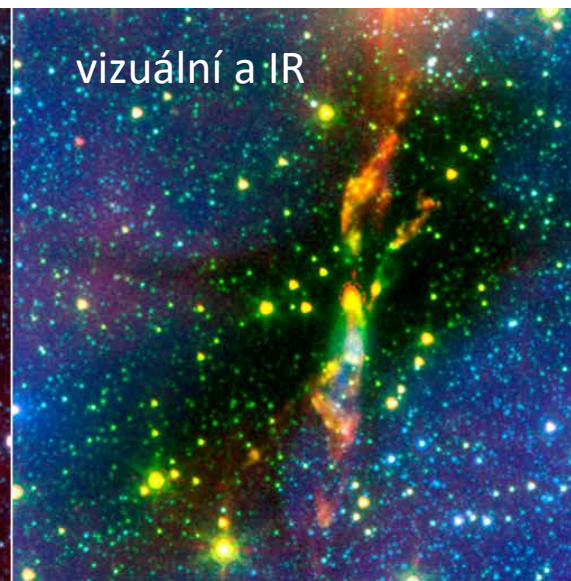
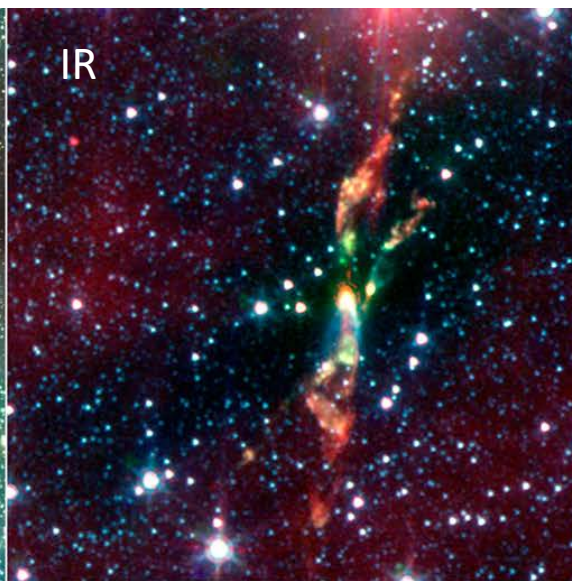


Neoptická, nevizuální astronomie

- **nevizuální části elmag spektra:**
 - **gama-astronomie** – družice, balóny, Čerenkovovy dalekohledy
 - **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

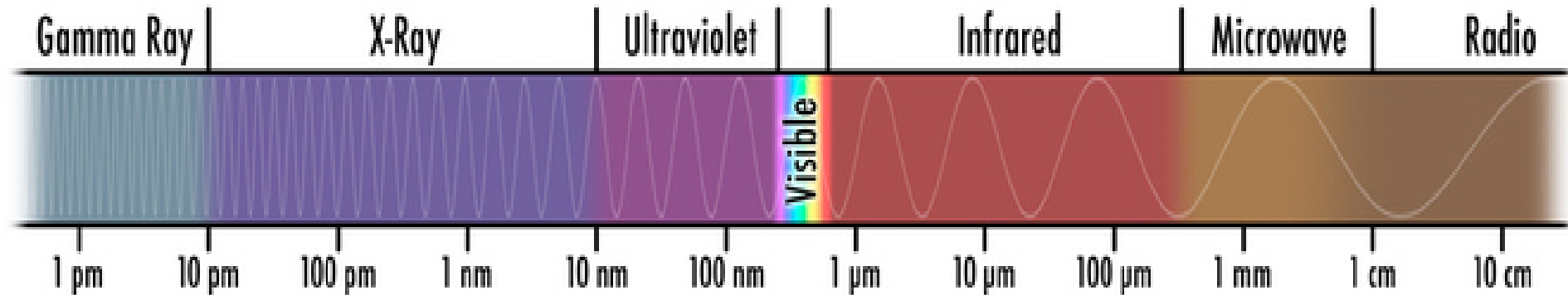
Astronomie v částech elektromagnetického spektra mimo vizuální oblast

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: $p = h/\lambda$



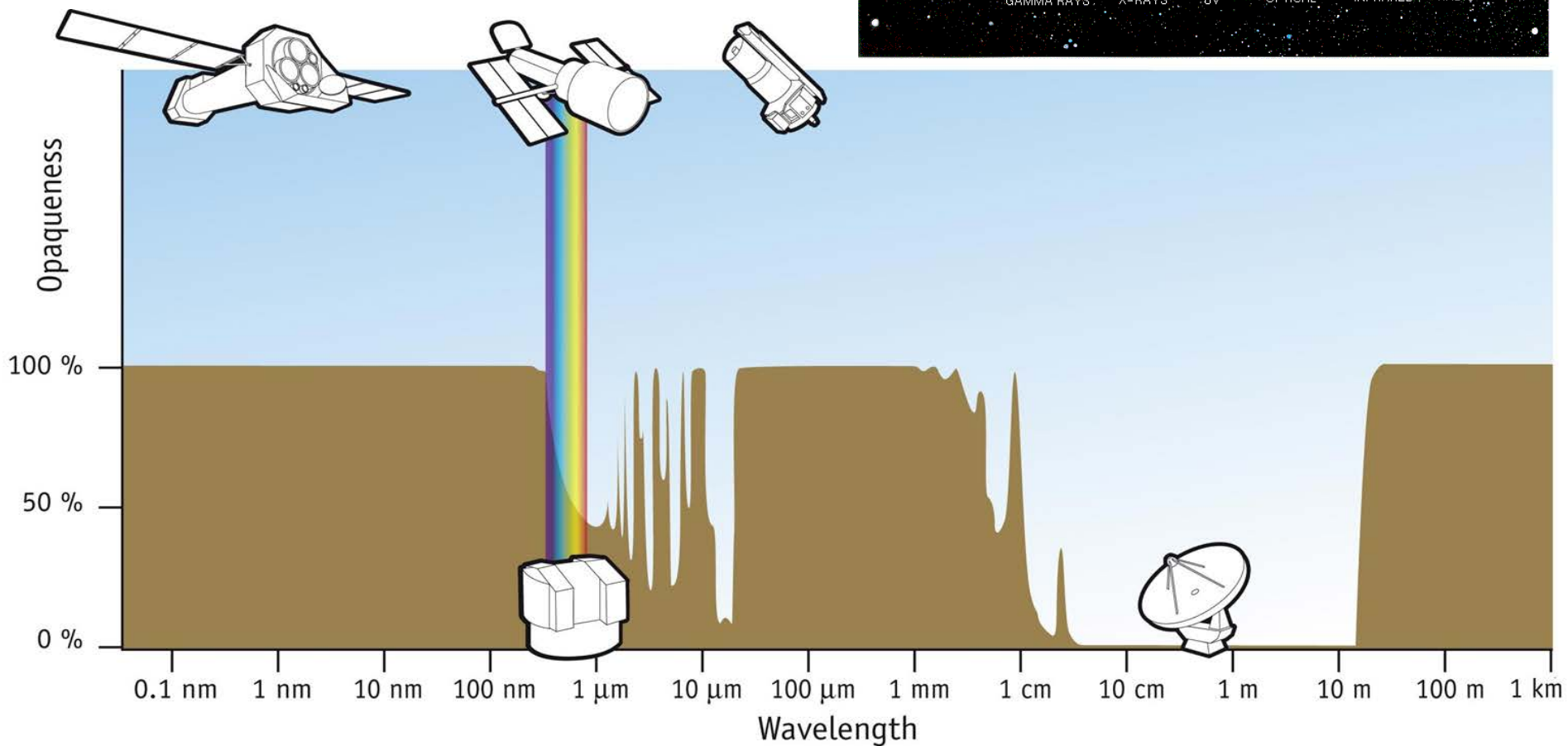
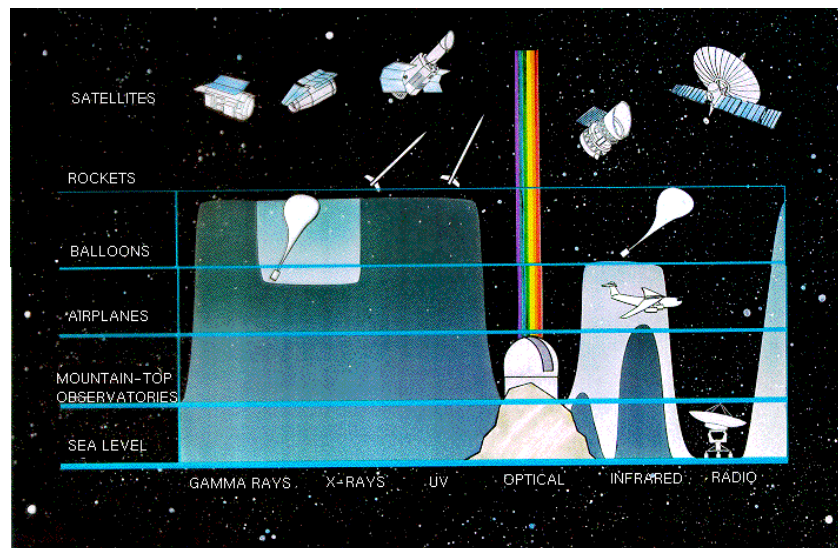
V krátkovlnné oblasti se udávají místo vlnových délek energie, v dlouhovlnné oblasti se používají frekvence

1 eV odpovídá 1240 nm

1 GHz odpovídá 0.3 m

Z povrchu Země

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



Radioastronomie

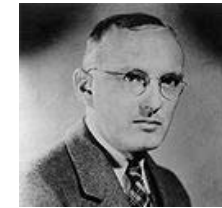
radioastronomie - nejstarší a nejvýznamnější část neoptické astronomie

Základní přístroj radioastronomie – **radioteleskop**

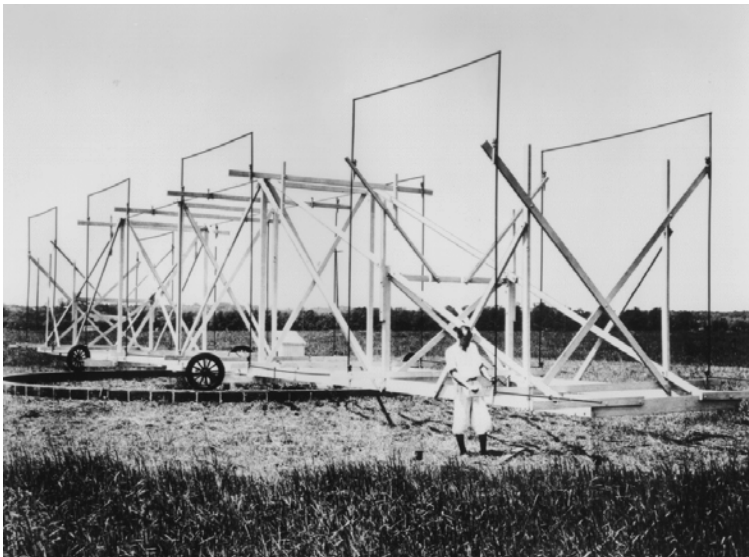
- výsledný „obraz“ - výsledek procesu zpracování



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

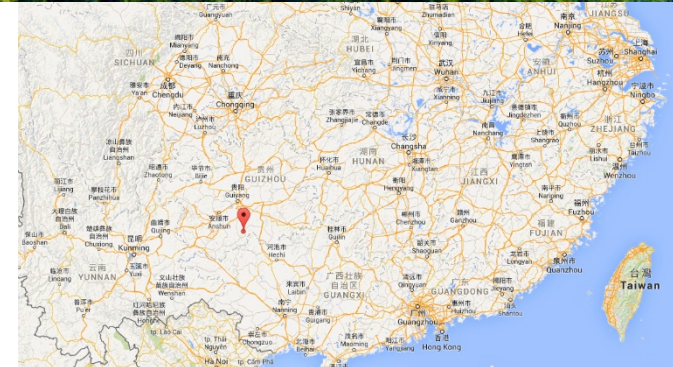


rozkvět radioastronomie – po 2. světové válce

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)

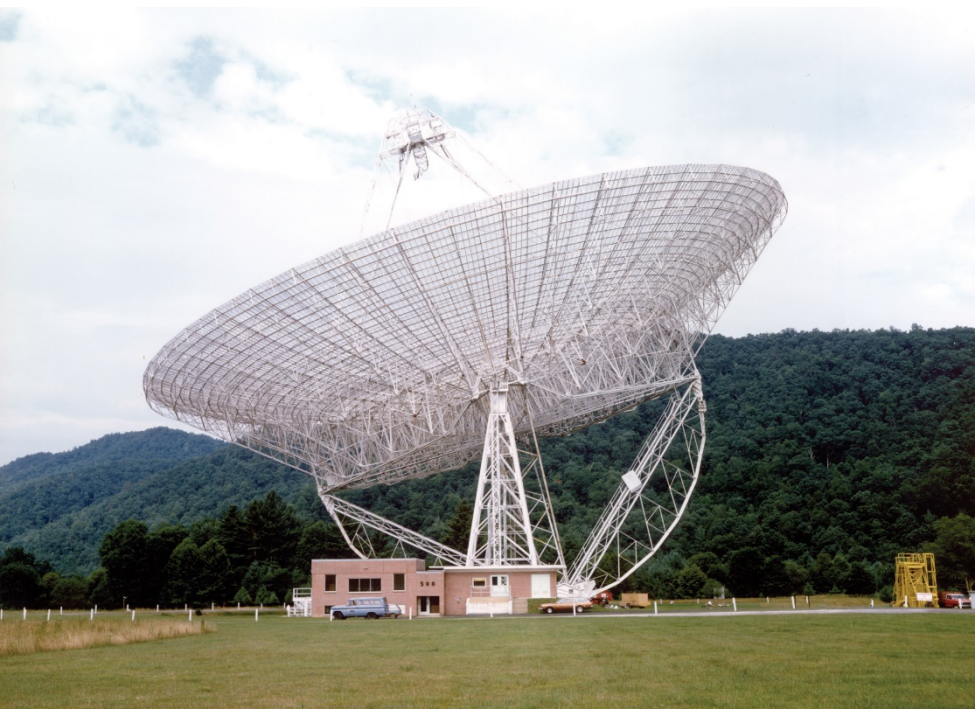


Effelsberg (Německo)

**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 λ od 3 m do 30 cm (100 MHz až 1 GHz) – většinou průměr > 100 m

pro λ cca 30 cm (1 GHz) - průměr 3 - 90 m

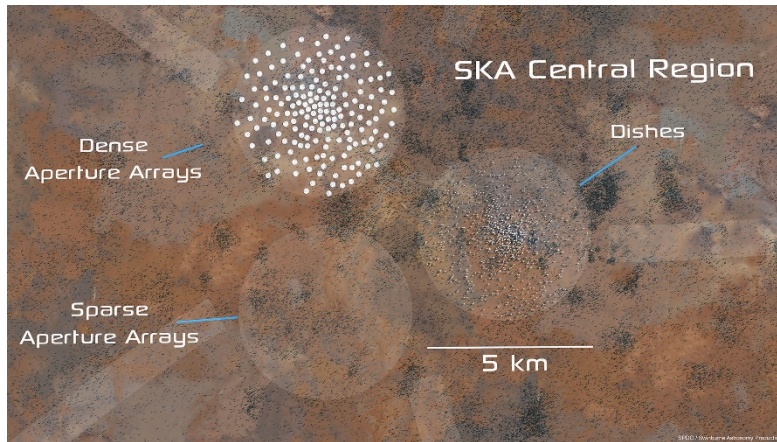
Radioteleskopy – soustavy antén

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



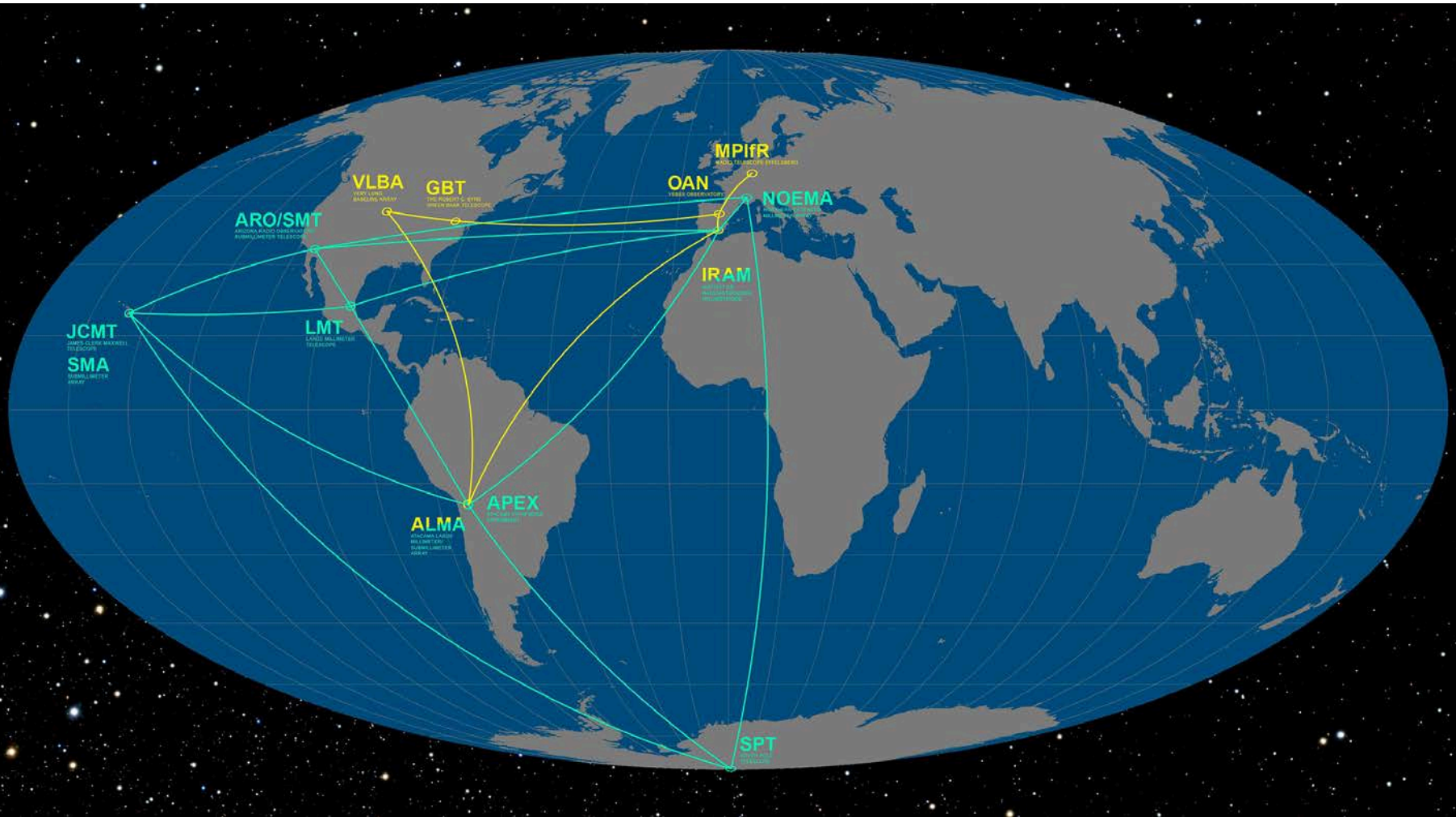
Square Kilometre Array (SKA) – Austrálie, JAR

fáze 1: 2018-2023

fáze 2: 2023-2030

„1. světlo“ - 2020

Event Horizon Telescope



<https://eventhorizontelescope.org/>

Radioastronomie

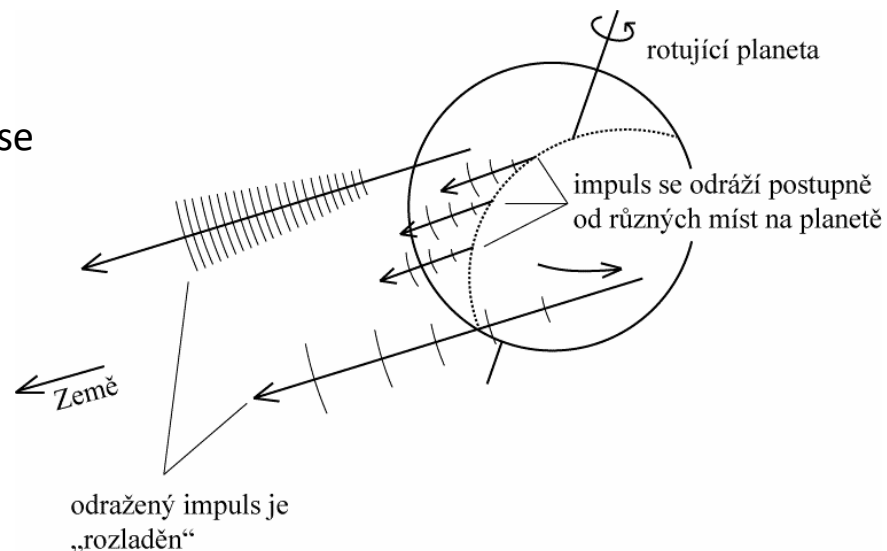
- pasivní průzkum – u většinu objektů; Slunce, galaxie, těsné dvojhvězdy, rádiové hvězdy ... ; dlouhovlnné záření dobře prostupné prachem – mapování Galaxie pomocí záření vodíku na 21 cm
- aktivní = radiolokační zkoumání – blízká tělesa (ve sluneční soustavě); 1. radiolokace Měsíce (1946) , širší použití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

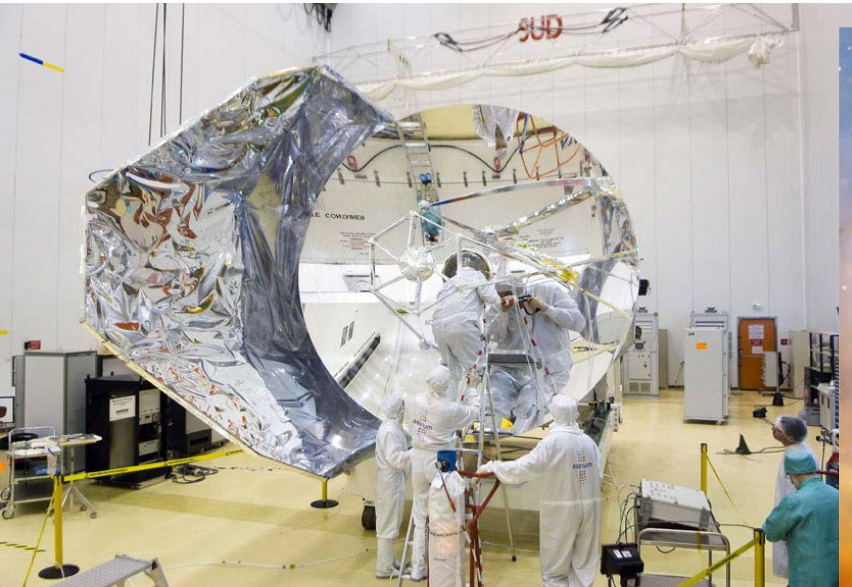
1. planeta vůči Zemi *nerotuje* (nebo osa rotace blízka zornému paprsku) => přijatý signál prodloužen v čase (odraz od povrchu koule=>zpoždění signálu)
2. planeta *rotuje* - signál od planety „rozladěn“ v důsledku Dopplerova jevu; část povrchu se vzdaluje, část se přibližuje => původní signál (krátký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



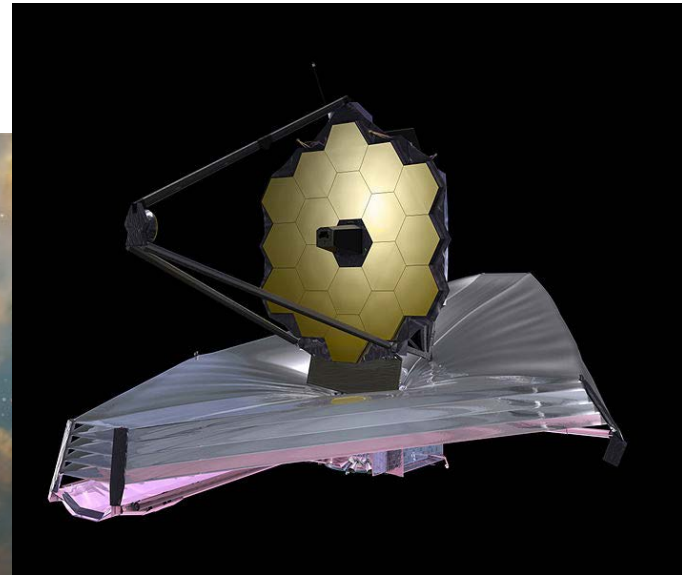


Infračervená astronomie

- ❖ 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

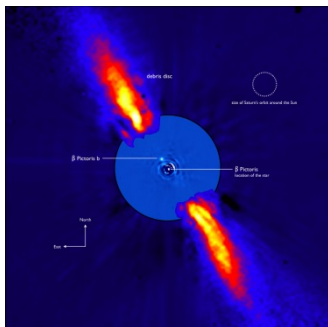


JWST

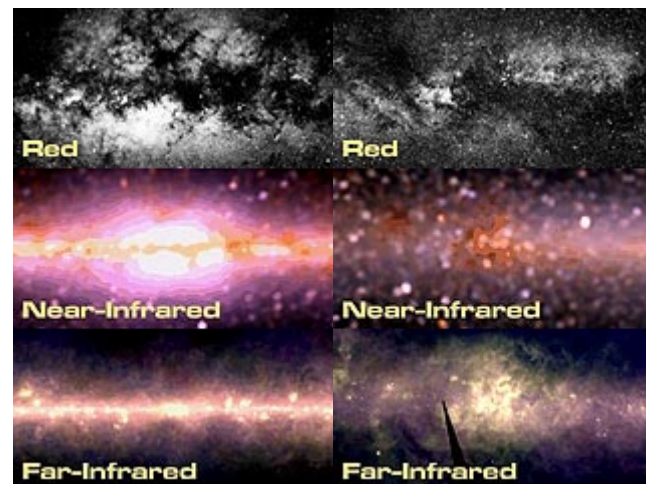
Co se pozoruje?

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

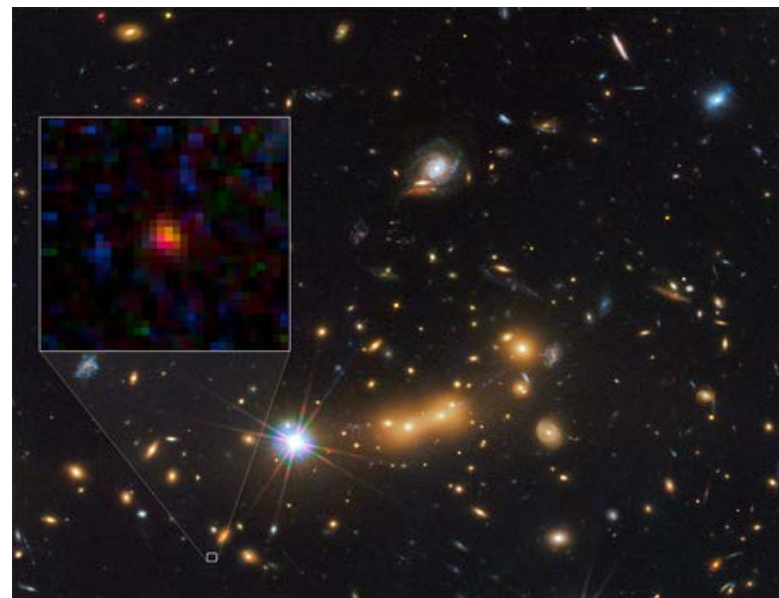
- ❖ výzkum skrytého vesmíru, rozšiřování znalostí o viditelných objektech – vln. délka IR delší než u světla => prochází oblaky plynu a prachu => možnost sledovat objekty např. v centru Galaxie, v oblastech zrodu hvězd (určování chemického složení objektů ve vesmíru, pozorování molekulových mračen, okolohvězdných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

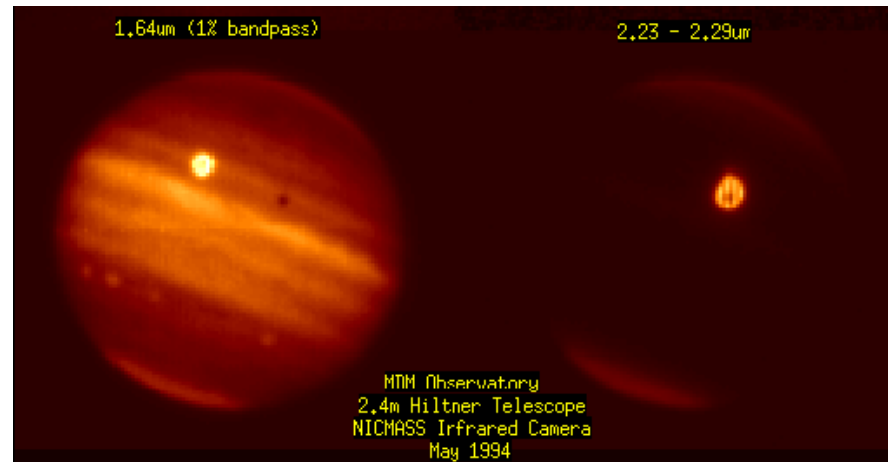


- ❖ pozorování chladných hvězd, IR galaxií, oblaků částic kolem hvězd, vzdálených objektů, mlhovin, mezihvězdné látky, hnědých trpaslíků a planet



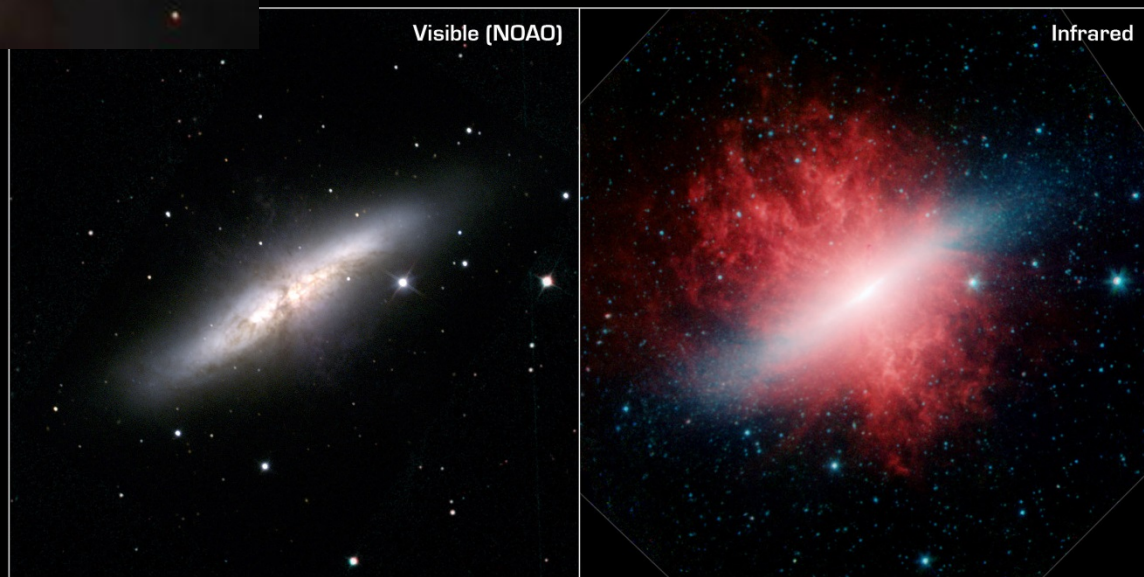
- ❖ studium raných stádií vesmíru – v důsledku Dopplerova jevu se pro velmi vzdálené objekty UV a světlo posune do IR





Jupiter

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



“Cigar” Galaxy M82

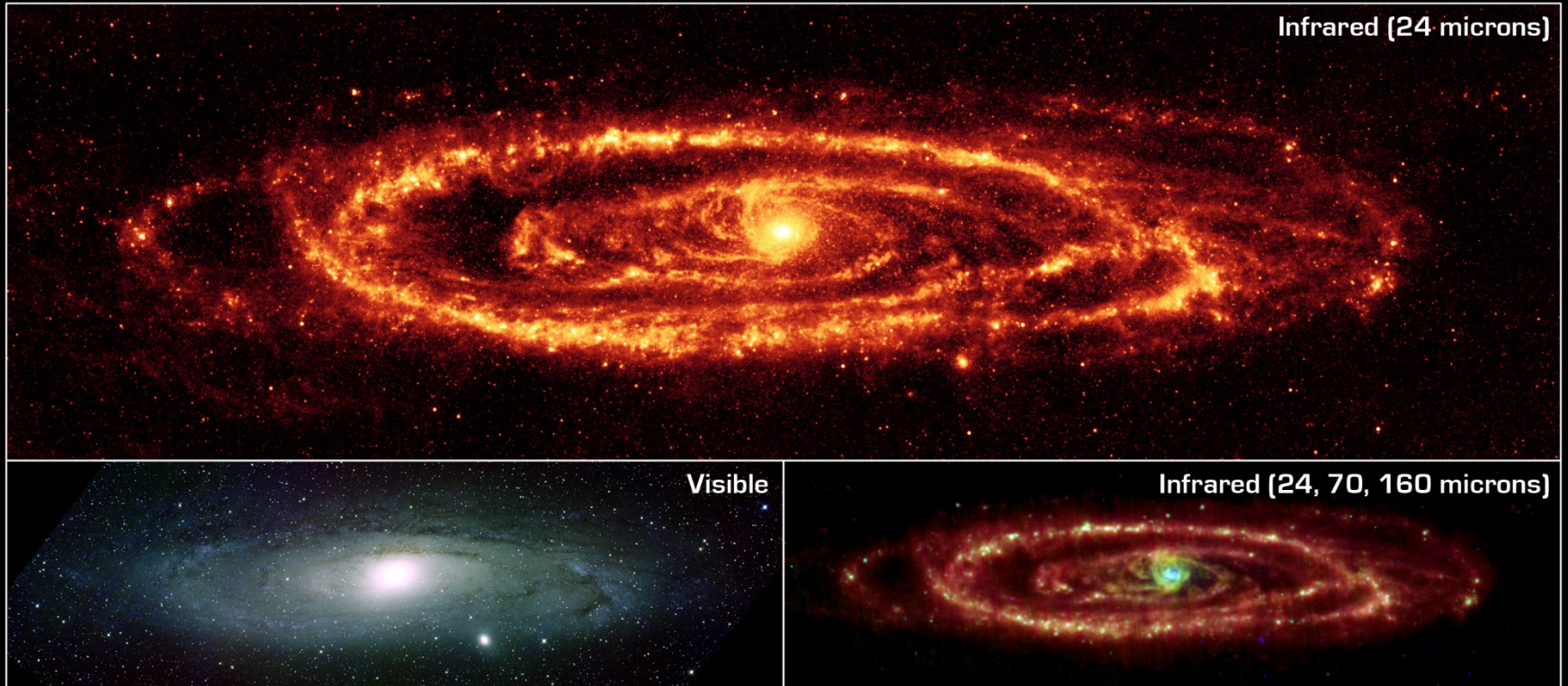
Spitzer Space Telescope • IRAC

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)

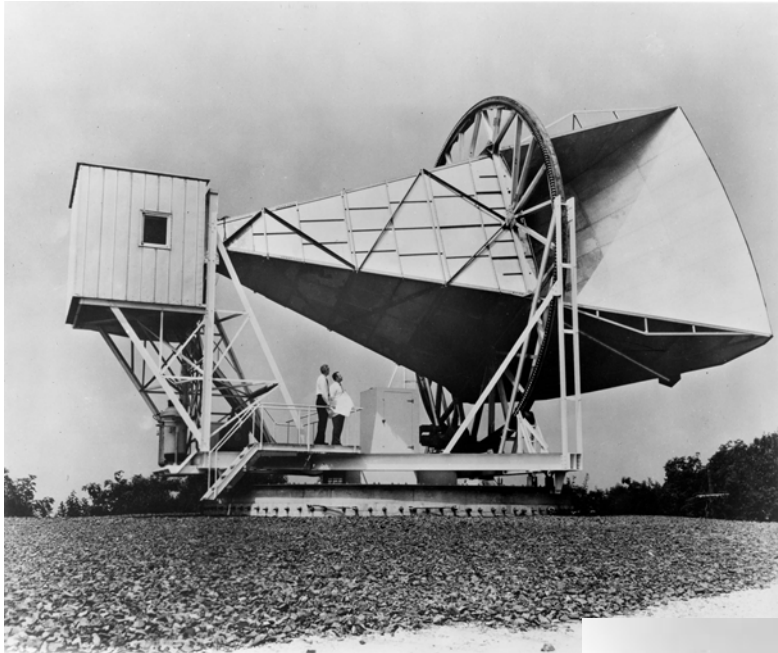
Spitzer Space Telescope • MIPS

Visible: NOAO

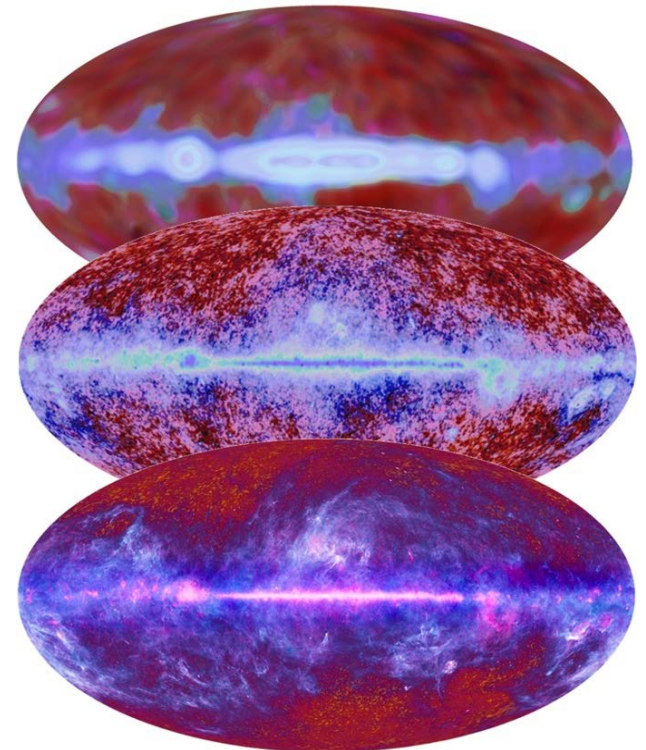
ssc2005-20a

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)

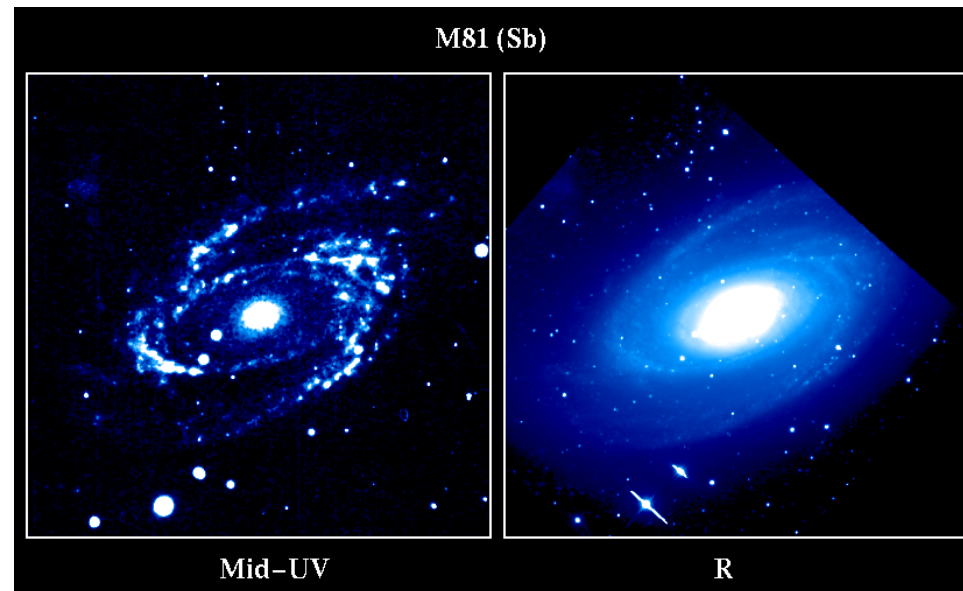
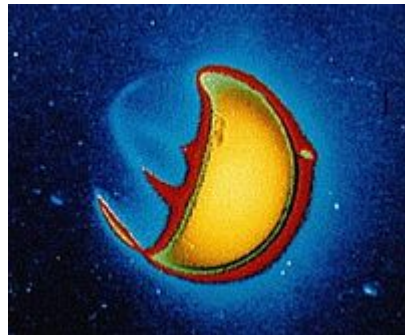
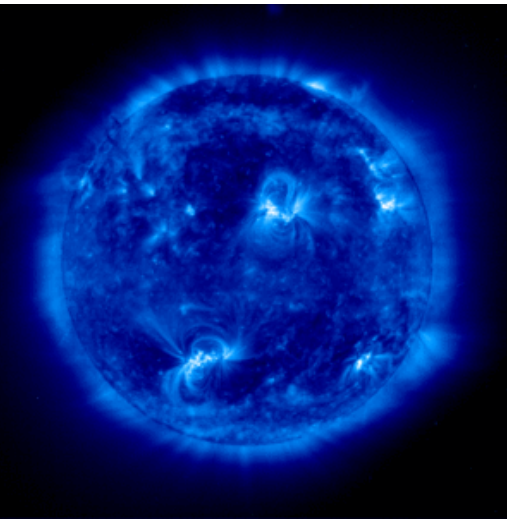


- družice COBE, WMAP, Planck

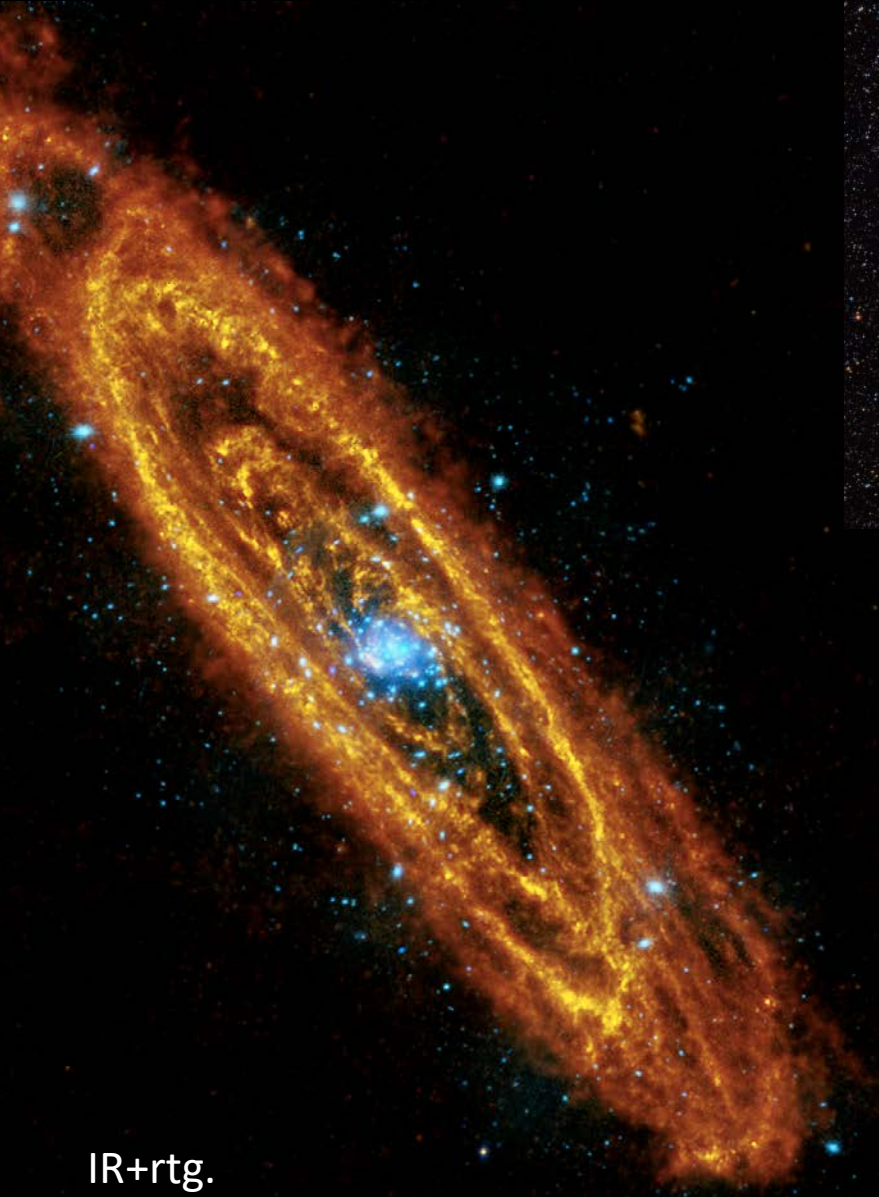


Ultrafialová astronomie

- 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

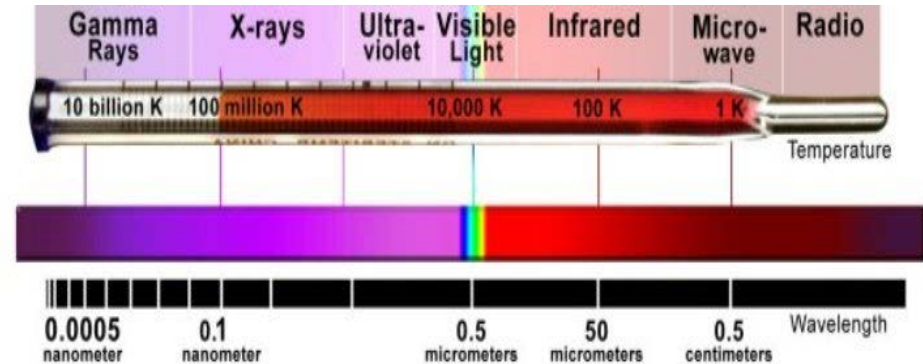


UV



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

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

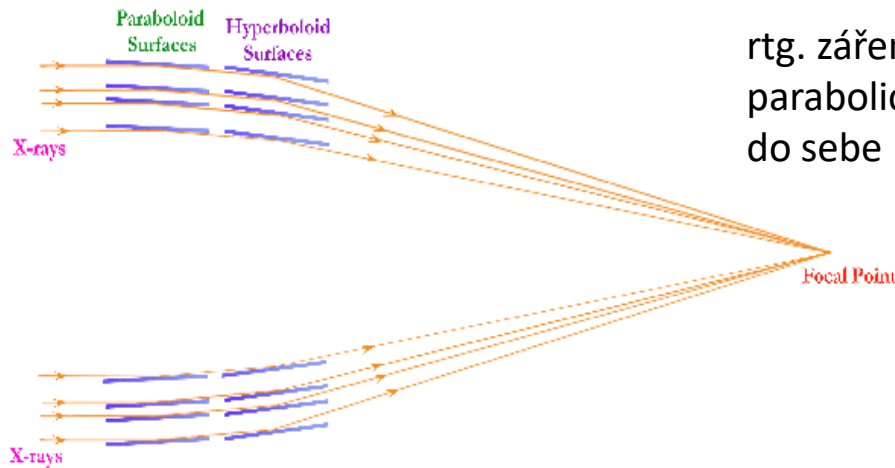


zemská atmosféra pro rtg. a γ záření neprostupná => detekce až v 60. letech 20. st. satelity VELA

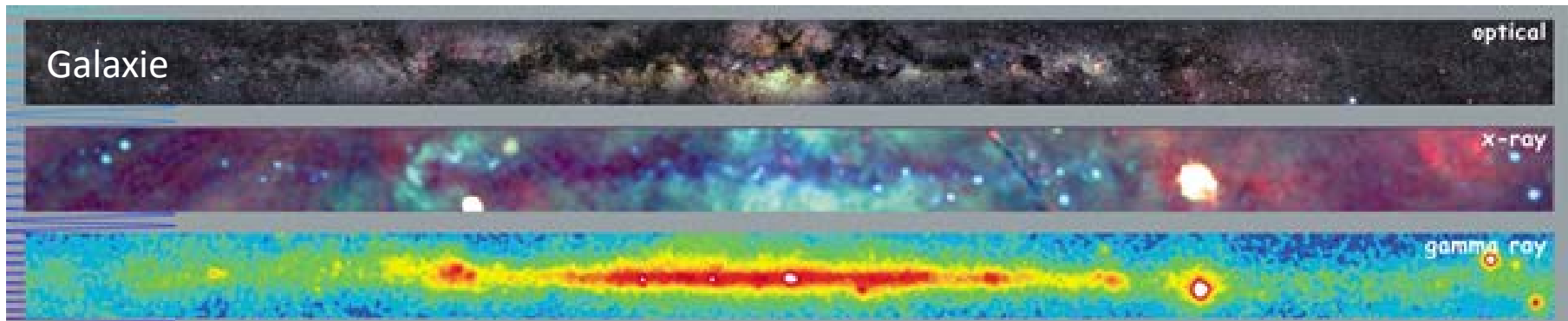
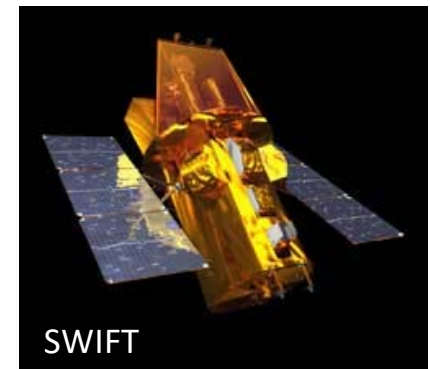


Gama a rentgenová astronomie

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



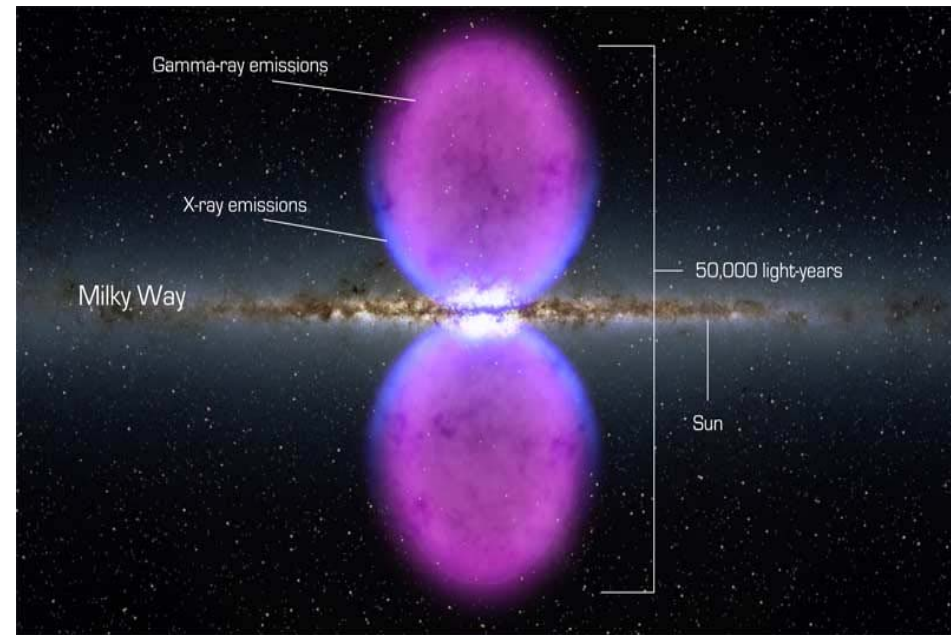
Pozoruhodné výsledky rentgenové a gama astronomie

1989 - 1. zdroj γ záření v Galaxii – M1

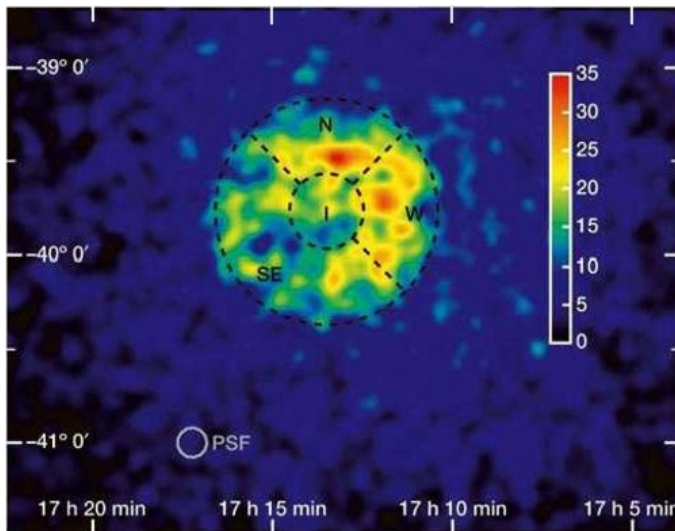
1992 – 1. extragal. zdroj γ záření – galaxie Markarjan 421

2000 – 2704 gama záblesků z BATSE

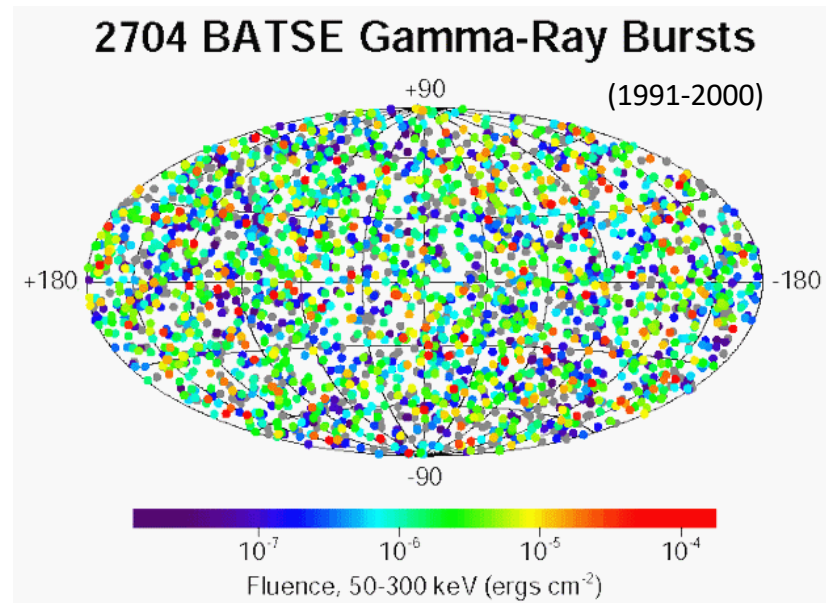
2010 – objev obřích bublin γ záření od centra Galaxie



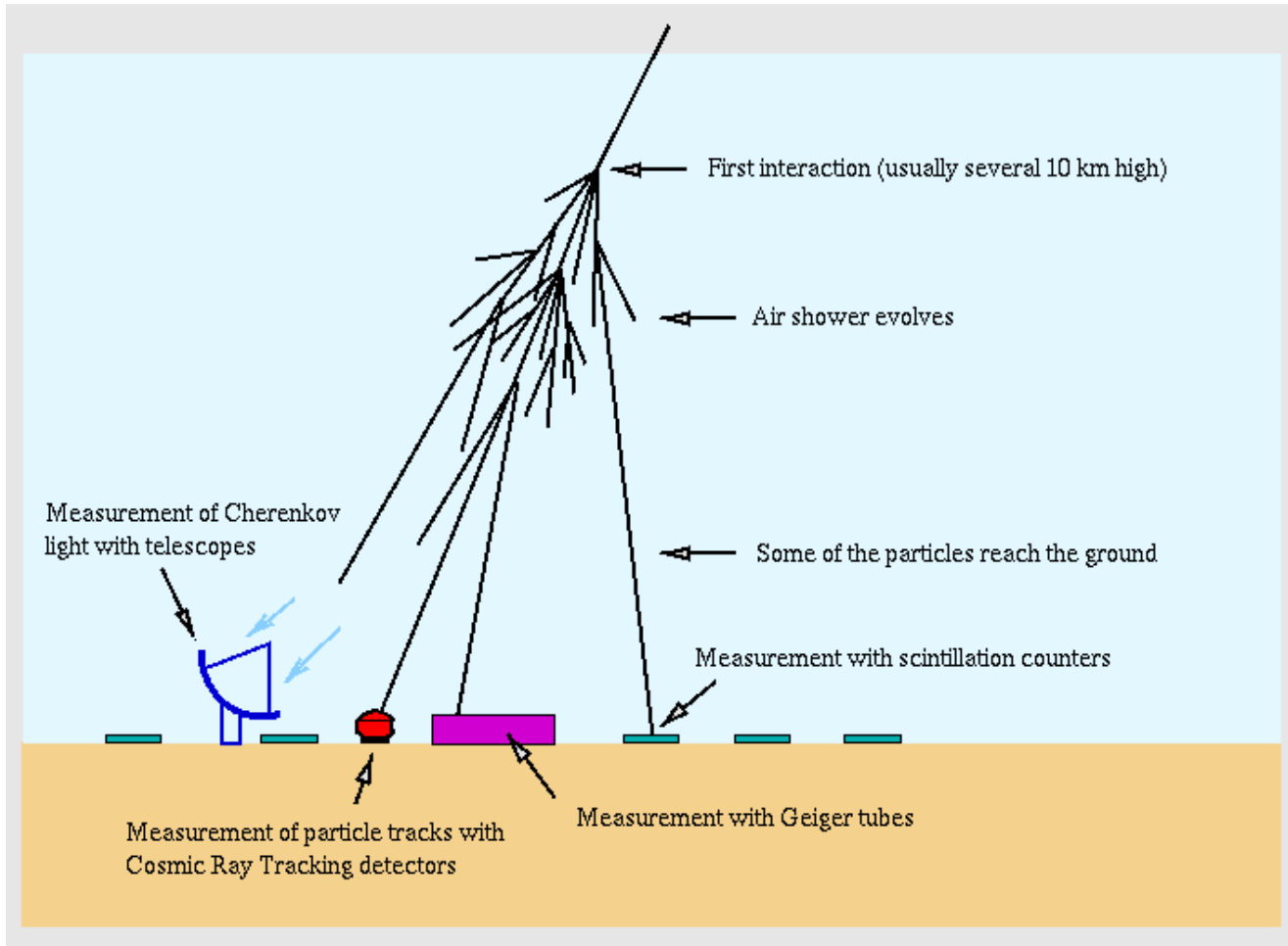
RXJ1713.7-3946.



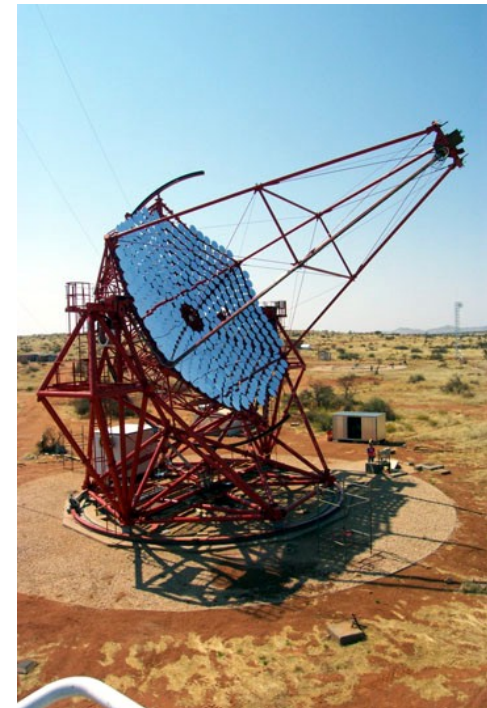
západnímu okraji (W) odpovídá tok pouhých $4,1 \times 10^{-8}$ fotonů/m²s



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)

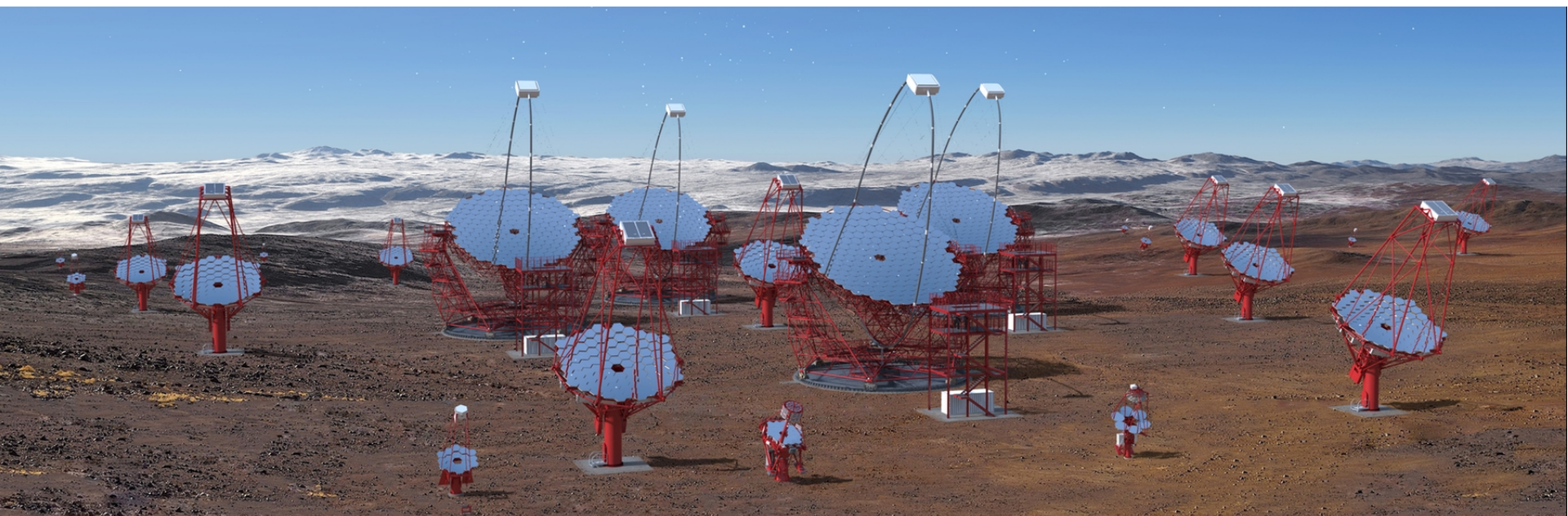
Cherenkov Telescope Array (CTA)



1. teleskop – říjen 2018

částečně v provozu od
2022, dokončení 2025

Jih – Paranal,
sever – La Palma

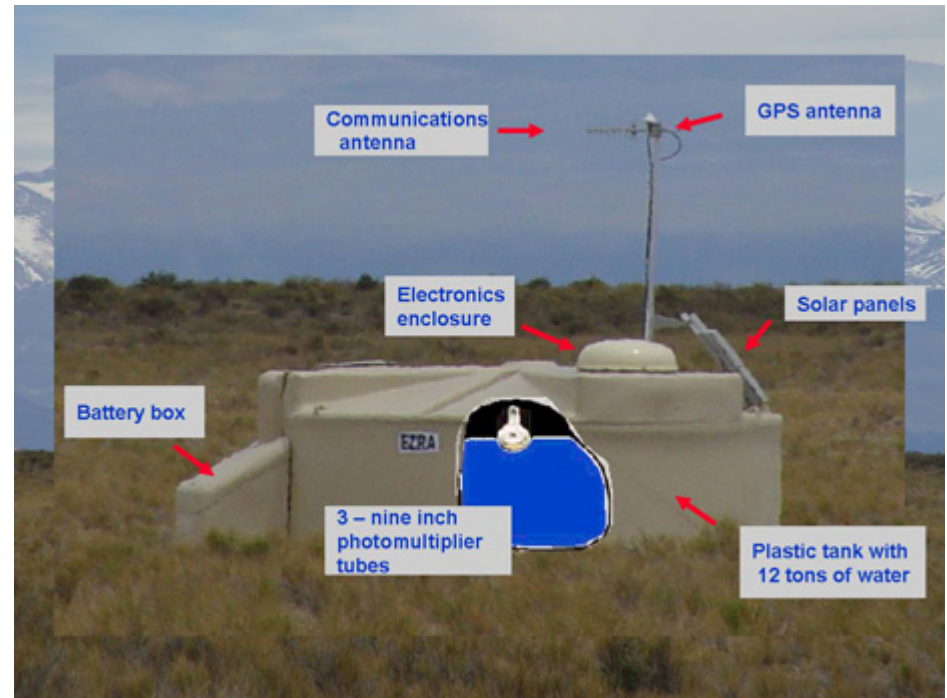
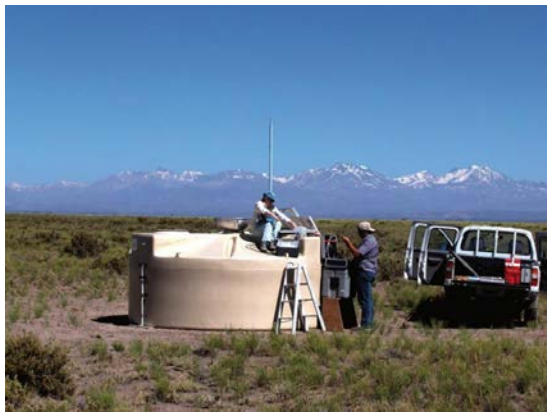
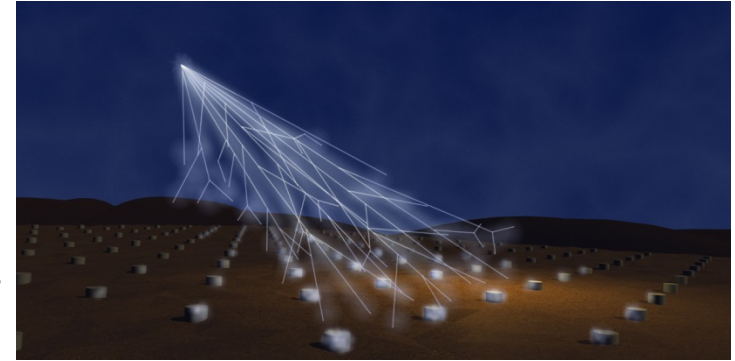


Částicová astronomie

Kosmické záření

- 1912 objev Victor Hess
- 1937 – Pierre Auger – vysvětlení vzniku spršek záření
- detekce sekundárních spršek kosmického záření, částic o energii $>10^{18}$ eV

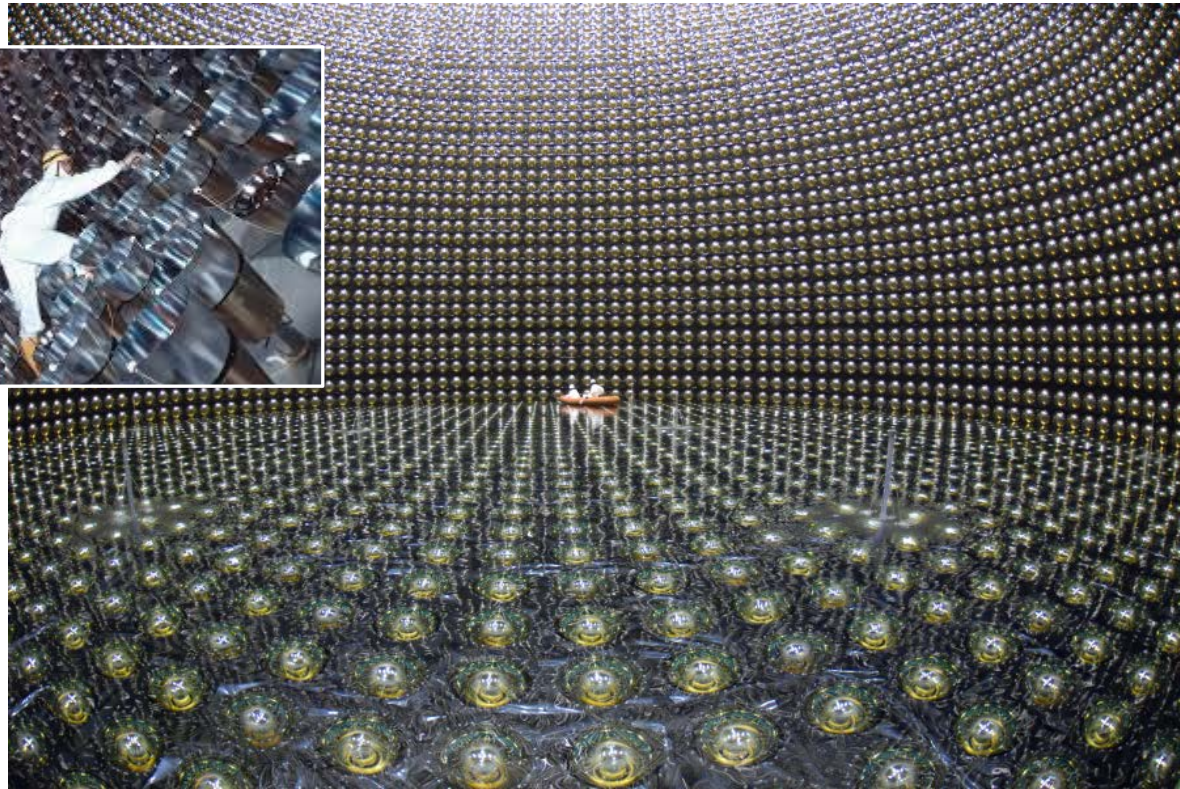
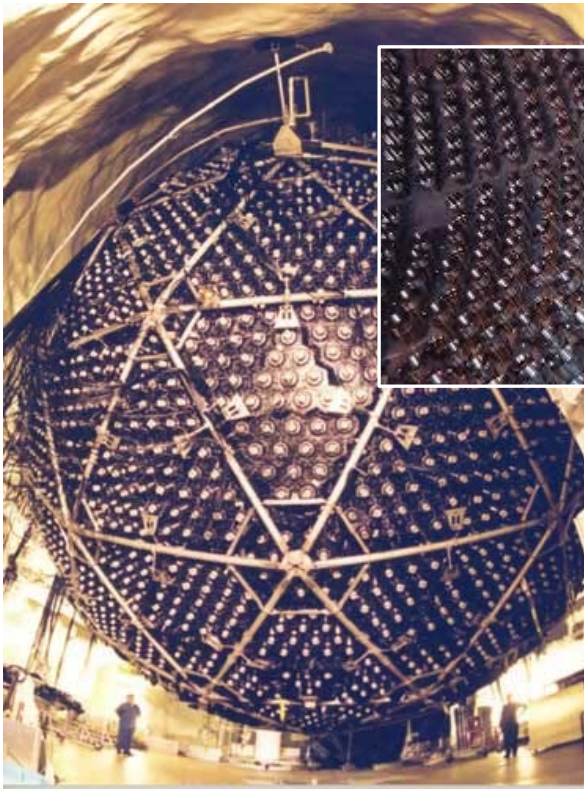
od 2008 - Observatoř Pierra Augera v Argentině
rozloha 3000 km²,
1660 tanků s vodou,
27 optických dalekohledů,
160 radioteleskopů



Částicová astronomie

Neutrinová astronomie

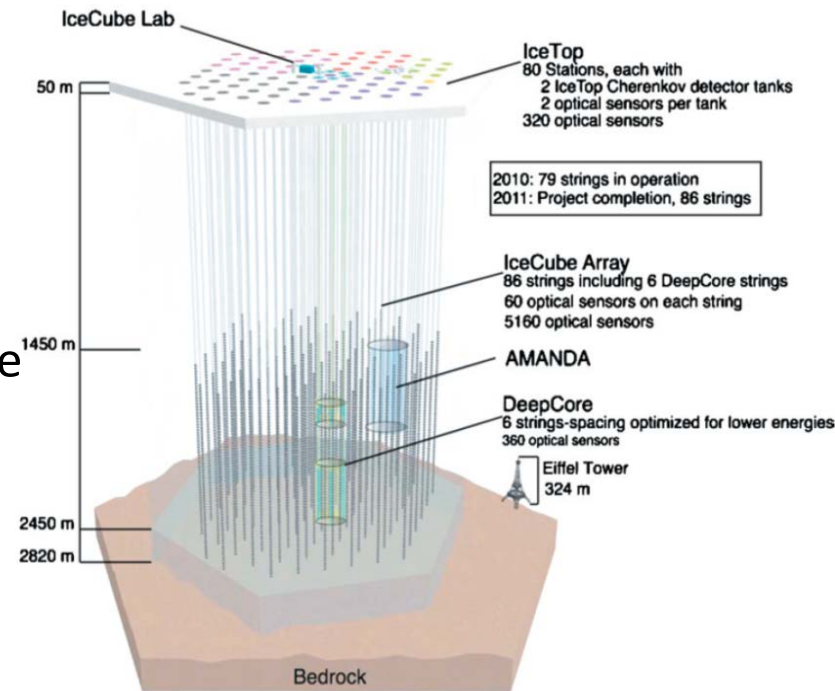
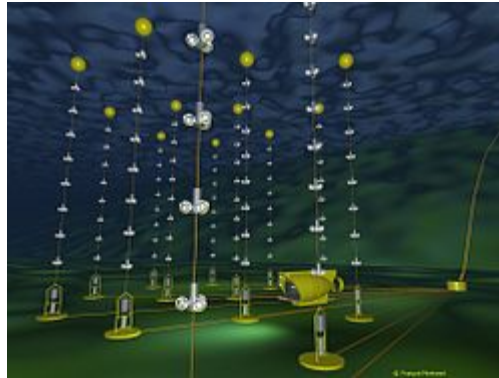
1930 – W. Pauli – předpověď existence neutrin, první detekce 1956
neutrino - velmi slabě interagující částice s téměř nulovou hmotností => detekce hlavně pomocí Čerenkovova záření => obrovské nádrže s různými kapalinami (voda, těžká voda, chlór) – Sudbury (1 ktun těžké vody 2 km pod zemí, koule o průměru 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



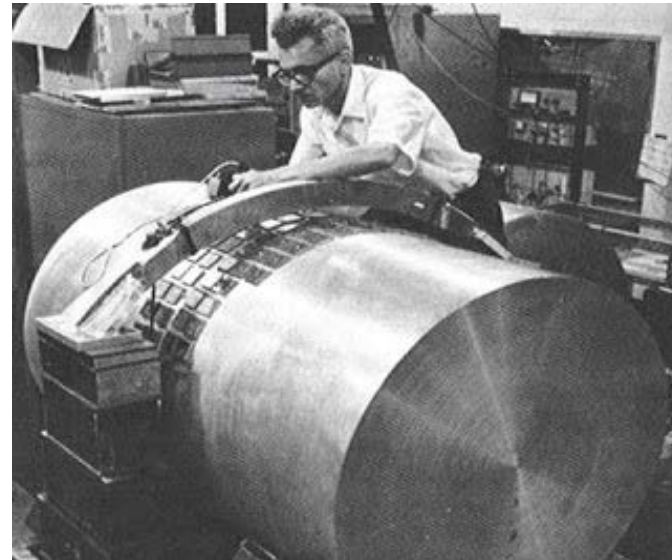
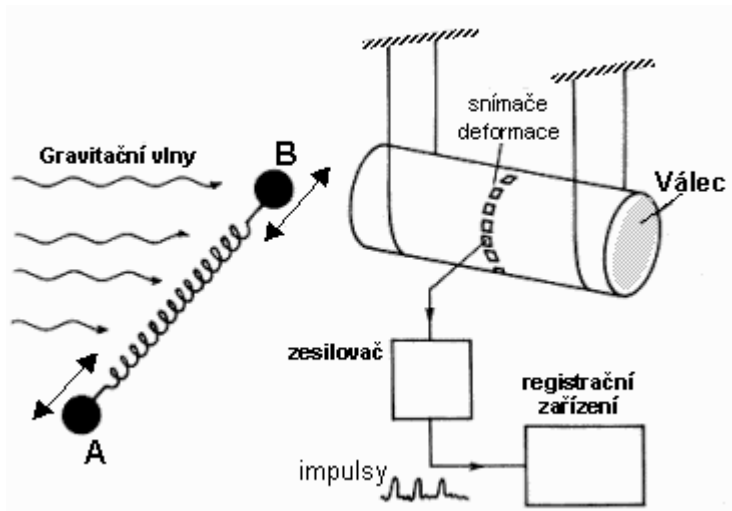
= fluktuace zakřivení časoprostoru, které se šíří jako vlny rychlostí světla; nejde o vlnění v prostoru, ale samotného časoprostoru;
předpovězeny A. Einsteinem 1916;
vznik při vzájemném pohybu těles v gravitačním poli, zdroj - těsné dvojhvězdy v konečném stádiu vývoje (složky ČD, NH), výbuchy supernov,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



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

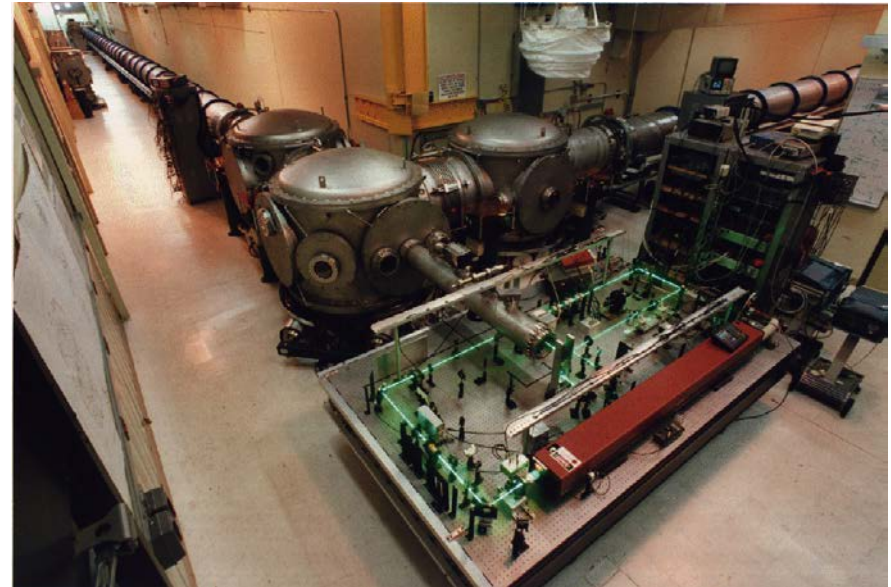
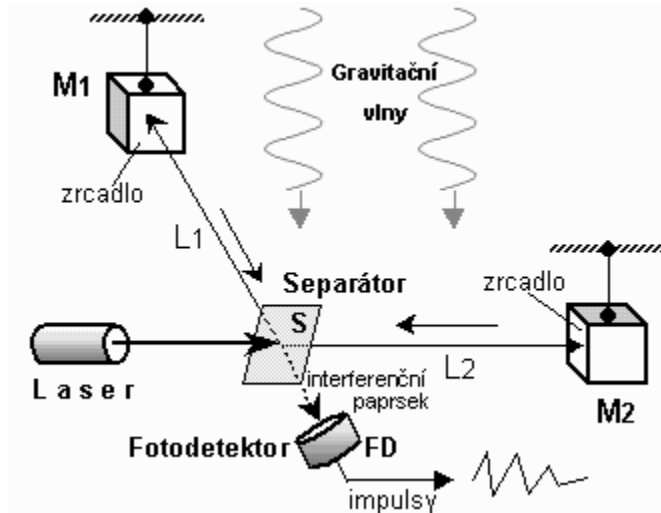
moderní verze Weberova zařízení:

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



Detekce gravitačních vln

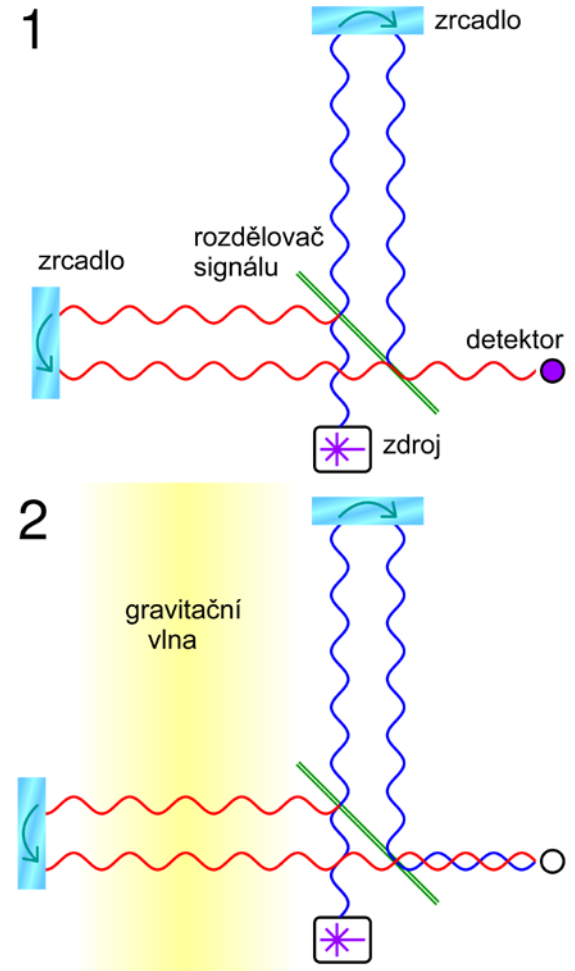
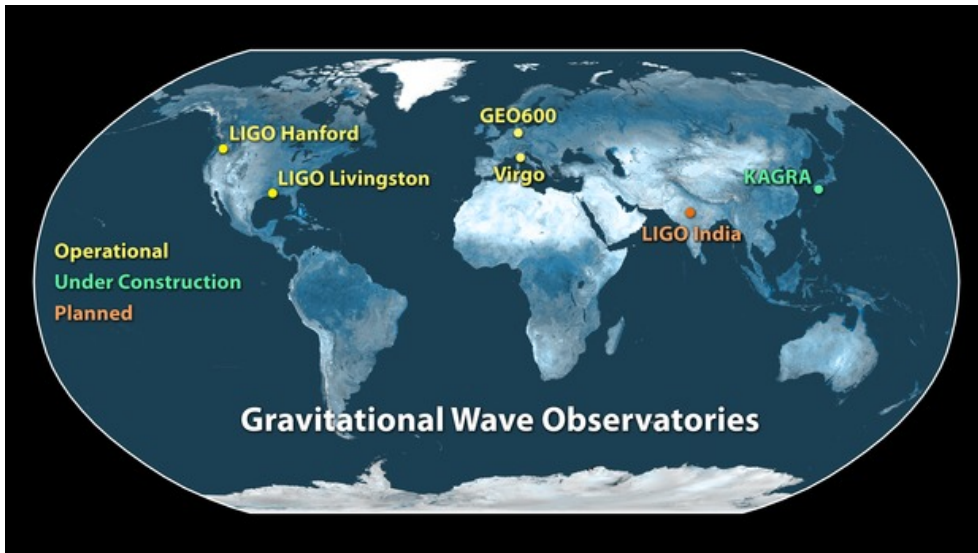
70. léta 20. st. – interferometrie



- 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

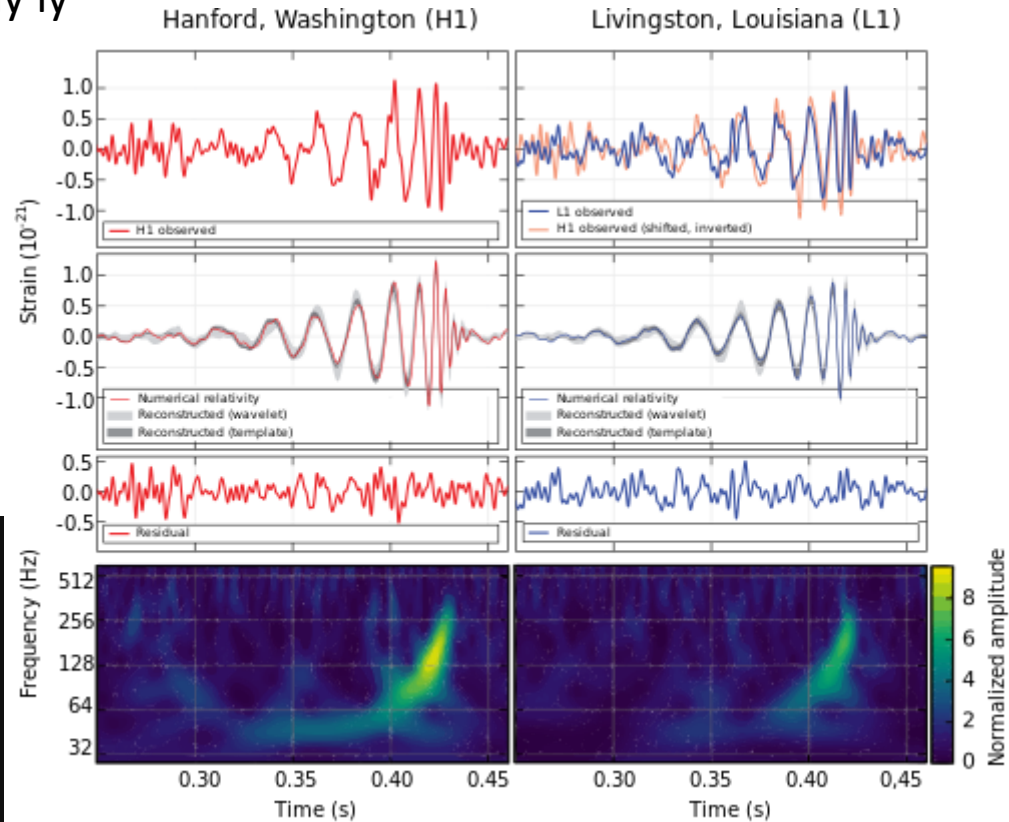
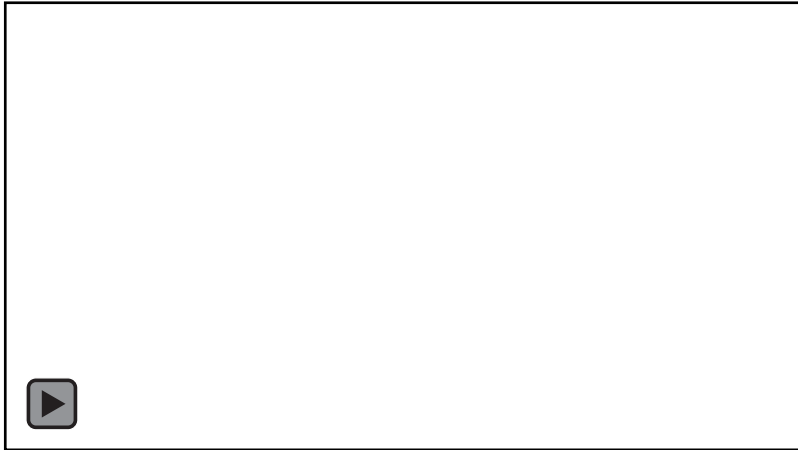
Detekce gravitačních vln



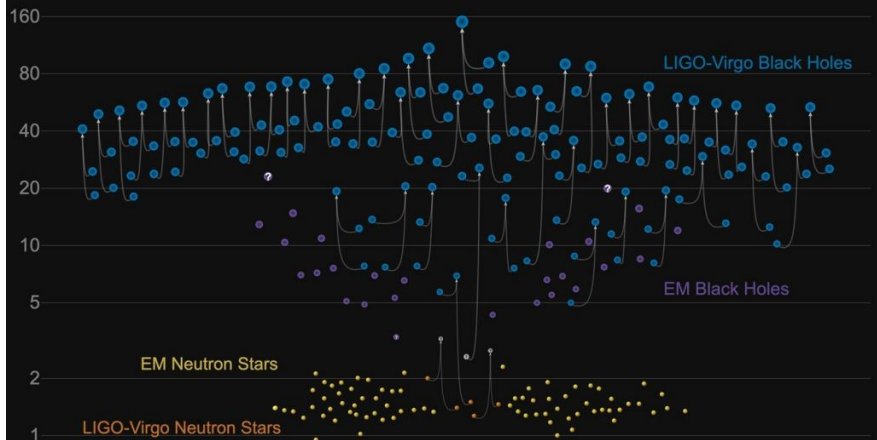
Detekce gravitačních vln

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*



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**

