

The background of the slide is a dark, star-filled space. In the upper left, there is a bright, glowing galaxy. Overlaid on this are numerous thin, golden-yellow lines that form a complex, web-like pattern, resembling particle tracks or trajectories in a detector. The text is centered in the middle of the image.

**Urychlovače na nebi a pod zemí,
aneb
Velký třesk za všechno může**

Jiří Grygar
Fyzikální ústav AV ČR, Praha

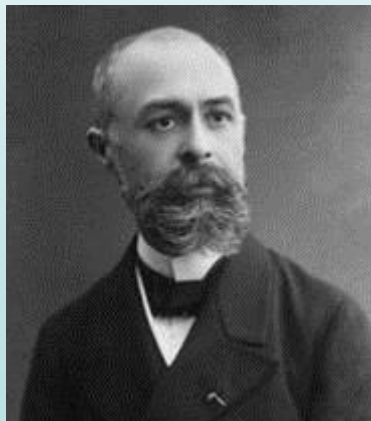
Grafika: Michael Prouza

Cesta do mikrosvěta



W. Röntgen

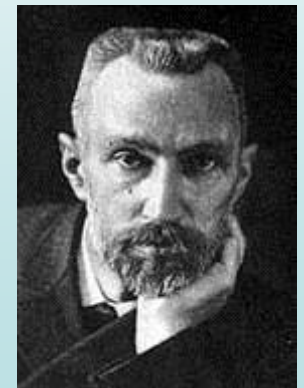
- 1895 – **W. Röntgen:** paprsky X
- 1896 – **H. Becquerel:** radioaktivita uranu
- 1897 – **J.J. Thomson:** elektrony
- 1898 – **M. + P. Curieovi:** paprsky α (radium)



H. Becquerel



J.J. Thomson

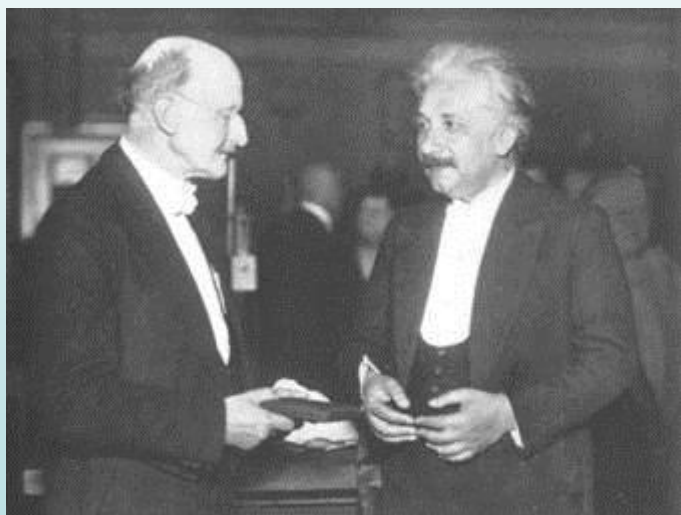


Marie a Pierre Curie



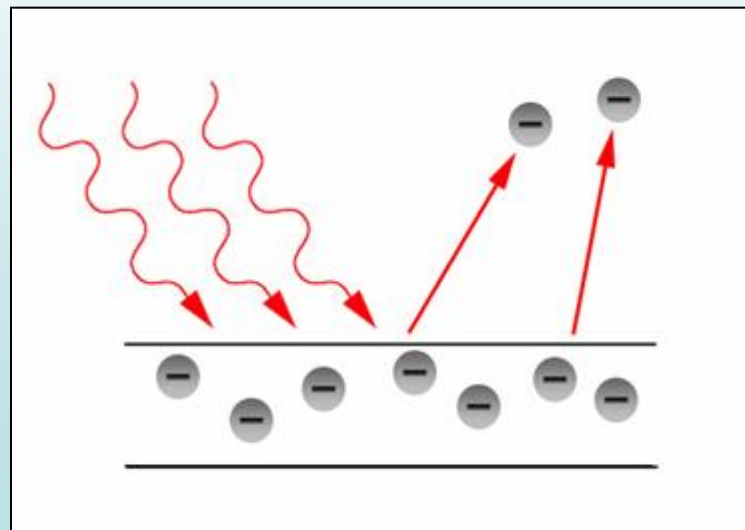
W. Thomson

- 1900 – **M. Planck**: záření černého tělesa
- 1901 – **W. Thomson (lord Kelvin)**: kladný náboj jádra atomu?
- 1905 – **A. Einstein**: Brownův pohyb (molekuly, atomy); Fotoefekt (fotony); $L = m \cdot v^2$



M. Planck

A. Einstein

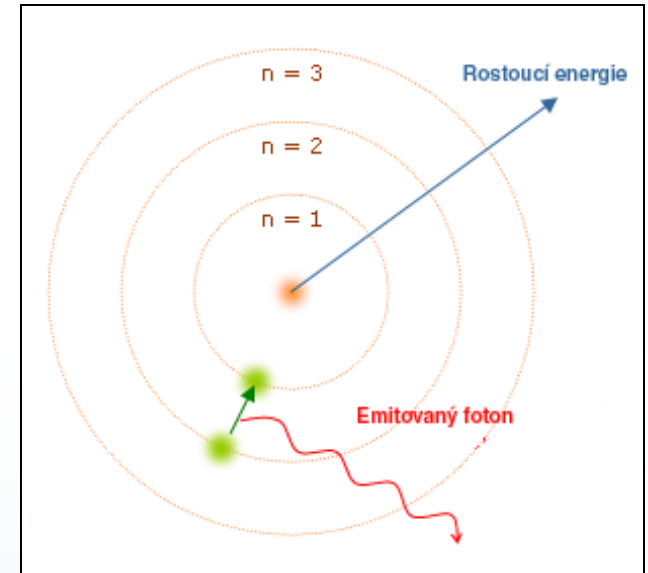




E. Rutherford



N. Bohr



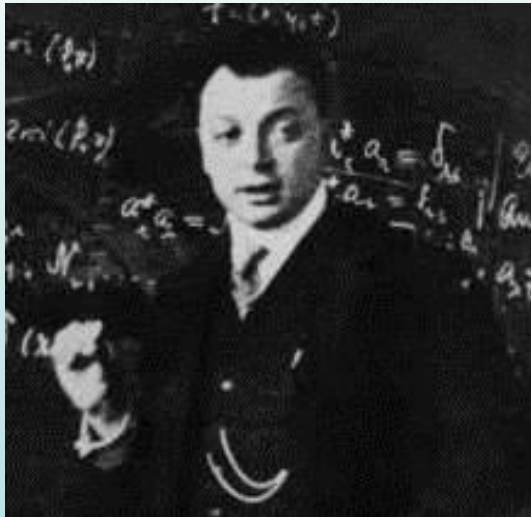
E. Schrödinger

- 1903 – **E. Rutherford**: částice α = ionty He
- 1911 – **C. Wilson** – mlžná komora (náboj i energie částic)
- 1911 – **E. Rutherford**: jádra atomů jsou nepatrná
- 1913 – **N. Bohr**: model atomu H
- 1921-24 – **J. Chadwick, E. Rutherford**: transmutace prvků
- 1925-27 **M. Born, W. Heisenberg, E. Schrödinger**: kvantová mechanika



P. Dirac

- 1928 – **G. Gamov**: tunelový jev
- 1928-31 – **P. Dirac, C. Anderson**: antičástice (pozitron)
- 1931 – **W. Pauli**: neutrino (prokázáno 1956)
- 1932 – **I. Tamm, W. Heisenberg, J. Chadwick**: neutron



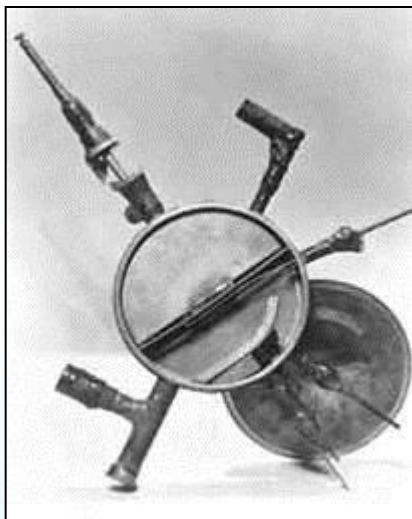
W. Pauli



W. Heisenberg



J. Chadwick



- 1929 – **E. Lawrence**: první urychlovač částic (cyklotron)
- 1934 – **P. Blackett**: vznik a zánik párů pozitron-elektron
- 1938 – **O. Hahn, L. Meitnerová, F. Strassmann**: jaderné štěpení uranu bombardováním neutrony
- 1942 – **E. Fermi**: jaderný štěpný reaktor
- 1951 – **E. Teller**: termonukleární exploze D a T



E. Lawrence



E. Fermi



O. Hahn



S. Glashow

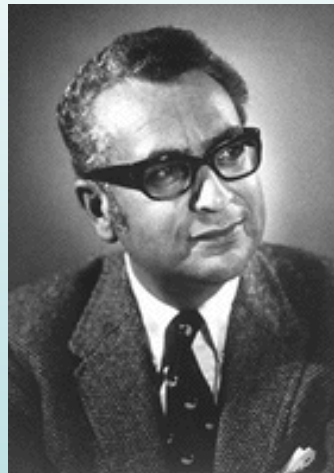


A. Salam



S. Weinberg

- 1957 – **C. Yang, T. Lee**: narušení parity slabé interakce
- 1961- 68 – **S. Glashow, A. Salam, S. Weinberg**: elektroslabá interakce
- 1963 – **M. Gell-Mann, G. Zweig**: kvarky
- 1983 – **C. Rubbia, S. van der Meer**: intermediální bosony



M. Gell-Mann



C. Rubbia



S. van der Meer

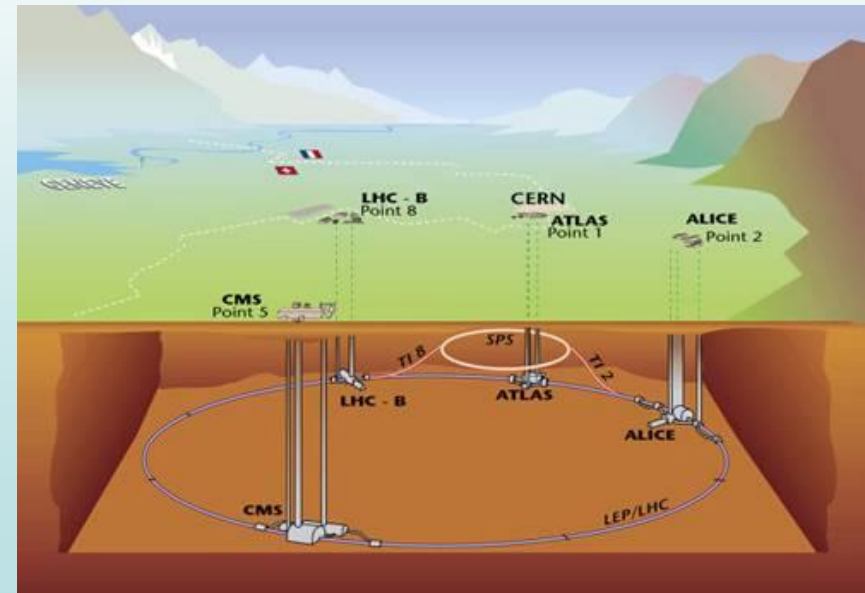
Urychlovače pod zemí

- vstříčné svazky, investice řádu miliard euro

1983 – 2011 **Tevatron** (Fermilab) – protony x antiprotony: 1 TeV

1989 – 2000 **LEP** (CERN) – elektrony x pozitrony: 200 GeV

2008 – **LHC** (CERN) – protony x protony (Pb x Pb): 14 TeV (2015)



Standardní model

Leptony	ν_e e- neutrino	ν_μ μ - neutrino	ν_τ τ - neutrino
	e electron	μ mion	τ tau
Kvarky	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom

— || |||
Tři generace hmoty

6 vůní kvarků (antikvarků):
d, u, s, c, b, t
elektrický náboj $-1/3$ nebo $+2/3$;
3 barvy,
uvěznění v hadronech:
baryony ze 3 kvarků,
mezony z párů kvark-antikvark

6 leptonů (antileptonů):
neutrino **e, μ, τ** ;
elektron, mion, tauon

Čtyři síly, které vládnou vesmíru

INTERAKCE	gravitační	slabá elektroslabá	elektromag- netická	silná
působí na	hmotu-energi	slabý náboj ("vůň")	elektrický náboj	barevný náboj
interagující částice	všechny	leptony kvarky	elektricky nabitě	kvarky gluony
nosiče interakce	graviton (dosud nebyl pozorován)	$W^+ W^- Z^0$	γ (foton)	gluony
síla mezi 2 kvarky $\left\{ \begin{array}{l} \text{na } 10^{-18} \text{ m} \\ \text{na } 3 \cdot 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$ (v poměru k elektro- magnetické)	10^{-41} 10^{-41}	0,8 10^{-4}	1 1	25 60
2 protony v jádru	10^{-36}	10^{-7}	1	nelze vyjádřit

Cesta do megasvěta

1915 – **A. Einstein**: obecná teorie relativity

1922 - 1927 – **A. Fridman, G. Lemaître**: modely vesmíru

1925 – **E. Hubble (Mt. Wilson)**: galaxie = vesmírné ostrovy

1925 – **C. Gapoškinová**: Slunce je z 98% z vodíku a hélia



A. Fridman



G. Lemaître



E. Hubble



C. Gapoškinová



F. Zwicky



W. Baade



H. Bethe



G. Gamov



F. Hoyle

1929 – **E. Hubble**: červený posuv úměrný vzdálenostem:
vesmír se rozpíná!

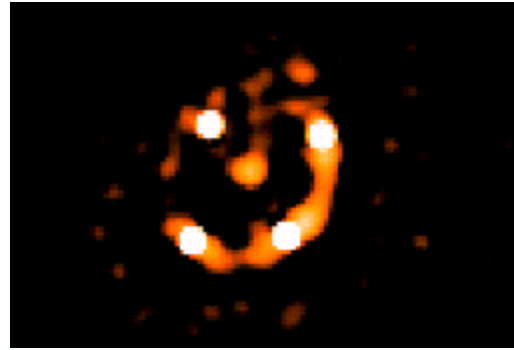
1933 – **F. Zwicky**: skrytá látka (*dark matter*) v kupách galaxií

1934 – **F. Zwicky, W. Baade**: objev supernov

1939 – **H. Bethe**: termonukleární energie ve hvězdách

1948 – **G. Gamov**: *žhavý velký třesk*

1957 – **G. a M. Burbidgeovi, W. Fowler, F. Hoyle**:
vznik chemických prvků ve hvězdách ($C \rightarrow Fe$),
resp. při explozích supernov ($Cu \rightarrow U$)



1963 – **M. Schmidt**: kvasary (černé veledíry)

1965 – **A. Penzias, R. Wilson**: mikrovlnné *reliktní záření*

1968 – **J. Bellová- Burnellová, A. Hewish**: pulsary
(rychle rotující neutronové hvězdy)

1973 – **R. W. Klebesadel aj.**: zábleskové zdroje záření gama

1976 – **J. Trümper aj.**: neutronové hvězdy s magnetickým
polem 100 MT

1979 – **D. Walsh aj.**: kvasar zobrazený gravitační čočkou

1981 – **A. Guth**: inflační fáze ve velmi raném vesmíru

1987 – **M. Koshiba**: detekce neutrin ze supernovy 1987A ve
Velkém Magellanově mračnu

- 1993 – **MACHO, OGLE, EROS**: gravitační mikročochky
- 1994 – **Hubbleův kosmický teleskop** v plném provozu
- 1998 – **A. Riess aj., S. Perlmutter aj.**: skrytá energie
- 2002 – **WMAP, 2dF, SDSS**: *stáří vesmíru je 13,5 miliardy let*
- 2012 – **XDF**: pohled do nejvzdálenějších hlubin vesmíru
- 2013 - **Planck**: stáří vesmíru 13,8 mld. let; baryonová látka 5 %;
skrytá látka 27 %; skrytá energie 68 % hmoty vesmíru



Urychlovače na nebi

1912 – **V. Hess:** objev kosmického záření

1 eV ~ 10⁻¹⁹ J

1938 – **P. Auger:** energie až 1 PeV, zdroj neznámý

1942 – Slunce: 100 MeV – 10 GeV

1949 – **E. Fermi:** urychlování v supernovách do 10 PeV

1991 – **D. Bird aj. (Utah):** rekordní energie 320 EeV (51 J)



P. Auger

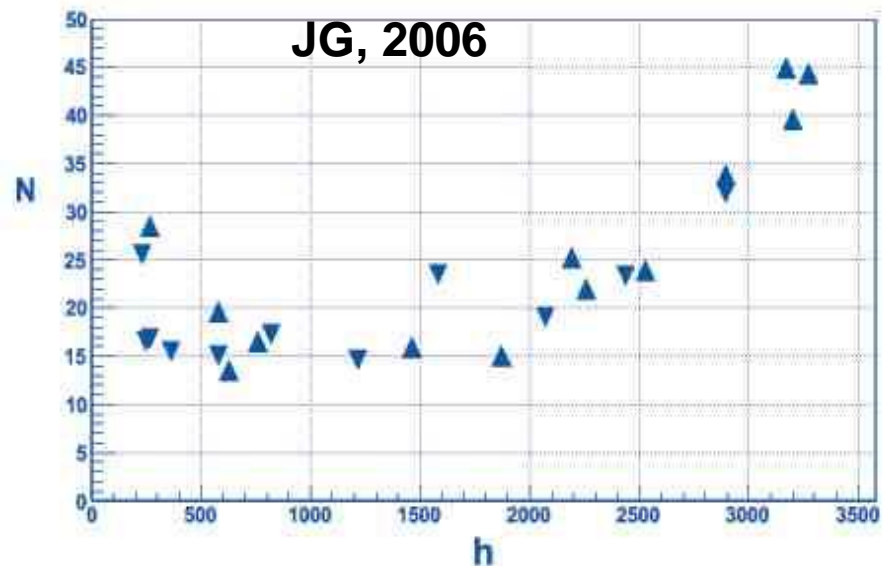
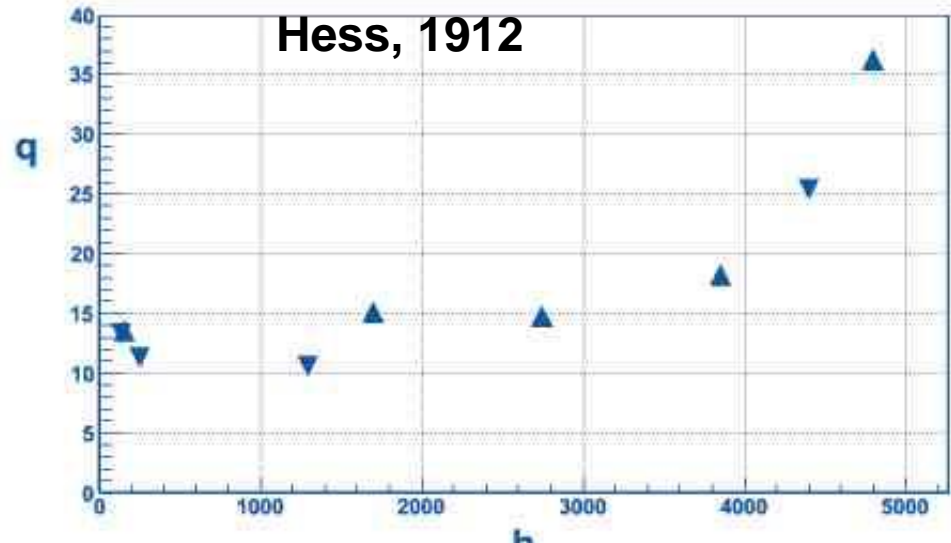


V. Hess

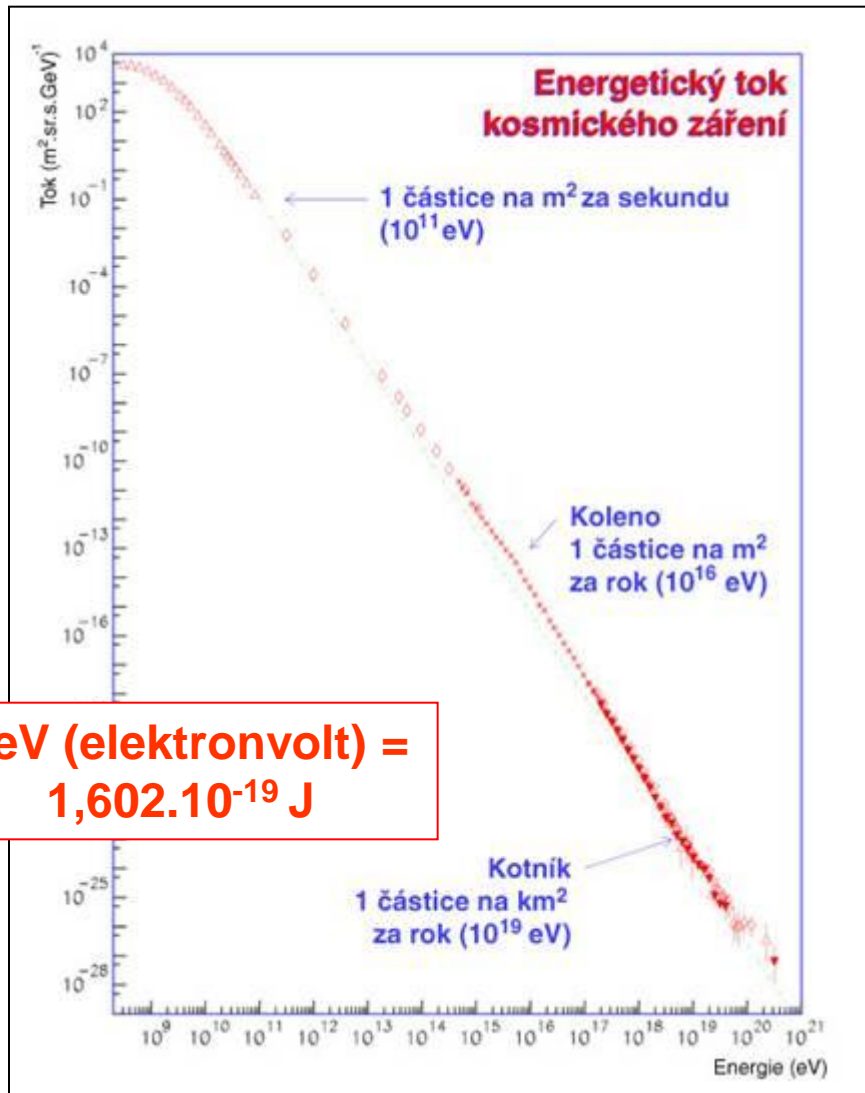


Balónová měření ionizace vzduchu: V. Hess (Böhmen, 1912) a četnosti kosmických paprsků: J. Grygar (Bohemia, 2006)

Hessovo měření
položilo základ objevu
kosmického záření
(většinou elektricky
nabitě částice –
protony, elektrony,
jádra těžších atomů,
energetické paprsky
gama)



Jaké jsou jeho energie? Rekordní!

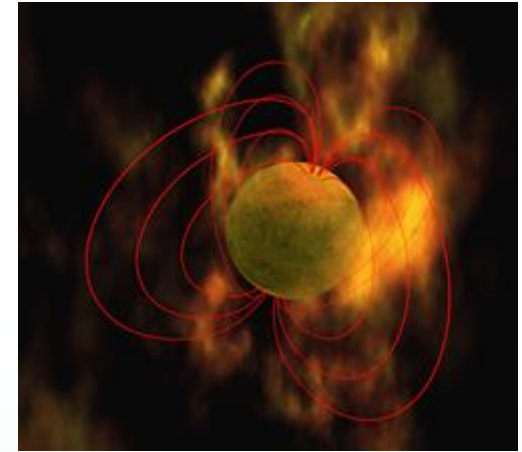
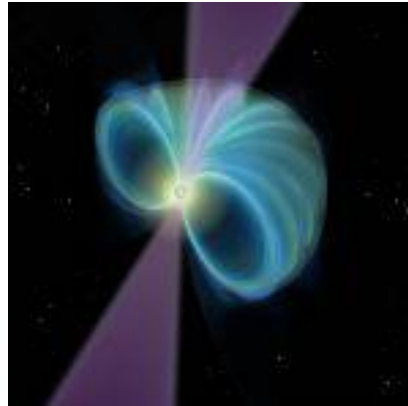


1 eV (elektronvolt) =
 $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

- Některé částice kosmického záření mají vyšší energie než jakákoli jiná částice pozorovaná v přírodě.

- Částice kosmického záření s rekordně vysokými energiemi se pohybují rychlostí velmi blízkou rychlosti světla a dosahují energií až **stomilionkrát** vyšší než částice urychlené v největších pozemských laboratořích.

Rekord:
Detektor Fly's Eye, Utah, USA, 15. října 1991
 $3 \cdot 10^{20} \text{ eV} \gg 50 \text{ J}$
(jako tenisový míček letící 80 km/h)

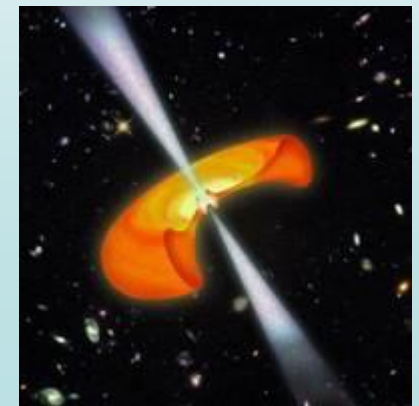
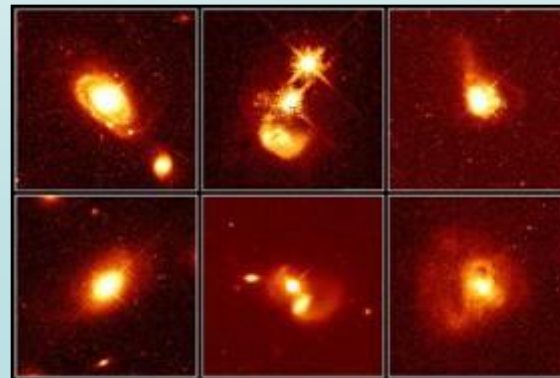


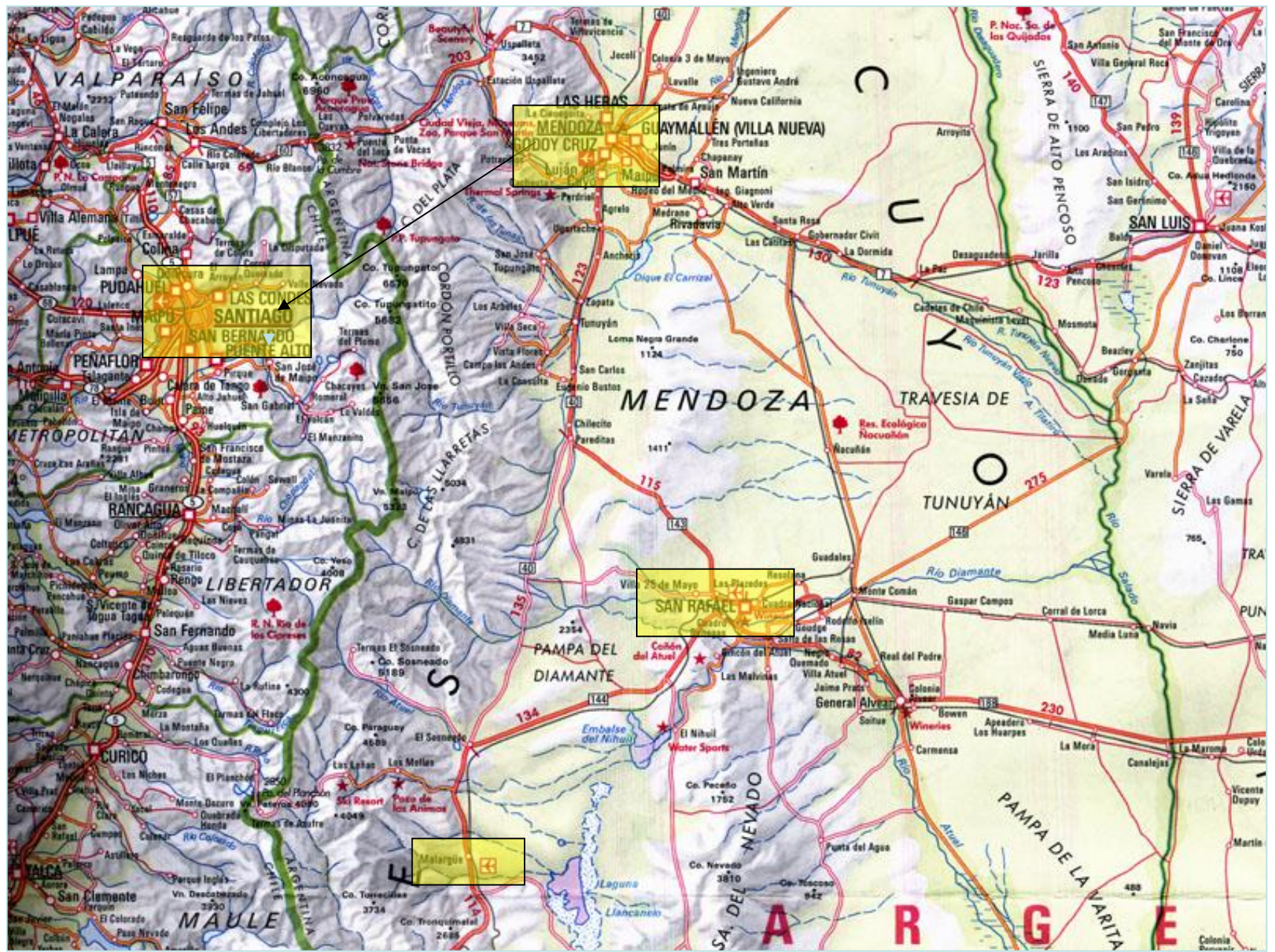
Možné zdroje uvnitř Galaxie:

supernovy, pulsary, magnetary (pole až 100 GT), hvězdné černé díry

Možné zdroje mimo Galaxii:

aktivní jádra galaxií, kvasary, zábleskové zdroje záření gama, rozpad exotických částic zbylých po velkém třesku?,
??? (*Hic sunt leones*)





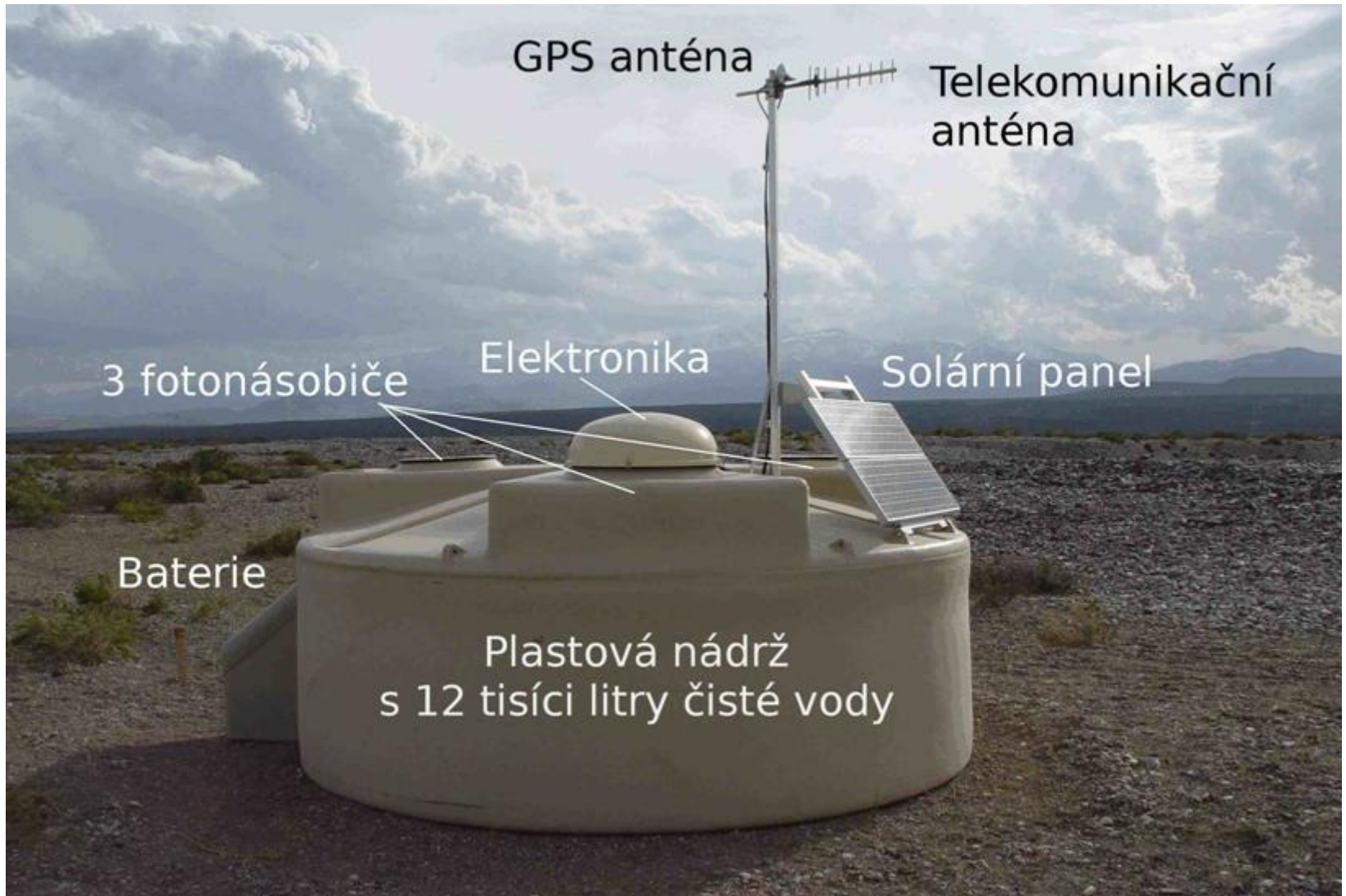
Mendoza

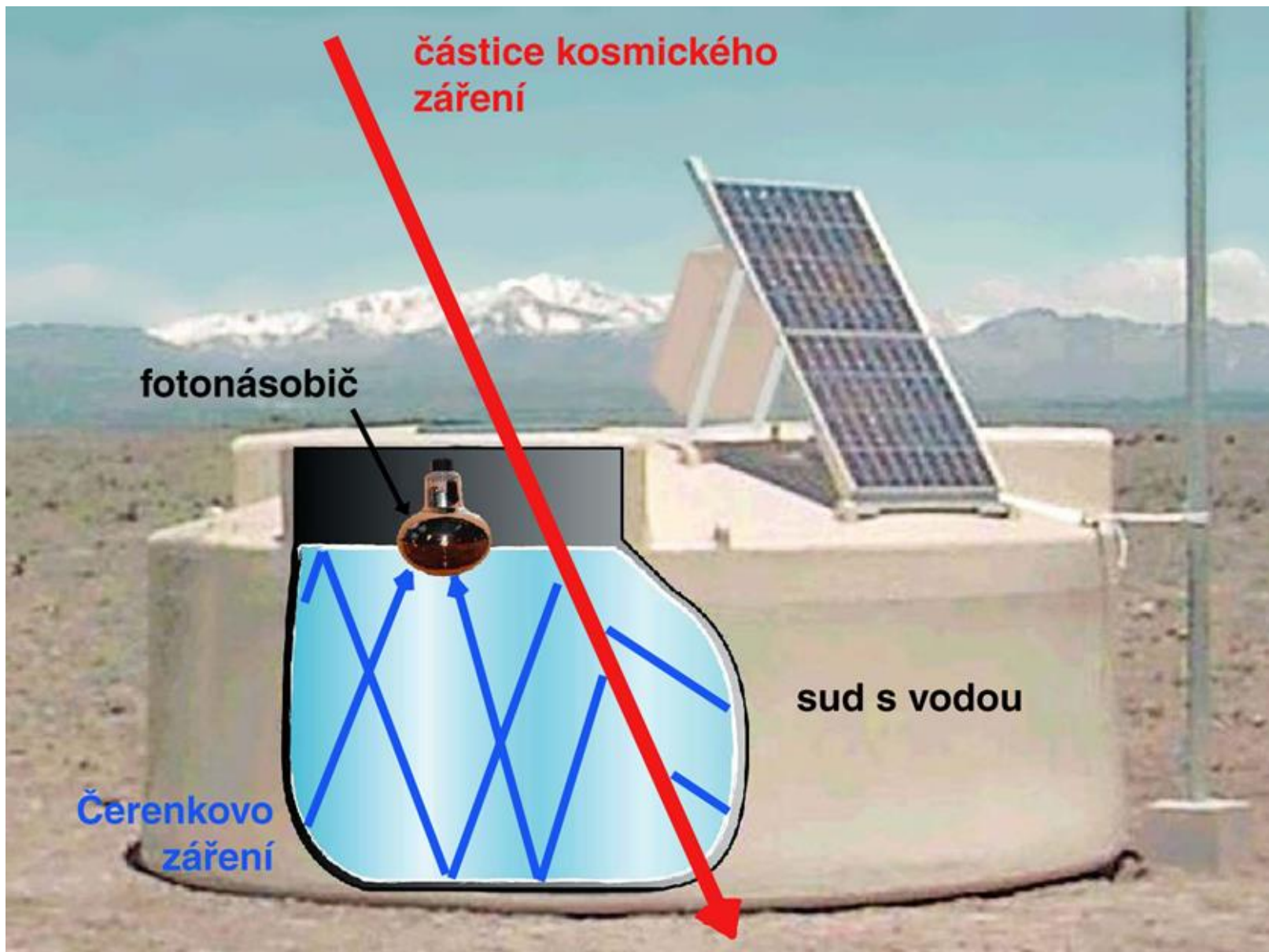
San Rafael

San Bernardo

Malargüe

Schéma pozemního detektoru

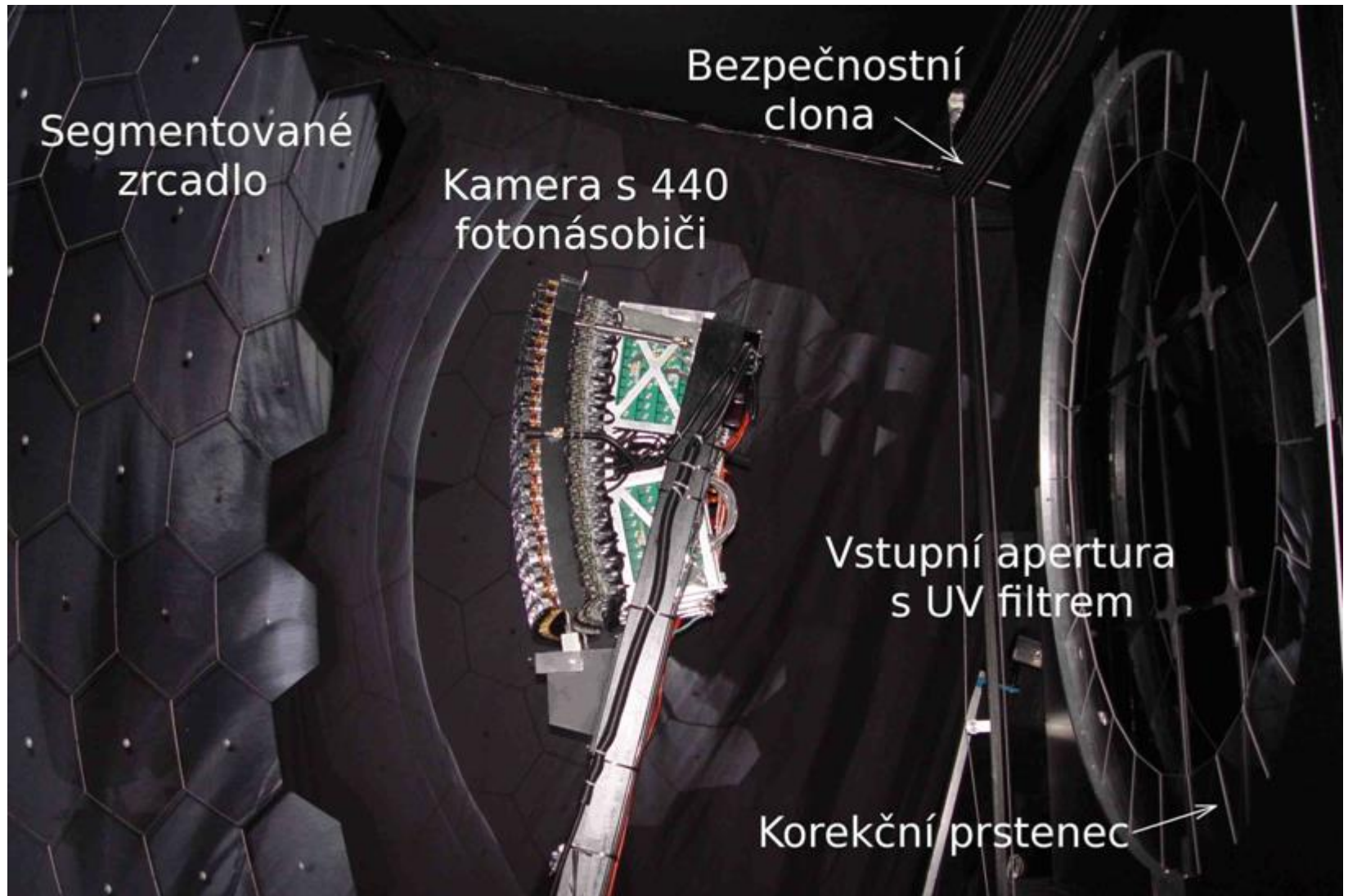








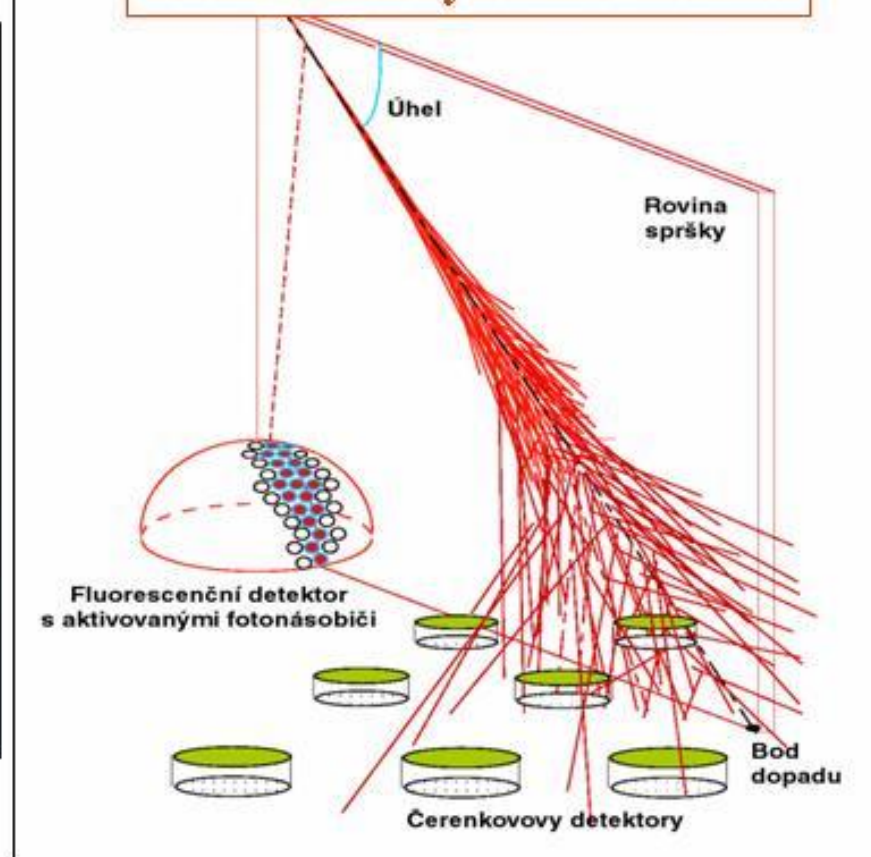
Fluorescenční detektor (CZ)



„The Pierre Auger Observatory“ = hybridní detektor kosmického záření

- Síť pozemních Čerenkovových detektorů bude doplněna o soustavu velmi citlivých fluorescenčních teleskopů, které budou za jasných bezměsíčných nocí pozorovat slabé modré světlo, které vzniká jako vedlejší produkt při tvorbě částic spršky kosmického záření.

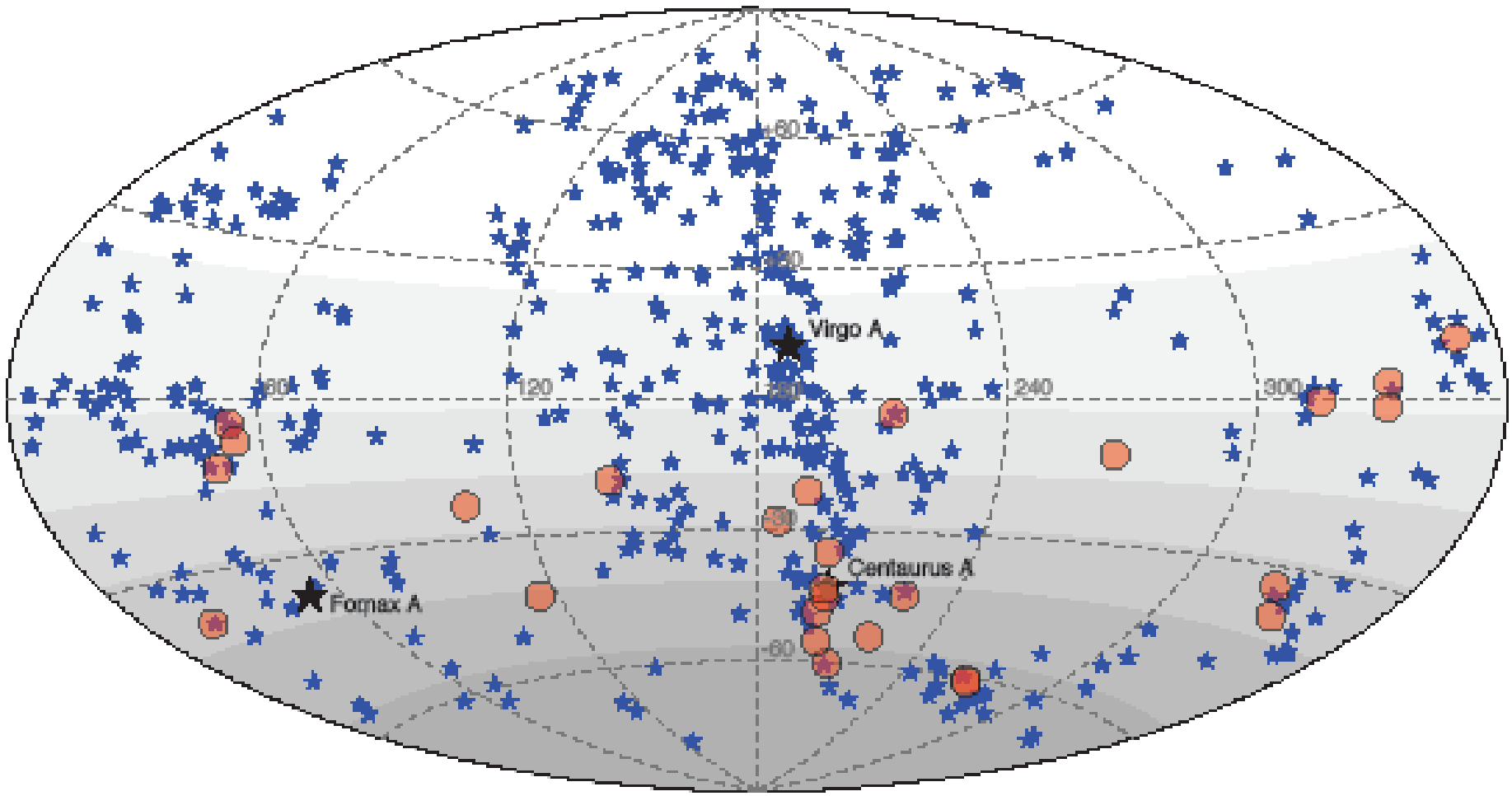
Schéma funkce hybridního detektoru



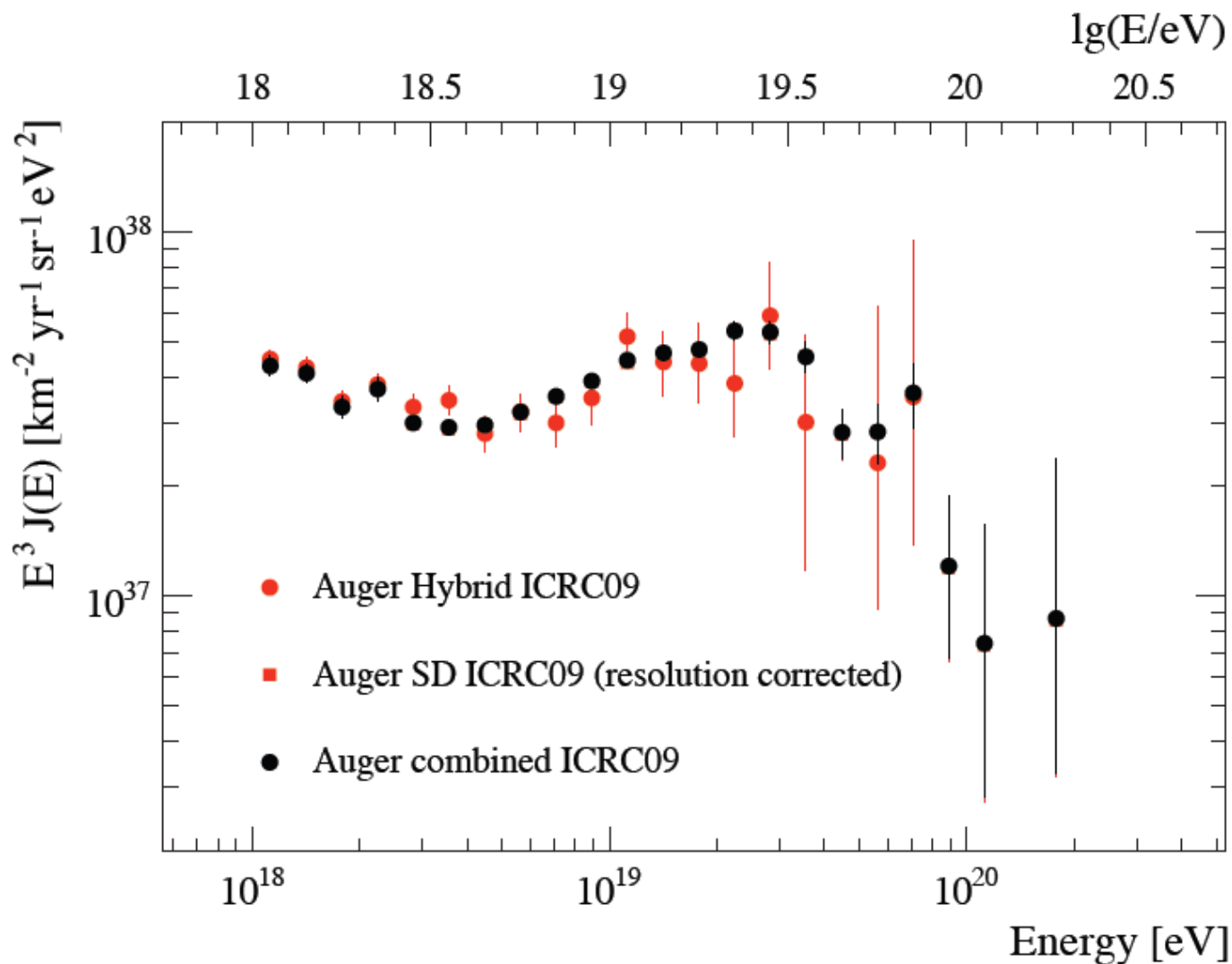
Řídící pracoviště v Malargüe



Anizotropní rozdělení extrémně energetických částic kosmického záření vůči galaxiím AGN



Závislost toku kosmického záření na energii z Augerovy observatoře v pásmu 0,1 ÷ 100 EeV



Velký třesk

... opravdu za všechno může ...

- **10^{-43} sekundy:**

Planckův čas – začíná fyzika:

teplota 10^{32} K; energie částic 10^{28} eV;

hustota 10^{97} kg/m³;

narušení supersymetrie (gravitace se oddělila od velkého sjednocení GUT), asymetrie hmoty a antihmoty (narušení parity?) v poměru $(10^9+1)/10^9$

- **10^{-35} sekundy:**

kosmologická inflace – rozepnutí **10^{30} krát!**

volné kvarky, leptony a fotony:

energie **$< 10^{23}$ eV**, teplota **$< 10^{27}$ K**

narušení GUT (silná jaderná síla se oddělila od elektroslabé)

- **10^{-10} sekundy:**

éra hadronová

narušení symetrie elektroslabé interakce na elektromagnetickou a slabou jadernou interakci

energie **100 GeV**, teplota **1 PK**

- **0,1 milisekundy:**

éra leptonová

energie **100 MeV**, teplota **1 TK**, hustota **10^{17} kg/m³**

• **0,1 sekundy:**
vesmír je průhledný pro neutrina
hustota 10^7 kg/m^3
anihilace párů elektron-pozitron na záření gama

• **10 sekund:**
energie 500 keV , teplota 5 GK , hustota 10^4 kg/m^3
éra záření

• **3 minuty:**
vznik jader $\text{H/He} = 3/1$ (podle hmotnosti)
dominuje *reliktní záření*

- **380 tisíc let:**

záření se odděluje od látky
elektrony se slučují s atomovými jádry na neutrální atomy
průhledný vesmír ztmavne – **šerověk** (*Dark Age*)

- **200 mil. let:**

vznik I. generace velmi hmotných hvězd H/He
výbuchy supernov začínají obohacovat vesmír
o chemické prvky C → U
černé díry se slévají na zárodky kvasarů a jader galaxií

- **1 miliarda let:**

první galaxie a kupy galaxií, hvězdy II. generace

- **7 miliard let:**

rozpínání vesmíru se díky skryté energii začíná znovu zrychlovat

- **9 miliard let:**

vzniká Slunce a planetární soustava včetně Země

- **13,8 miliard let:**

pomalou končí tato přednáška

Ačkoliv se fyzika mikrosvěta a astronomie vydaly před sto lety opačným směrem, nedávno se podivuhodně sešly: stručné dějiny vesmíru lze popsat díky vzájemné interakci částicové fyziky a astronomických pozorování.

**Hloubení tunelu pod Mt. Blancem z italské a francouzské strany bez jakéhokoliv zaměření: bezešvé setkání vrtných souprav uprostřed –
astročásticová fyzika.**