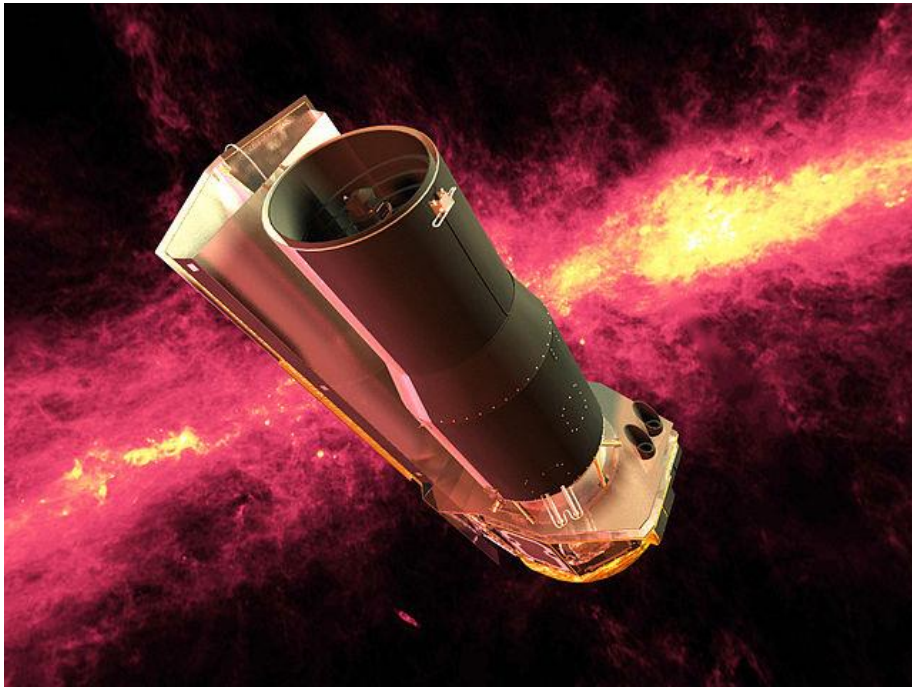
- vizuální pozorování – astrometrická - pohyby po obloze, hvězdné obloze,
  - fotometrická – proměnné hvězdy
  - sluneční aktivita (velké skvrny)
- určování souřadnic – průchody meridiánem
- sluneční hodiny
- měsíční hodiny





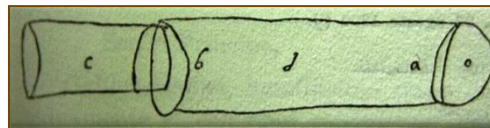
# Hvězdářské dalekohledy

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





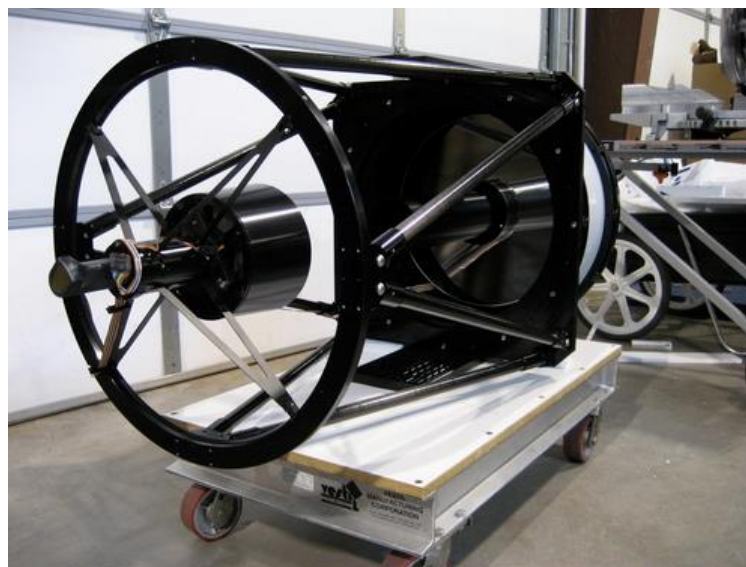
# Funkce dalekohledu



- 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(?)

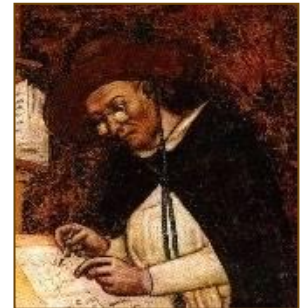
1011-1021 Alhazen (Ibn al-Haytham) – camera obscura s čočkou

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 Hugha 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

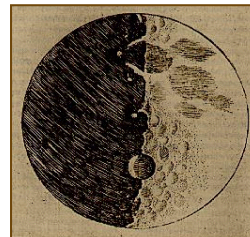
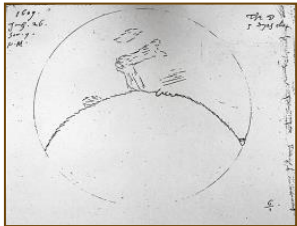
2.10.1608 – přihláška patentu dalekohledu – **Hans Lippershey**  
odmítnut – přístroj je již znám!

o dva týdny později – Jacob Metius z Alkmaaru

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

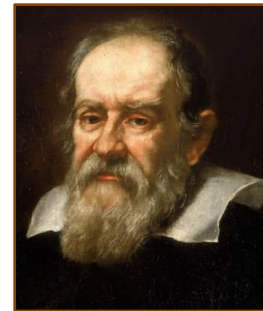
duben 1609 – v brýlařství v Pont Neuf (Paříž)

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 Jovis

20. Junij	○ * *
30. Julij	○ * * *
2. Aug.	○ * * *
3. Sept.	○ * * *
3. Oct.	* ○ *
4. Nov.	* ○ * *
6. Nov.	* ○ *
8. Nov.	* * * ○
10. Nov.	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. Nov.	* * ○ *
13. Nov.	* * ○ *
14. Nov.	* * * ○ *



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

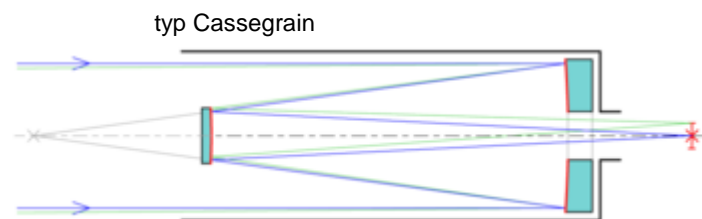
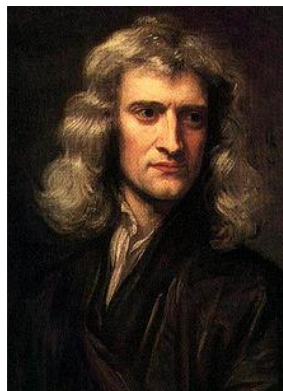
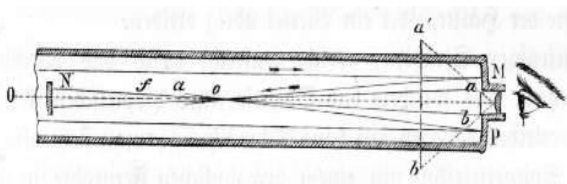
1550-1570 Leonard Digges

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



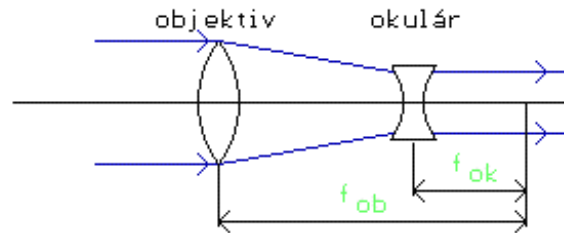
# Čočkové dalekohledy (refraktory)

Keplerův dalekohled (2 spojné čočky):

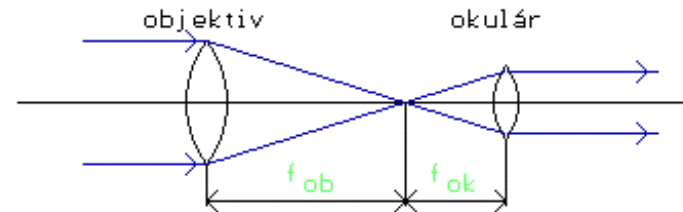
**Objektiv** – spojka, velká ohnisková vzdálenost  $f_{ob}$ , obraz vzdáleného předmětu v ohniskové rovině je převrácený, zmenšený a skutečný

**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

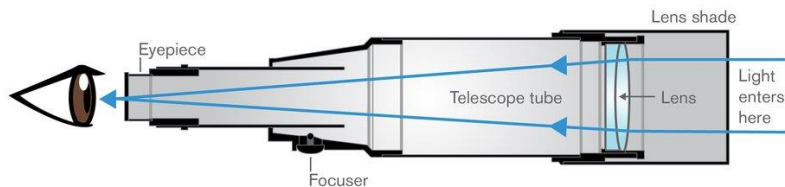
$$z = f_{ob}/f_{ok} \quad z = D/D' \text{ (vstupní/výstupní pupila)}$$

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)

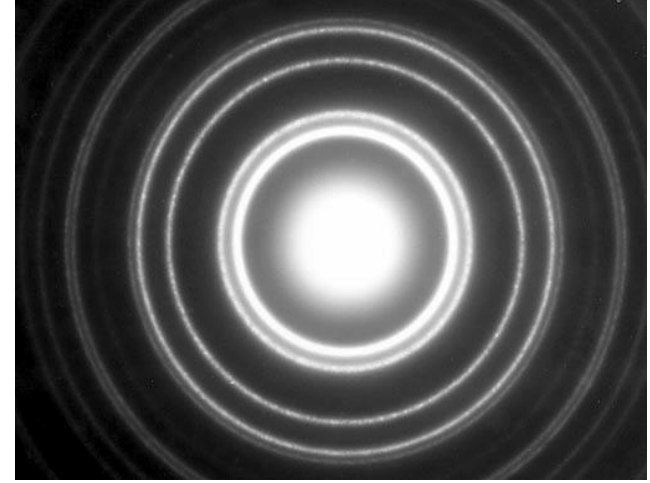
**maximální zvětšení**  $< 700 \times$  – vliv atmosféry, vad dalekohledu...





# 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:**

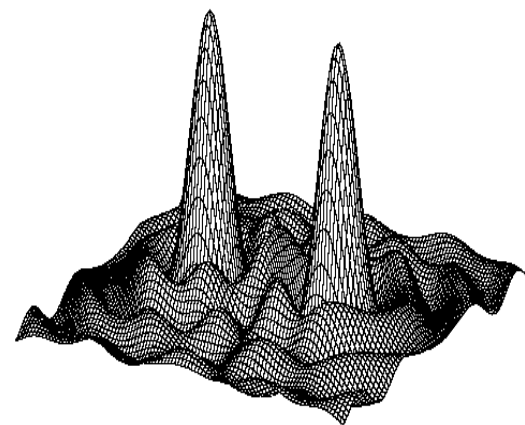
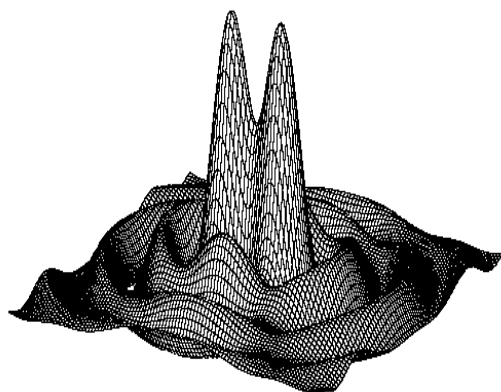
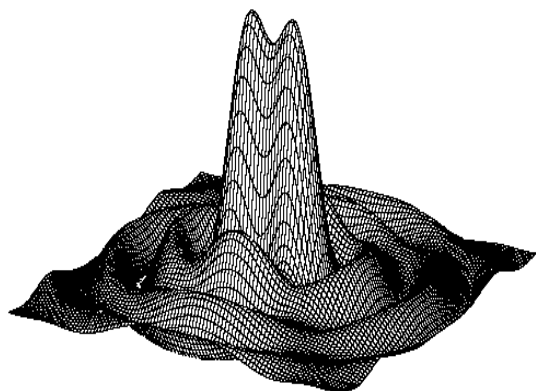
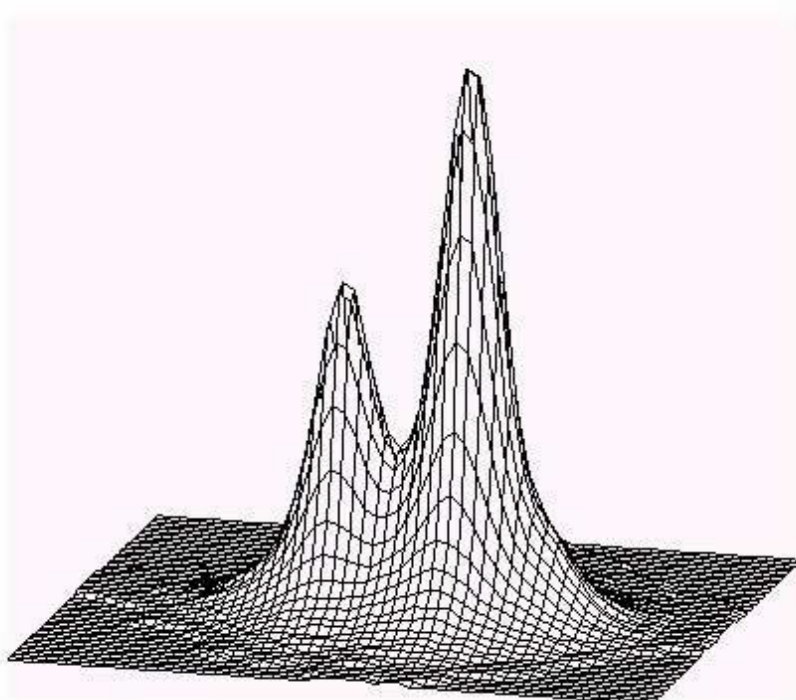
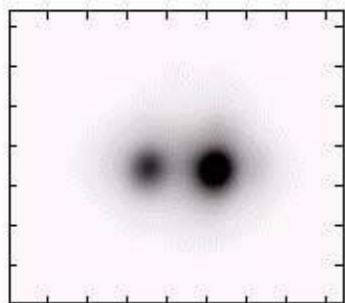
**tím lepší, čím větší je průměr objektivu a čím je kratší vlnová délka záření**

**teoretická rozlišovací schopnost**

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

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

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



# Světelnost dalekohledu

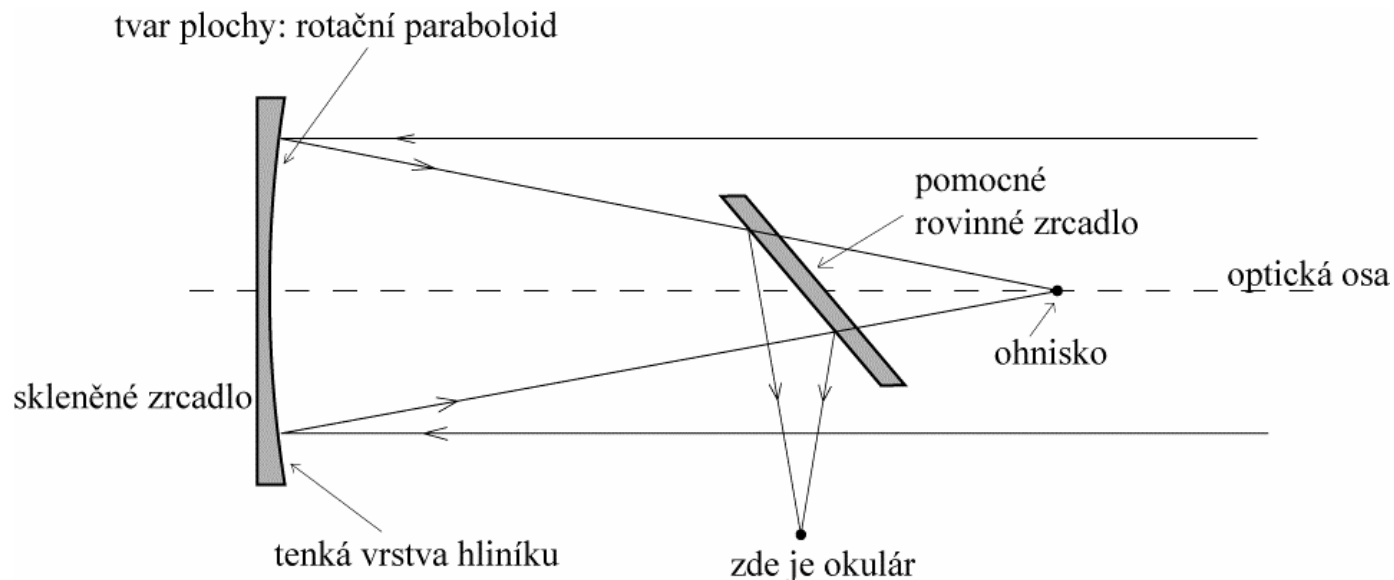
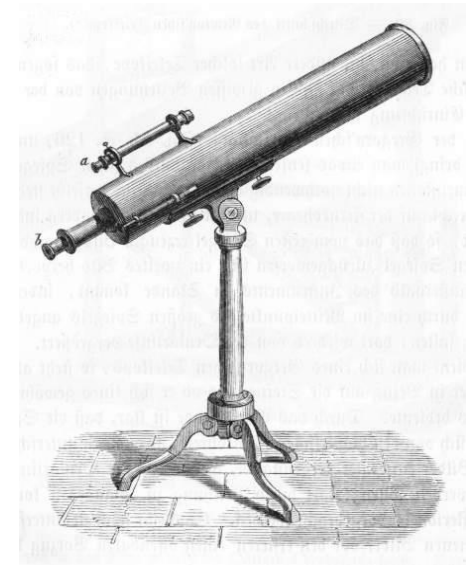
- několik významů – různé definice
- poměr průměru objektivu  $D$  k jeho ohniskové vzdálenosti  $f \Rightarrow$   
např. dalekohled o průměru objektivu 20 cm a ohniskové vzdálenosti 2 m  
 $\Rightarrow$  světelnost 1:10
- velké světelnosti - nad zhruba 1:5 (tedy např. 1:4, 1:3)

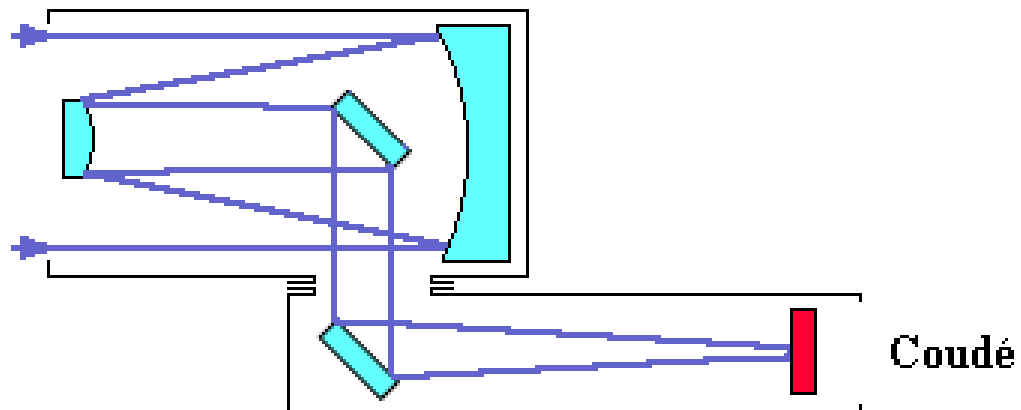
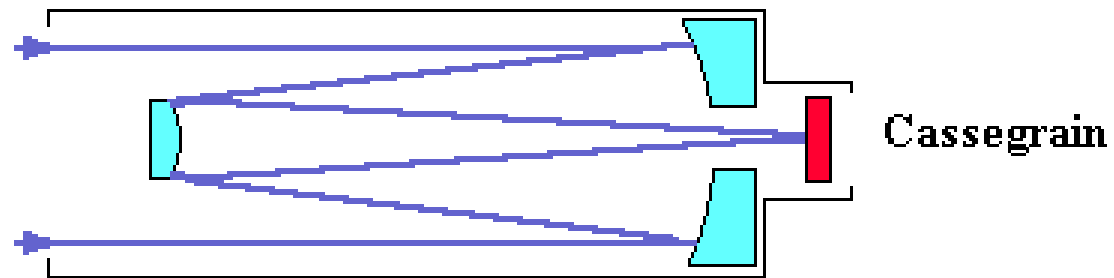
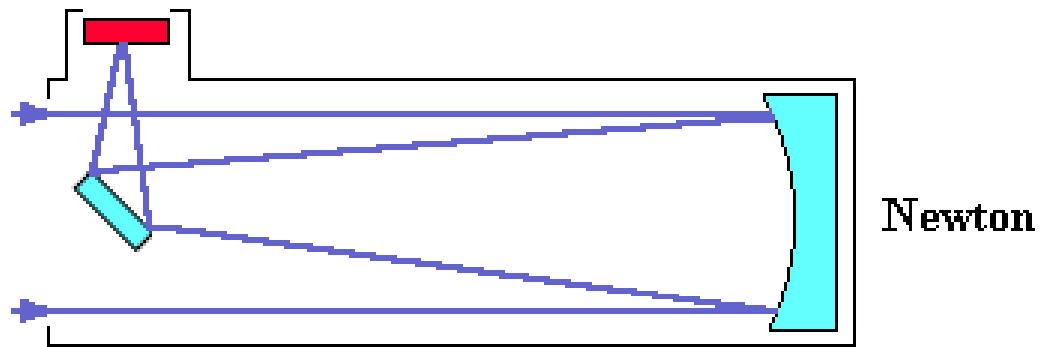




# Zrcadlové dalekohledy (reflektory)

- 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 => konstruuji se speciálně pro daný účel (fotografie, spektroskopie)

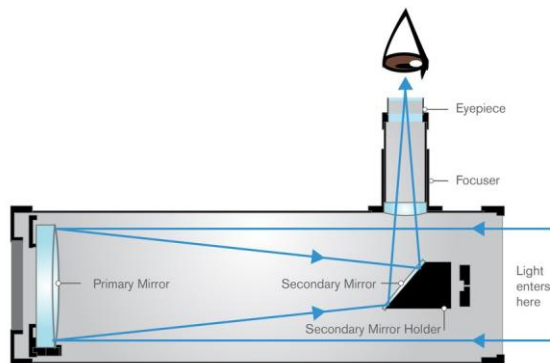




# Vlastnosti dalekohledu typu Newton

nejběžnější amatérský dalekohled

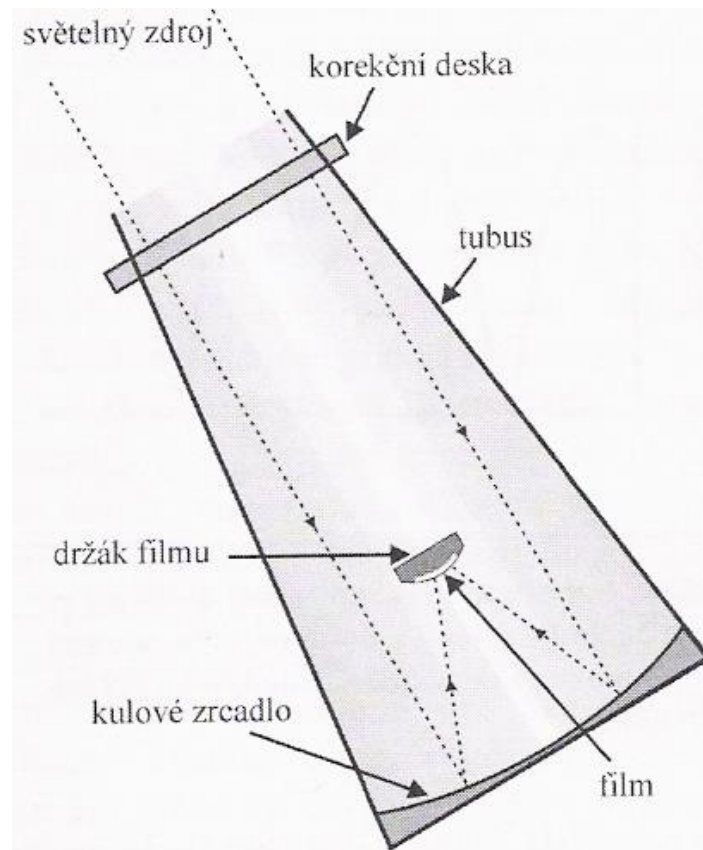
Výhody	Nevýhody
- relativně malé centrální stínění	- malé zorné pole
- nulová barevná vada	- v okraji zorného pole obraz zatížen komou
- výborná kresba v optické ose	- nutná příležitostná kolimace
- velmi výhodný poměr ceny a průměru	



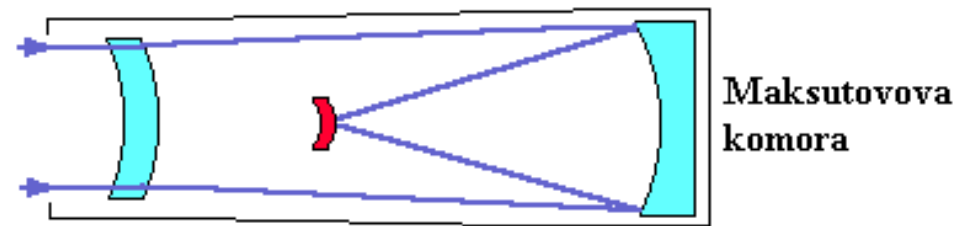
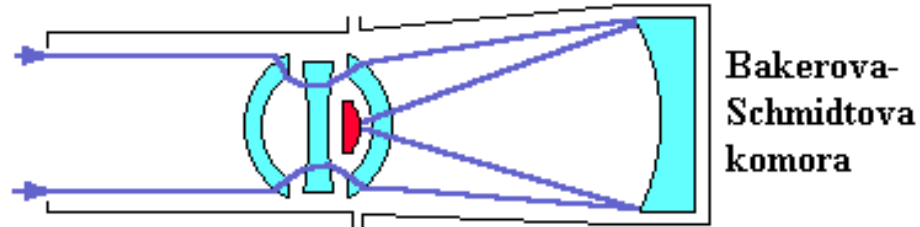
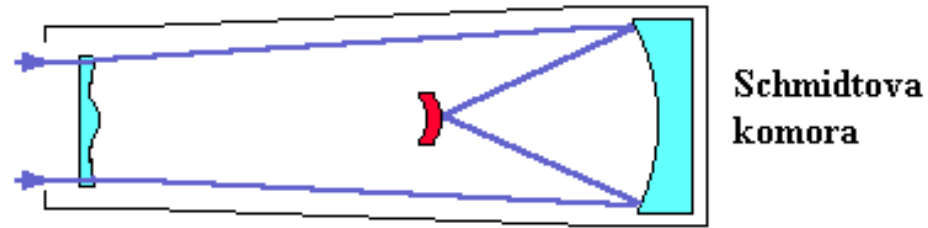
## Kombinované dalekohledy

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

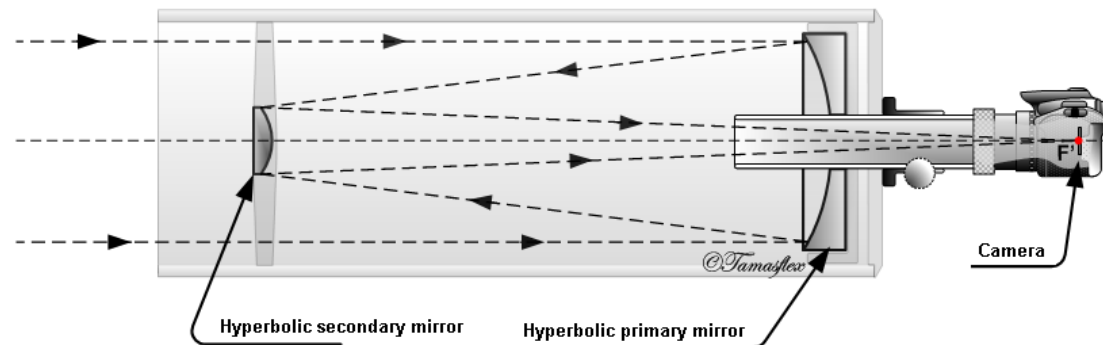
čočka – náprava chronických vad reflektorů (např. zvýšení kvality zobrazení ve větším zorném poli)







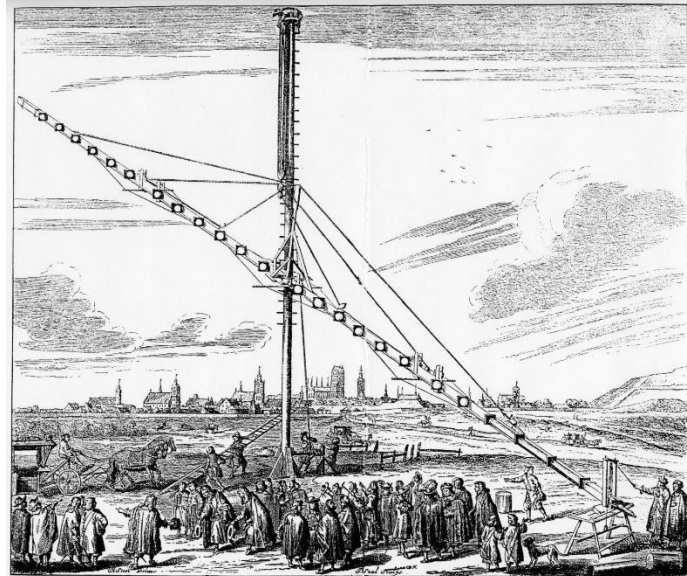
System Ritchey-Chretien – na HST, obě zrcadla hyperbolická



Ritchey - Chrétien (RCT)

# Montáže dalekohledů

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

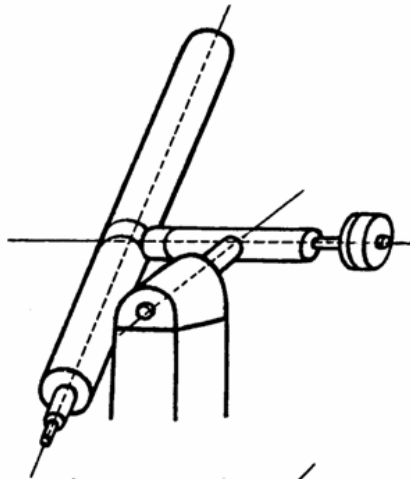


Montáže (podle orientace os):

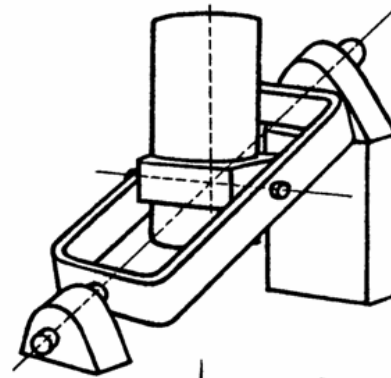
- **azimutální** - jedna osa je svislá, druhá vodorovná
- **paralaktické** - *polární osa* ( $\equiv$  světová osa), *deklinální osa*



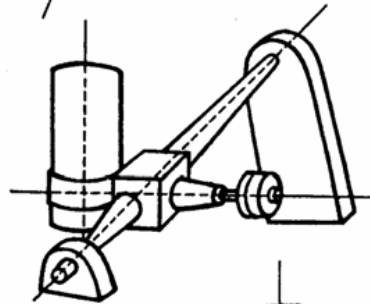
německá



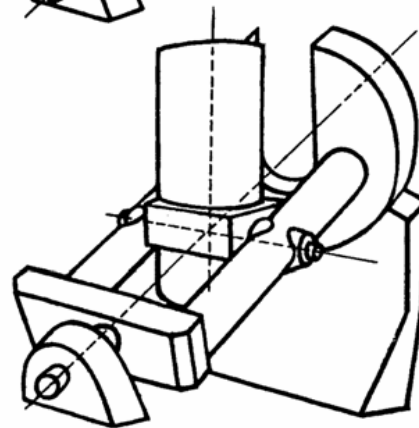
anglická rámová



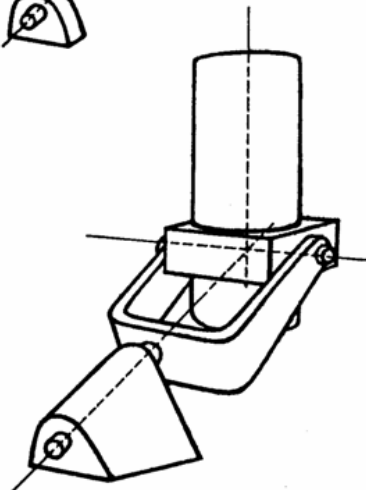
anglická osová



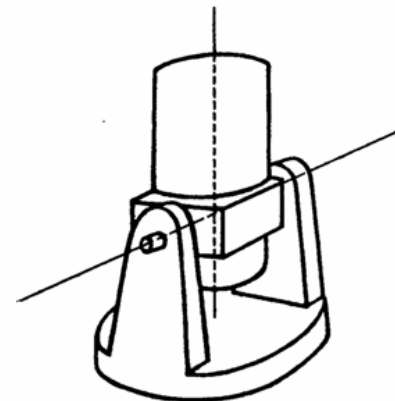
rámová s  
podkovou



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.



<b>Efekt. průměr</b>	<b>Přístroj</b>	<b>Observatoř</b>	<b>Umístění</b>
10.4	<a href="#">Gran Telescopio Canarias</a>	La Palma, Kanárské ostrovy, Španělsko	28 46 N; 17 53 W 2400 m
10.0	<a href="#">Keck</a>	Mauna Kea, Hawaii, USA	19 50 N; 155 28 W 4123 m
	<a href="#">Keck II</a>		
9.2	<a href="#">SALT</a> (11x9.8 m)	South African Astronomical Observatory, JAR	32 23 S; 20 49 E; 1759 m
9.2	<a href="#">Hobby-Eberly</a> (11x9.8 m)	Mt. Fowlkes, Texas, USA	30 40 N; 104 1 W; 2072 m
2x8.4	<a href="#">Large Binocular Telescope</a>	Mt. Graham, Arizona, USA	32 42 N; 109 53 W 3170 m
8.3	<a href="#">Subaru</a>	Mauna Kea, Hawaii, USA	19 50 N; 155 28 W;4100 m
8.2	<a href="#">Antu</a>	Cerro Paranal, Chile	24 38 S; 70 24 W 2635m
	<a href="#">Kueyen</a>		
	<a href="#">Melipal</a>		
	<a href="#">Yepun</a>		
8.1	<a href="#">Gillett</a>	Mauna Kea, Hawaii, USA	1950 N; 155 28 W,4100 m
	<a href="#">Gemini</a> South	Cerro Pachon, Chile	30 20 S;70 59 W (approx) 2737 m

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

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

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

**Hale Telescope (200")**  
Mt Palomar, California, USA (1948)

(1979–1998) (1999–)  
**Multiple Mirror Telescope**  
Mount Hopkins, Arizona, USA

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

**Gaia**  
Earth–Sun L2 point (2014)

**James Webb Space Telescope**  
Earth–Sun L2 point (2021)

Tennis court at the same scale

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

**Hobby–Eberly Telescope**  
Davis Mountains, Texas, USA (1996)

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

**Kepler**  
Earth-trailing solar orbit (2009)

**Hubble Space Telescope**  
Low Earth orbit (1990)

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

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

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

**Very Large Telescope**  
Cerro Paranal, Chile (1998, 1999, 2000, 2000)

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

**Overwhelmingly Large Telescope** (cancelled)  
Arecibo Observatory 305 m radio telescope at the same scale  
FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical [radio] Telescope) at the same scale

**Keck telescopes**  
Mauna Kea, Hawaii, USA (1993, 1996)

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

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

**Vera C. Rubin Observatory**  
Cerro Pachón, Chile (planned 2024)

**Giant Magellan Telescope**  
Las Campanas, Chile (planned 2029)

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

**Thirty Meter Telescope**  
Mauna Kea, Hawaii, USA (planned 2027)

**Extremely Large Telescope**  
Cerro Armazones, Chile (planned 2027)

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 (+Čína a Indie) 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)
- [Magdalena Ridge Observatory Telescope Array](#) (USA) 2.4 m+10 x 1.4 m  
(2020 – 2. dalekohled, problémy s financemi)

## 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), 0.05m 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

1837 - Wilhelm Beer a Johann Heinrich Mädler - diskuse o výhodách observatoře na Měsíci

1923 – první návrhy na dalekohledy v kosmu - Hermann Oberth

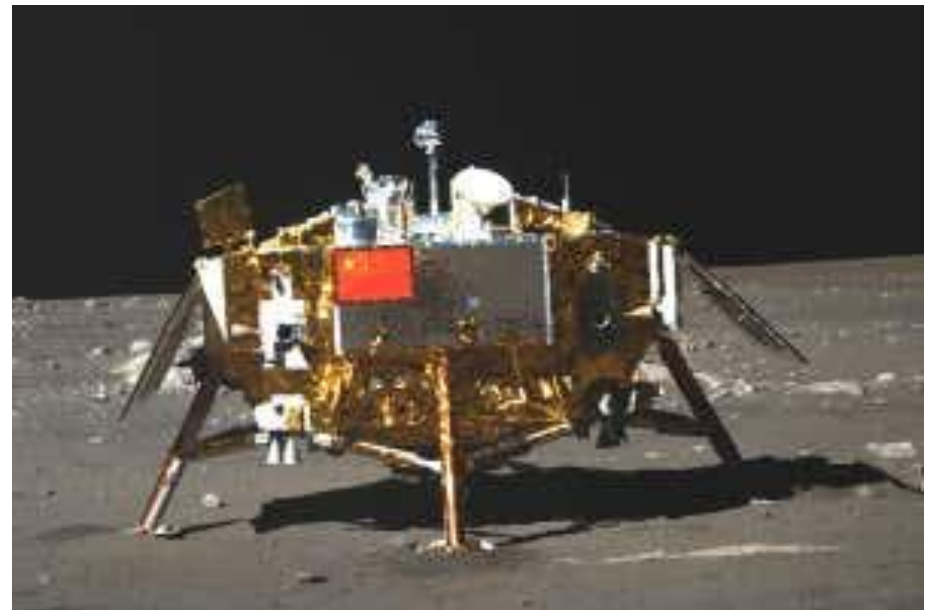
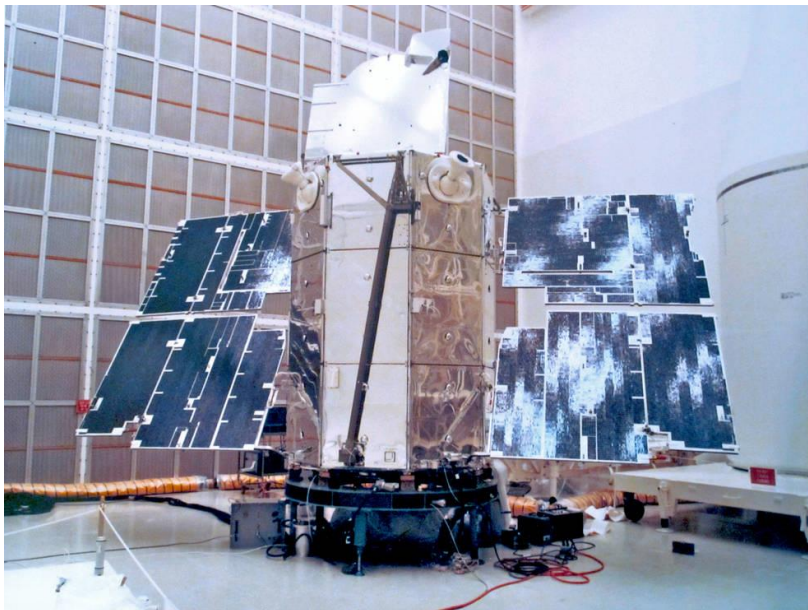
1946 – projekt kosmického dalekohledu - Lyman Spitzer (1914–1997)

1968 – Orbiting Astronomical Observatory (OAO-2)

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

2013 – Chang'e 3 – 15cm dalekohled na Měsíci



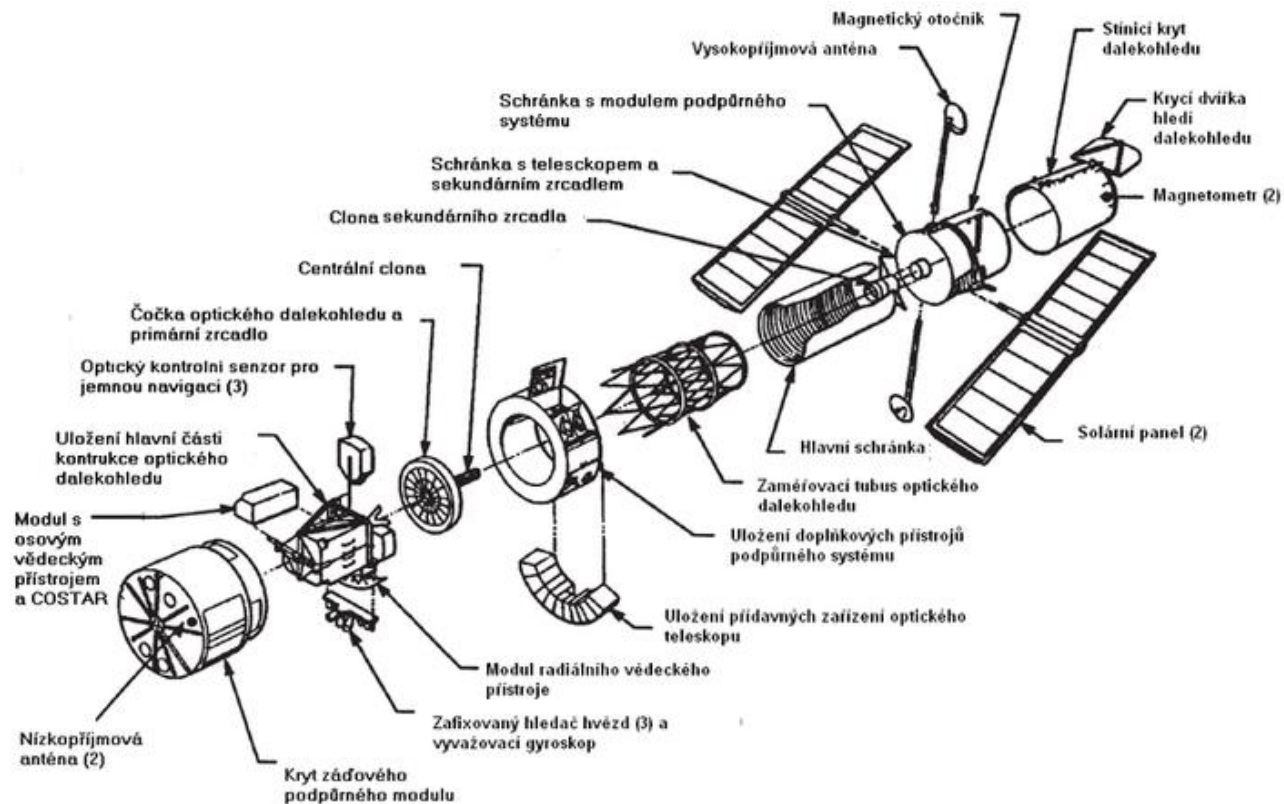


# Hubbleův kosmický dalekohled

– 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



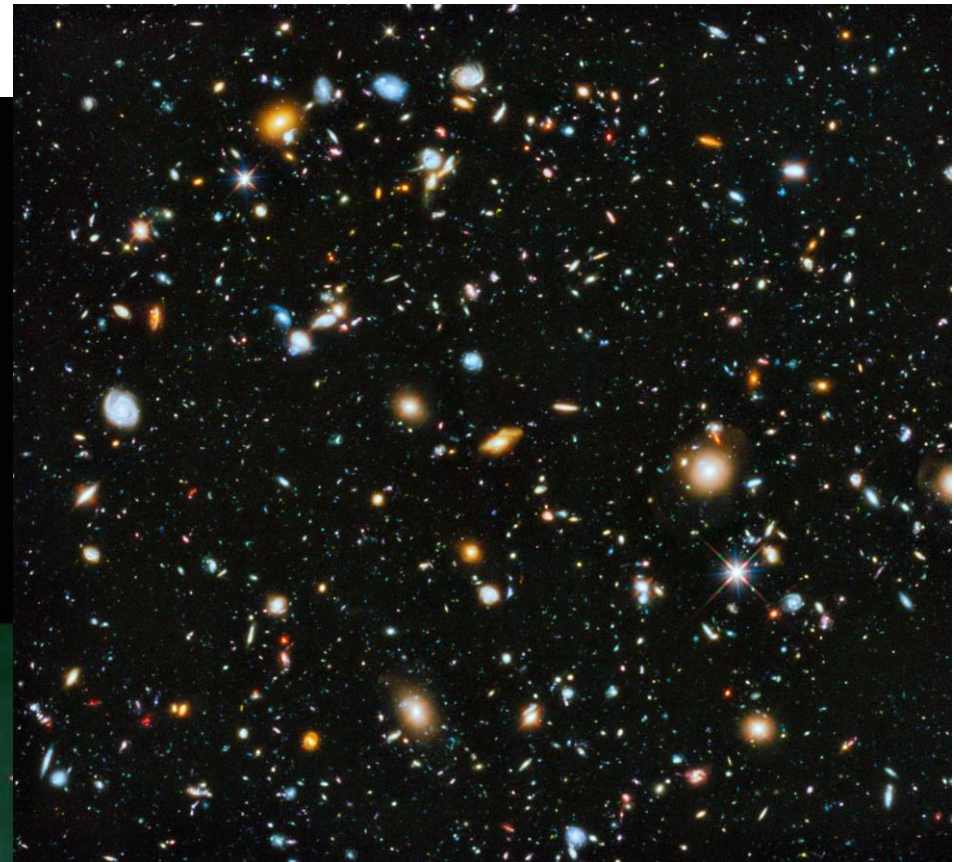
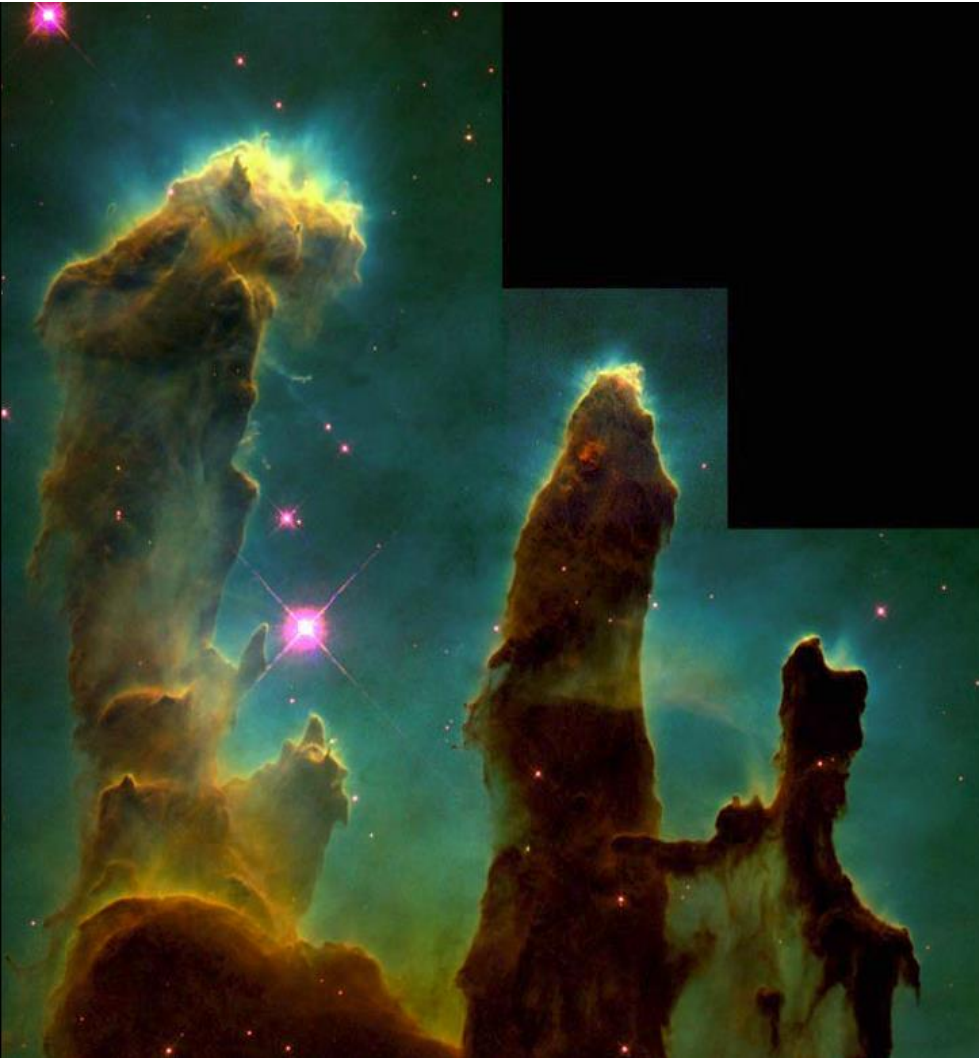


<https://hubblesite.org/>

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/hubble/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html)

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

<https://esahubble.org/>



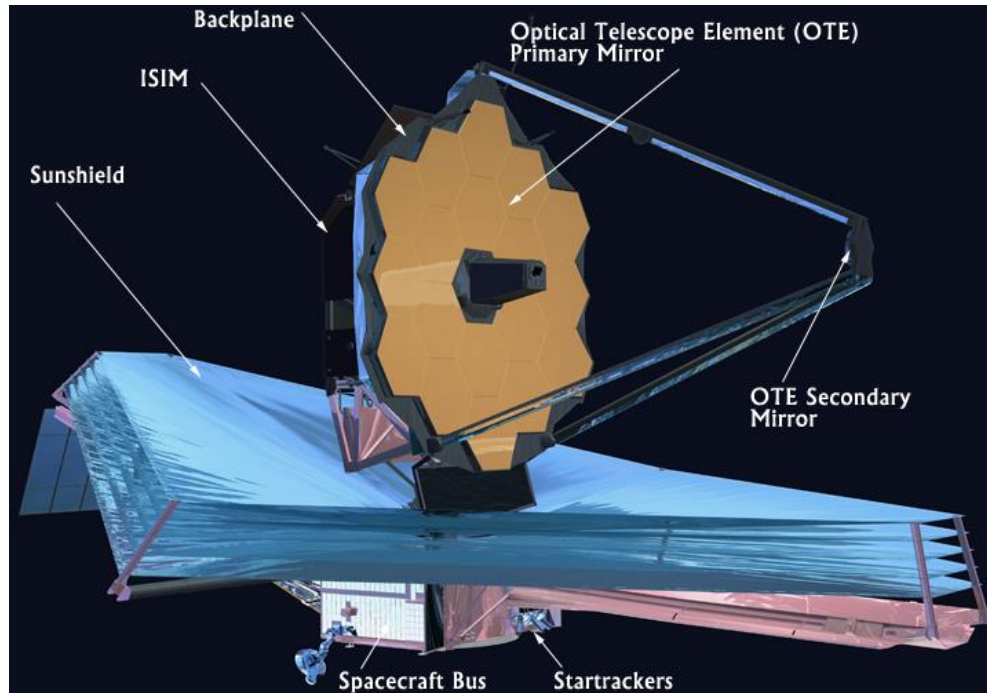
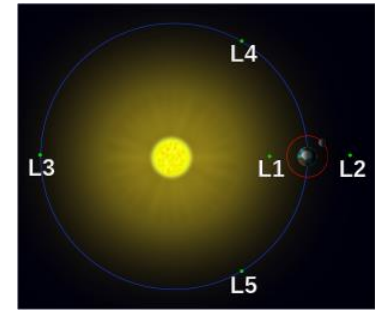
# James Webb Space telescope

1996 - 1. studie Next Generation Space Telescope  
2007 – první plánovaný termín startu, rozpočet 1 mld \$  
start 25. 12. 2021 – 6,5 m zrcadlo; rozpočet 10 mld \$

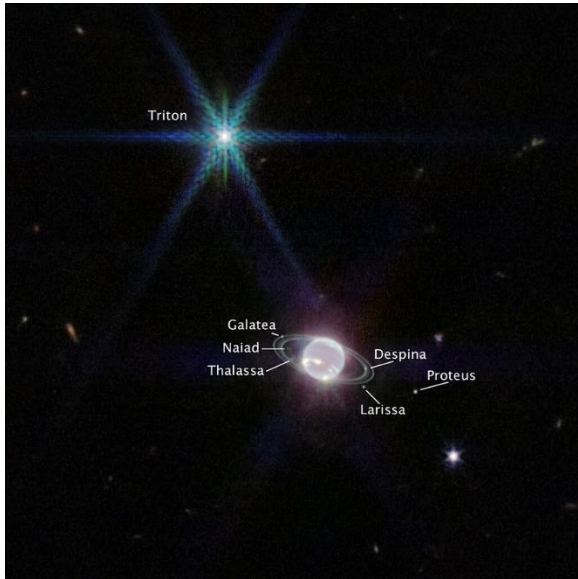
<https://webb.nasa.gov/>

<https://webbtelescope.org/>

<https://www.jameswebbdiscovery.com/discoveries/all-james-webb-telescope-discoveries>











# 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  $\mu$ s pro objekty <12 mag

25  $\mu$ s pro objekty <15 mag

300  $\mu$ s pro objekty <20 mag

## Spektroskopie:

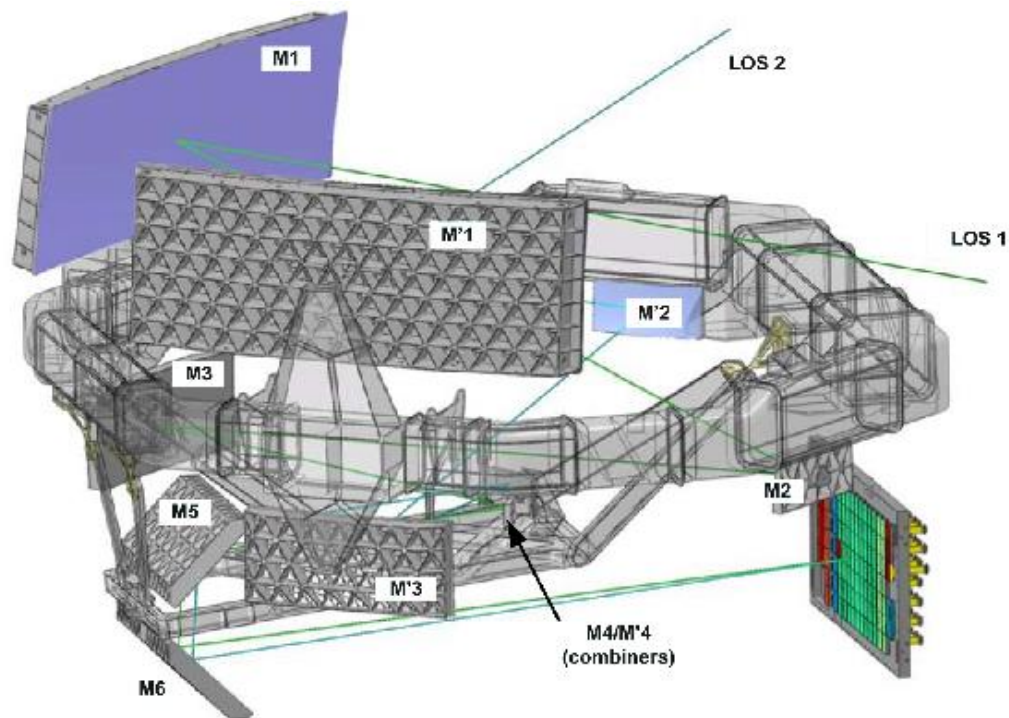
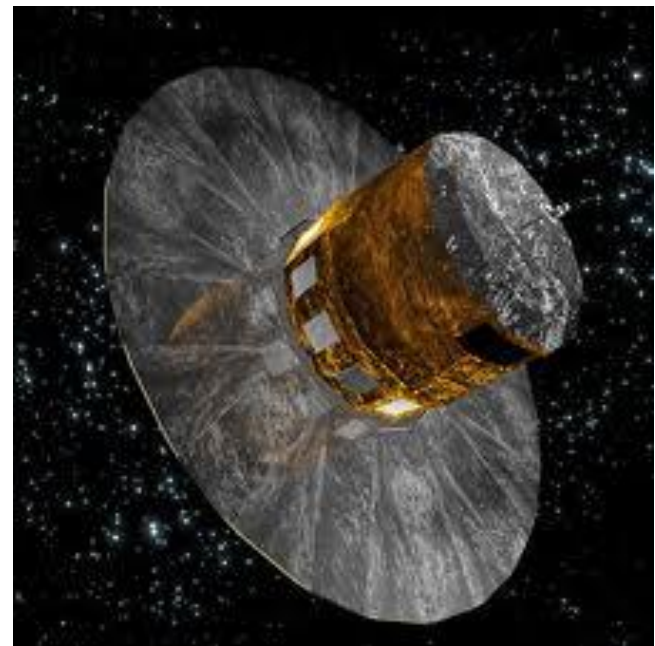
radiální rychlosti s přesností

2 - 10 km/s pro objekty <17 mag

dvě zrcadla – 1,45x0,5 m

řada CCD kamer,

celkem 4500 x 1966 pixelů





# Další kosmické dalekohledy

projekt NASA *Origins* - velké astronomické dalekohledy

Comptonova observatoř - pro sledování objektů v oboru  $\gamma$  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)

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

BRITE – nanosatelity (3 cm), GRBA $\alpha$  - MUNI

