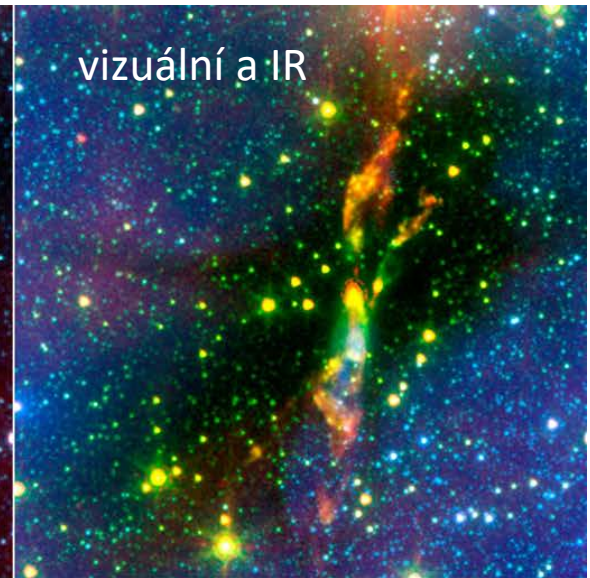
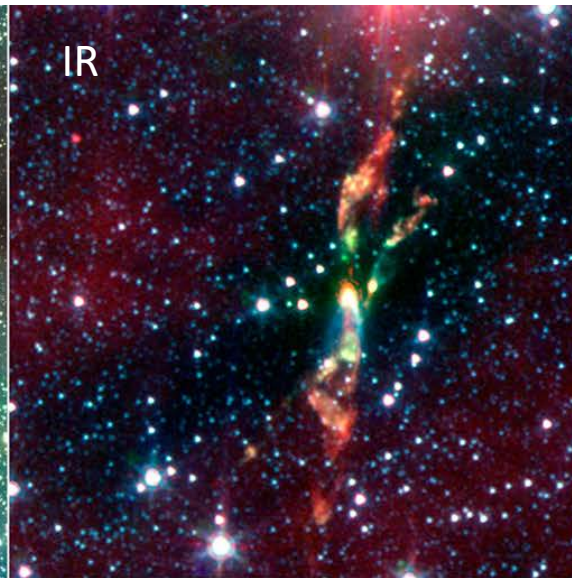


# Neoptická, nevizuální astronomie

- **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

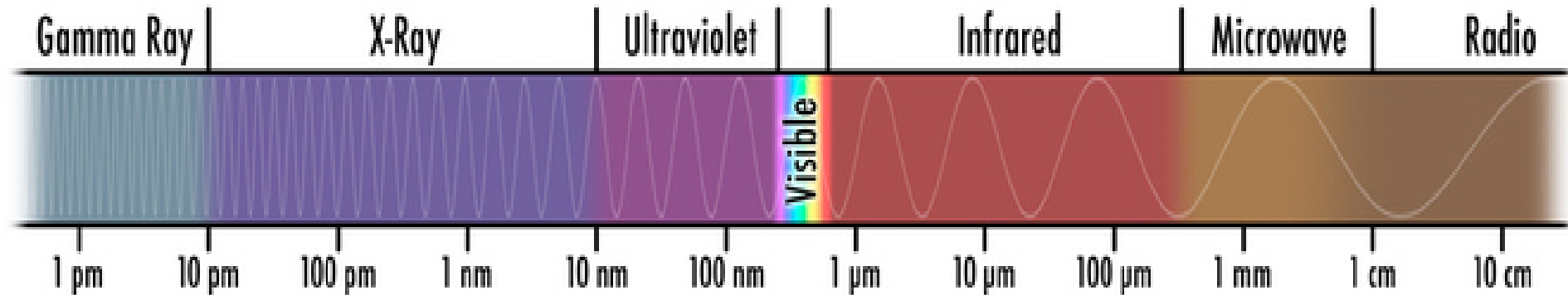
Astronomie v částech elektromagnetického spektra mimo vizuální oblast

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:  $p = h/\lambda$



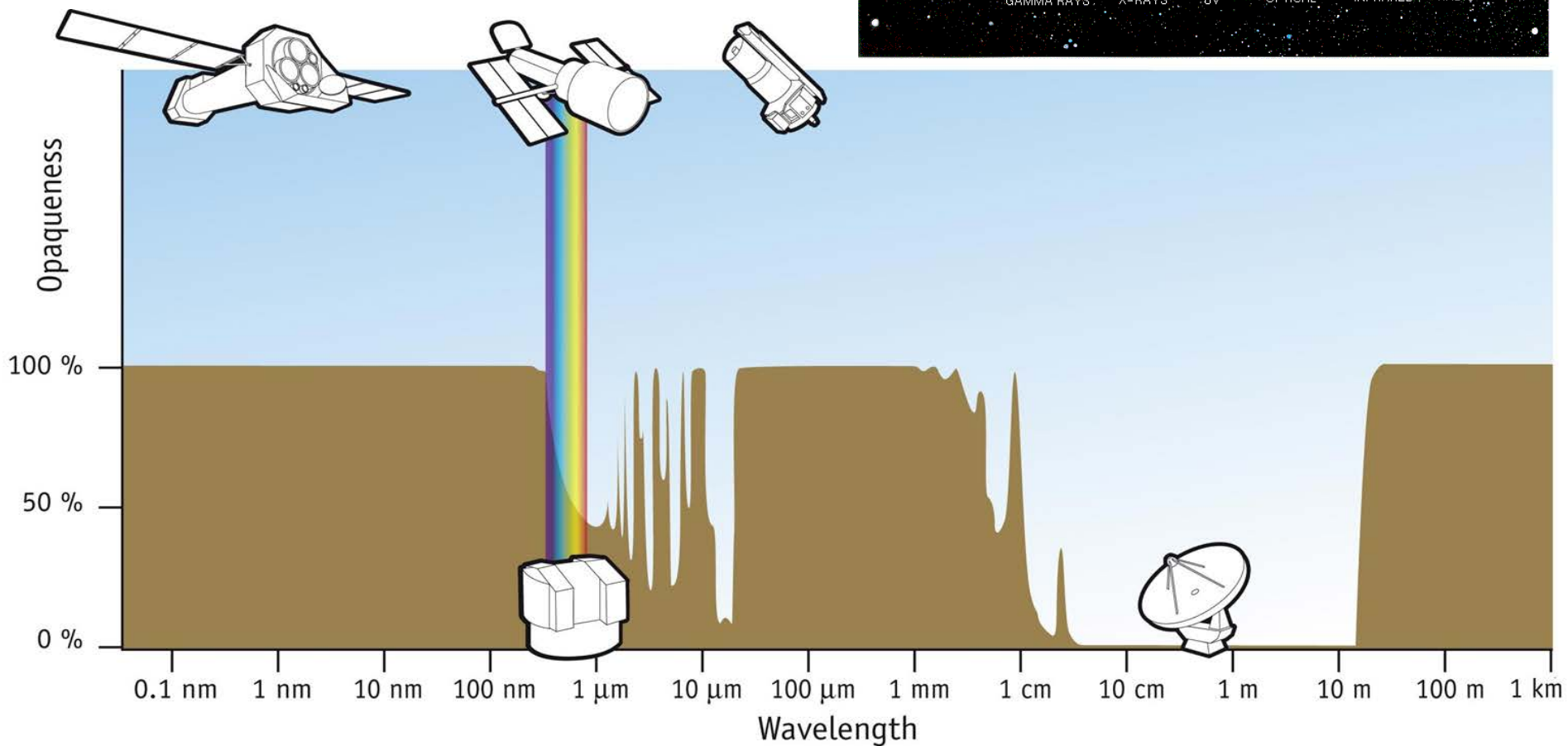
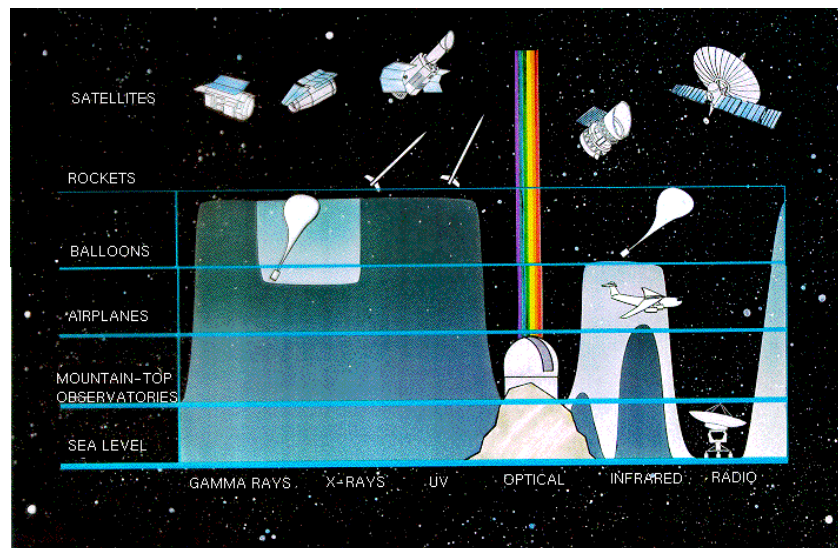
V krátkovlnné oblasti se udávají místo vlnových délek energie, v dlouhovlnné oblasti se používají frekvence

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**

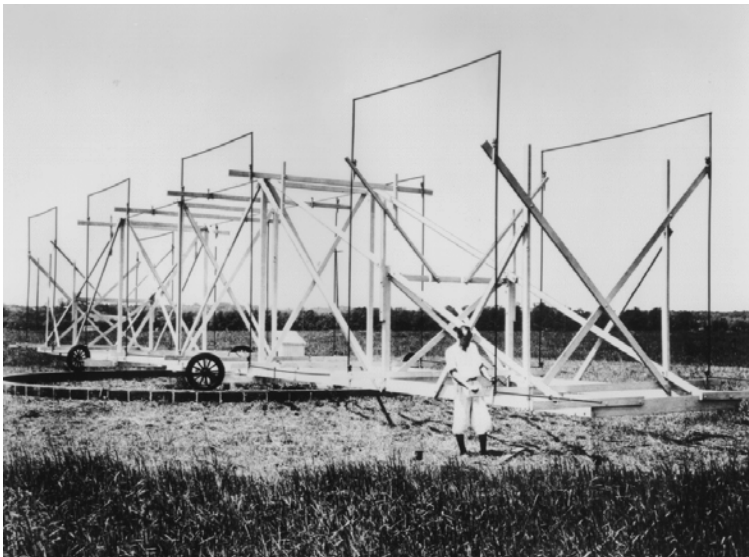
- výsledný „obraz“ - výsledek procesu zpracování



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



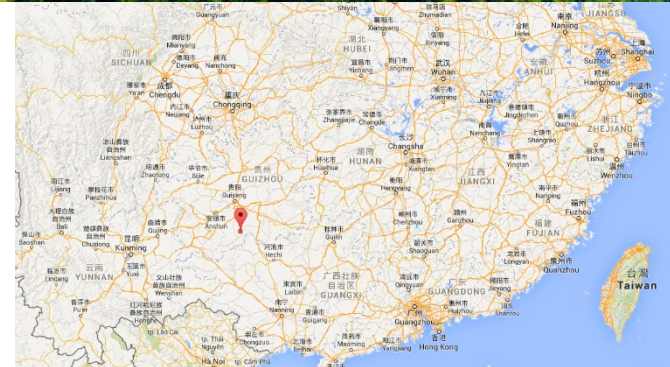
rozkvět radioastronomie – po 2. světové válce



# 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)

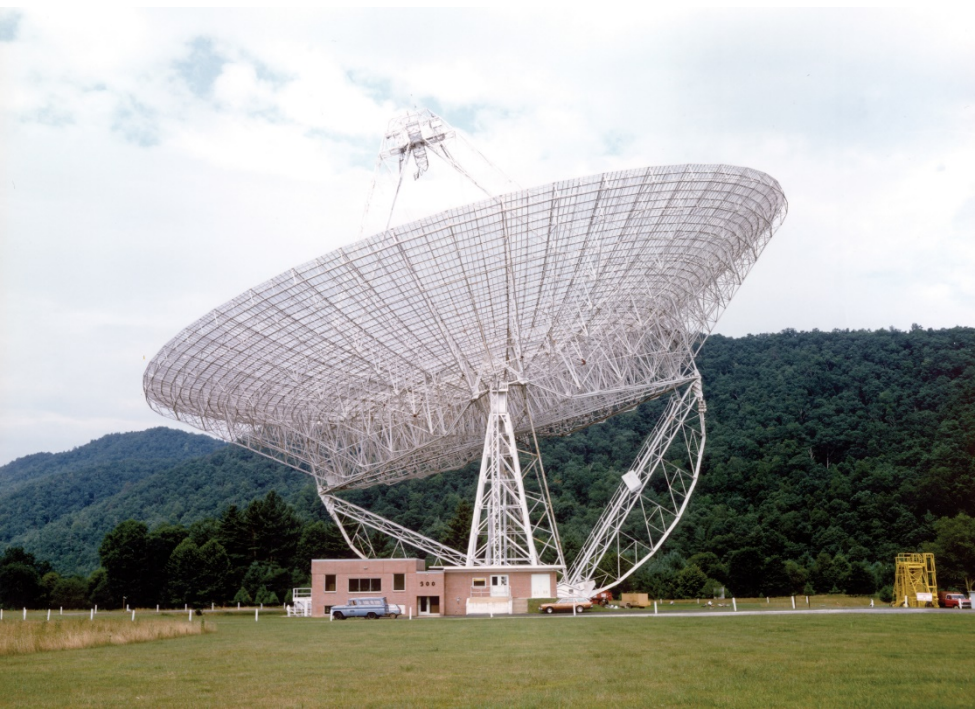


Effelsberg (Německo)

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

Green Bank  
Telescope (USA)





## Green Bank (USA)

91m radioteleskop

1962 uveden do provozu

1970 upgrade

1988 kolaps





## složky radioteleskopu

*anténa* - zprostředkovává přechod energie elektromagnetické vlny z prostoru do přijímače;

dipólové nebo tvaru rotačního paraboloidu, válce či trychtýře

*přijímač*



## vlastnosti radioteleskopu

*velikost sběrných anténních ploch* - signál lze zesílit, očistit od šumu

*rozlišovací schopnost* – zvětšuje se skládáním signálů z více radioteleskopů => může předčit i optické dalekohledy

**rádiové interferometry** - pro zlepšení rozlišovací schopnosti – soustavy antén

$$\sin \delta [\text{rad}] = \frac{1.220\lambda}{D}$$

Úhlové rozlišení antény = funkce průměru talířové antény a vlnové délky elmg. záření, které má být pozorováno

pro  $\lambda$  od 3 m do 30 cm (100 MHz až 1 GHz) – většinou průměr > 100 m

pro  $\lambda$  cca 30 cm (1 GHz) - průměr 3 - 90 m

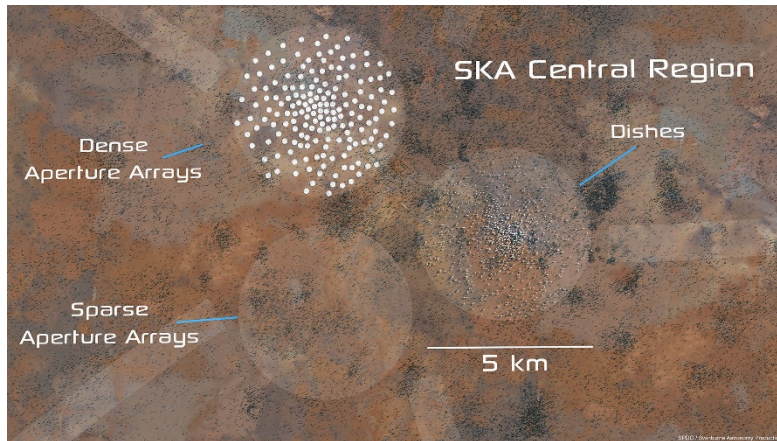
# Radioteleskopy – soustavy antén

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

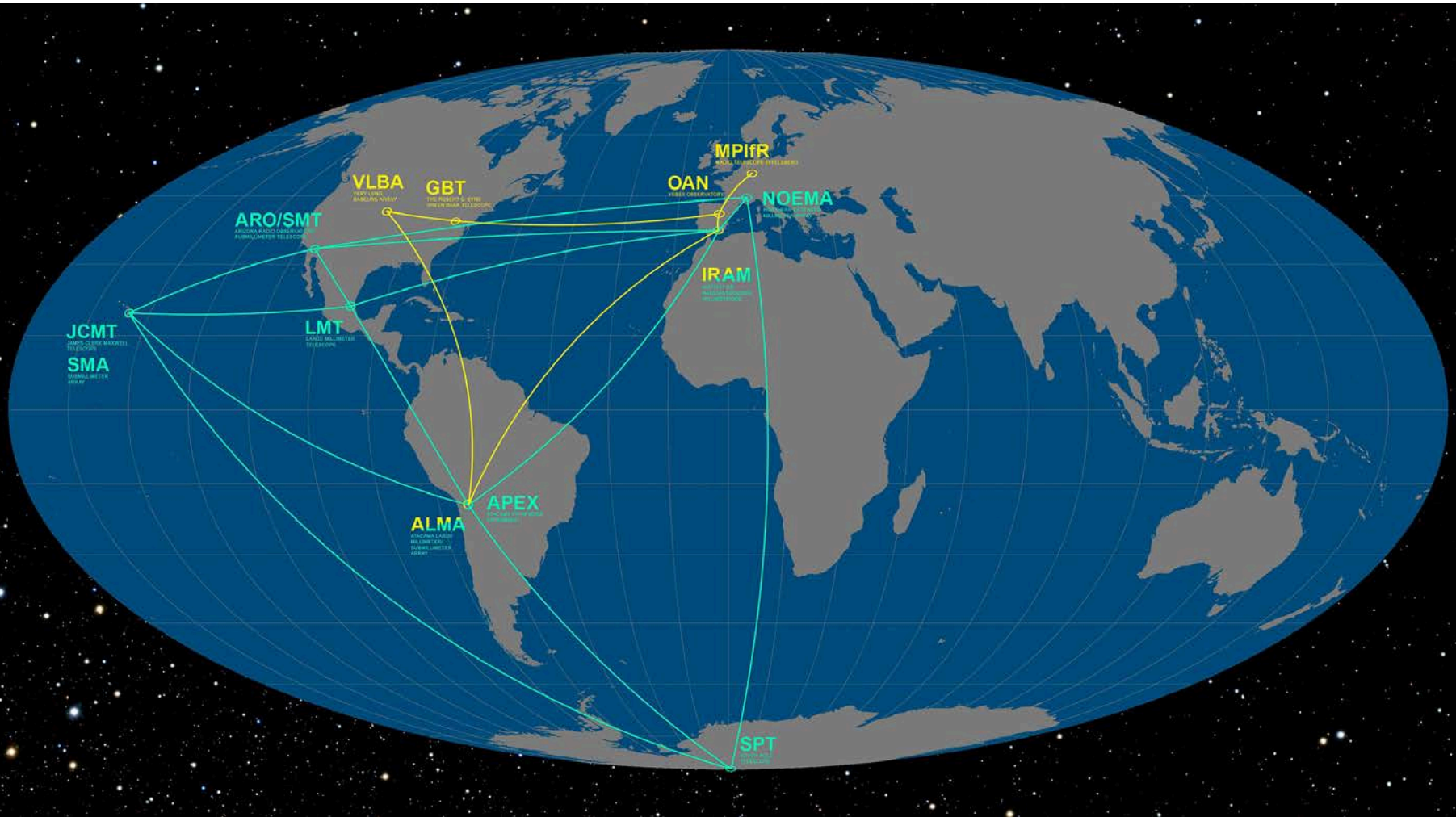
fáze 1: 2018-2023 (střední a nízké frekvence)

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

„1. světlo“ - 2020



# Event Horizon Telescope



<https://eventhorizontelescope.org/>

# Radioastronomie

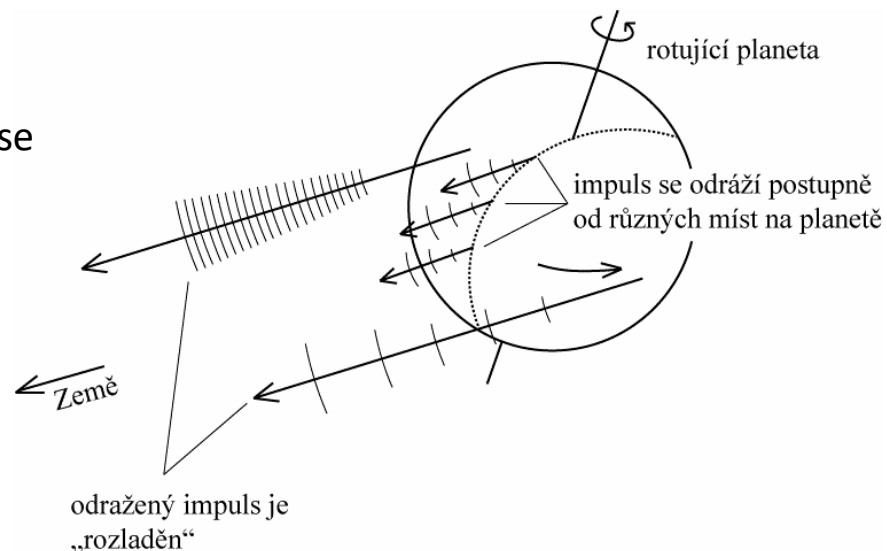
- pasivní průzkum – u většinu objektů; Slunce, galaxie, těsné dvojhvězdy, rádiové hvězdy ... ; dlouhovlnné záření dobře prostupné prachem – mapování Galaxie pomocí záření vodíku na 21 cm
- aktivní = radiolokační zkoumání – blízká tělesa (ve sluneční soustavě); 1. radiolokace Měsíce (1946) , širší použití od 60. let 20. století (Merkur a Venuše)

## Radiolokace v astronomii

Radiolokátor = radioteleskop - přijímač i vysílač série krátkých impulsů; úzký svazek záření – zasáhne planetu jako rovinná vlna o jediném kmitočtu, po odrazu od povrchu planety se vrací zpět k radioteleskopu

### přijatý signál deformován:

1. planeta vůči Zemi *nerotuje* (nebo osa rotace blízka zornému paprsku) => přijatý signál prodloužen v čase (odraz od povrchu koule=>zpoždění signálu)
2. planeta *rotuje* - signál od planety „rozladěn“ v důsledku Dopplerova jevu; část povrchu se vzdaluje, část se přibližuje => původní signál (krátký impuls na jediném kmitočtu) se vrací prodloužen v čase i kmitočtu





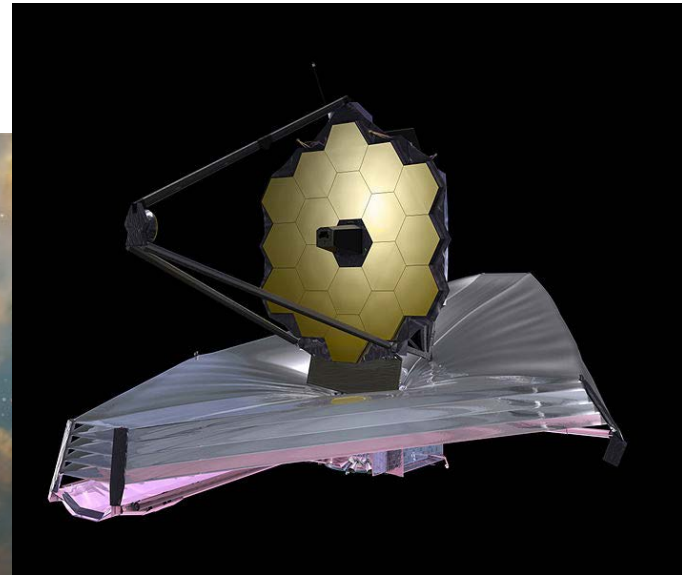


# Infračervená astronomie

- ❖ 1800 - objev IR záření - W. Herschel
- ❖ 30. léta 19. st. – první 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 – IUE, Spitzer, Herschel, HST, WISE, ...
- ❖ budoucnost – James Webb Space Telescope (2021)...



Herschel

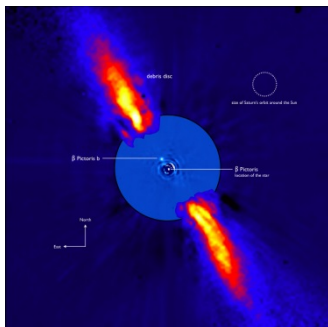


JWST

## Co se pozoruje?

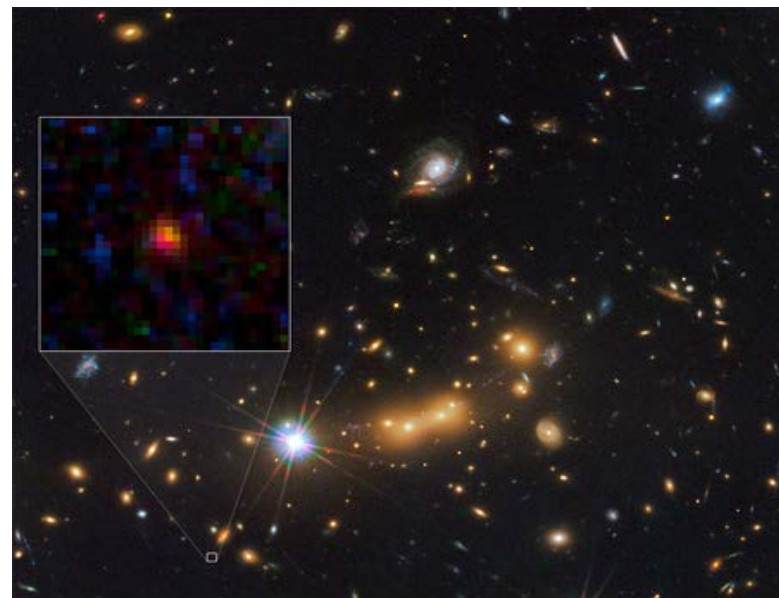
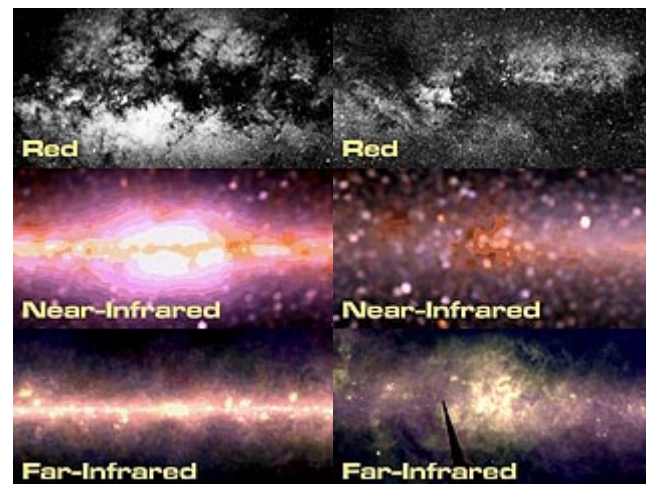
Tepelné záření - oblast spektra energeticky odpovídající rotačním a vibračním stavům molekul

- ❖ výzkum skrytého vesmíru, rozšiřování znalostí o viditelných objektech – vln. délka IR delší než u světla => prochází oblaky plynu a prachu => možnost sledovat objekty např. v centru Galaxie, v oblastech zrodu hvězd (určování chemického složení objektů ve vesmíru, pozorování molekulových mračen, okolohvězdných obálek, vzniku hvězd)

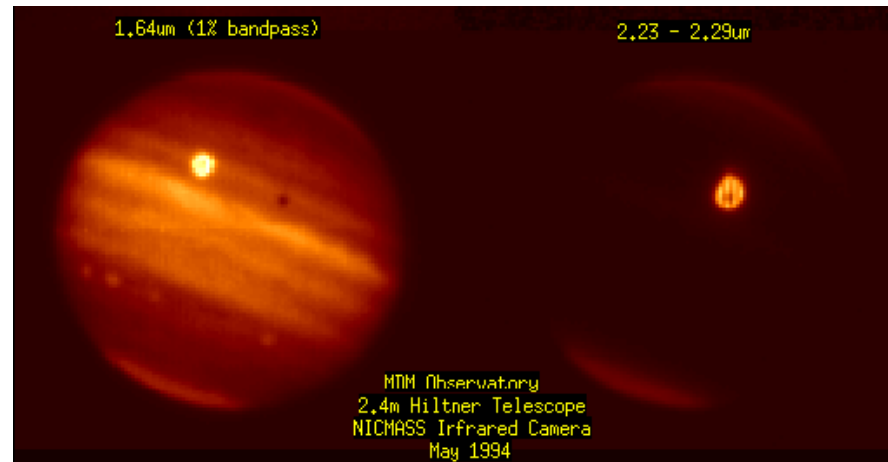


- ❖ pozorování chladných hvězd, IR galaxií, oblaků částic kolem hvězd, vzdálených objektů, mlhovin, mezihvězdné látky, hnědých trpaslíků a planet

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

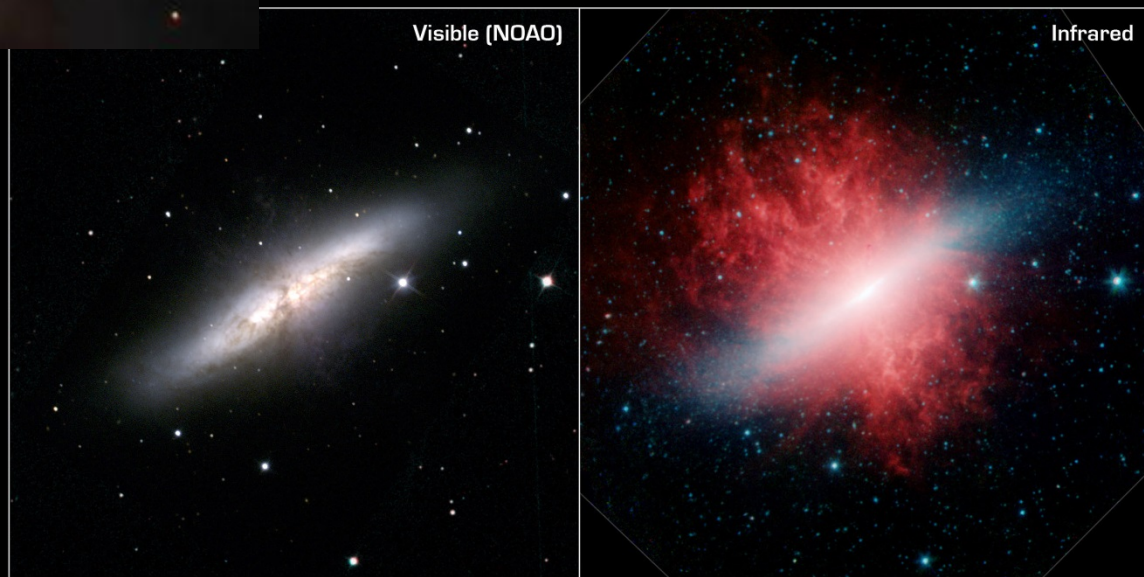






Jupiter

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



“Cigar” Galaxy M82

Spitzer Space Telescope • IRAC

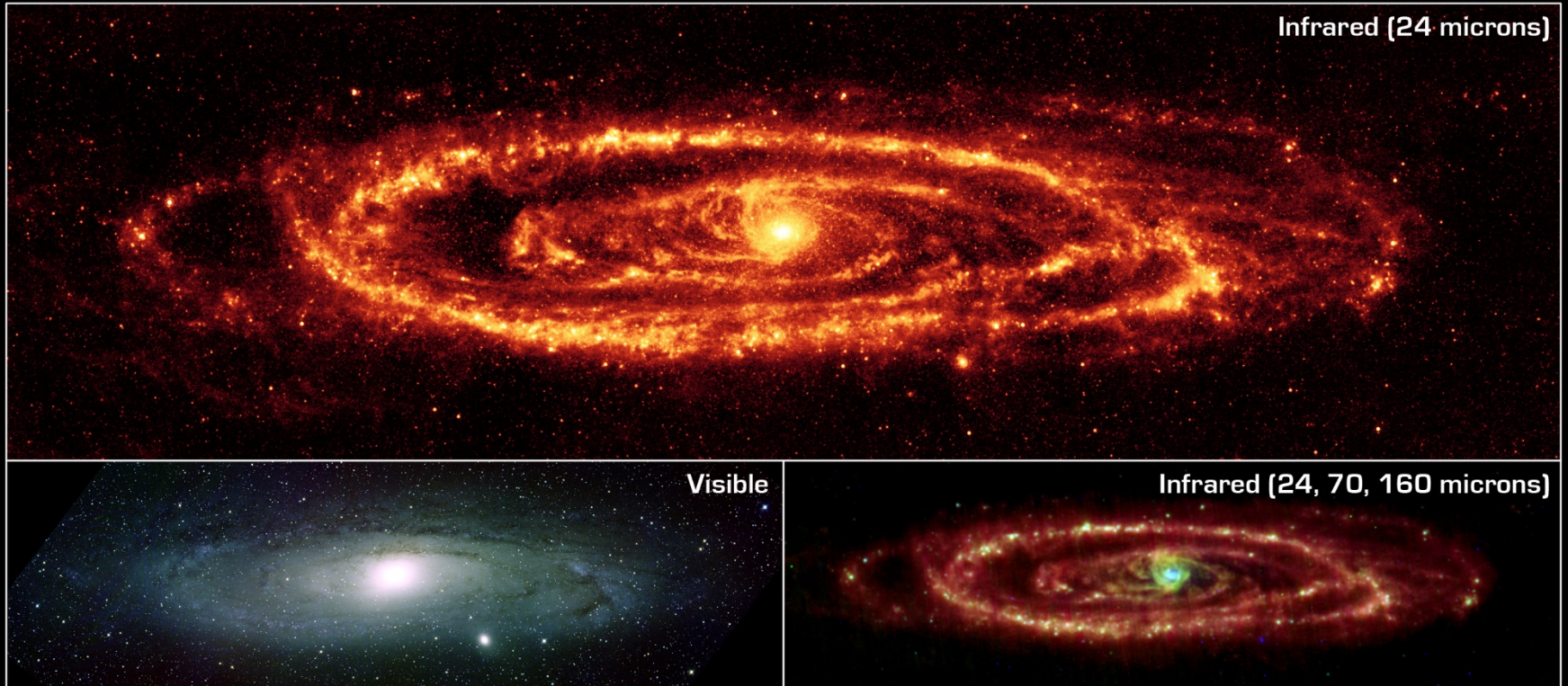
NASA / JPL-Caltech / C. Engelbracht and the SINGS team (Steward Observatory)

ssc2006-09a



Z. Bardon

Expozice 7 h 50 min



**Dust in Andromeda Galaxy (M31)**

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

**Spitzer Space Telescope • MIPS**

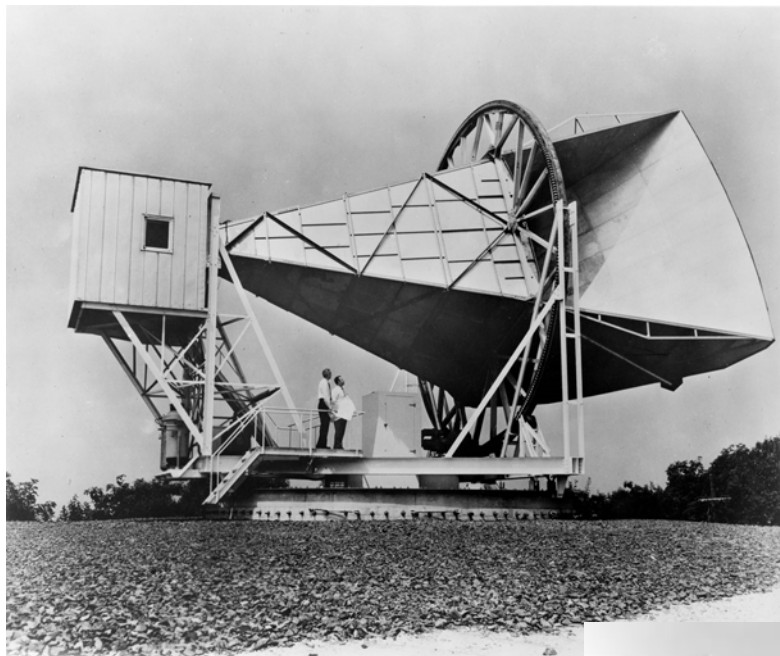
Visible: NOAO

ssc2005-20a

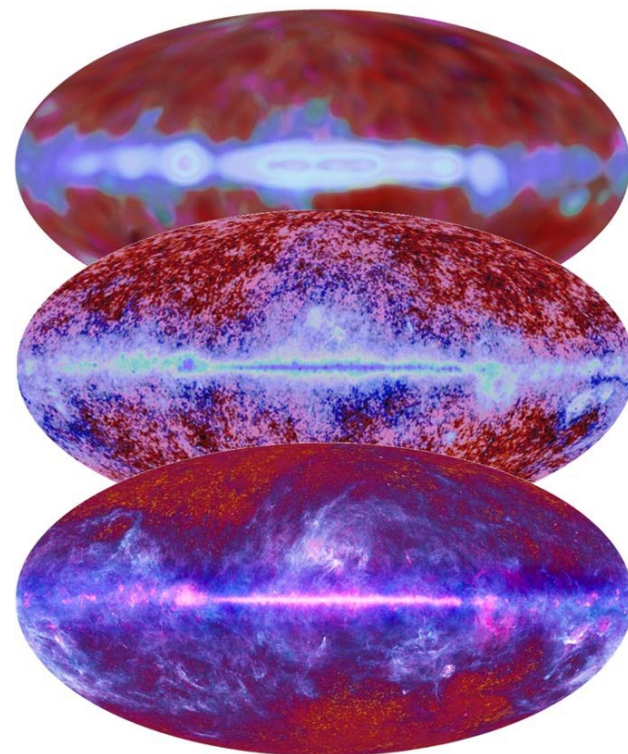


# Infračervená-mikrovlnná astronomie

- 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)

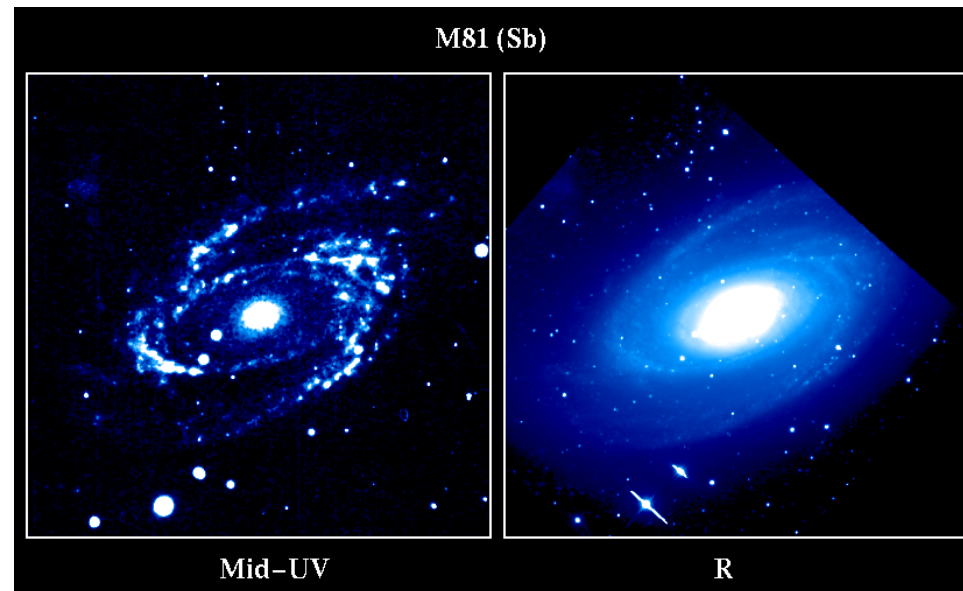
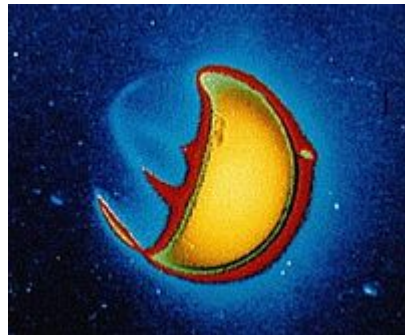
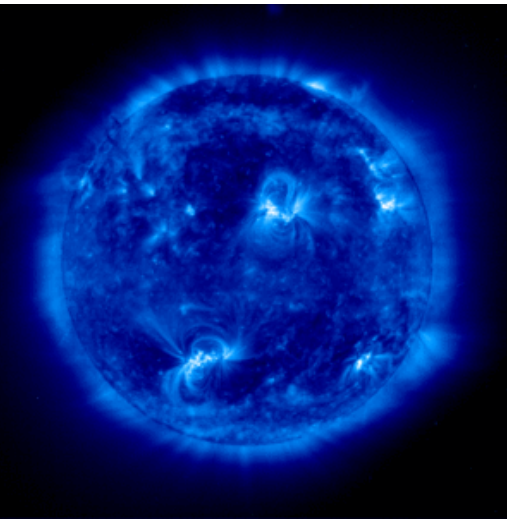


- družice COBE, WMAP, Planck



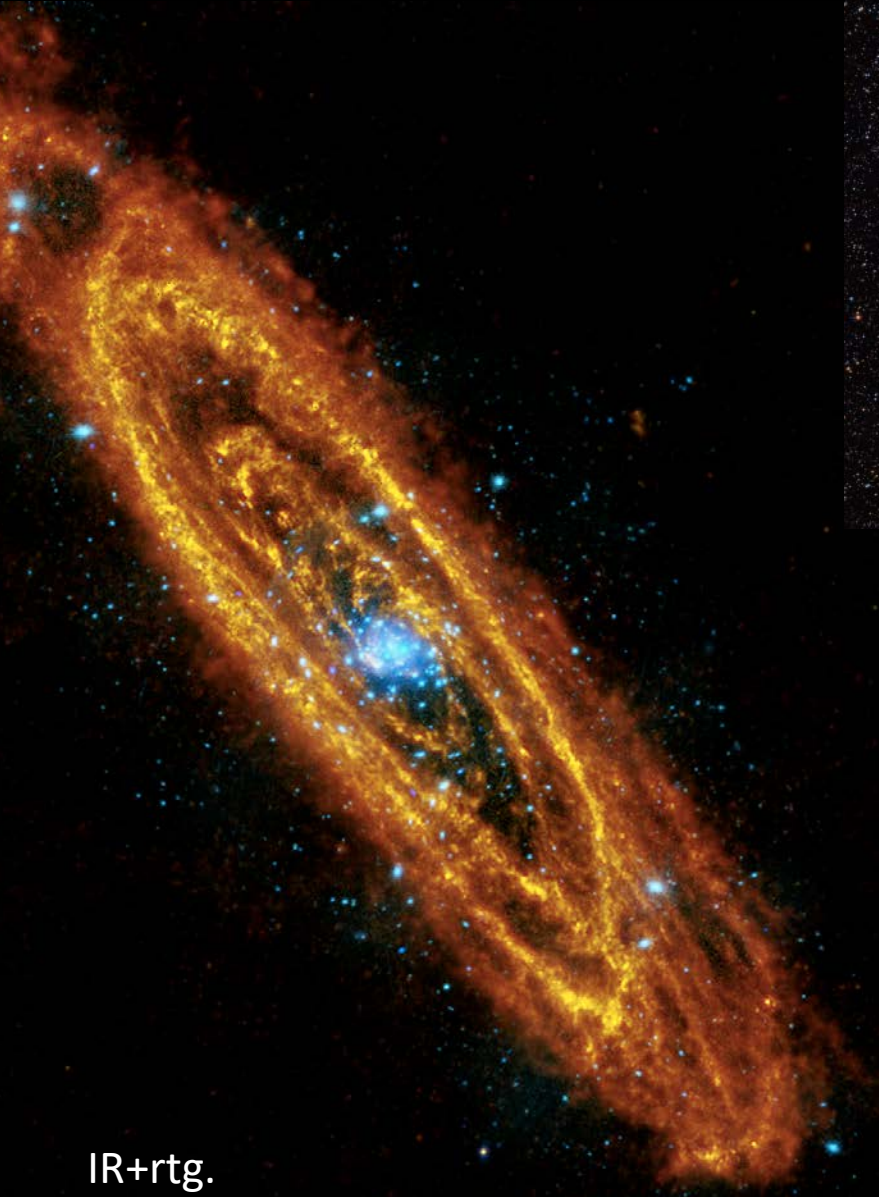
# Ultrafialová astronomie

- 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





M31



IR+rtg.

vizuálně

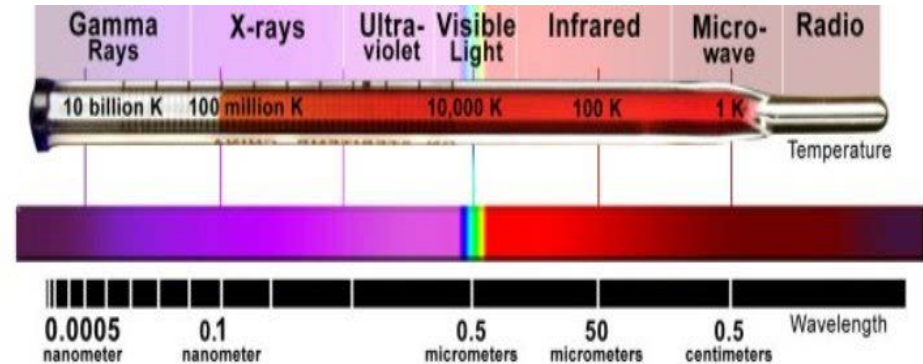


UV



# 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



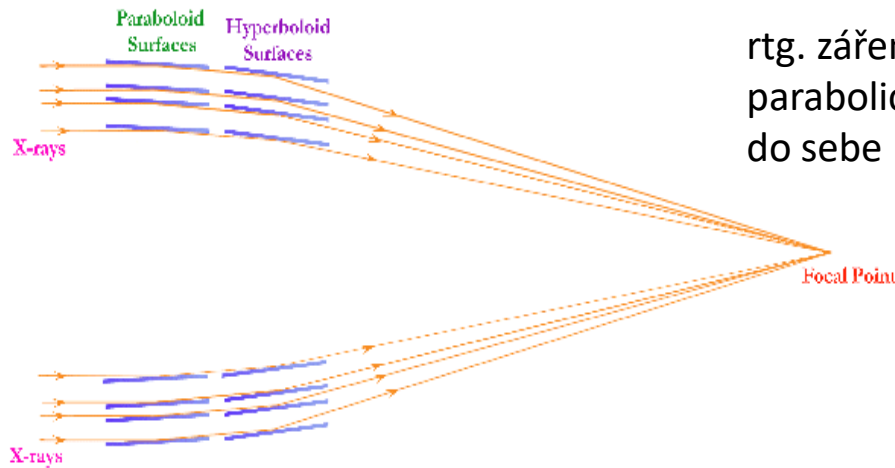
zemská atmosféra pro rtg. a  $\gamma$  záření neprostupná => detekce až v 60. letech 20. st. satelity VELA



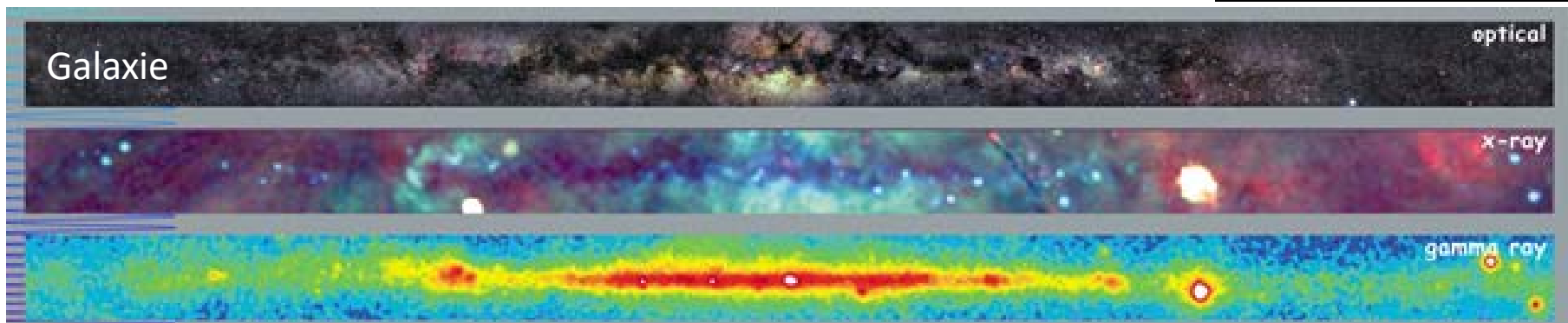
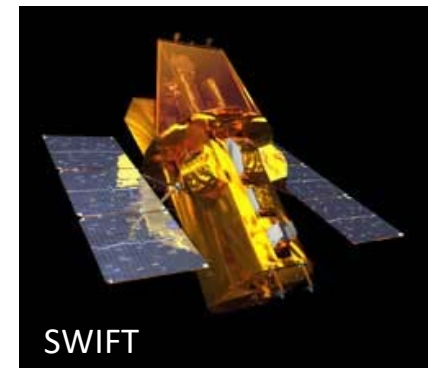


# Gama a rentgenová astronomie

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

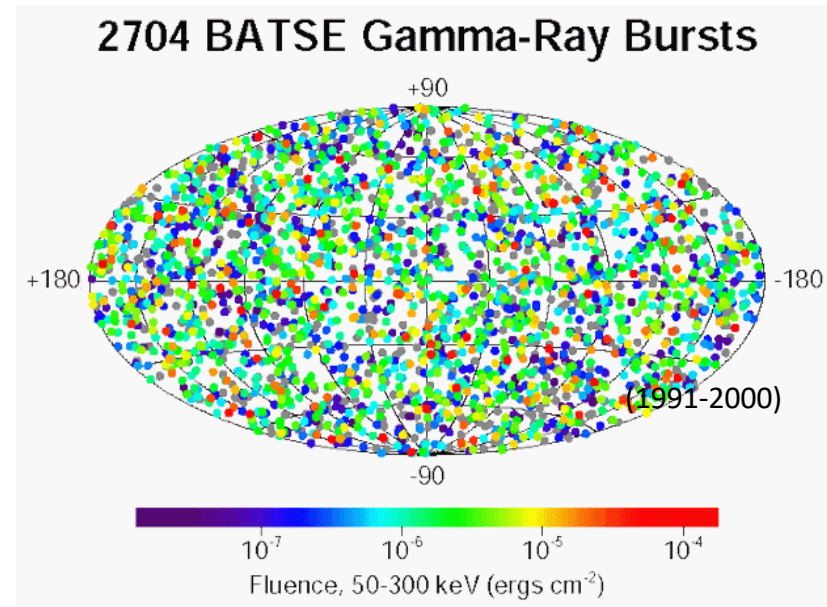
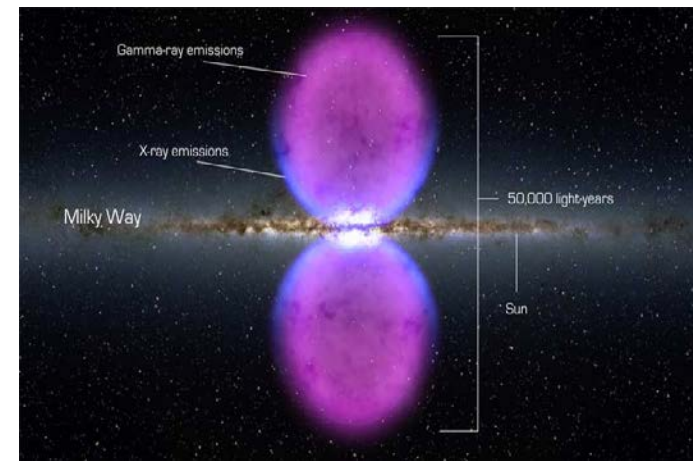


rtg. záření je soustředěno soustavou souosých parabolických a hyperbolických ploch vložených do sebe

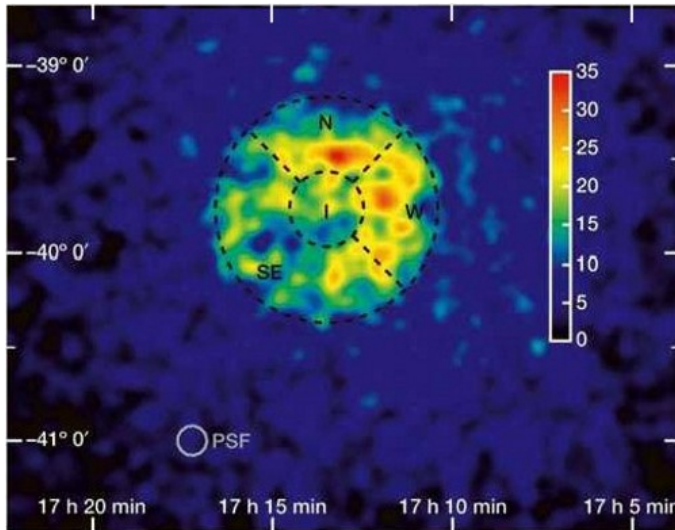


# Pozoruhodné výsledky rentgenové a gama astronomie

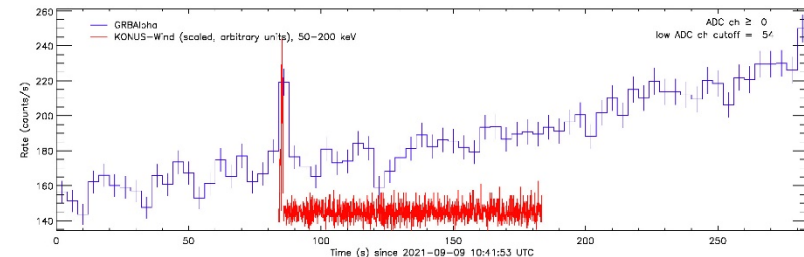
- 1989 - 1. zdroj  $\gamma$  záření v Galaxii – M1
- 1992 – 1. extragal. zdroj  $\gamma$  záření – galaxie Markarjan 421
- 2000 – 2704 gama záblesků z BATSE
- 2010 – objev obřích bublin  $\gamma$  záření od centra Galaxie
- 2021 – detekce GRB nanosatelitem



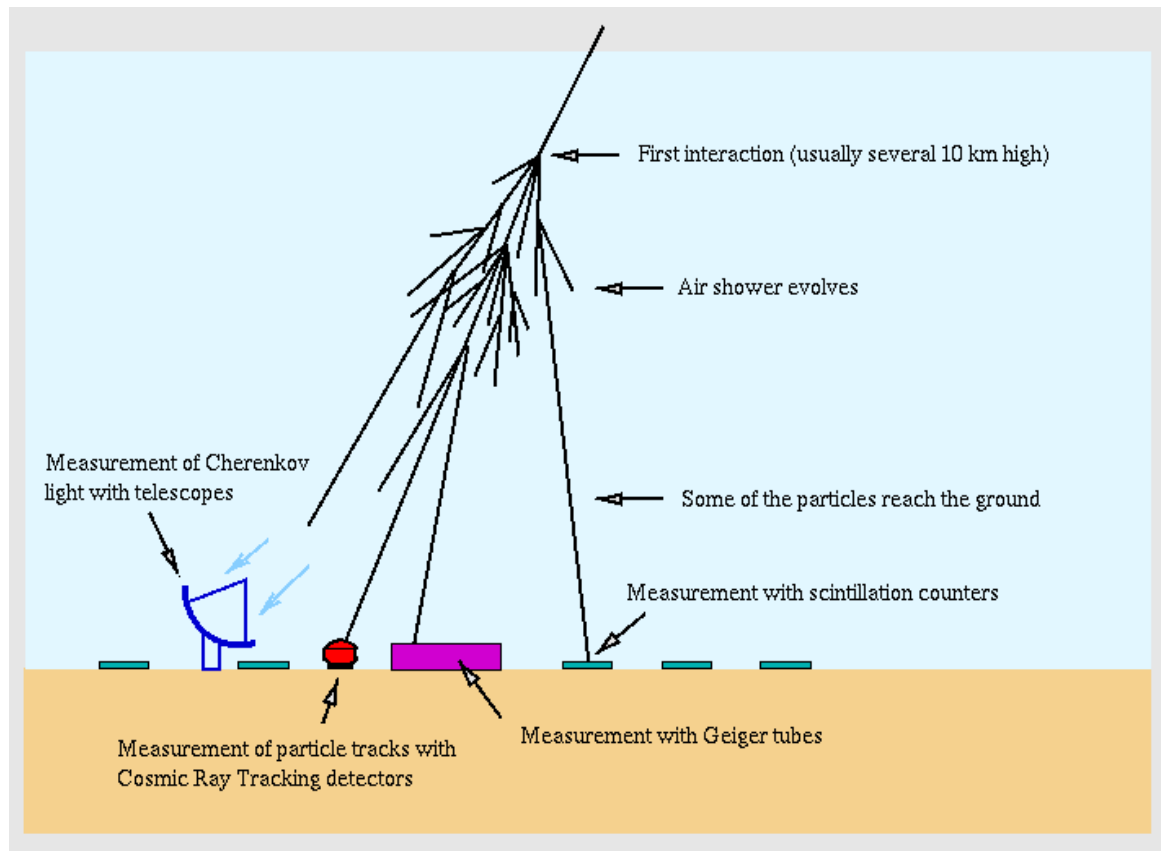
RXJ1713.7-3946.



západnímu okraji (W) odpovídá tok pouhých  $4,1 \times 10^{-8}$  fotonů/m<sup>2</sup>s



# Pozemská(?) gama a rentgenová astronomie



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

HESS  
(Namibie)



dvojice SST-1M - Ondřejov



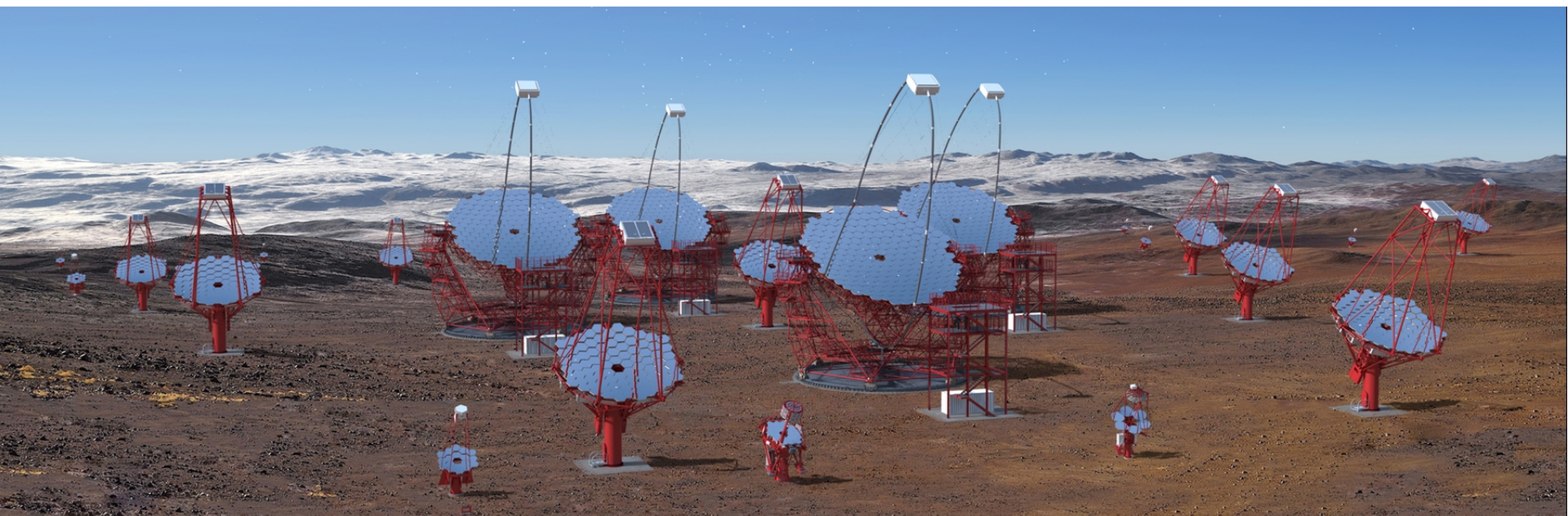
# Cherenkov Telescope Array (CTA)



1. teleskop – říjen 2018

částečně v provozu od  
2022, dokončení 2025

Jih – Paranal,  
sever – La Palma

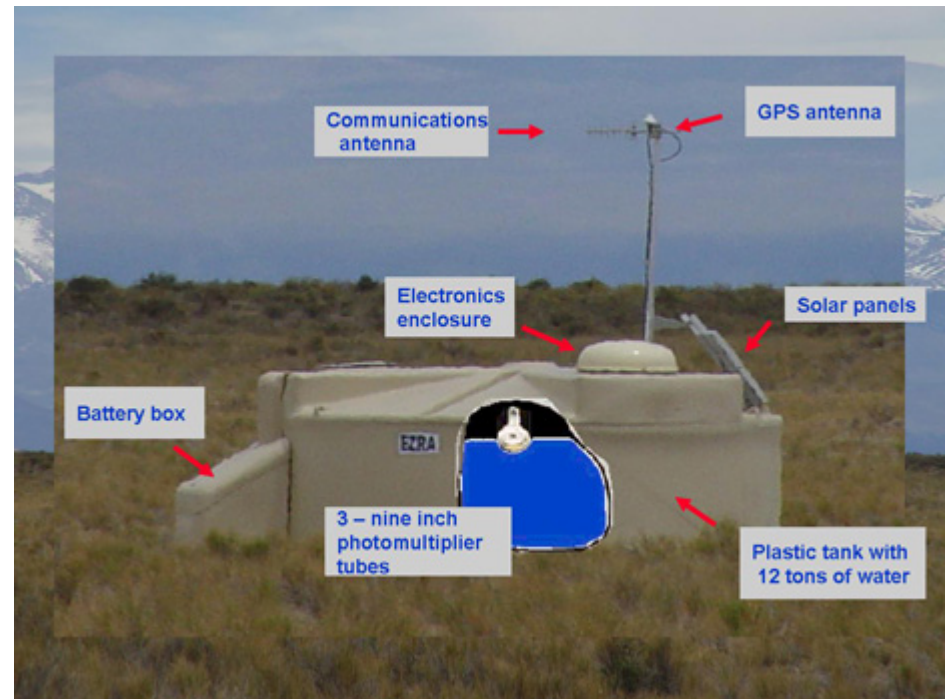
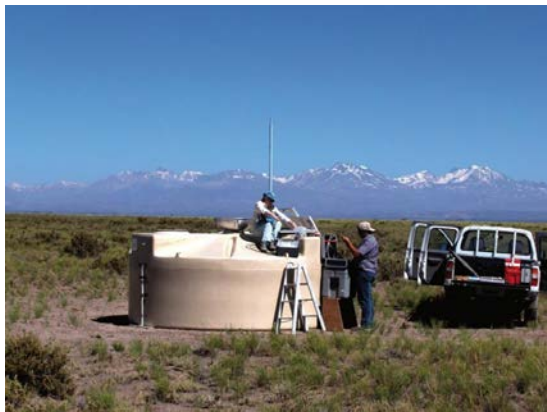
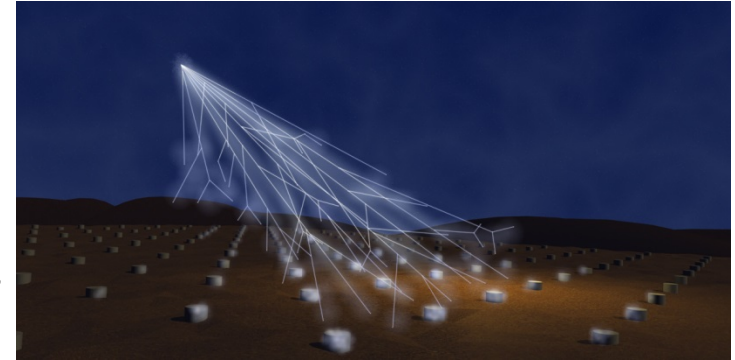


# Částicová astronomie

## 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 km<sup>2</sup>,  
1660 tanků s vodou,  
27 optických dalekohledů,  
160 radioteleskopů

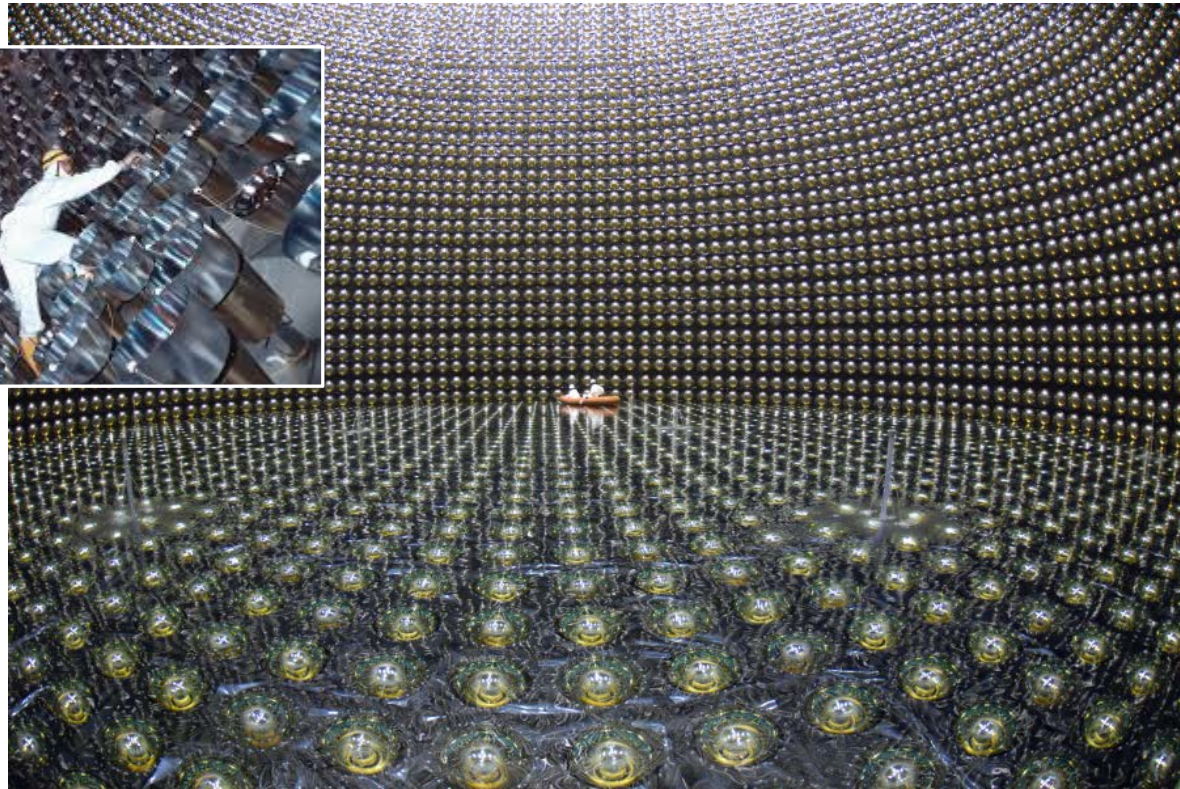
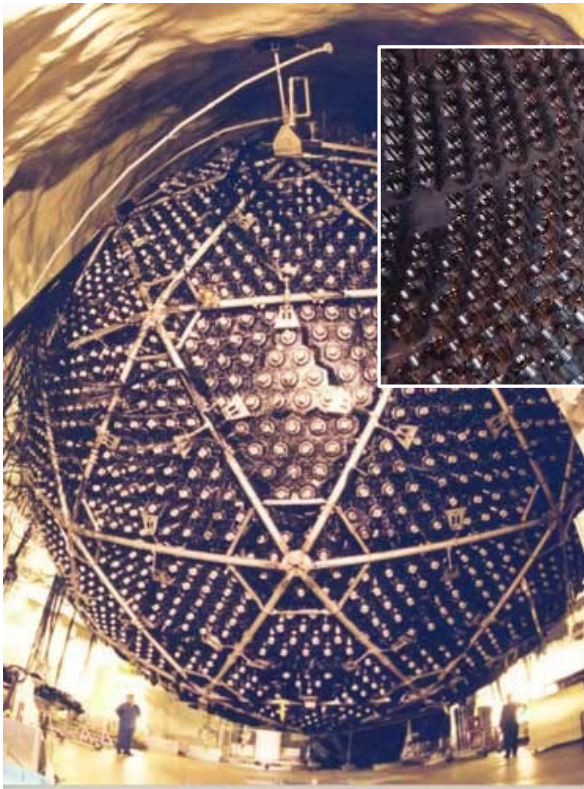




# Částicová astronomie

## 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)

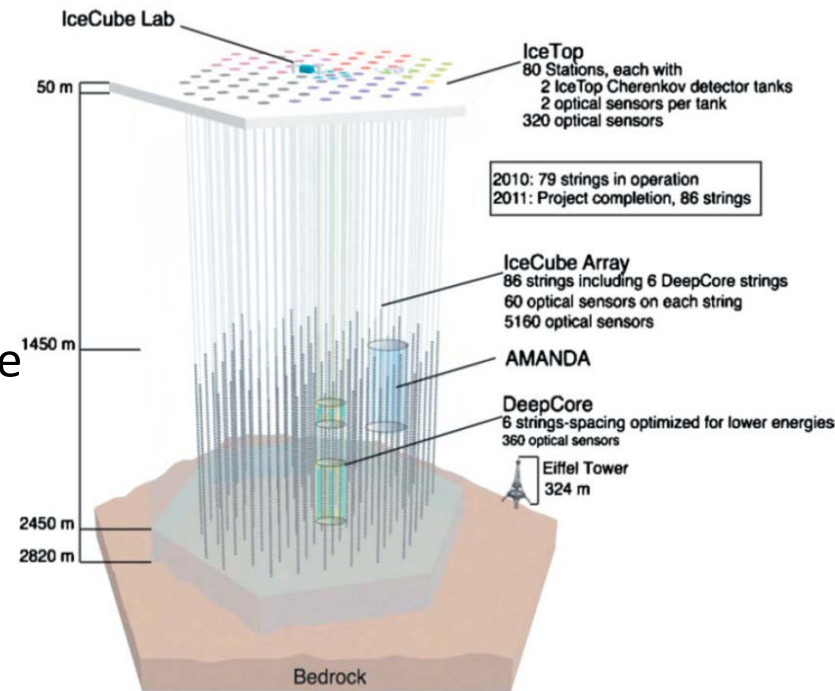
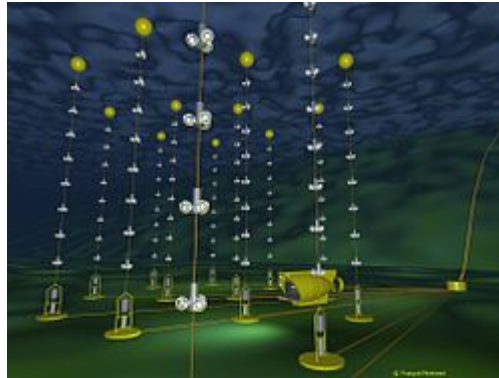




# Neutrinová astronomie

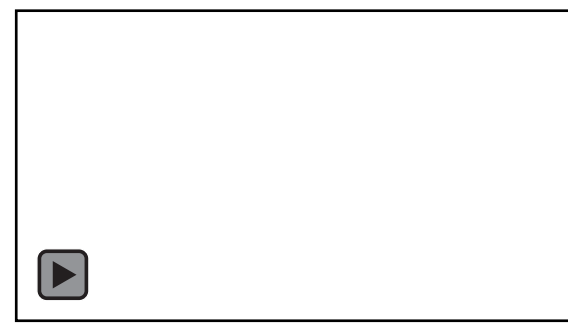
Projekty využívající přírodních „nádrží“

- IceCube, Antarktida, okolí jižního pólu; 1 km<sup>3</sup> čistého ledu, 86 děr (1450 – 2450 m) s 5160 detektory,
- ANTARES, KM3Net, NEMO – Středozeř. moře
- Baikal-GVD - Rusko





# Gravitační vlny



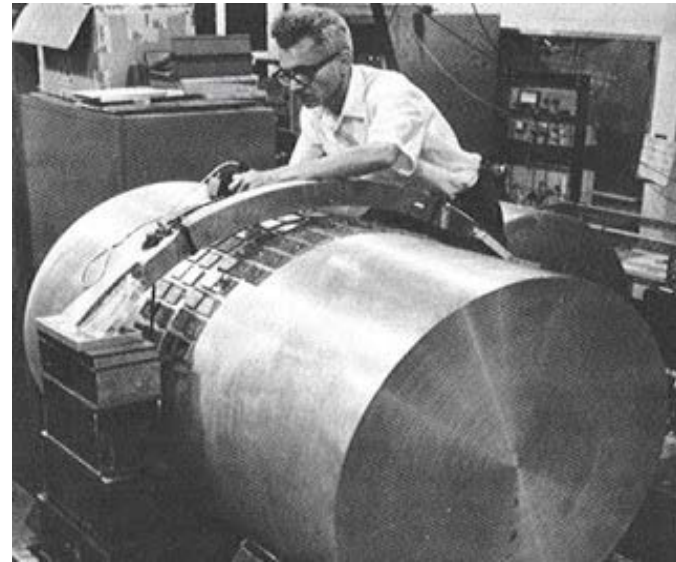
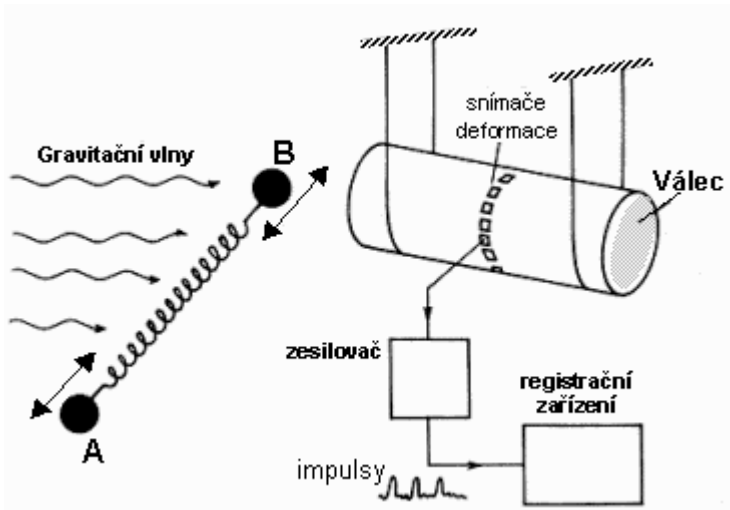
= fluktuace zakřivení časoprostoru, které se šíří jako vlny rychlostí světla; nejde o vlnění v prostoru, ale samotného časoprostoru;  
předpovězeny A. Einsteinem 1916;  
vznik při vzájemném pohybu těles v gravitačním poli, zdroj - těsné dvojhvězdy v konečném stádiu vývoje (složky ČD, NH), výbuchy supernov,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

Do roku 2015 pouze nepřímé detekce:

- dvojitý pulsar PSR 1913+16 – dochází ke zkracování periody oběhu a stáčení velké poloosy o  $4^\circ$  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



60.-70. léta 20. st. - Weberova detekce gravitačních vln – neuznána

moderní verze Weberova zařízení:

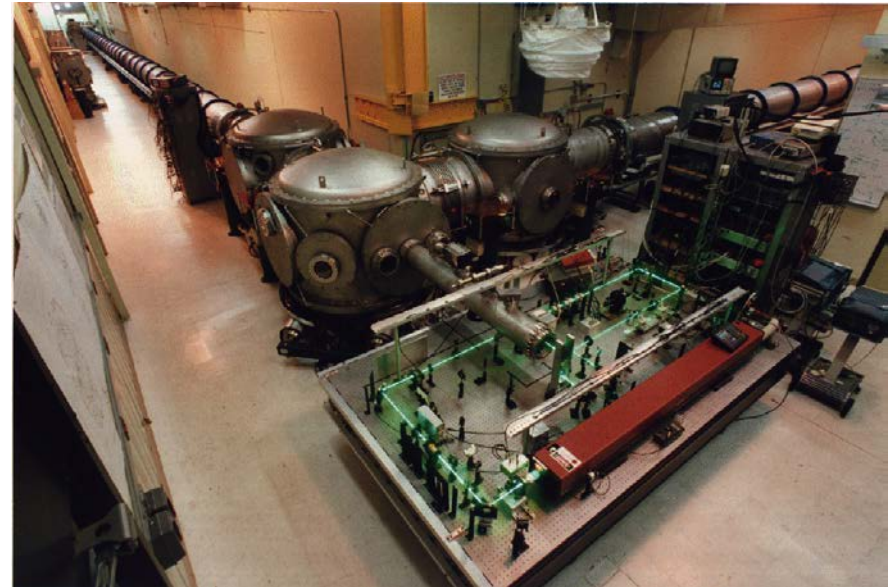
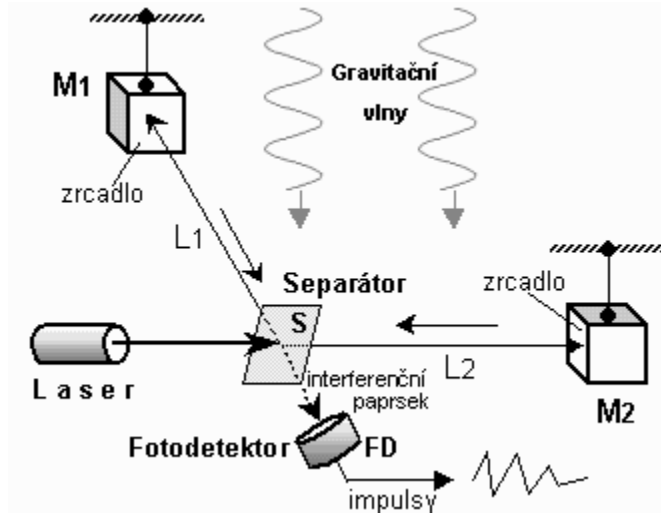
- AURIGA, NAUTILUS (Frascati a Legnaro, Itálie) – rezonance/deformace testovacích těles
- 





# Detekce gravitačních vln

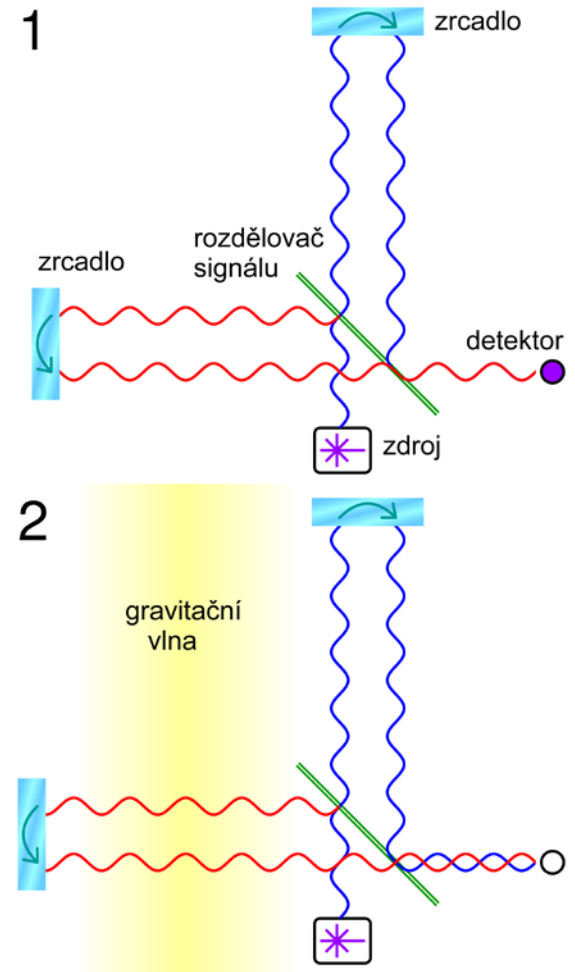
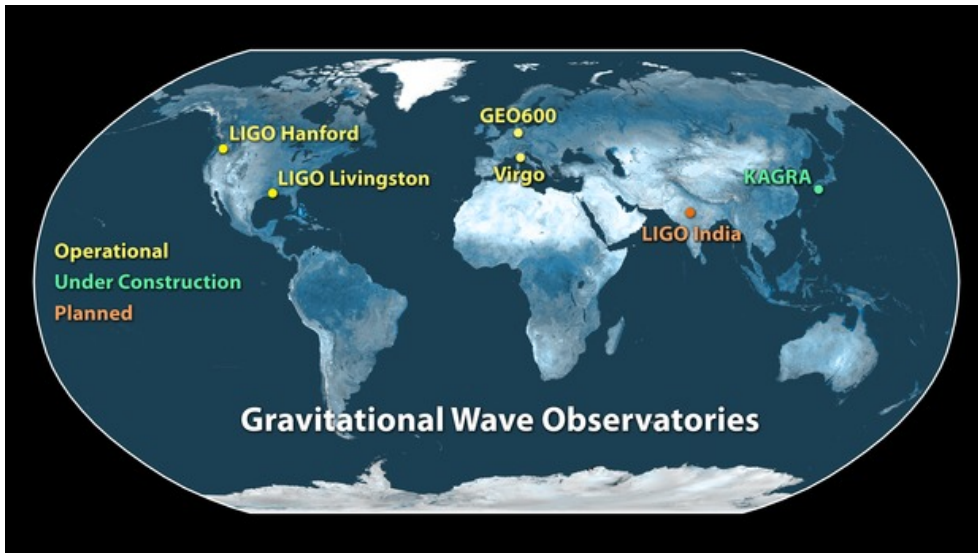
70. léta 20. st. – interferometrie



- 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

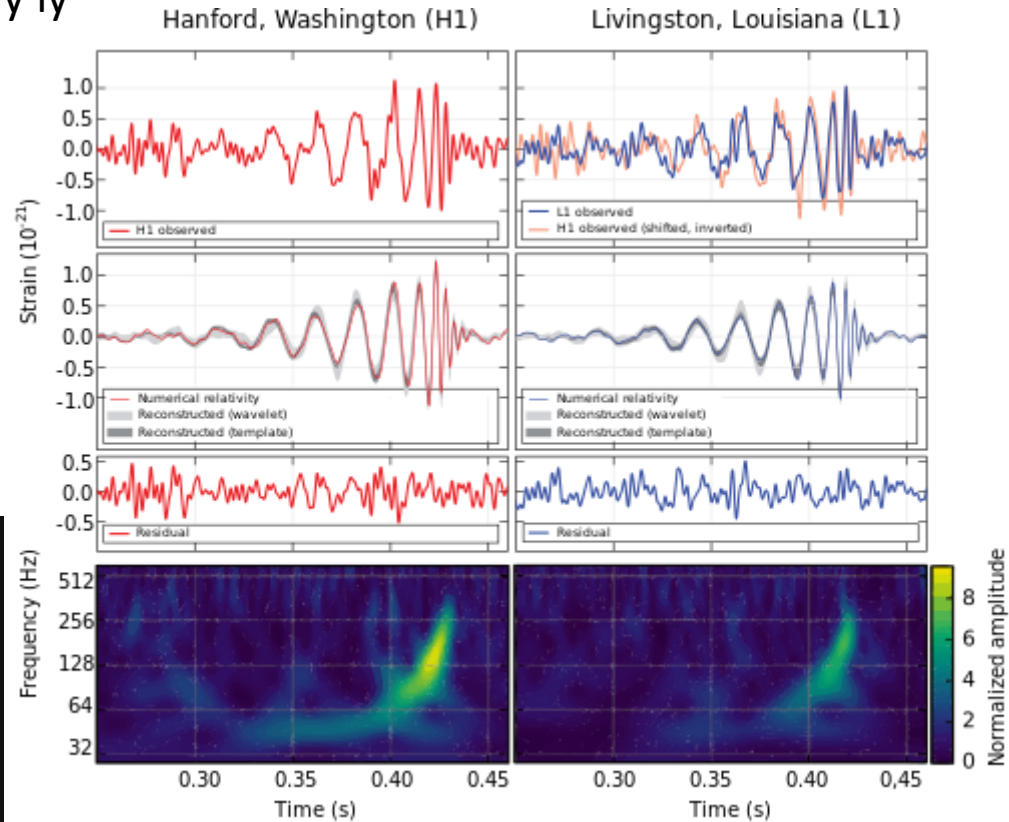
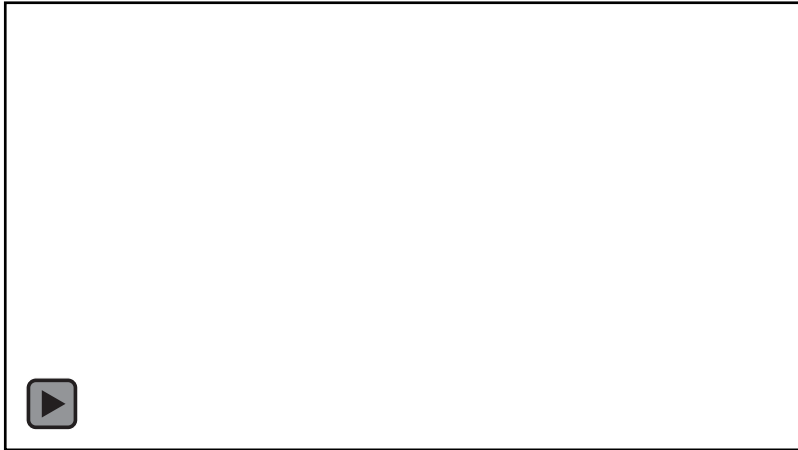




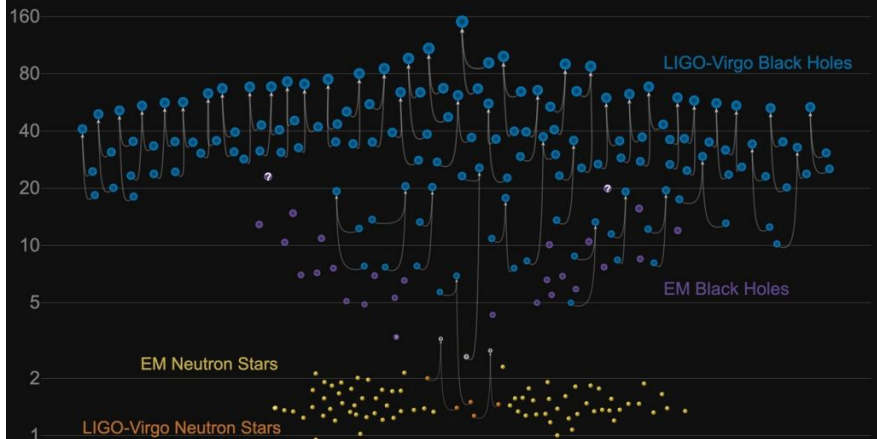
# Detekce gravitačních vln

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/>

17.11.2020 <https://www.universetoday.com/148810/>

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**

