

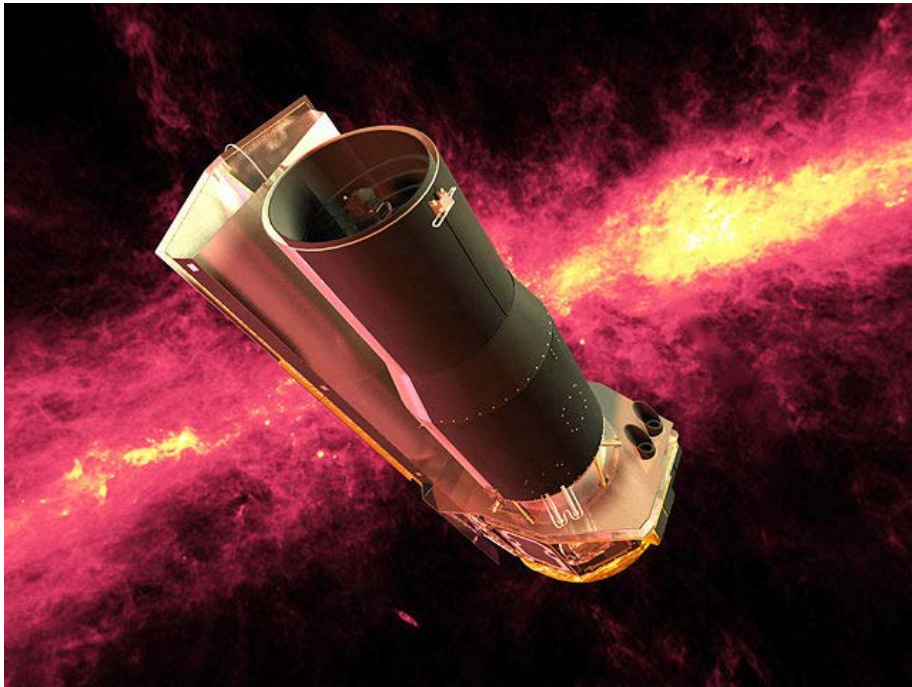
Moderní observatoře

Pozorování z kosmu, v atmosféře, na zemi i v podzemí

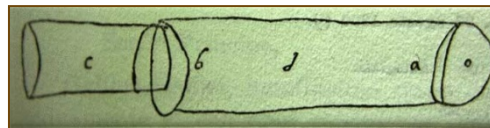
V minulosti jen dalekohledy - jednoduché přístroje (v principu)

- moderní teleskopy - nové technologie - zvýšení účinnosti

- obří teleskopy, urychlovače - největší přístroje



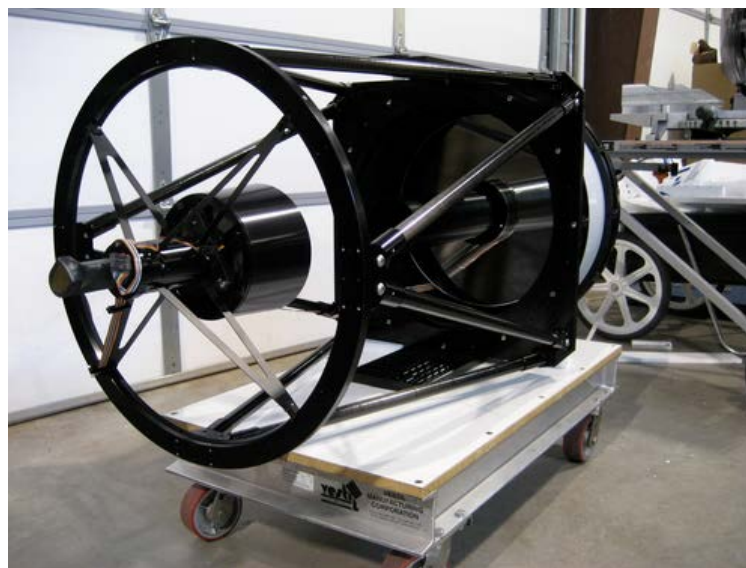
Funkce dalekohledu



- sběrač světla – větší sběrná plocha
- zvětšení rozlišovací schopnosti

Typy dalekohledů

- čočkové
- zrcadlové
- kombinované



Zrození dalekohledu

II. Historie

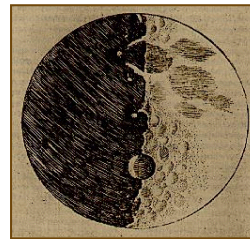
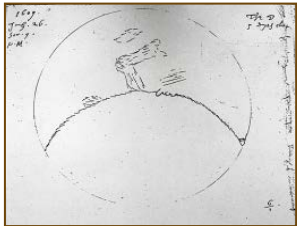
2.10.1608 – přihláška patentu dalekohledu – **Hans Lippershey**
odmítnut – přístroj je již znám!

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. Dec.	* ○ *
8. Jan. 1610.	* * * ○
10. Febr.	* * * ○ *
11.	* * * ○ *
12. Martij.	* * * ○ *
13. April.	* * * ○ *
14. Maij.	* * * ○ *



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

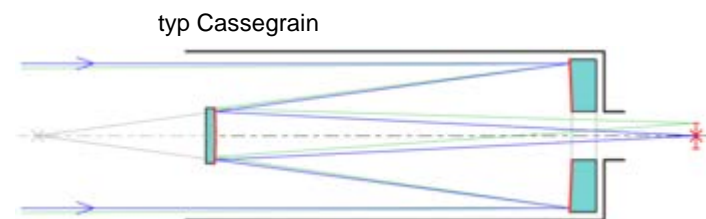
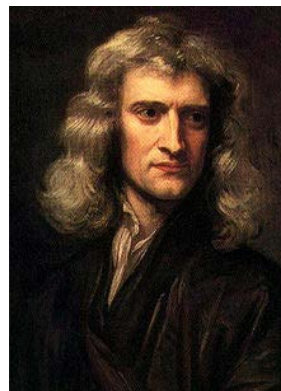
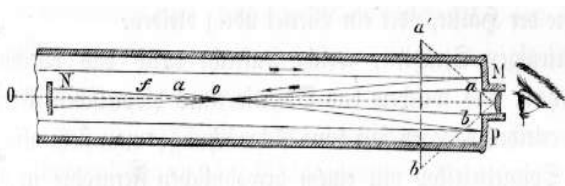
1550-1570 Leonard Digges

1616 Nicollò Zucchi – bronzové vyduté zrcadlo (neúspěch)

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

1668 Isaac Newton – jednoduchý systém s dutým zrcadlem

1672 Laurent Cassegrain – podobný systém jako Gregory



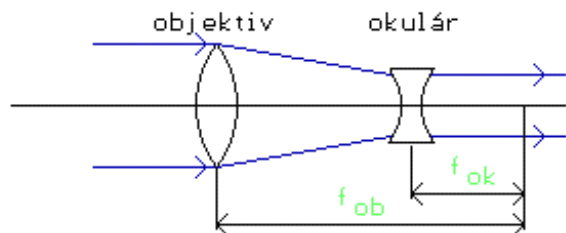
Čočkové dalekohledy (refraktory)

Keplerův dalekohled (2 spojné čočky):

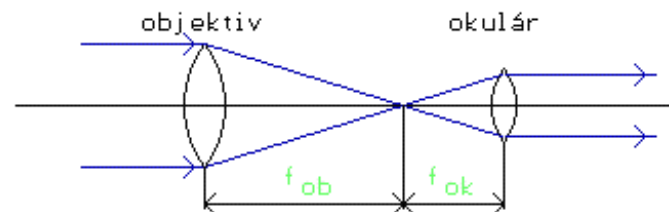
Objektiv – spojka, velká ohnisková vzdálenost f_{ob} , obraz vzdáleného předmětu v ohniskové rovině je převrácený, zmenšený a skutečný

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

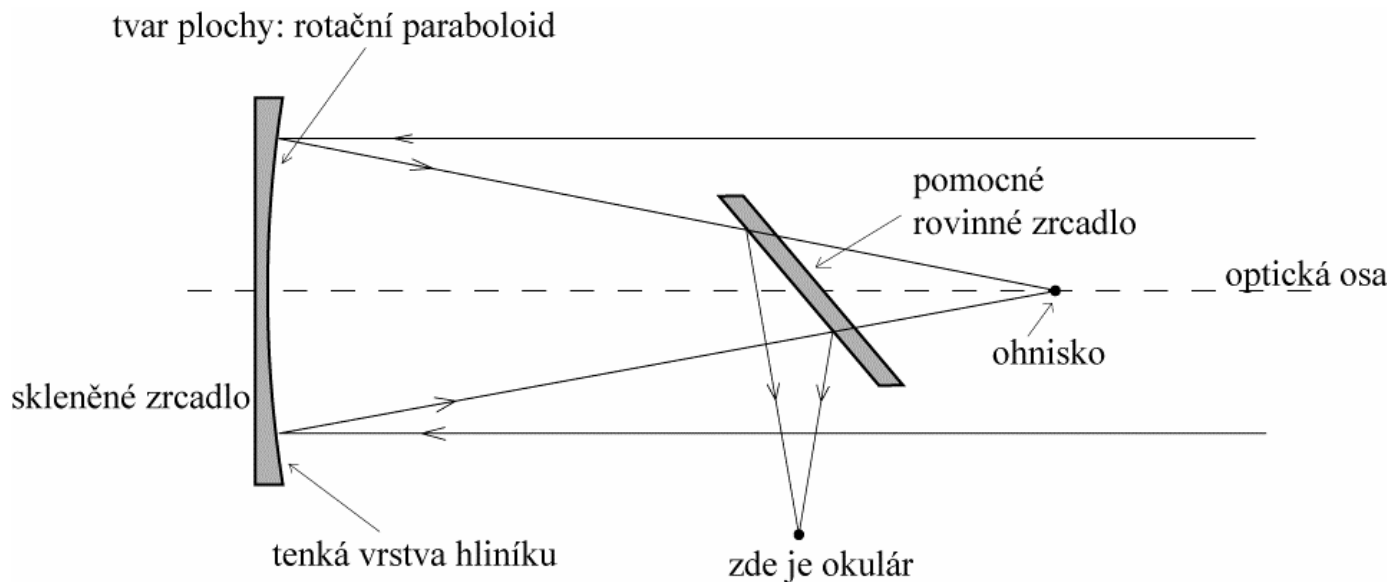
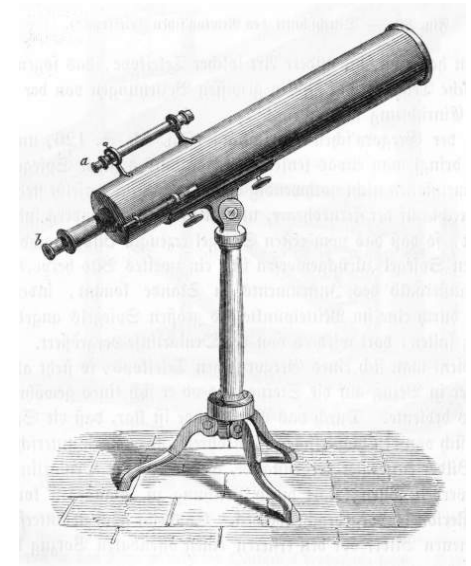
110(98) cm – Švédský solární teleskop,
La Palma (2002-)

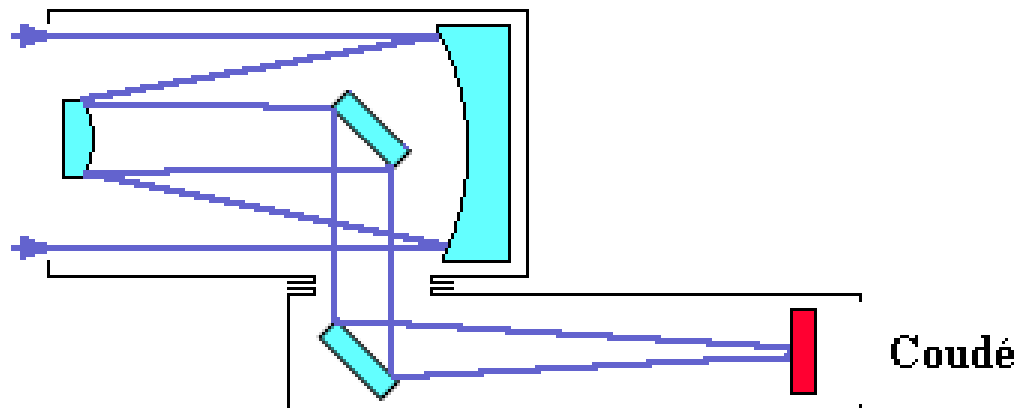
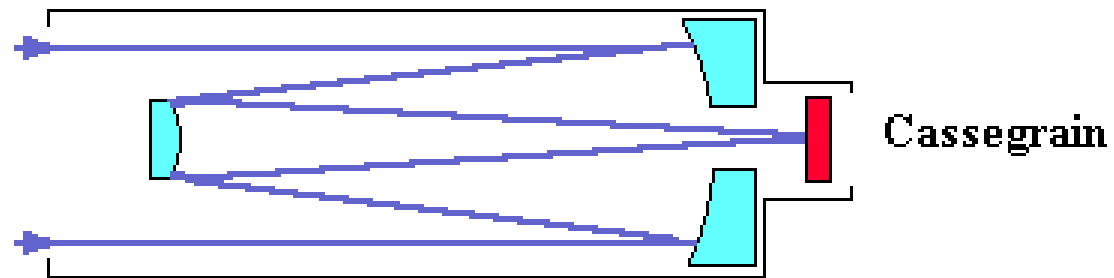
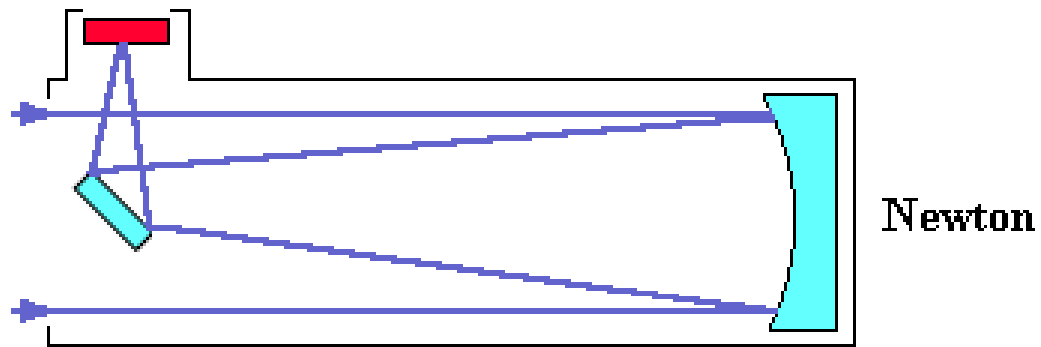
102 cm – Yerkes observatory (1897-)



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



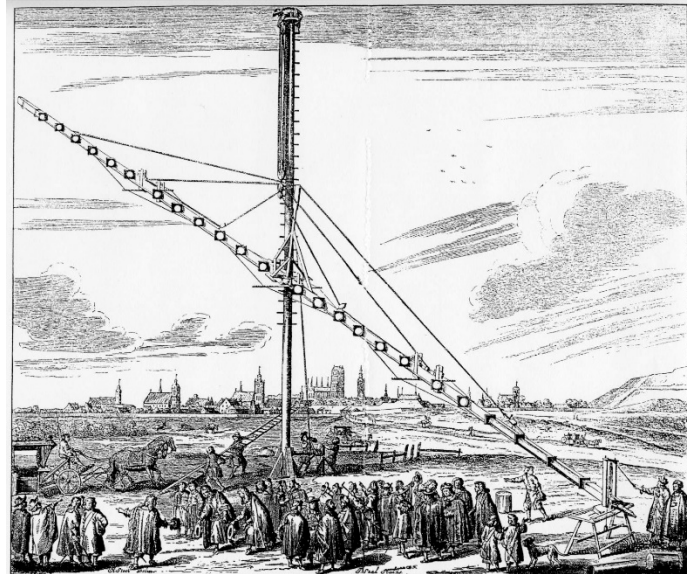


Montáže dalekohledů

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*



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

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)

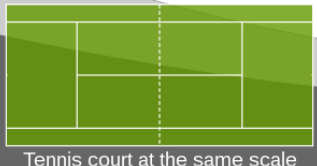
Hale Telescope (200")
Mt Palomar, California, USA (1948)

(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)

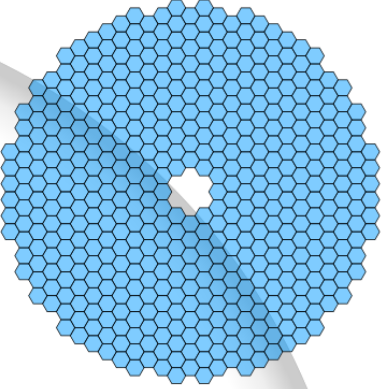
Gemini North
Mauna Kea, Hawaii, USA (1999)

Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)

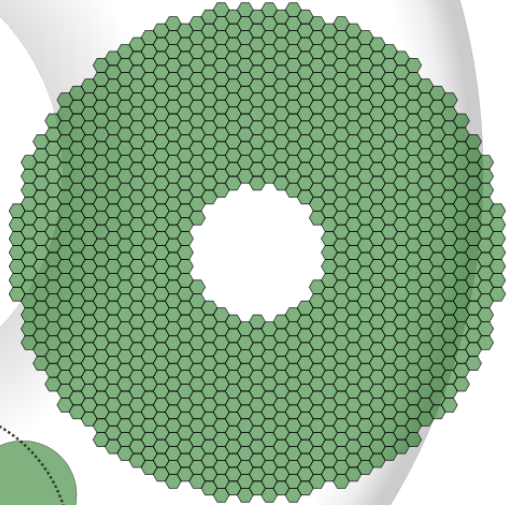
Vera C. Rubin Observatory
Cerro Pachón, Chile (planned 2024)

Giant Magellan Telescope
Las Campanas, Chile (planned 2029)

Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii, USA (1999)

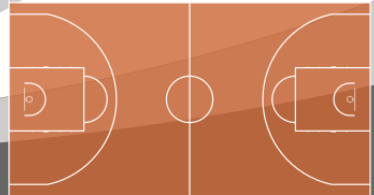
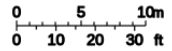


Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii, USA (planned 2027)

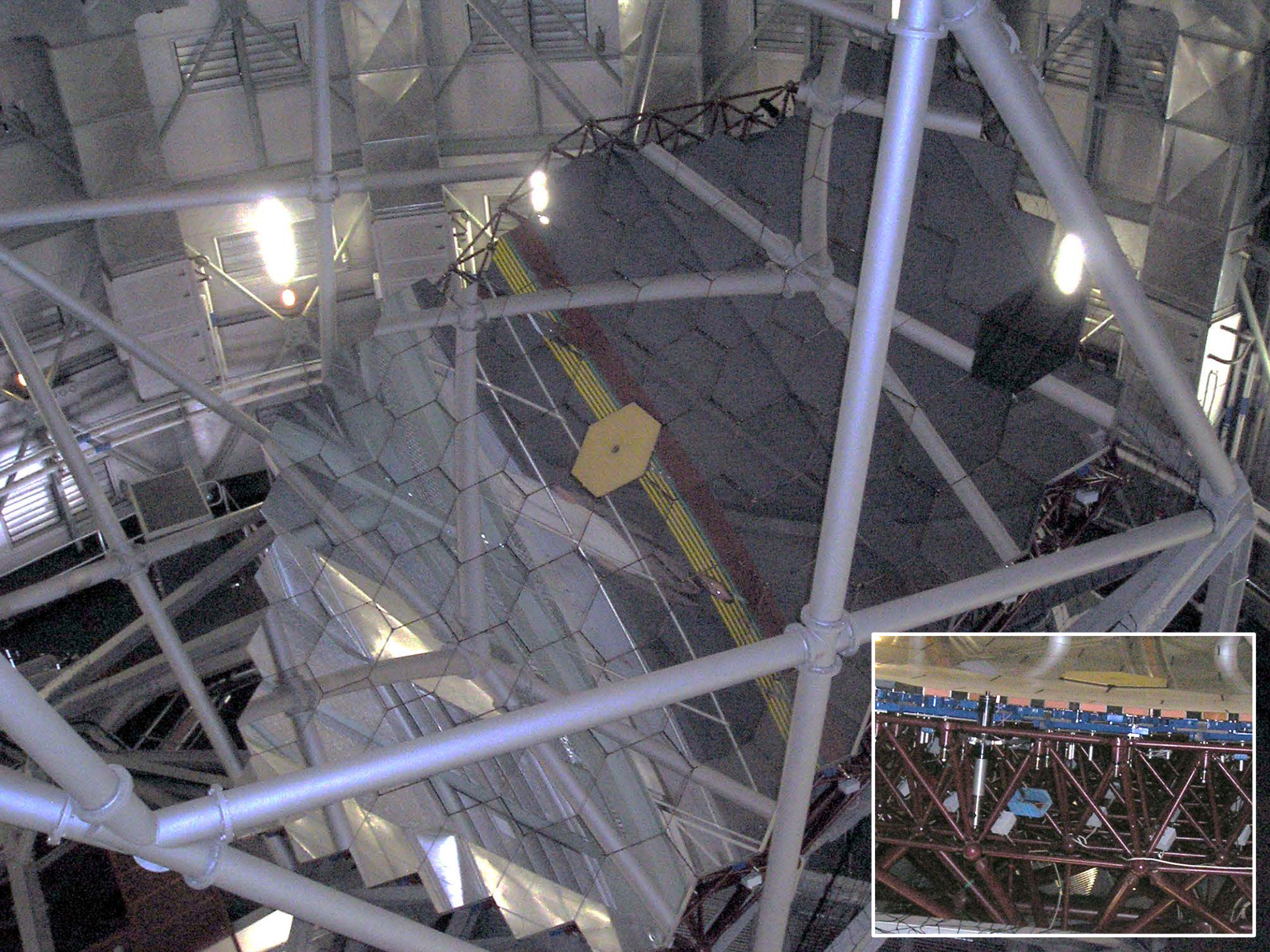


Extremely Large Telescope
Cerro Armazones, Chile (planned 2027)

Human at the same scale

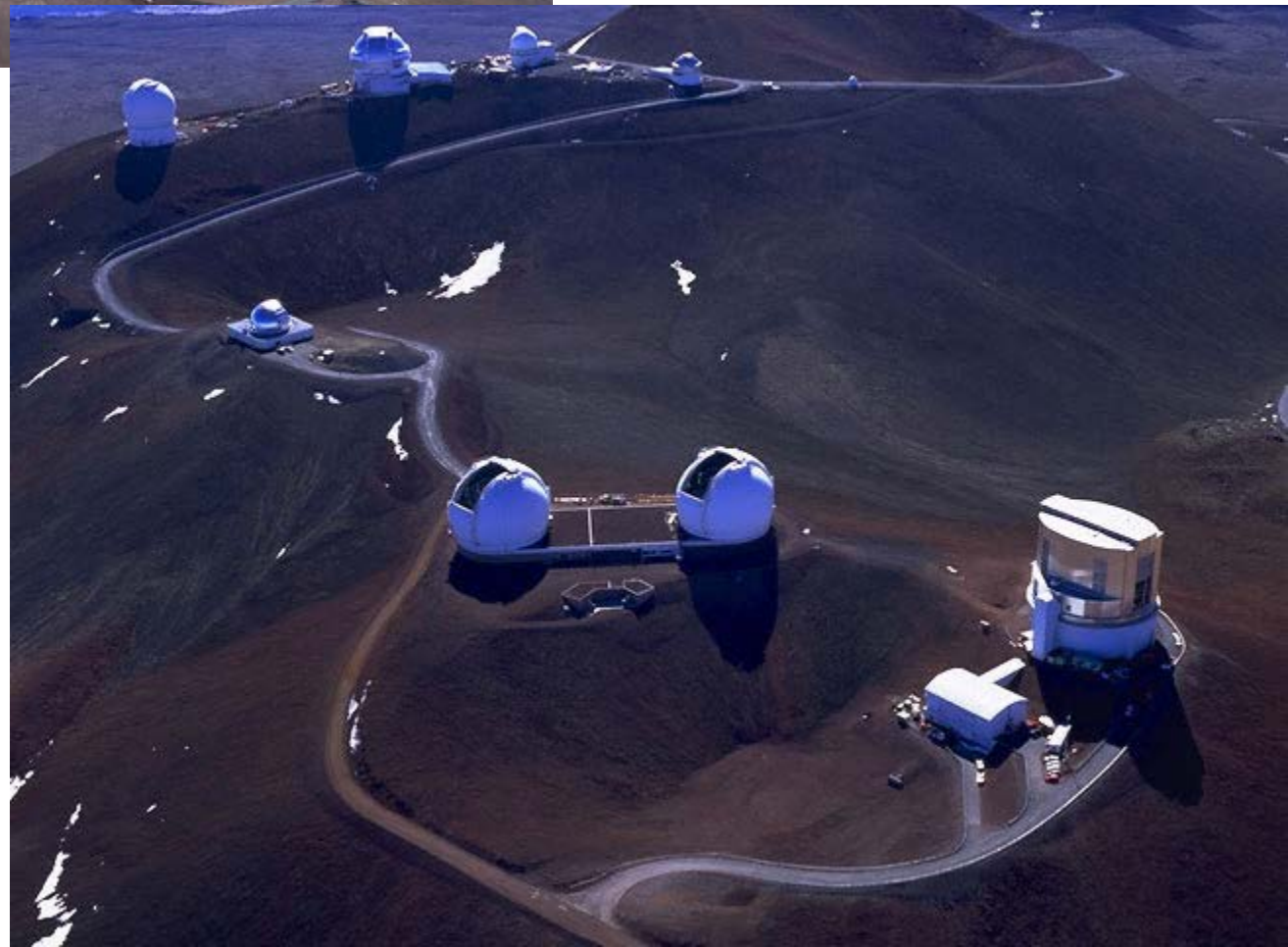


Basketball court at the same scale





Část observatoří
na havajské hoře
Mauna Kea.





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



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)
- Vera Rubin Observatory ([Large Synoptic Survey Telescope](#)) 8.4 m, USA (2025)



Kosmické teleskopy

1923 – první návrhy na dalekohledy v kosmu - Hermann Oberth

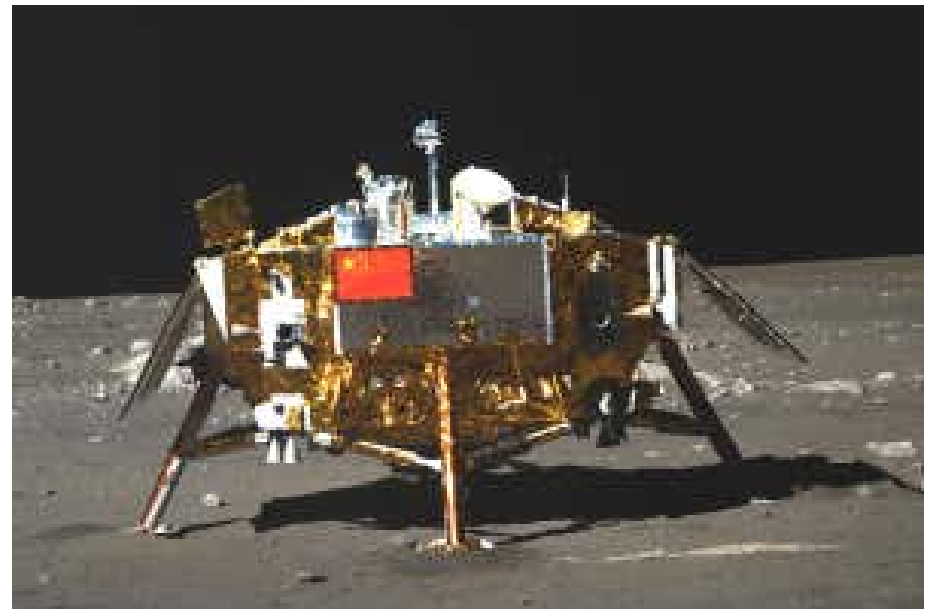
1946 – projekt kosmického dalekohledu - Lyman Spitzer (1914–1997)

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



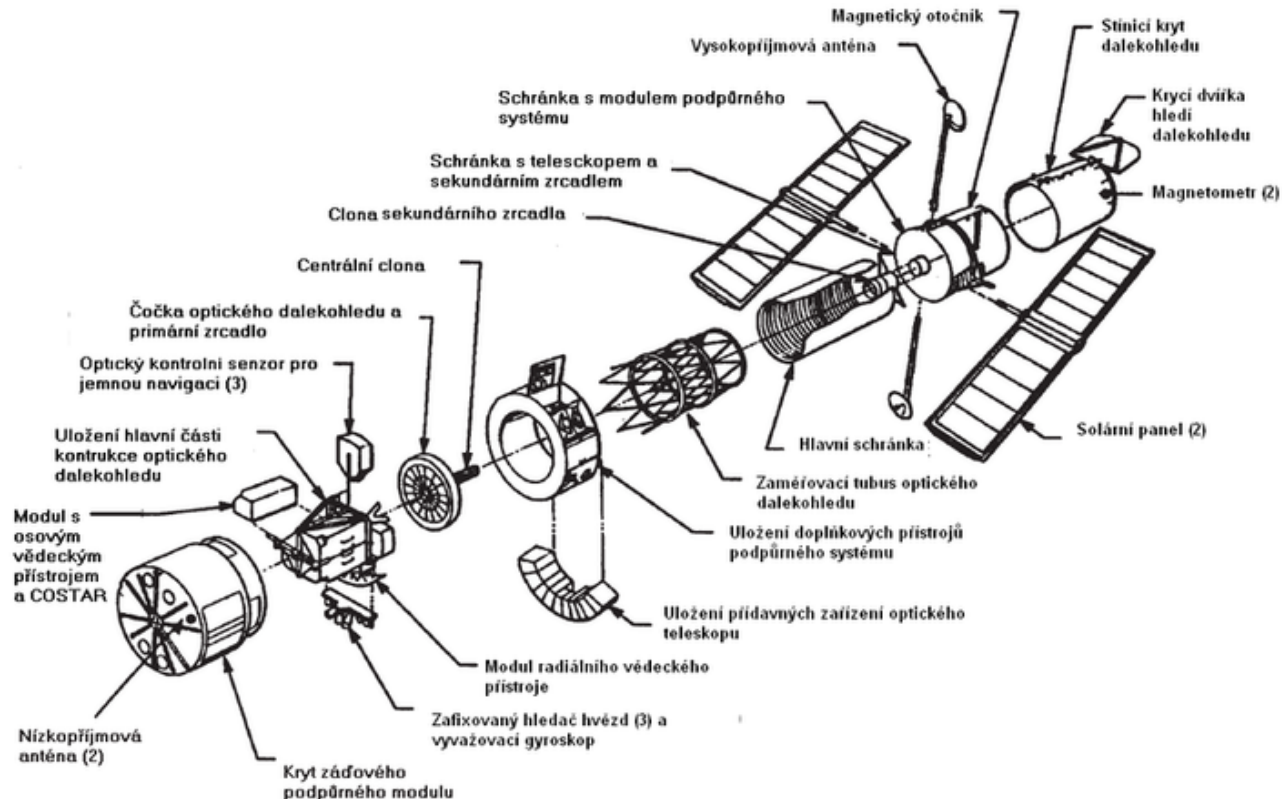
Hubbleův kosmický dalekohled

– 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 mm , sekundární 30 cm,
systém Ritchey-Chrétien (typ Cassegrain); cena 1,5 mld dolarů

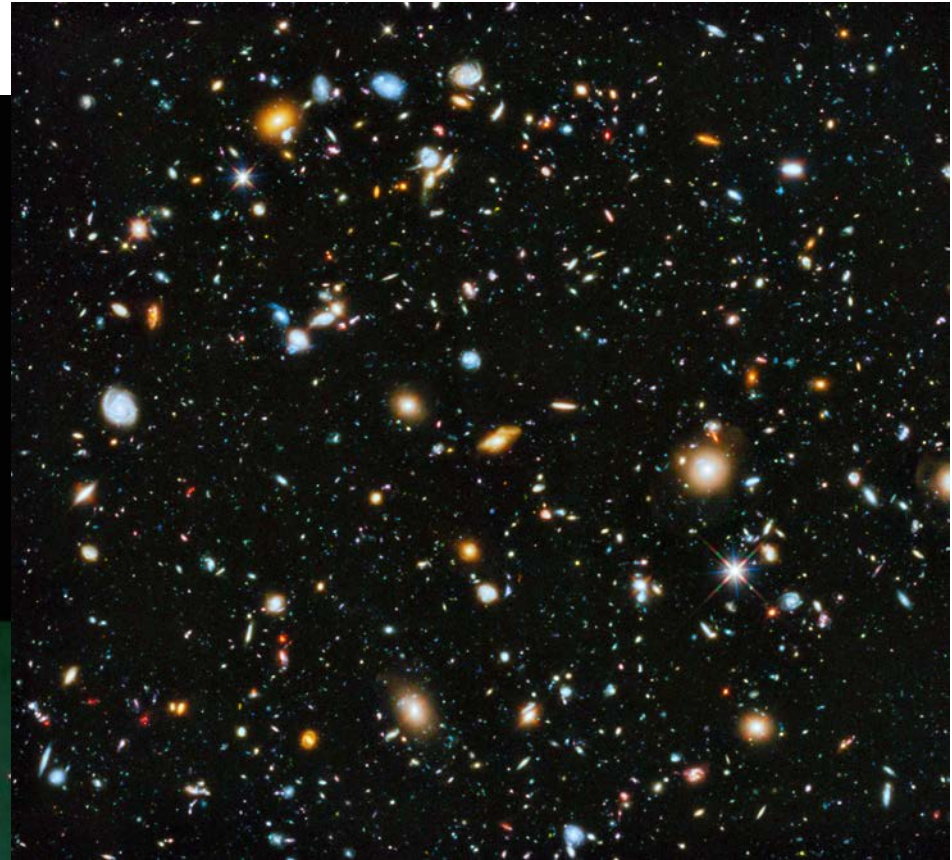
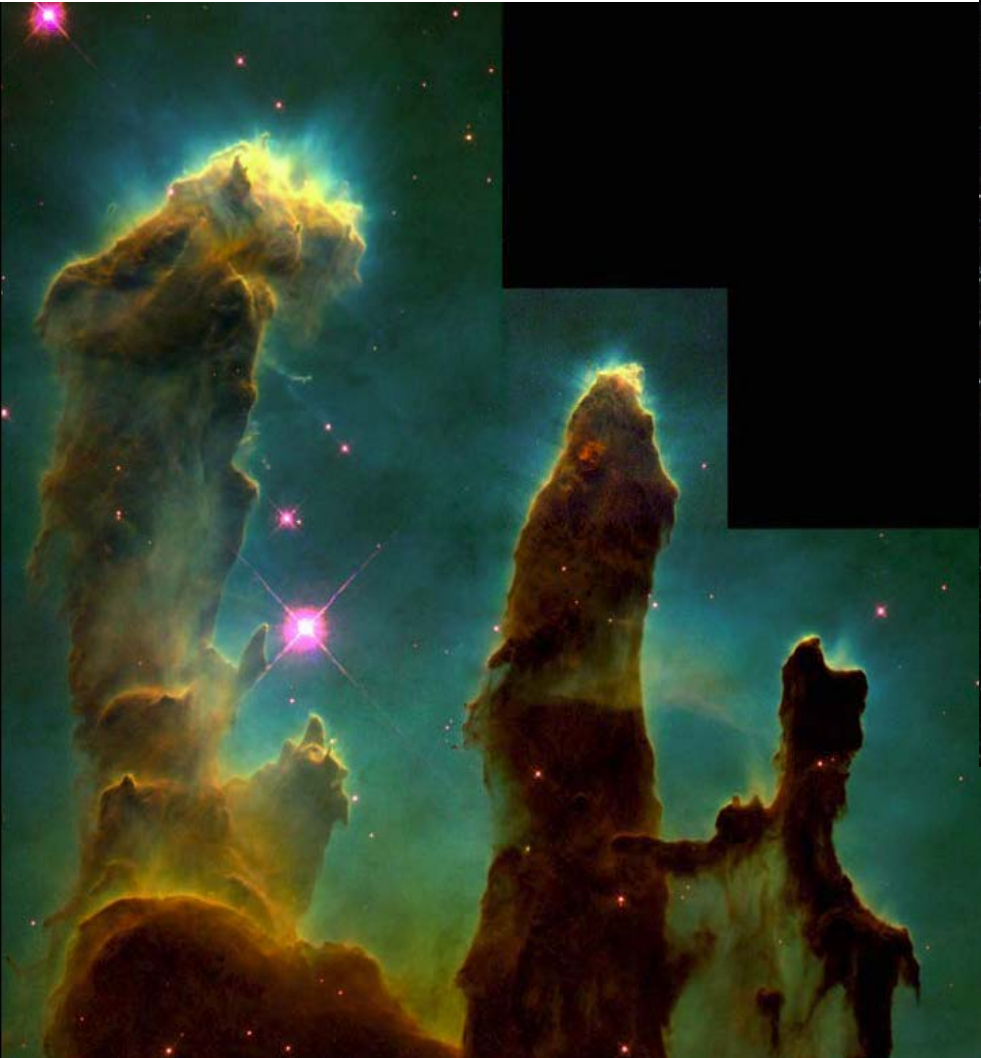


<https://hubblesite.org/>

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

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

<https://esahubble.org/>



James Webb Space telescope

1996 - 1. studie Next Generation Space Telescope

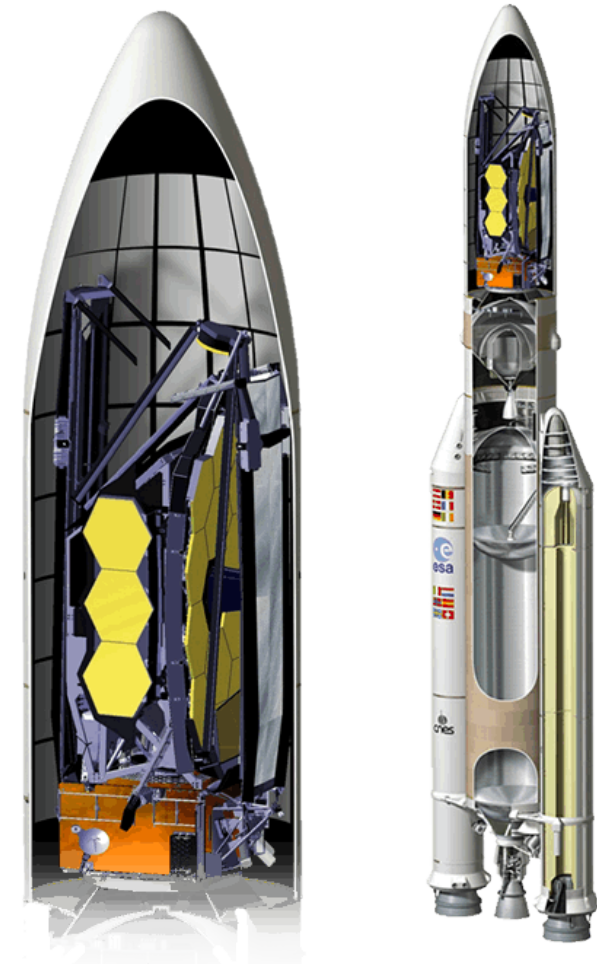
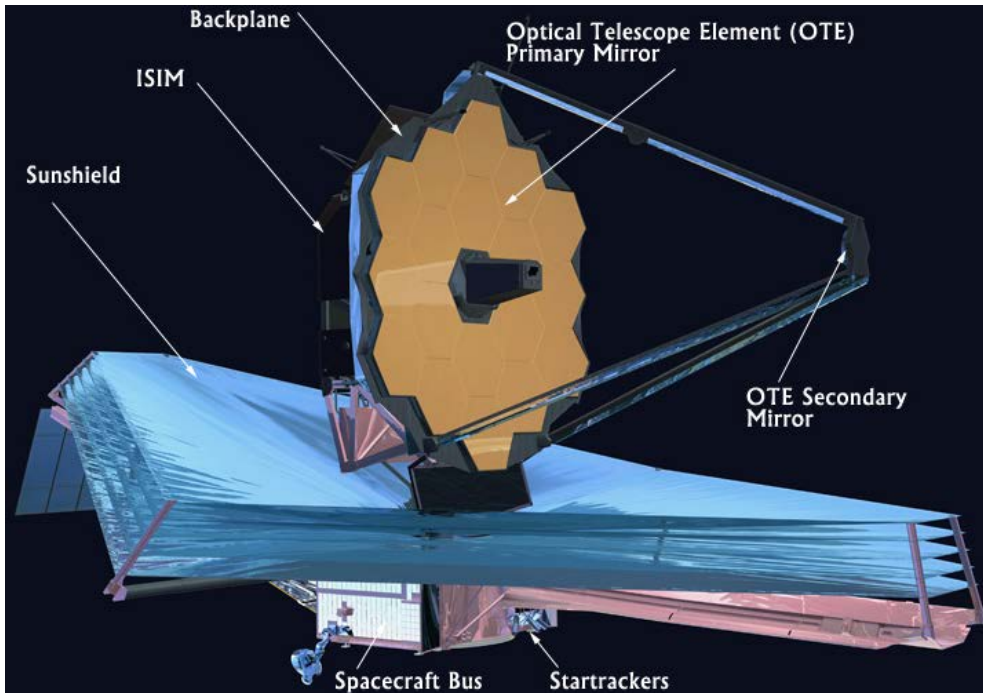
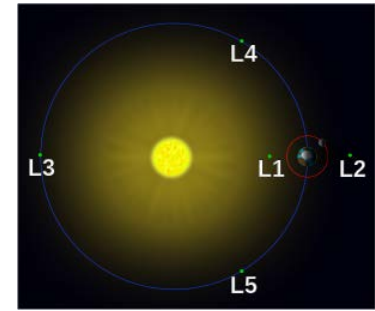
2007 – první plánovaný termín startu, rozpočet 1 mld \$

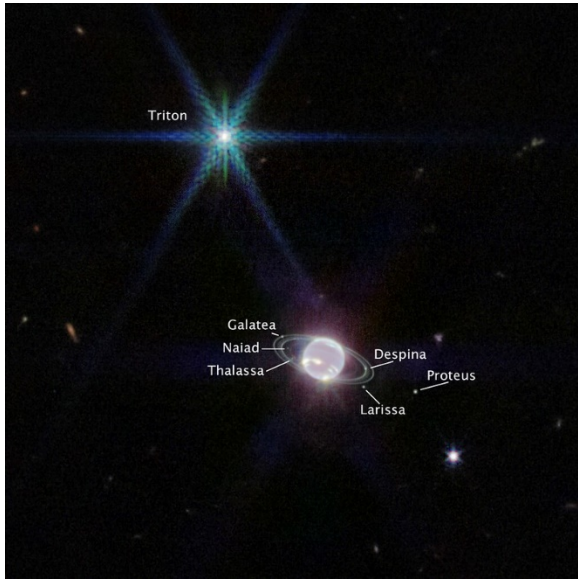
start 25. 12. 2021 – 6,5 m zrcadlo; rozpočet 10 mld \$

<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 μ s pro objekty <12 mag

25 μ s pro objekty <15 mag

300 μ s pro objekty <20 mag

Spektroskopie:

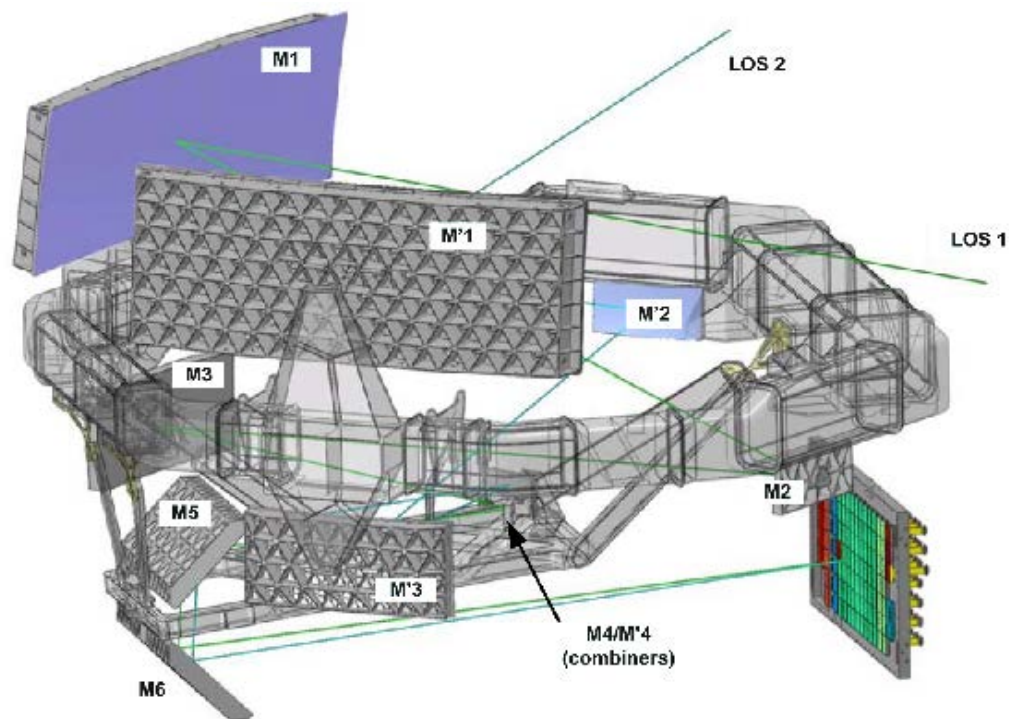
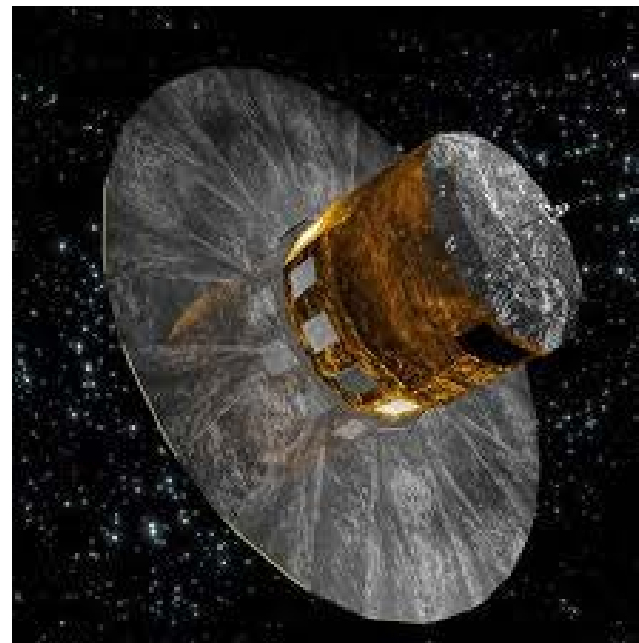
radiální rychlosti s přesností

2 - 10 km/s pro objekty <17 mag

dvě zrcadla – 1,45x0,5 m

řada CCD kamer,

celkem 4500 x 1966 pixelů



Další kosmické dalekohledy

projekt NASA *Origins* - velké astronomické dalekohledy

Comptonova observatoř - pro sledování objektů v oboru γ záření,

Chandra - rentgenová observatoř

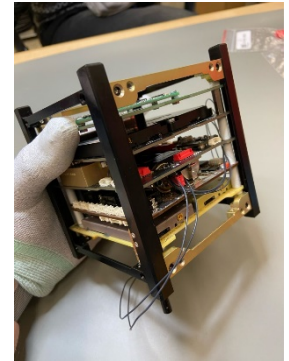
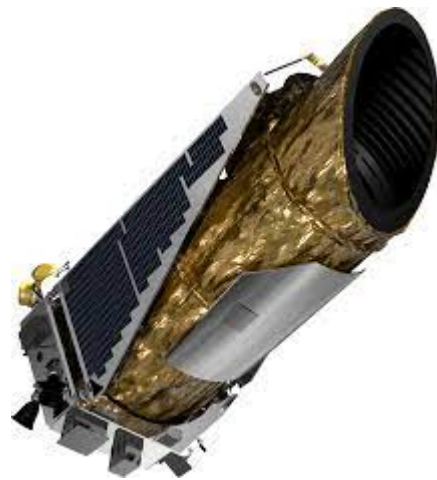
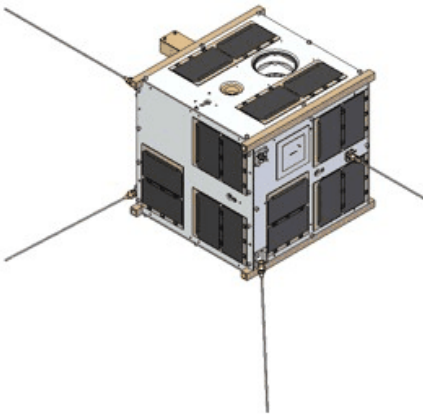
Spitzerův kosmický dalekohled - reflektor 0,85 m, od 2003, IR obor ($\lambda = 3-180 \mu\text{m}$)

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

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

BRITE – nanosatelity (3 cm),

GRBAlpha, GRBBeta, QUVIK – MUNI



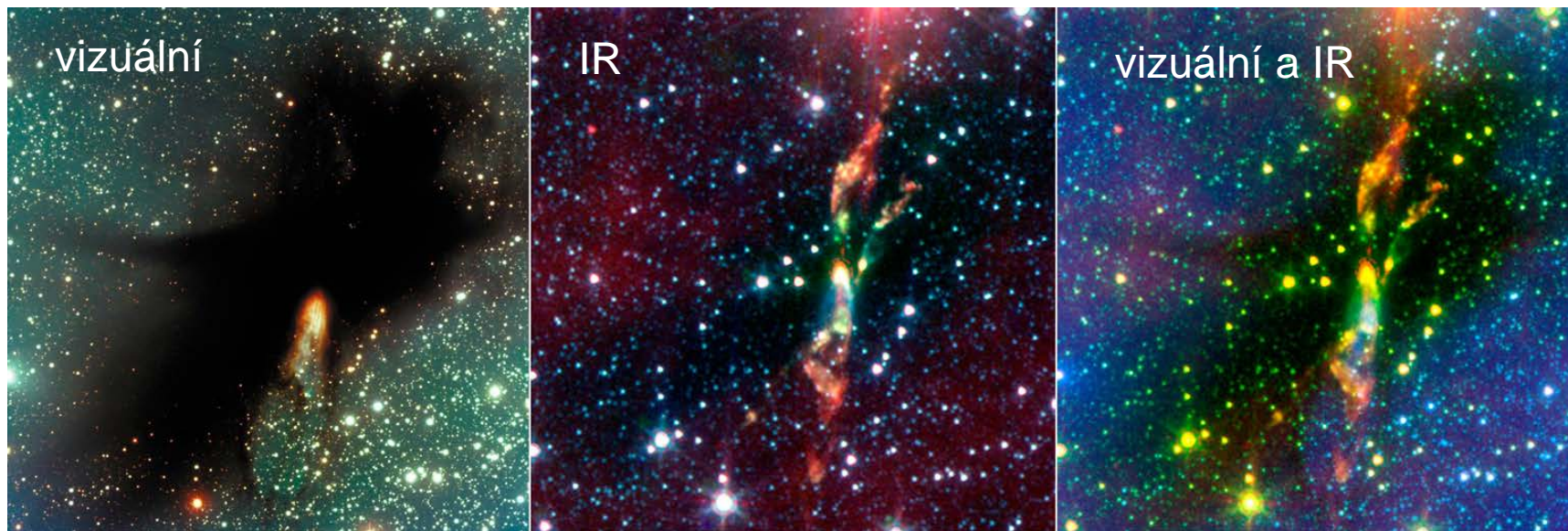
Neoptická, nevizuální astronomie

- **nevizuální části elmag spektra:**

- **gama-astronomie** – družice, balóny, Čerenkovovy dalekohledy, GRBAAlpha
- **rentgenová astronomie** – družice např. Chandra
- **ultrafialová astronomie** – vysokohorské observatoře, balóny, družice
- **infračervená astronomie** – vysokohorské observatoře, balóny, družice, letecká observatoř SOFIA
- **mikrovlnná astronomie** – např. projekt ALMA
- **radioastronomie**

- **částicová astronomie**

- **gravitační vlny**



Nevizuální astronomie

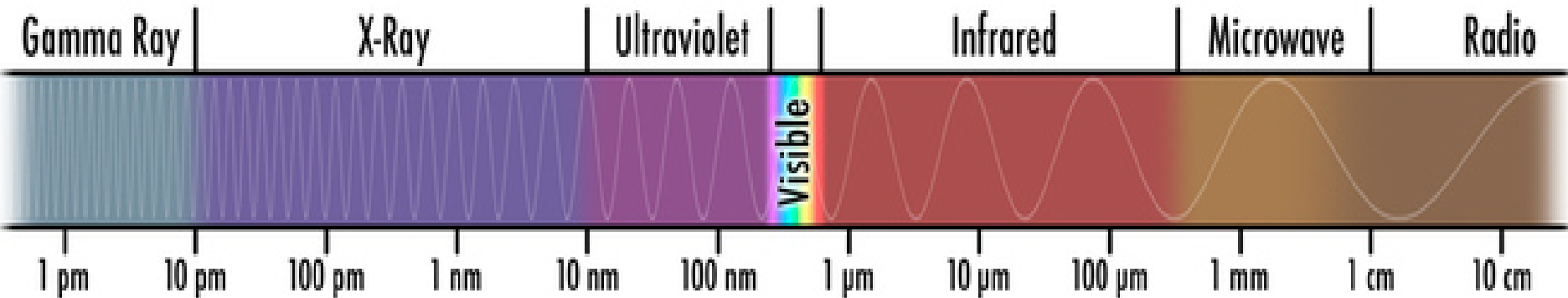
Astronomie v částech elektromagnetického spektra mimo vizuální oblast

Gama	< 0,01 nm
Rentgenová	0,01 nm – 50 nm
Ultrafialová	50 nm – 380 nm
Vizuální	380 nm – 760 nm
Infračervená	760 nm – 0,3 mm
Mikrovlnná	0,3 mm – 1 m
Rádiová	1m – 100 km

Energie: $E = h\nu$

Rychlost šíření: $c = \lambda\nu$

Hybnost: $p = h/\lambda$



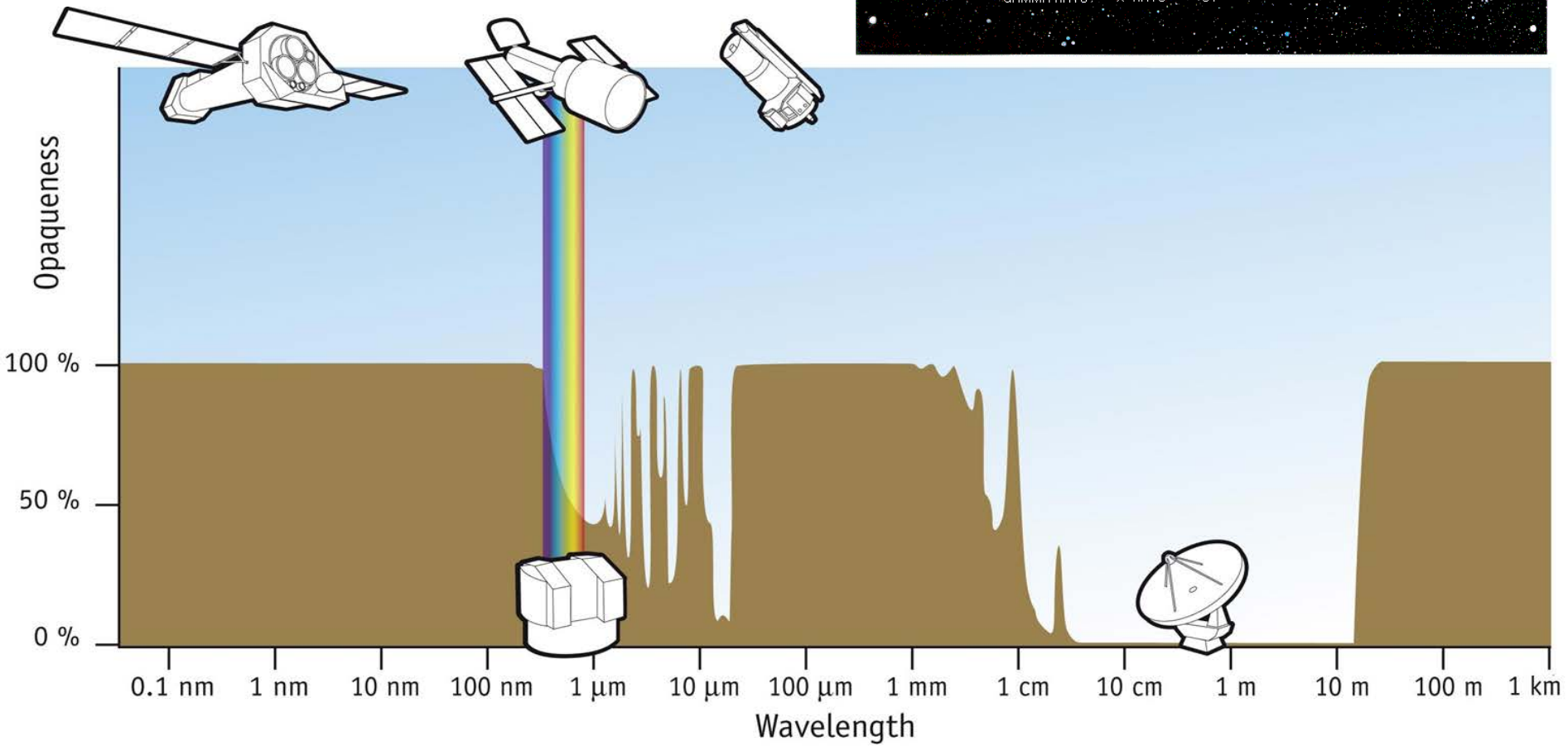
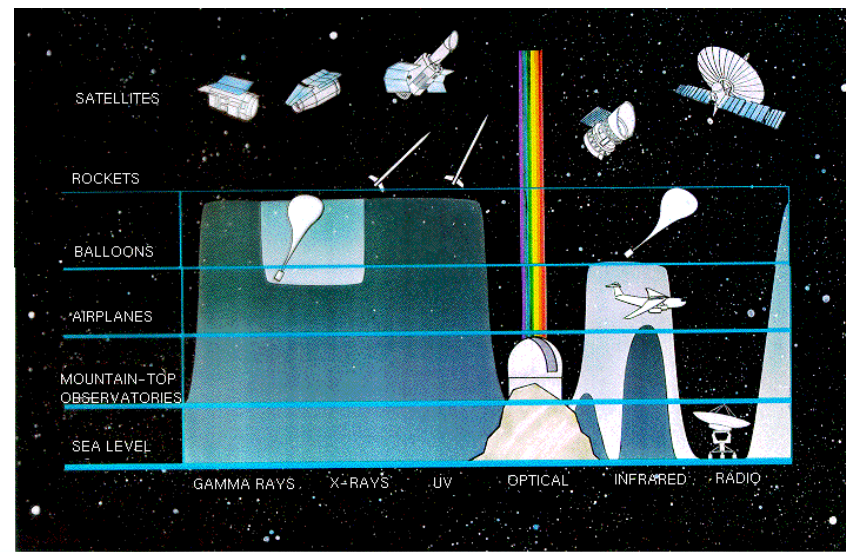
V krátkovlnné oblasti se udávají místo vlnových délek energie, v dlouhovlnné oblasti se používají frekvence

1 eV odpovídá 1240 nm

1 GHz odpovídá 0.3 m

Z povrchu Země

informace z vesmíru dostupné jen
v **atmosférických oknech**



Radioastronomie

radioastronomie - nejstarší a nejvýznamnější část neoptické astronomie

Základní přístroj radioastronomie – **radioteleskop**

- výsledný „obraz“ - výsledek procesu zpracování

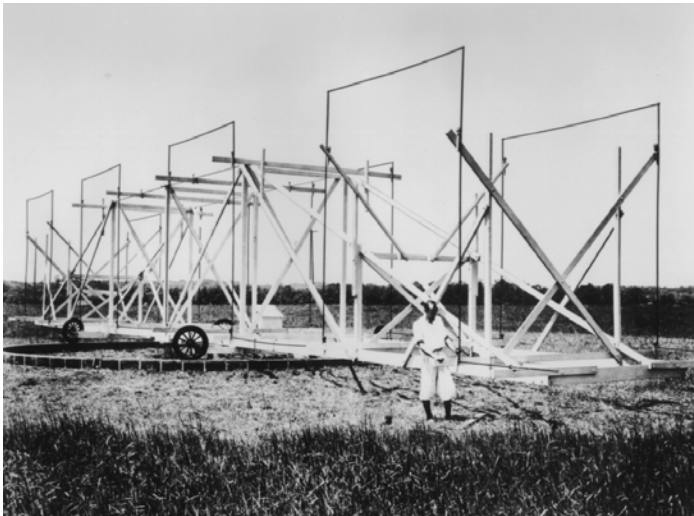


1887 – **Heinrich Rudolf Hertz** – objev rádiového záření

30. léta 20. st. – **Karl Guthe Jansky** - počátky systematického studia; 1933 – Jansky - objev záření středu Galaxie



1937 - **Grote Reber** – 1. parabolická anténa – objev dalších objektů

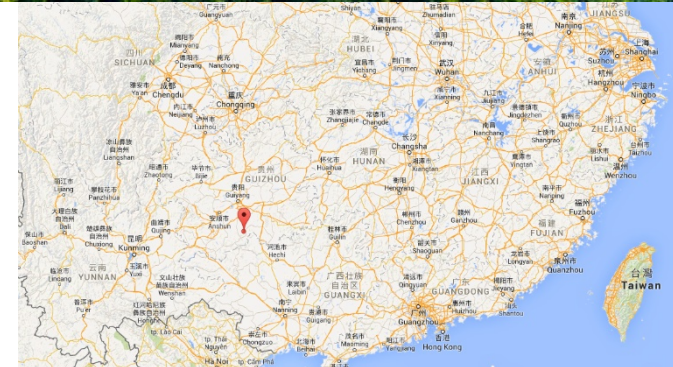


rozkvět radioastronomie – po 2. světové válce

Největší radioteleskopy



FAST (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope)
největší anténa na světě, 500 m
25°38'50.0" s.z.š., 106°51'21.0" v.z.d. (provincie Kuej-čou,
Čína), v plném provozu od r. 2016



Největší radioteleskopy

Arecibo, Portoriko (1963-2020)

305 m, 2. největší anténa na světě
– 20° od zenitu



1.12.2020



Největší radioteleskopy



RATAN 600 (576 m) – Zelenčukskaja,
Rusko - největší samostatný (od r. 1977)



Effelsberg (Německo)

**největší plně pohyblivé
radioteleskopy (100 m)**

Green Bank
Telescope (USA)





Green Bank (USA)

91m radioteleskop

1962 uveden do provozu

1970 upgrade

1988 kolaps



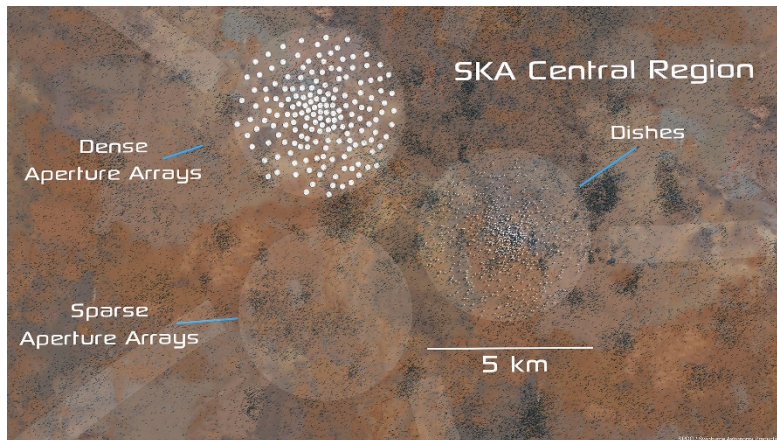
Radioteleskopy – soustavy antén

VLA - Nové Mexiko (USA), 28 antén 25m
(Y o délce 21 km, max. 36 km)



VLBA - 10 teleskopů (základna 8611 km – rozlišovací schopnost miliarcsec)

ALMA – Chajnantor, Chile, 66 antén 12 a 7 m



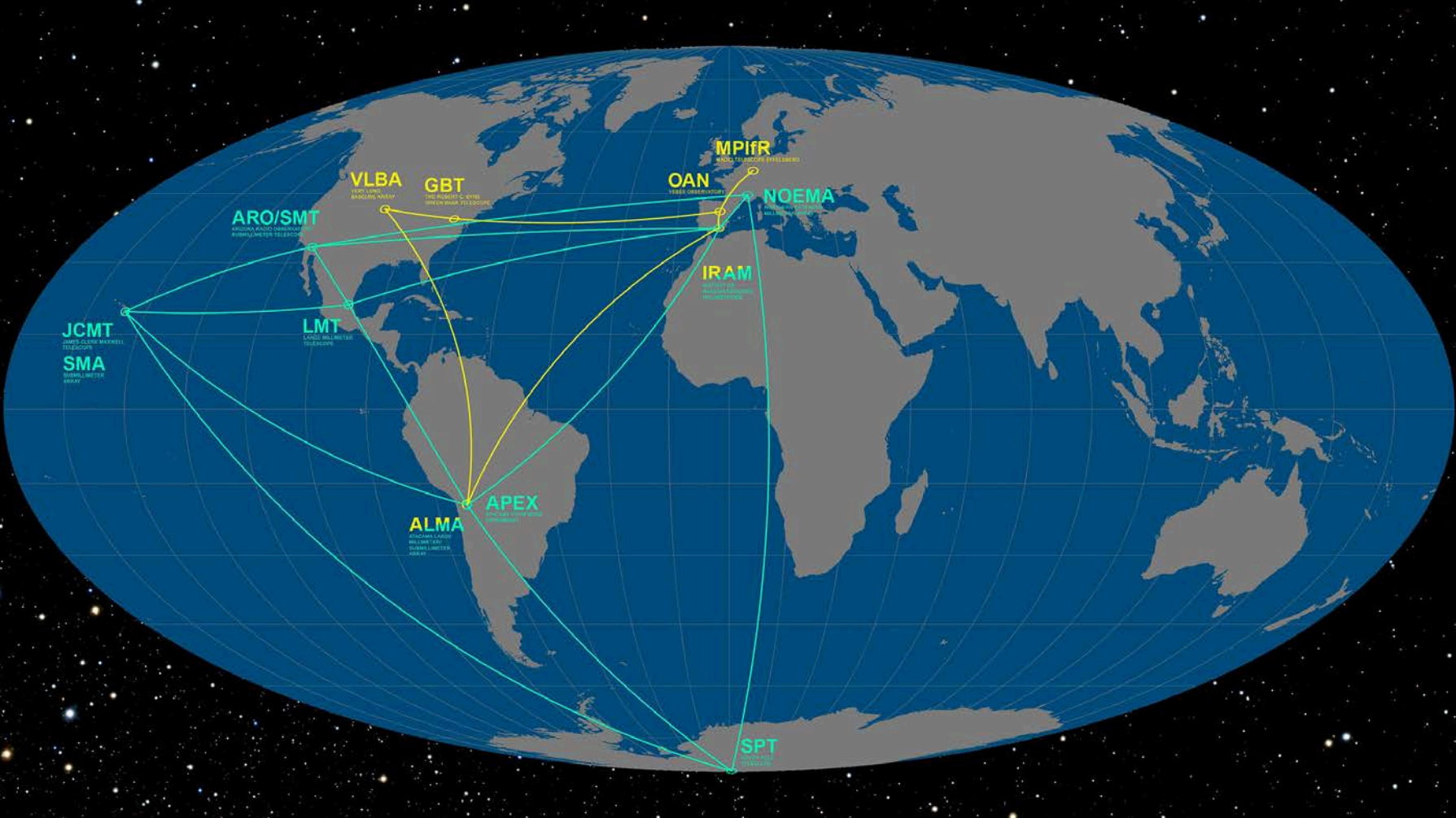
Square Kilometre Array (SKA) – Austrálie, JAR

fáze 1: 2018-2023 (střední a nízké frekvence)

fáze 2: 2023-2030 (vysoké frekvence až do 20 MHz)

„1. světlo“ - 2020

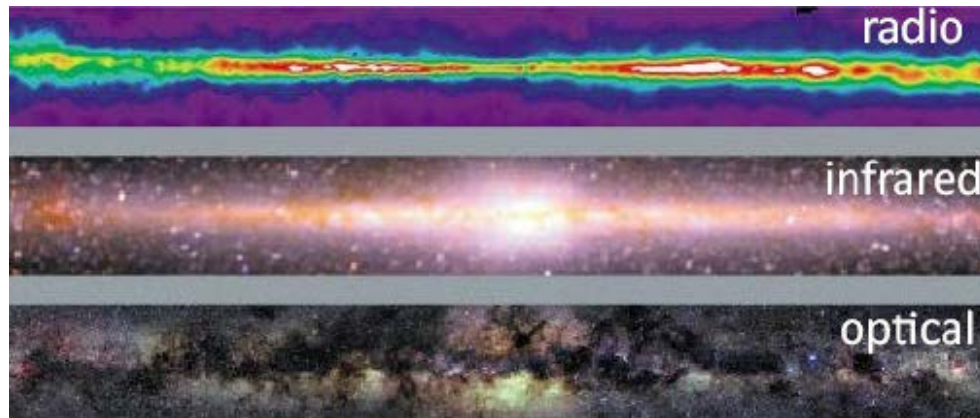
Event Horizon Telescope



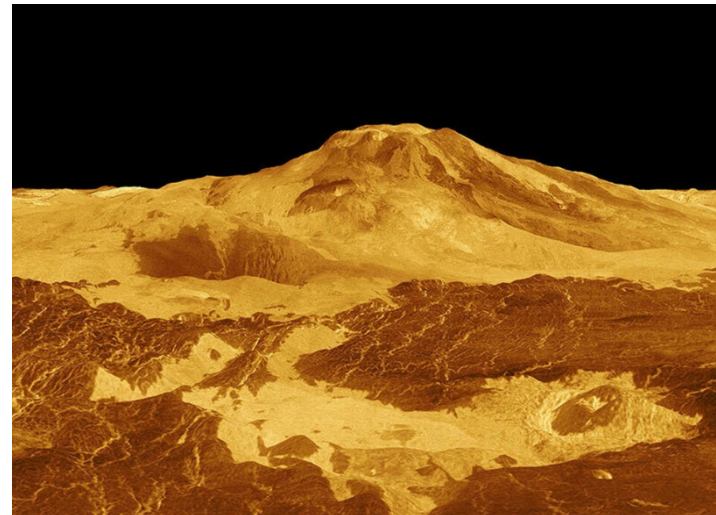
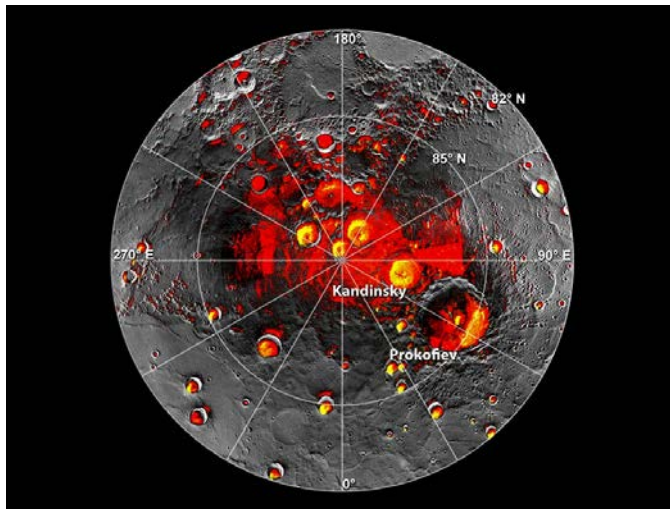
<https://eventhorizontelescope.org/>

Radioastronomie

- pasivní průzkum – u většinu objektů; Slunce, galaxie, těsné dvojhvězdy, rádiové hvězdy ... ; dlouhovlnné záření dobře prostupné prachem – mapování Galaxie pomocí záření vodíku na 21 cm



- aktivní = radiolokační zkoumání – blízká tělesa (ve Sluneční soustavě); 1. radiolokace Měsíce (1946) , širší použití od 60. let 20. století (Merkur a Venuše)



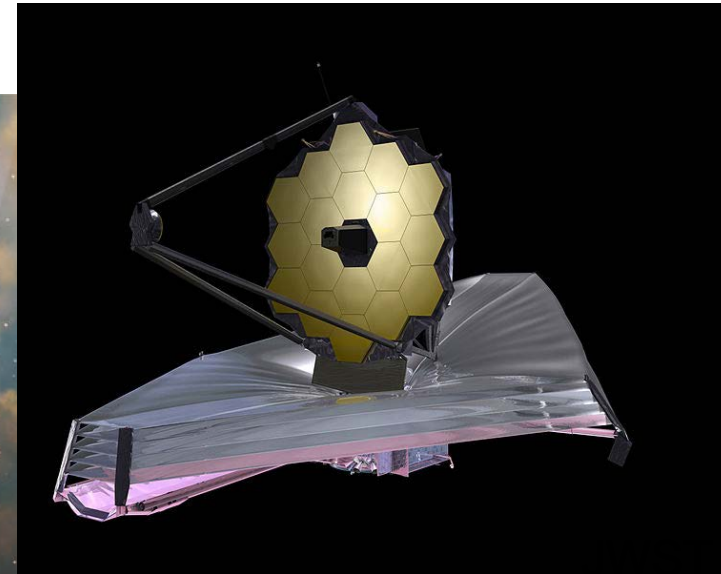


Infračervená astronomie

- ❖ 1800 - objev IR záření - W. Herschel
- ❖ 30. léta 19. st. – 1. kroky IR astronomie, ale skutečný počátek až 50.-60. léta 20. st.!
- ❖ detektory podobné jako pro vizuální obor, ale zchlazené na velmi nízké teploty
- ❖ pozorování i z povrchu Země v IR oknech – vysokohorské observatoře (Hawaii, Chile...), přehlídka 2MASS (Two Micron All-Sky Survey) – 1997-2001
- ❖ vesmírné observatoře – Spitzer, Herschel, HST, WISE,
- ❖ nyní zejména – **James Webb Space Telescope...**



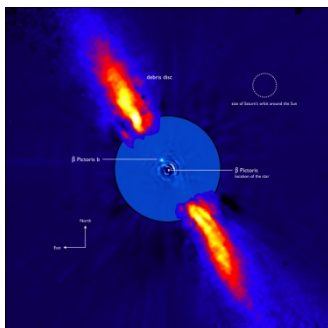
Herschel



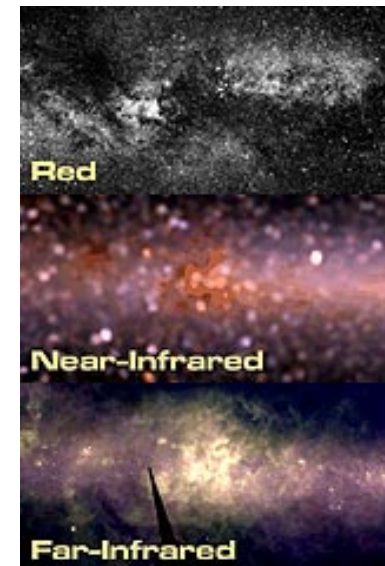
Co se pozoruje?

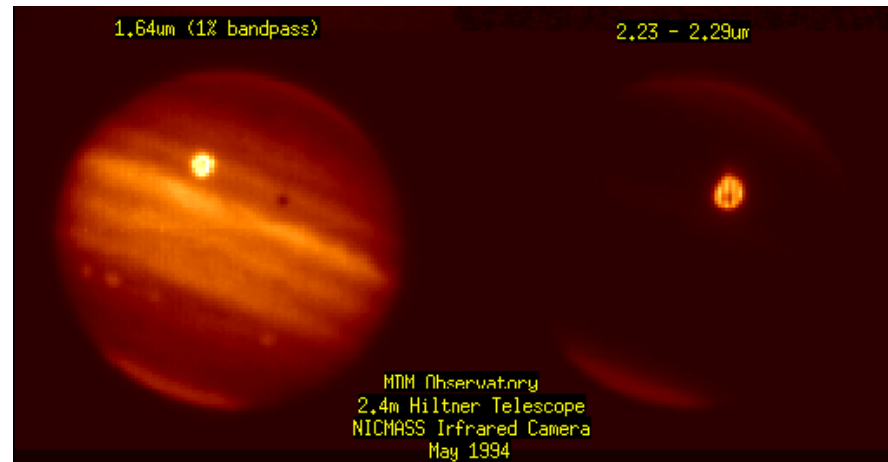
Tepelné záření

- ❖ vln. délka IR delší než u světla => prochází oblaky plynu a prachu => možnost sledovat objekty např. v centru Galaxie; oblasti zrodu hvězd, molekulová mračna, chladné hvězdy, hnědé trpaslíky, exoplanety



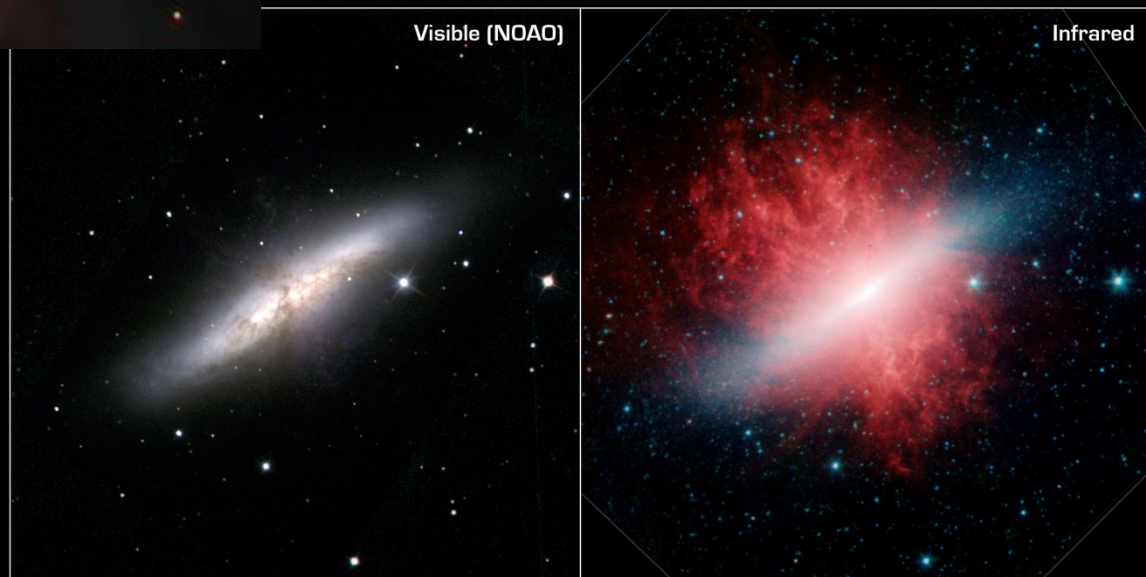
- ❖ studium raných stádií vesmíru – v důsledku Dopplerova jevu se pro velmi vzdálené objekty UV záření a světlo posune do IR





Jupiter

Trapez, Orion – 100 velmi málo hmotných objektů – hnědí trpaslíci a volné planety



“Cigar” Galaxy M82

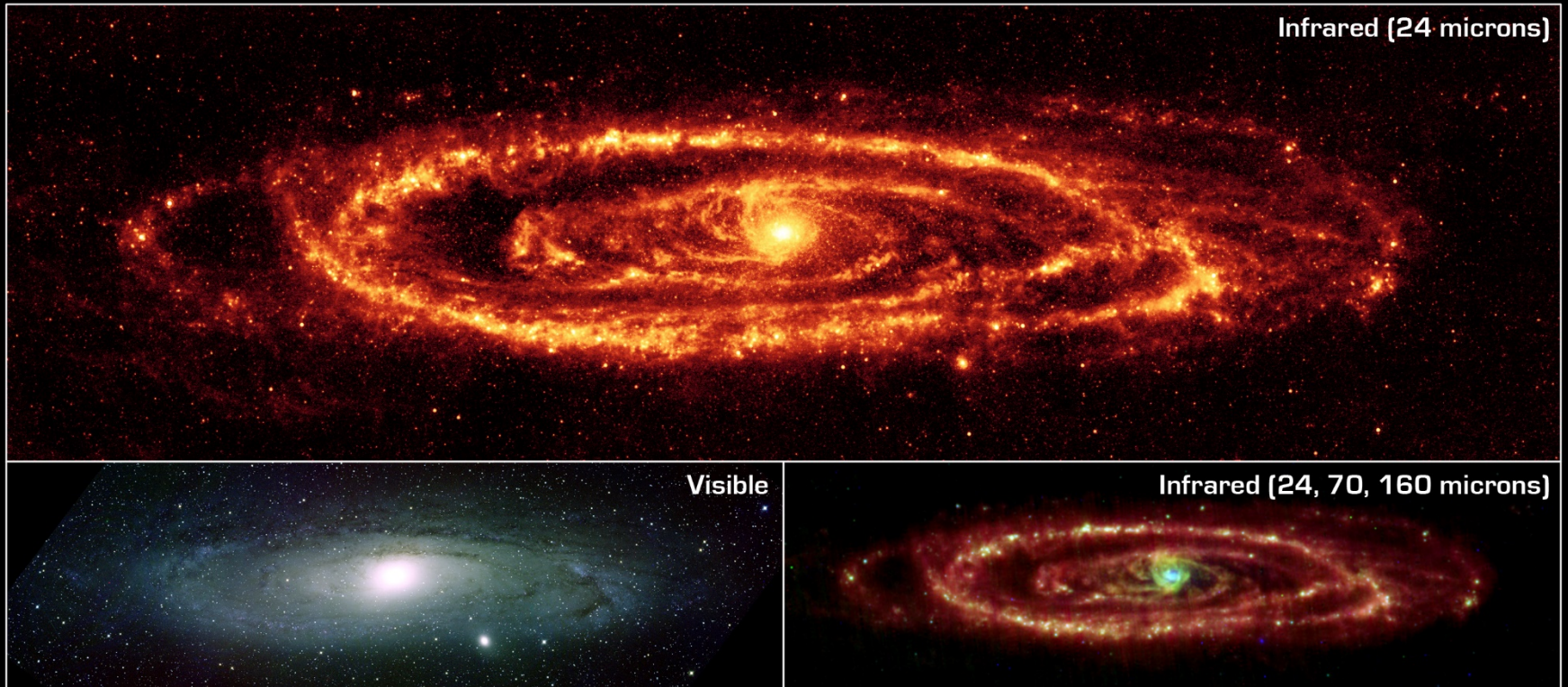
Spitzer Space Telescope • IRAC

NASA / JPL-Caltech / C. Engelbracht and the SINGS team (Steward Observatory)

ssc2006-09a

Z. Bardon

Expozice 7 h 50 min



Infrared (24 microns)

Visible

Infrared (24, 70, 160 microns)

Dust in Andromeda Galaxy (M31)

NASA / JPL-Caltech / K. Gordon (University of Arizona)

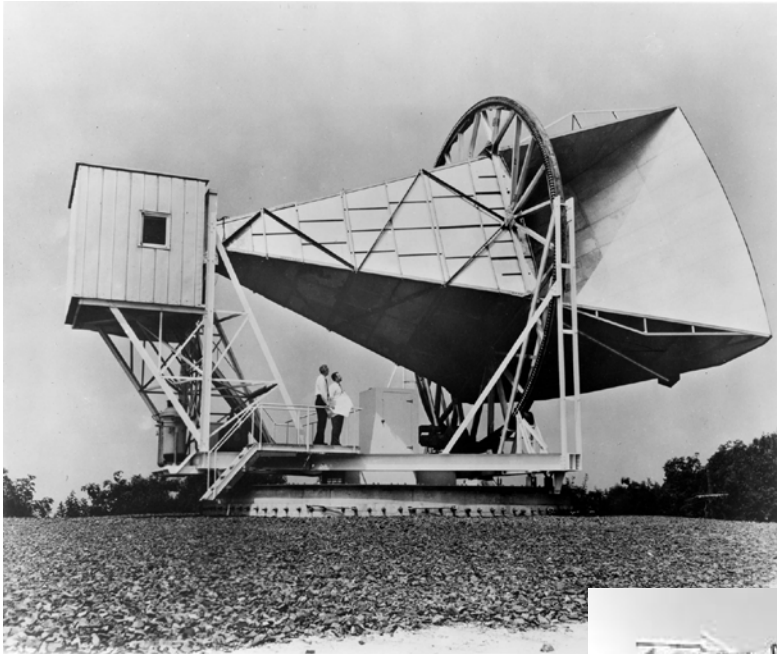
Spitzer Space Telescope • MIPS

Visible: NOAO

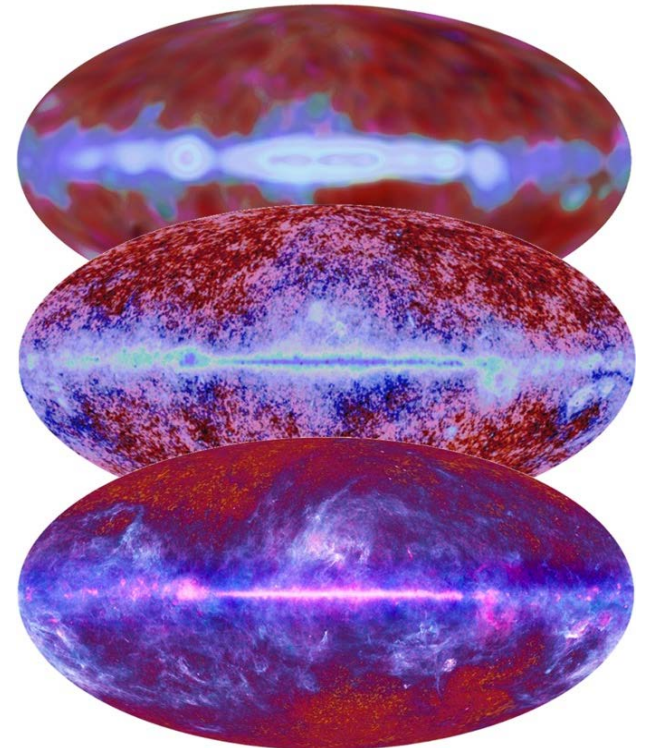
ssc2005-20a

Infračervená-mikrovlnná astronomie

- přechod mezi infračervenou a rádiovou oblastí
- pozorování reliktního záření na milimetrových a submilimetrových vlnách - „otisk“ velkého třesku – předpovězeno ve 40. letech 20. století,
- objev r. 1964 A . G. Doroškevič & I. Novikov , a A. A. Penzias & R. W. Wilson (publ. 1965)

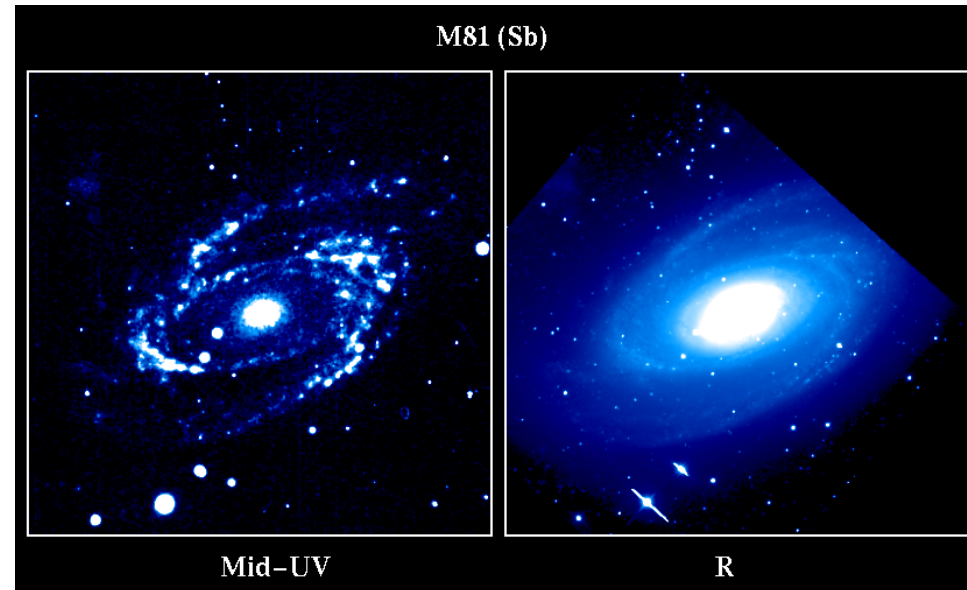
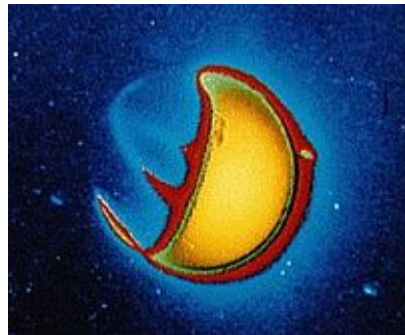
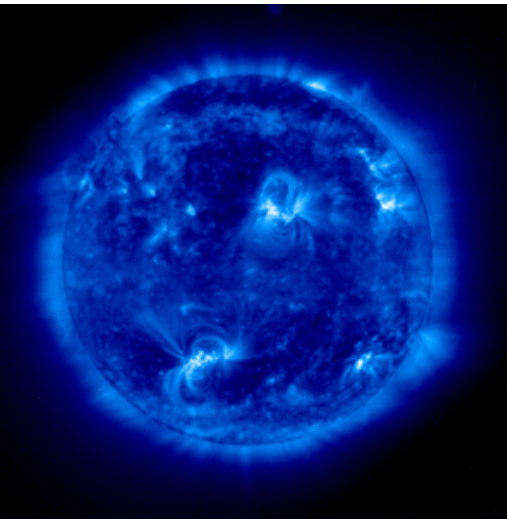


- družice COBE, WMAP, Planck

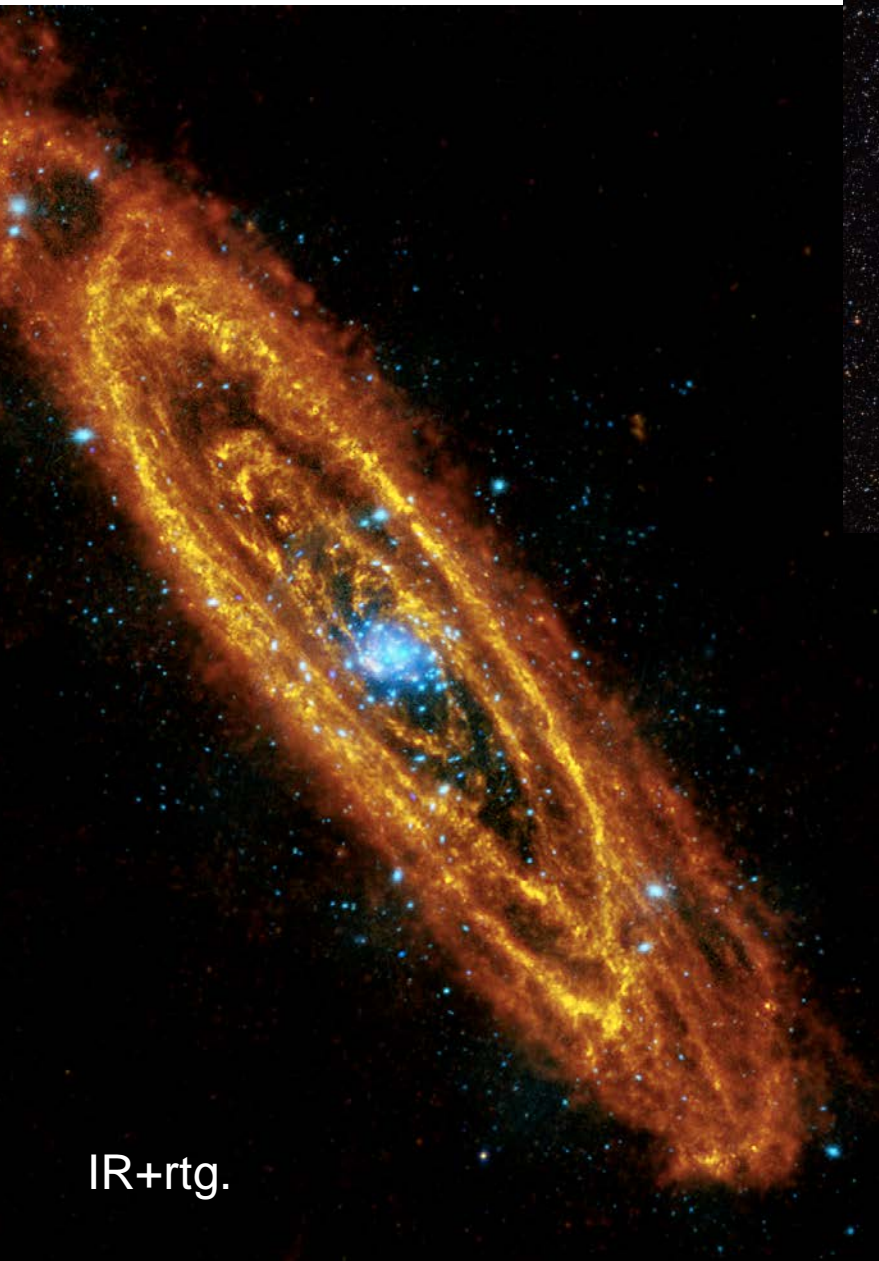
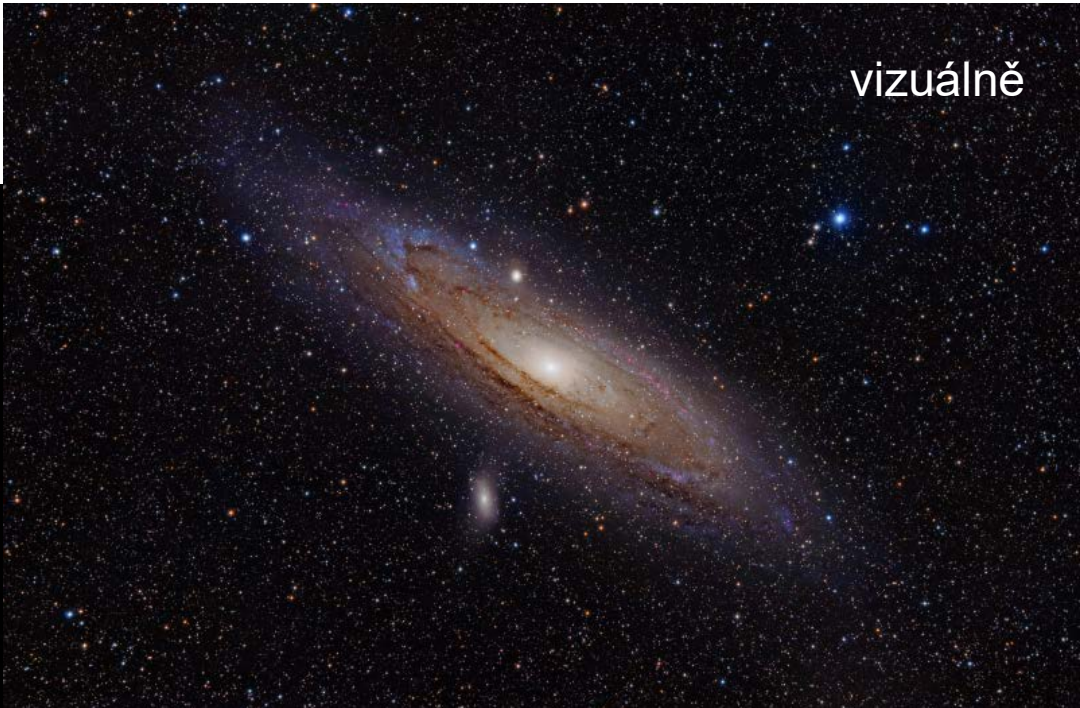


Ultrafialová astronomie

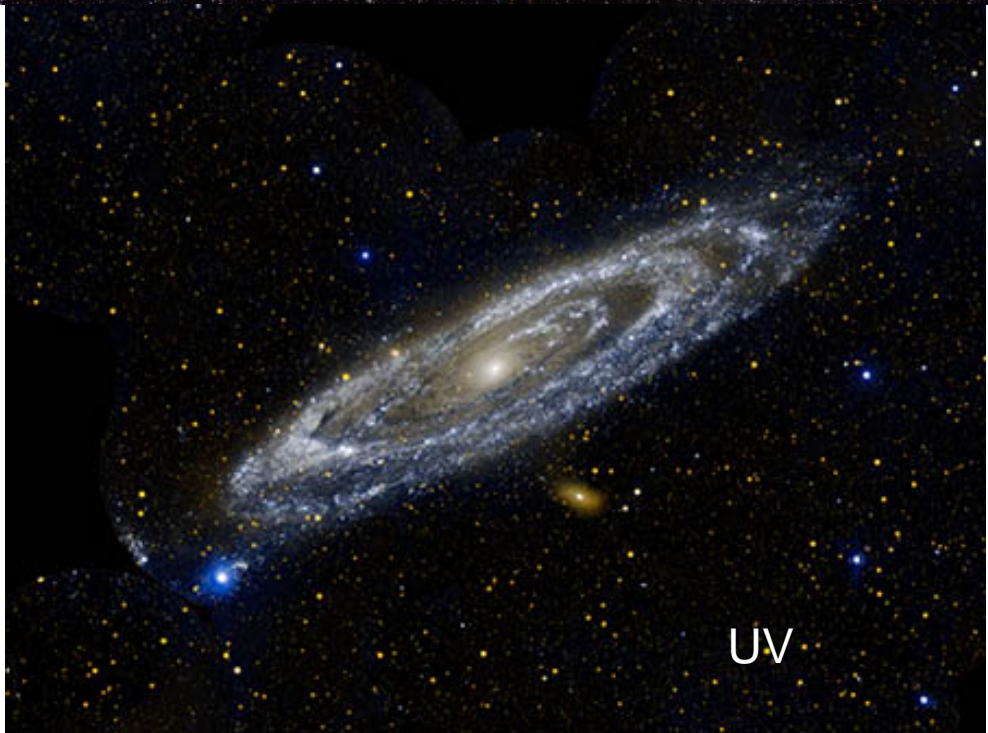
- 1801 – objev UV záření - J. W. Ritter
- zkoumá horké objekty – mladé svítivé hvězdy, horké pozůstatky hvězd, Slunce...
- ze Země špatně pozorovatelné, proto hlavně z kosmického prostoru;
- konstrukce přístrojů jako pro světlo, různé povrchy zrcadel; modifikované detektory
- družice – IUE, EUVE, SOHO, GALEX, HST



vizuálně



IR+rtg.

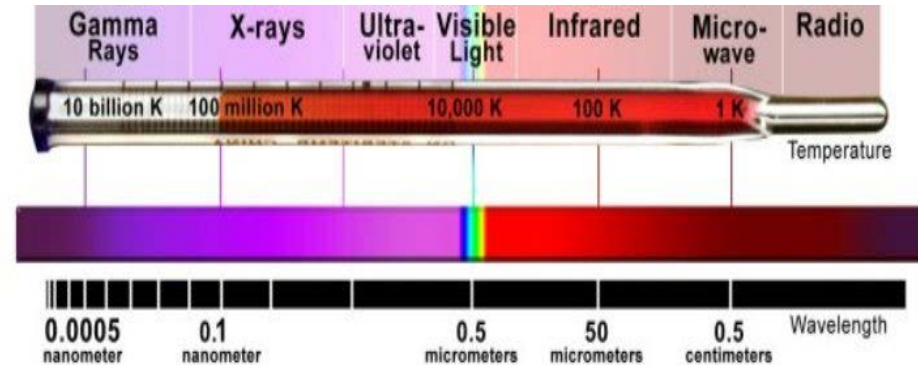


UV



Gama a rentgenová astronomie

Astronomie v oblasti největších energií elektromagnetického spektra => výsledek extrémních dějů ve vesmíru s největšími teplotami



rentgenové záření - 1895 W. C. Röntgen a jiní
co se pozoruje?

sluneční korona, Jupiter, kataklyzmické dvojhvězdy, neutronové hvězdy, bílí trpaslíci, výbuchy supernov, okolí černých děr, ...

gama záření – objev 1900 P. U. Villard; fotony s energiemi > 100 keV
výbuchy supernov, splynutí hvězd, anihilace hmoty a antihmoty, inverzní Comptonův rozptyl, gama záblesky

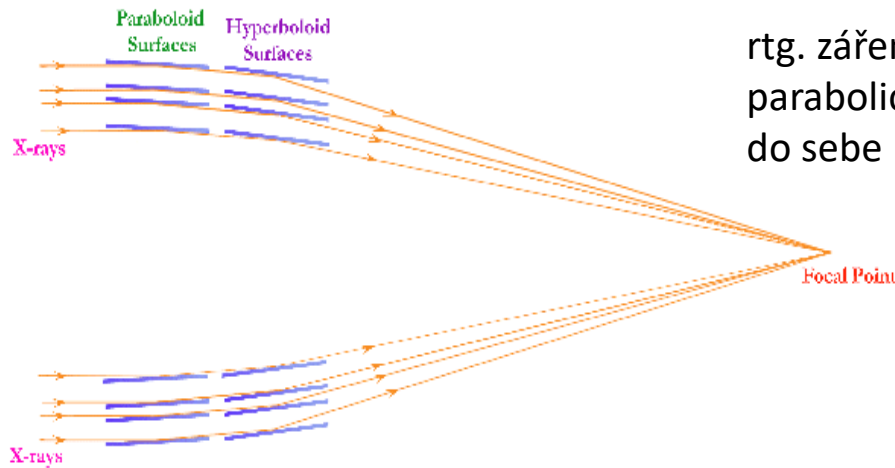


zemská atmosféra pro rtg. a g záření neprostupná => detekce až v 60. letech 20. st. satelity VELA

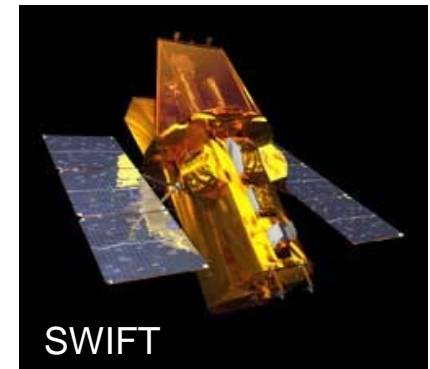


Gama a rentgenová astronomie

záření spíše částicový než vlnový charakter – speciální detektory, speciální přístupy
družice INTEGRAL, CHANDRA, ROSAT, XMM NEWTON, SWIFT, Fermi ...

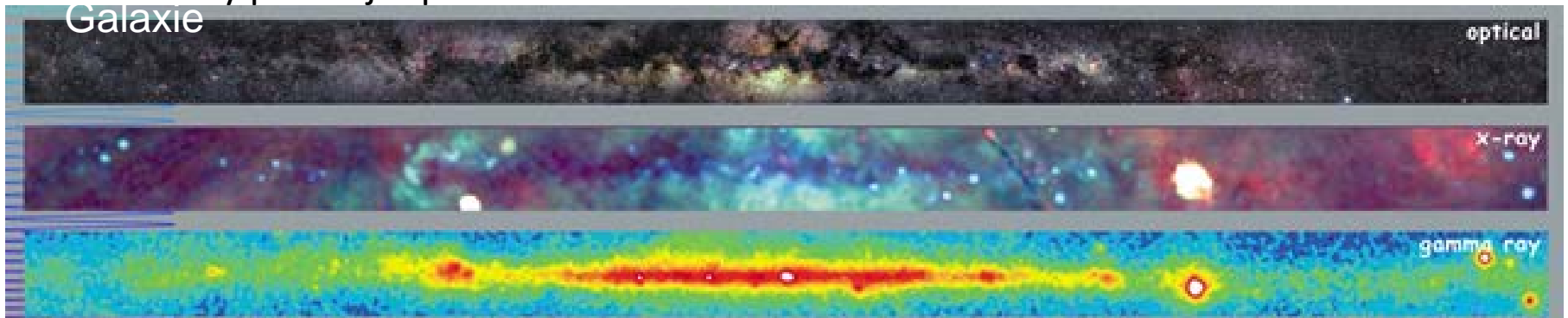


rtg. záření je soustředěno soustavou souosých parabolických a hyperbolických ploch vložených do sebe



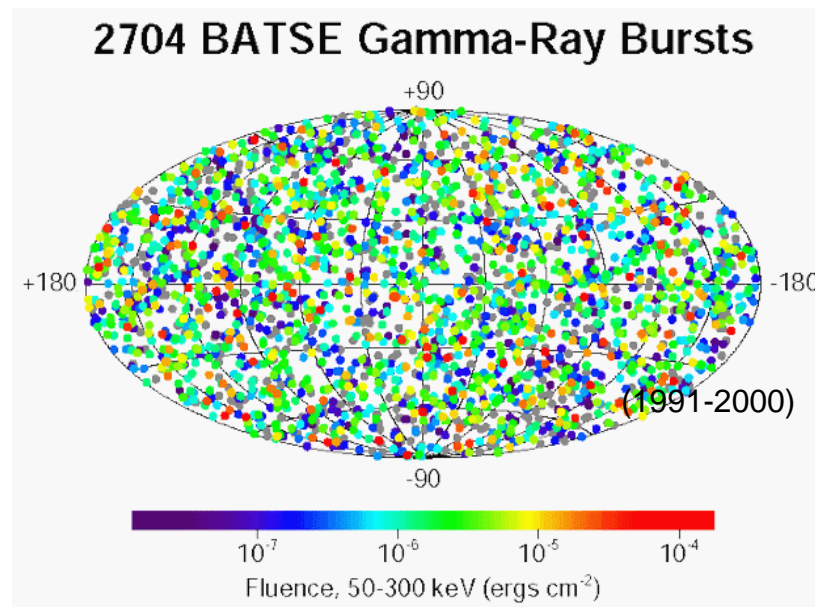
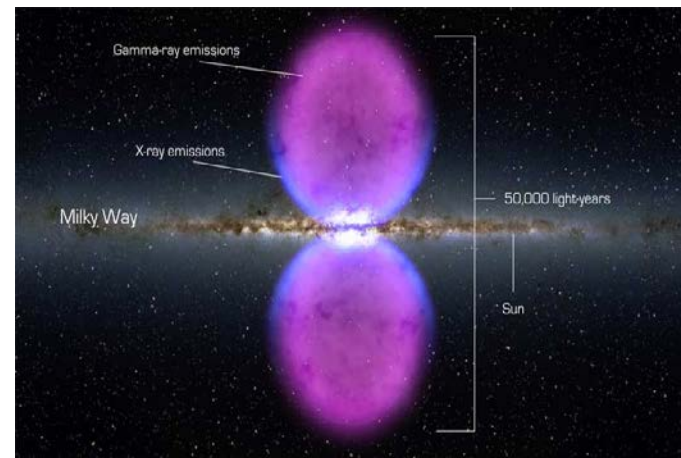
dalekohledy pozorují s přesností – řádové arcmin!

Galaxie

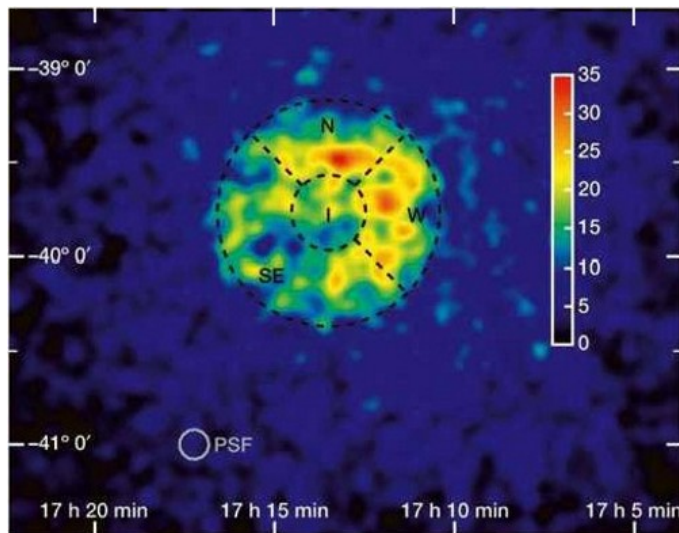


Pozoruhodné výsledky rentgenové a gama astronomie

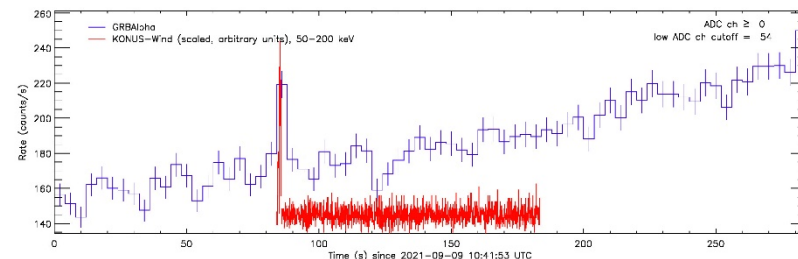
- 1989 - 1. zdroj g záření v Galaxii – M1
- 1992 – 1. extragal. zdroj g záření – galaxie Markarjan 421
- 2000 – 2704 gama záblesků z BATSE
- 2010 – objev obřích bublin g záření od centra Galaxie
- 2021 – detekce GRB nanosatelitem



RXJ1713.7-3946

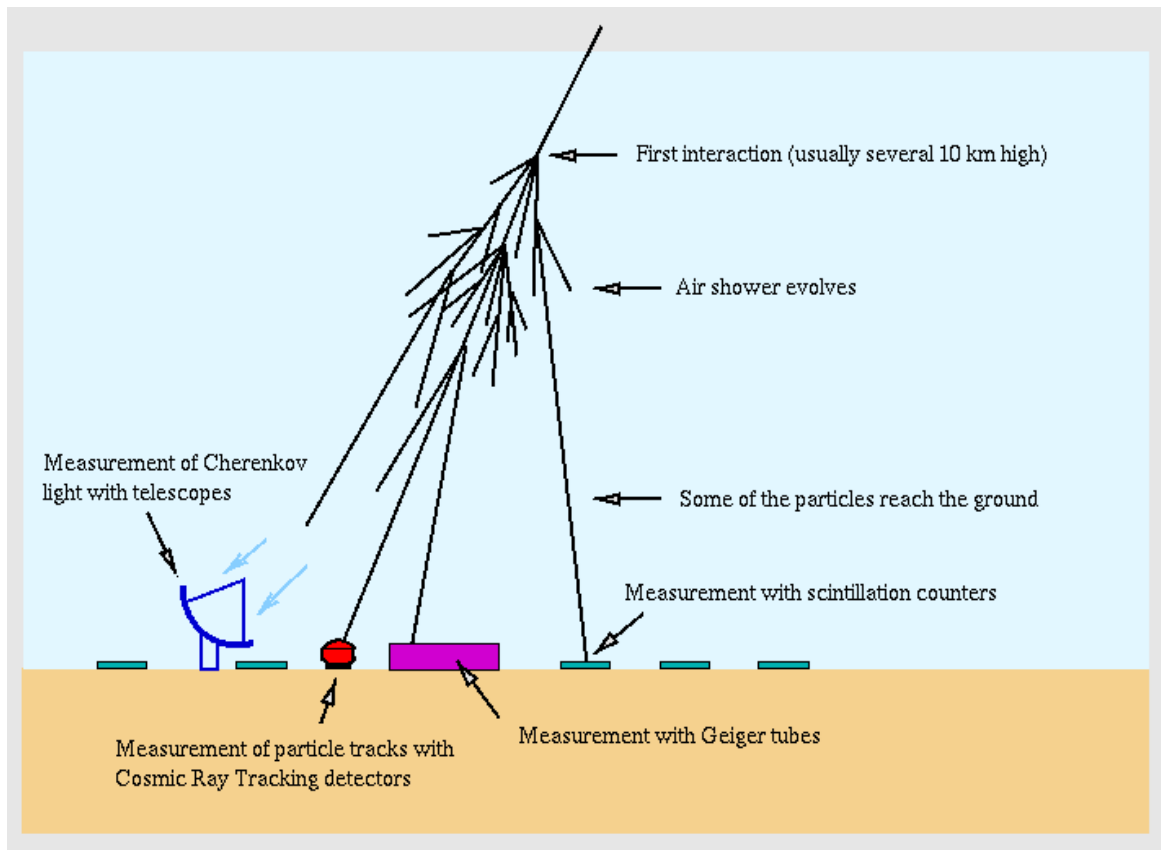


západnímu okraji (W) odpovídá tok pouhých $4,1 \times 10^{-8}$ fotonů/m²s



Pozemská(?) gama a rentgenová astronomie

HESS
(Namibie)



Detekce pozemními observatořemi (H.E.S.S., MAGIC, VERITAS) díky interakci fotonů s atmosférou – sekundární spršky – Čerenkovovo záření

dvojice SST-1M - Ondřejov

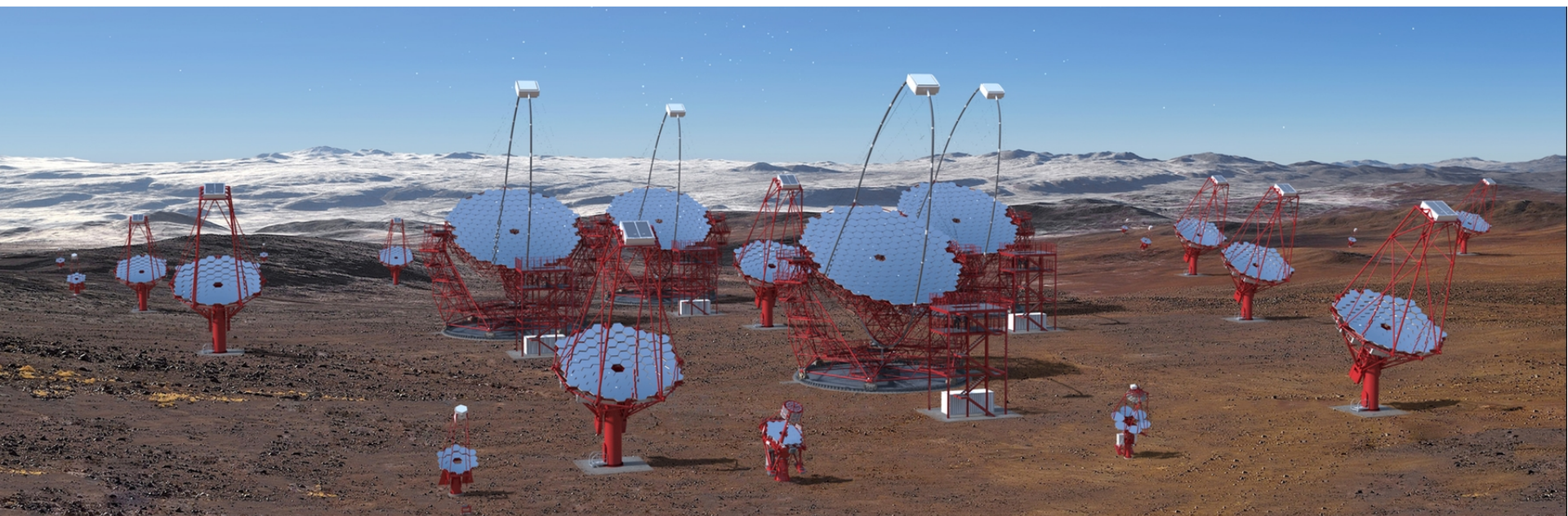
Cherenkov Telescope Array (CTA)



1. teleskop – říjen 2018

částečně v provozu od
2022, dokončení 2025

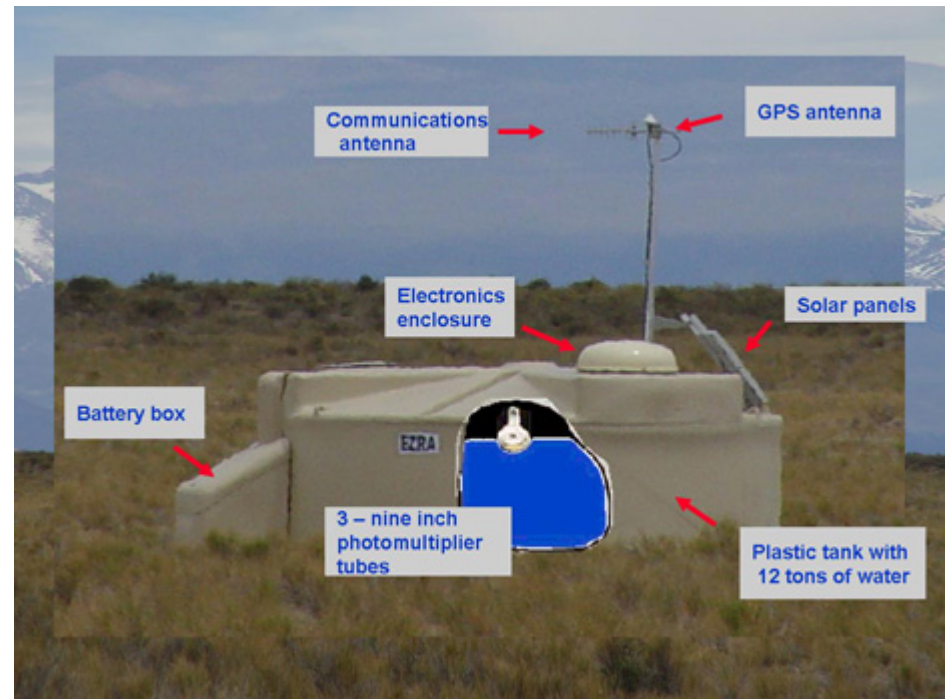
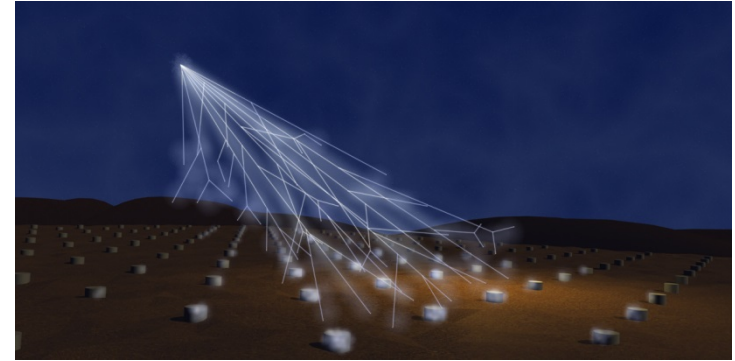
Jih – Paranal,
sever – La Palma



Částicová astronomie

Kosmické záření

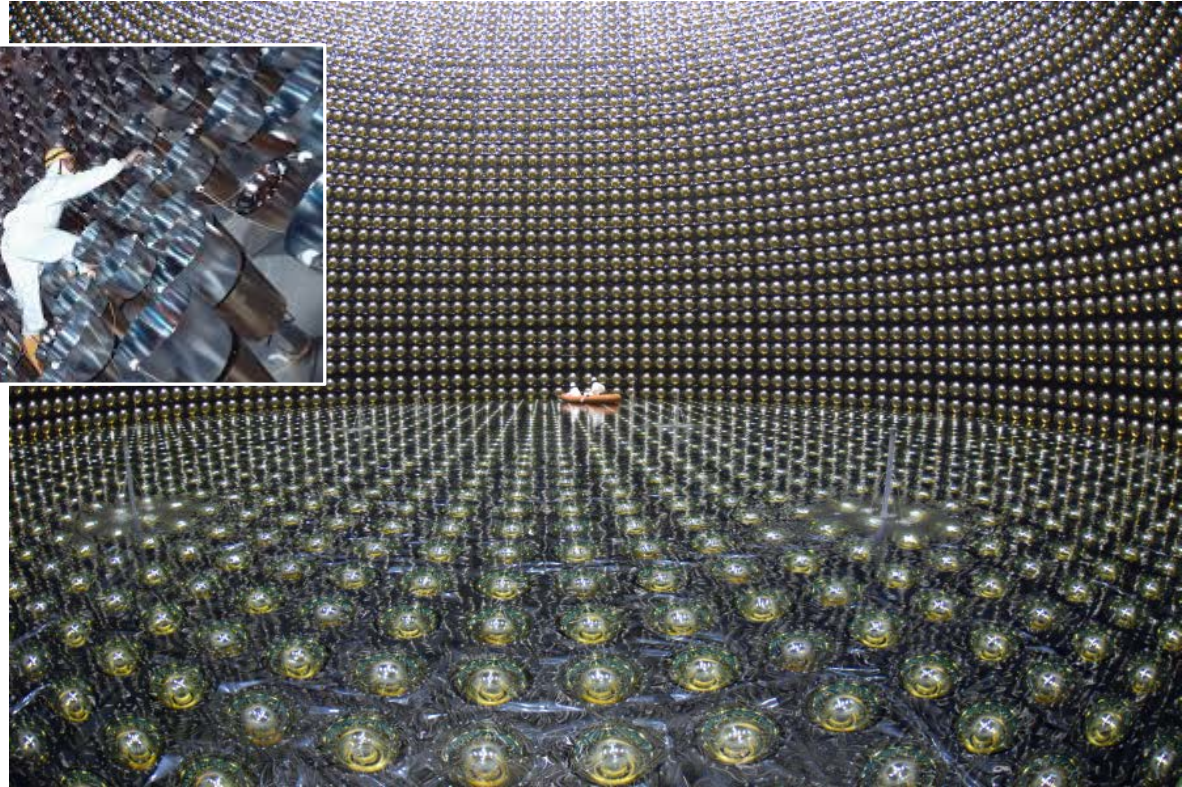
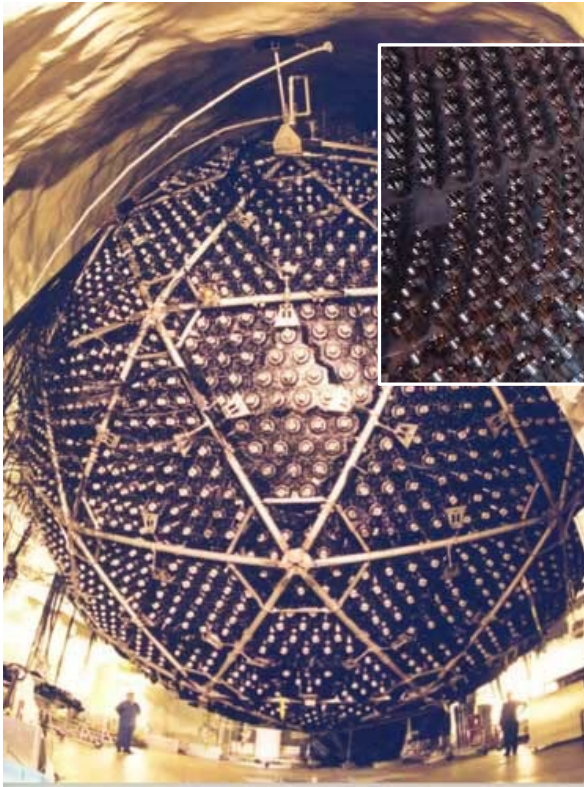
- 1912 objev Victor Hess
 - 1937 – Pierre Auger – vysvětlení vzniku spršek záření
 - detekce sekundárních spršek kosmického záření, částic o energii $>10^{18}$ eV
- od 2008 - Observatoř Pierra Augera v Argentině
rozloha 3000 km²,
1660 tanků s vodou,
27 optických dalekohledů,
160 radioteleskopů



Částicová astronomie

Neutrinová astronomie

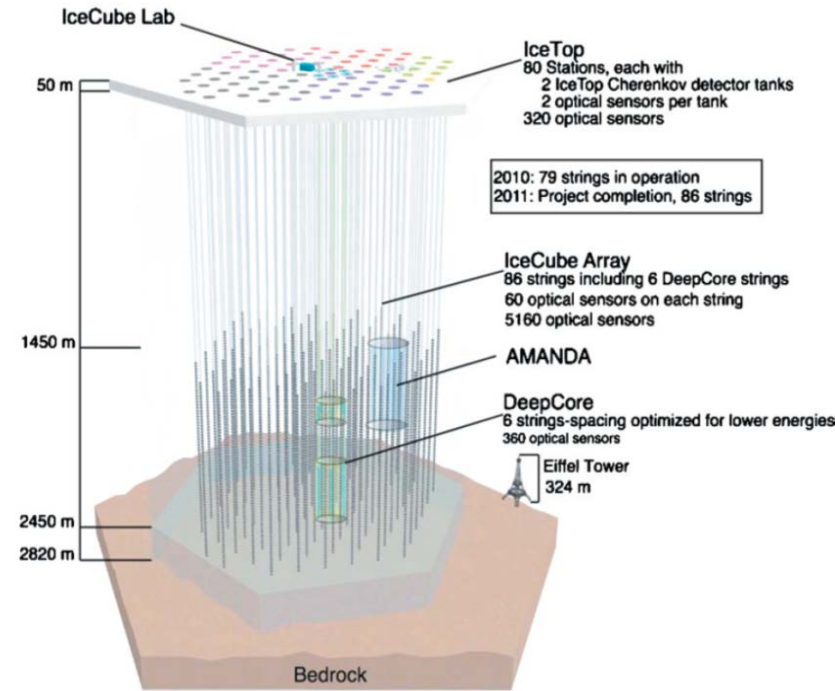
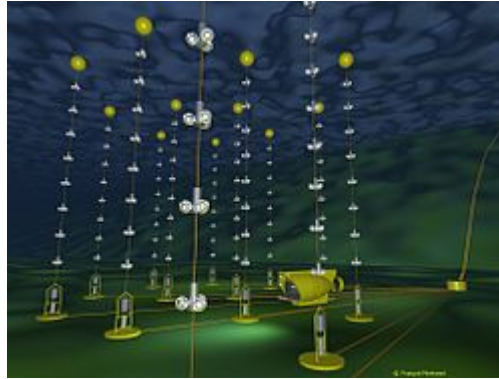
1930 – W. Pauli – předpověď existence neutrin, první detekce 1956
neutrino - velmi slabě interagující částice s téměř nulovou hmotností => detekce hlavně pomocí Čerenkovova záření => obrovské nádrže s různými kapalinami (voda, těžká voda, chlór) – Sudbury (1 ktun těžké vody 2 km pod zemí, koule o průměru 12 m s 9600 fotonásobiči), Superkamiokande (průměr 41 m, 50 kt vody, 11146 fotonásobičů), Borexino (Itálie)



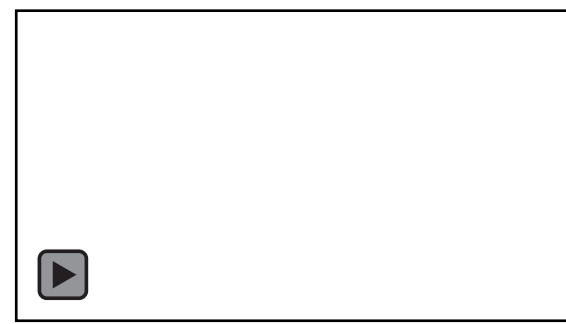
Neutrinová astronomie

Projekty využívající přírodních „nádrží“

- IceCube, Antarktida, okolí jižního pólu; 1 km³ čistého ledu, 86 děr (1450 – 2450 m) s 5160 detektory,
- ANTARES, KM3Net, NEMO – Středozeř. moře
- Baikal-GVD - Rusko



Gravitační vlny



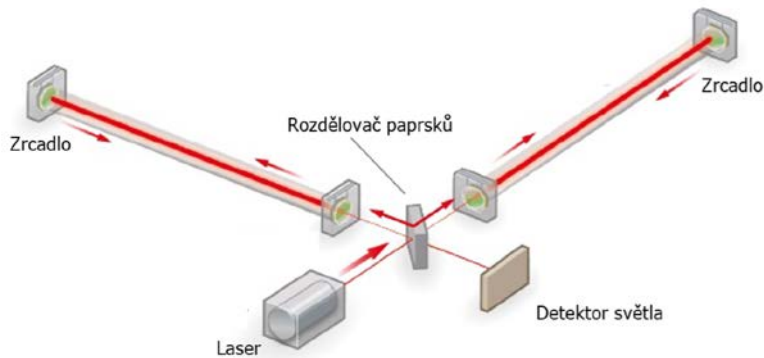
= fluktuace zakřivení časoprostoru, které se šíří jako vlny rychlostí světla; nejde o vlnění v prostoru, ale samotného časoprostoru;
předpovězeny A. Einsteinem 1916;
vznik při vzájemném pohybu těles v gravitačním poli, zdroj - těsné dvojhvězdy v konečném stádiu vývoje (složky ČD, NH), výbuchy supernov, srážky černých děr

Do roku 2015 pouze nepřímé detekce:

- dvojitý pulsar PSR 1913+16 – dochází ke zkracování periody oběhu a stáčení velké poloosy o 4° za rok- přesně podle OTR (1974 Hulse & Taylor – Nobelova cena 1993)
- experiment BICEP (2014) - v reliktním záření z konce velkého třesku (z období 400 000 roků) nalezen otisk reliktních gravitačních vln z období zlomků sekundy (10^{-35} s) po vzniku světa – objev odvolán!

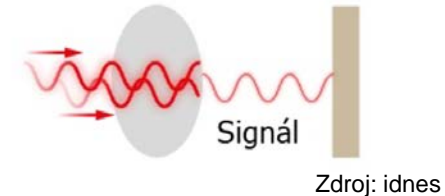
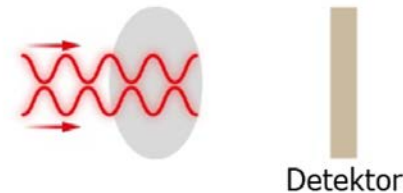
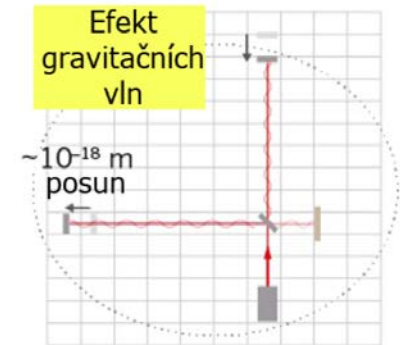
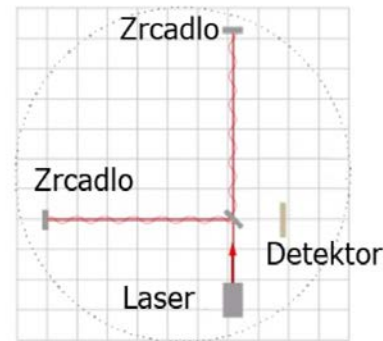
Detekce gravitačních vln

1. pokusy o přímou detekci - 50. léta 20. století – Joseph Weber
70. léta 20. st. – interferometrie



Normálně by se oba světelné signály vyrušily, protože by ulétly stejnou vzdálenost a vlny by byly identické. Detektor by pak nic nezaznamenal.

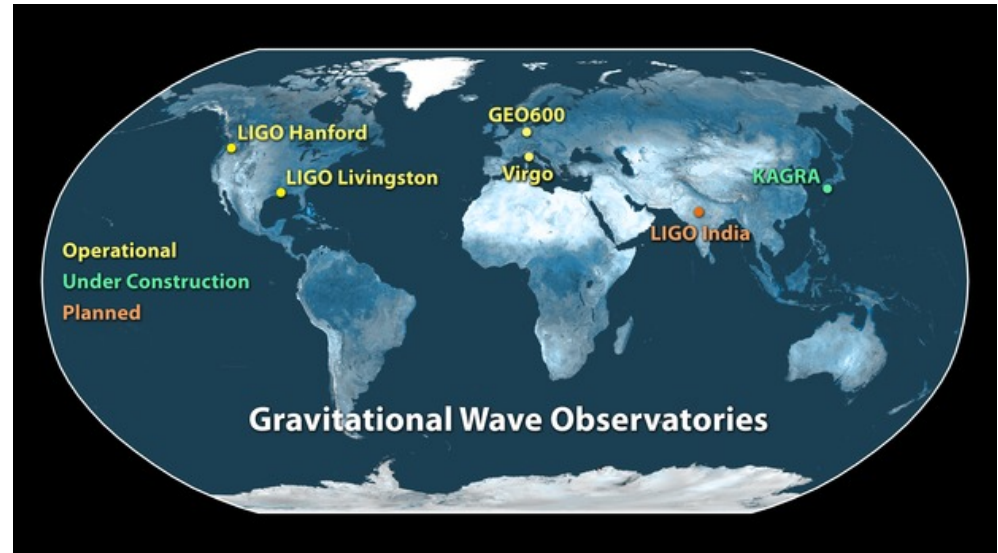
Když observatoř LIGO prochází gravitační vlna, tunely se mírně deformují a oba paprsky urazí odlišnou vzdálenost. Nevruší se a detektor zachytí světlo.



- detektory VIRGO, LIGO aj. – přesnost až 10^{-21}
- advanced LIGO – první pozorování – 2015

LISA (Laser Interferometer Space Antenna) – 1. kosmická observatoř na sledování gravitačních vln (start 2.12.2015), realizace – velké observatoře v L2 - 2028

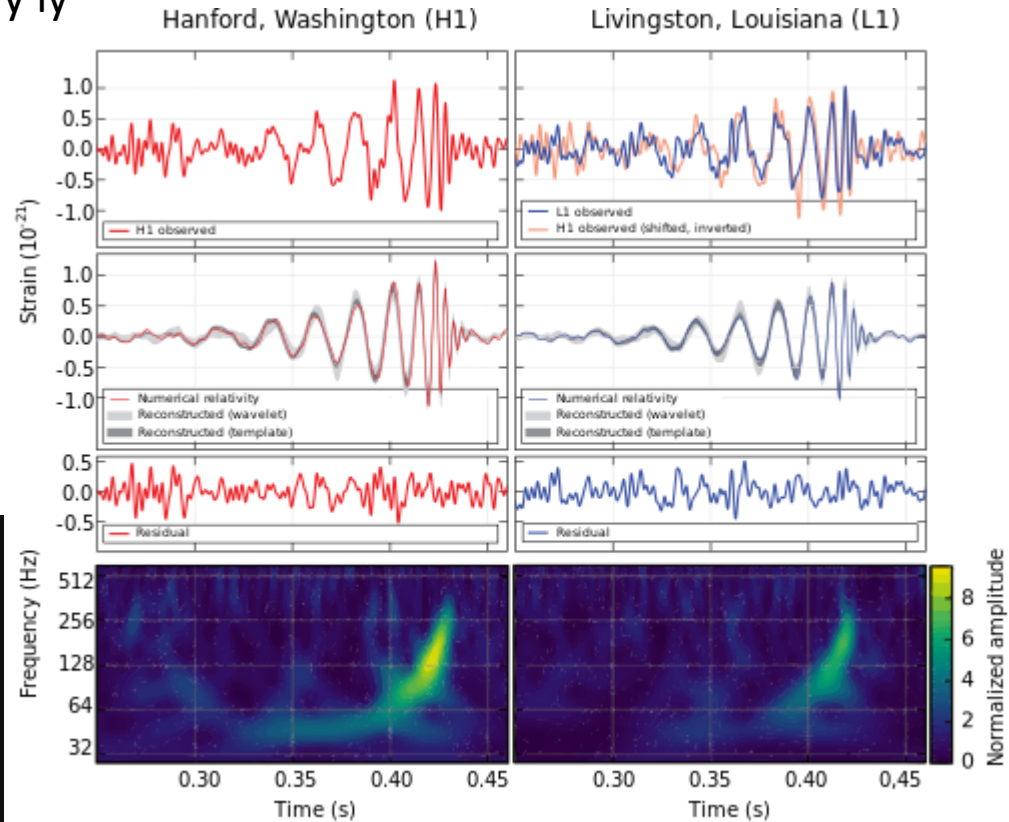
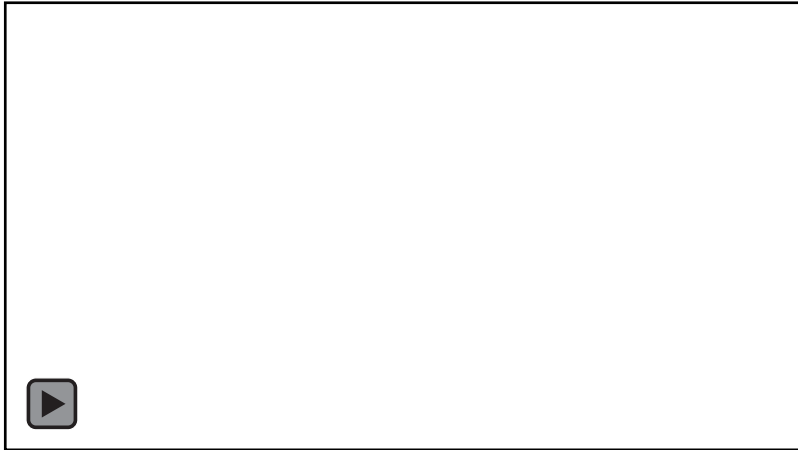
Detekce gravitačních vln



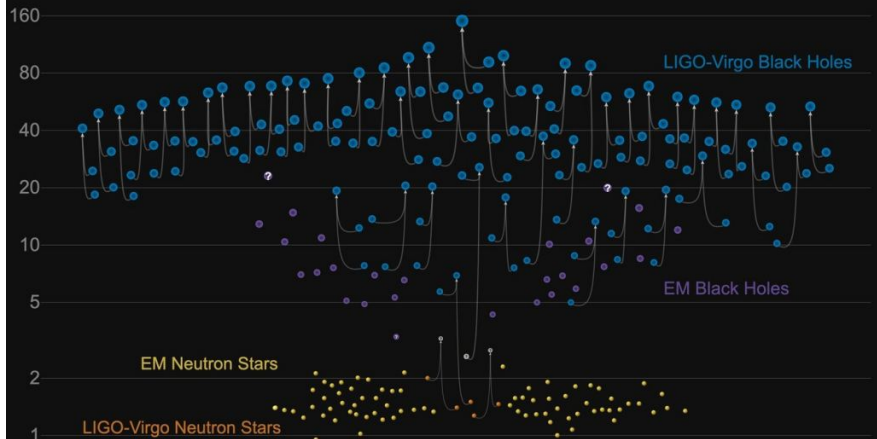
Detekce gravitačních vln

LIGO

14. září 2015 (9:51 UT) - GW150914 – výsledek srážky dvou černých děr (29 a 36 M_{\odot}), které byly od nás vzdáleny 1 až 1,5 miliardy ly



Masses in the Stellar Graveyard *in Solar Masses*



katalog Gravitational-Wave Candidate Event Database (**GraceDB**)

<https://gracedb.ligo.org/>

Srpen 2017 - **GW170817**

splynutí 2 neutronových hvězd;
detekce gravitačních vln a pozorované
zjasnění v různých částech spektra
elmg. záření

září 2017 – **TXS 0506+056**

detekováno neutrino s velmi vysokou
energií, určen zdroj;
následná kampaň zaznamenala
změny jasnosti vysoce energetického
gama záření



počátek nové éry astronomie

**multi-messenger
astronomy/astrophysics**

mnohopásmová astronomie

