

VE SMÍR
KOUZLO OBJEVŮ



MEZINÁRODNÍ ROK
ASTRONOMIE
2009

Přednáška Jiřího Grygara:
**Nezadržitelný vzestup
astročásticové fyziky**

Saptarinta europeană a Astroparticulelor • Settimana europea delle astroparticelle
Astroparticle physics: the European week • Semaine européenne de l'astroparticelle

Evropský týden
astročásticové fyziky

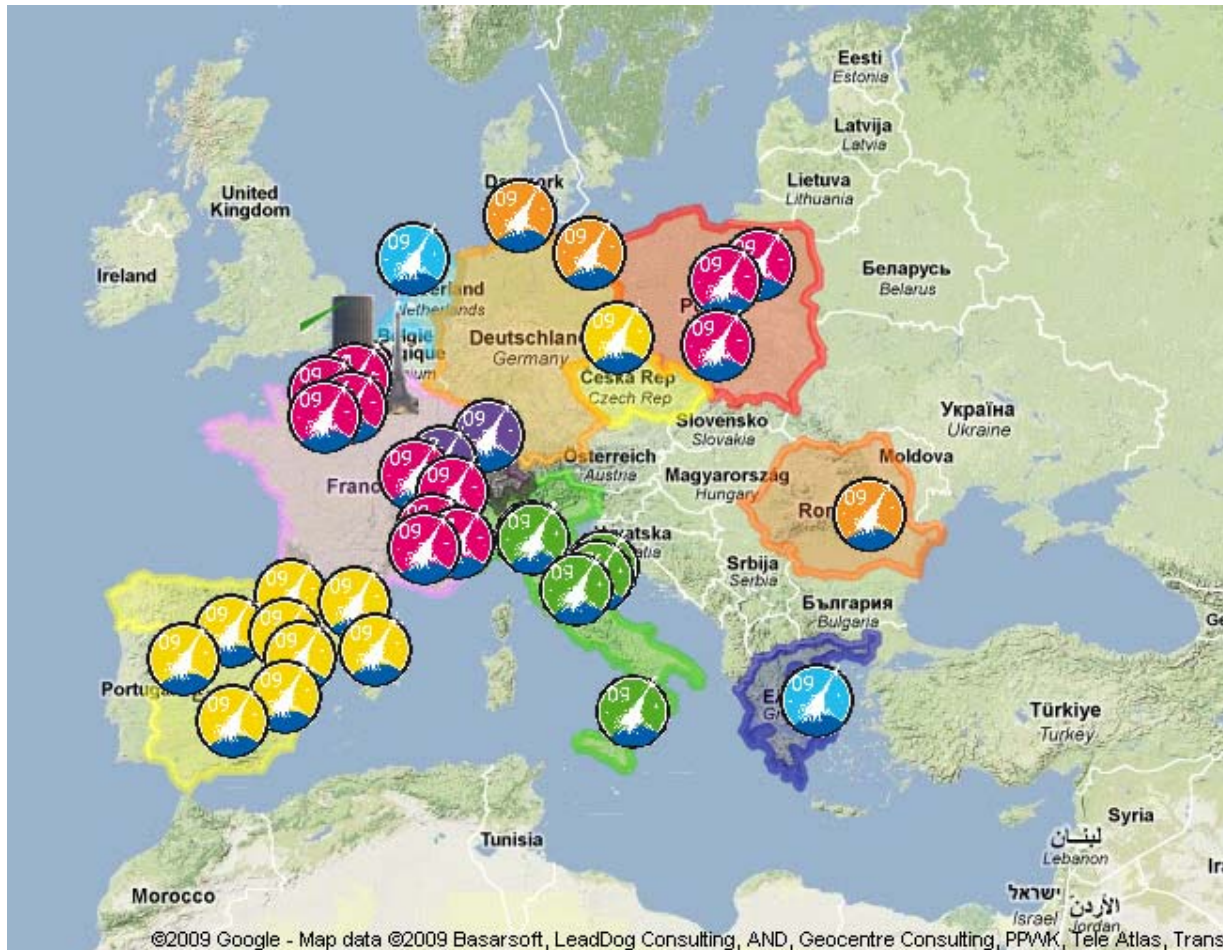
10-17 October 2009



sál 206
Akademie věd ČR
Národní 3, Praha 1
13. října 2009 – 17:30



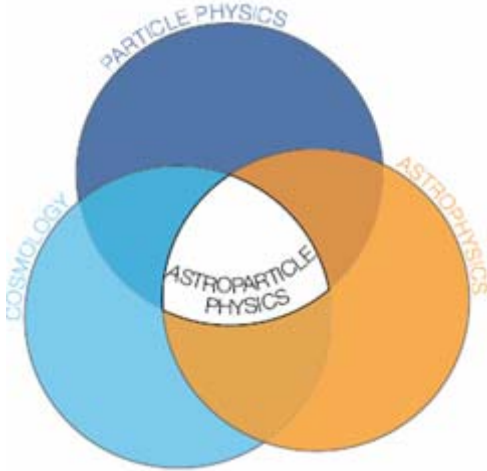
10. – 17. října 2009: Evropský týden astročásticové fyziky



Týden je pořádán v rámci projektu ASPERA (AStroParticle ERAnet, 7. rámcový program EK)

ASPERA založena v rámci ApPEC (Astroparticle Physics European Coordination, sdružení ministerstev a grantových agentur podporujících astročásticovou fyziku v členských zemích EU)

JAK VZNIKLA ASTROČÁSTICOVÁ FYZIKA?



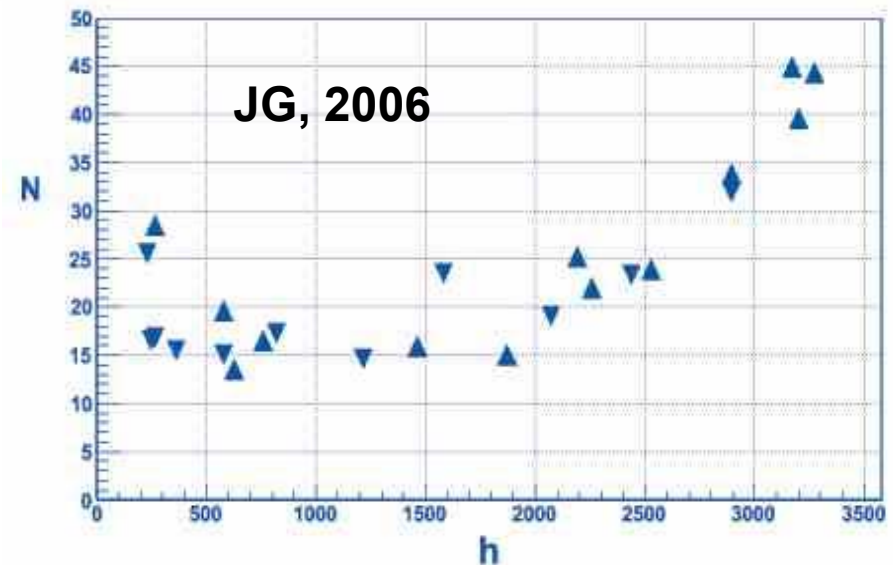
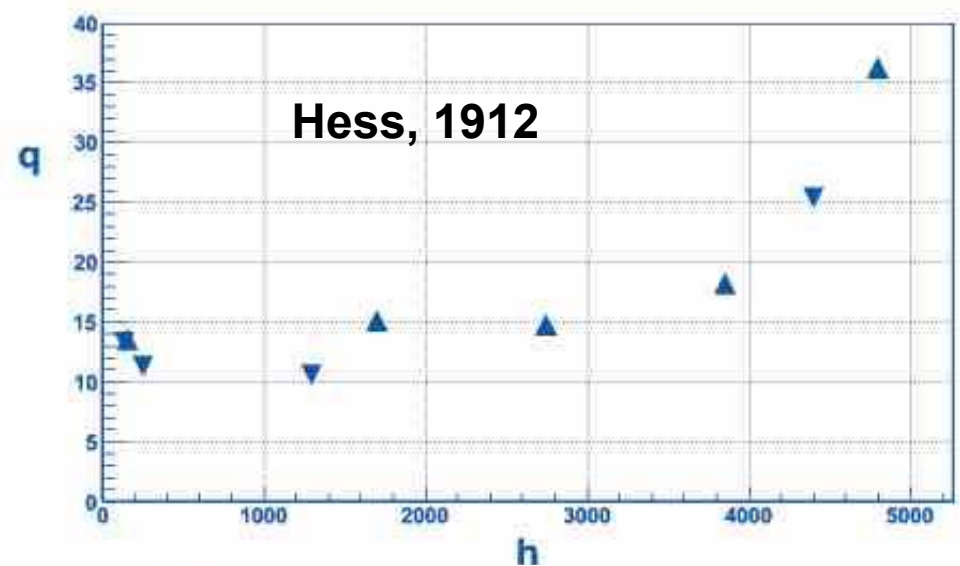
1890 – astrofyzika: díky spektroskopii a fotografii;
1939 – termonukleární reakce ve hvězdách;
1948 – velký třesk

1897 – částicová fyzika: elektron; 1912 – jádro atomu;
1932 – neutron, neutrino, pozitron

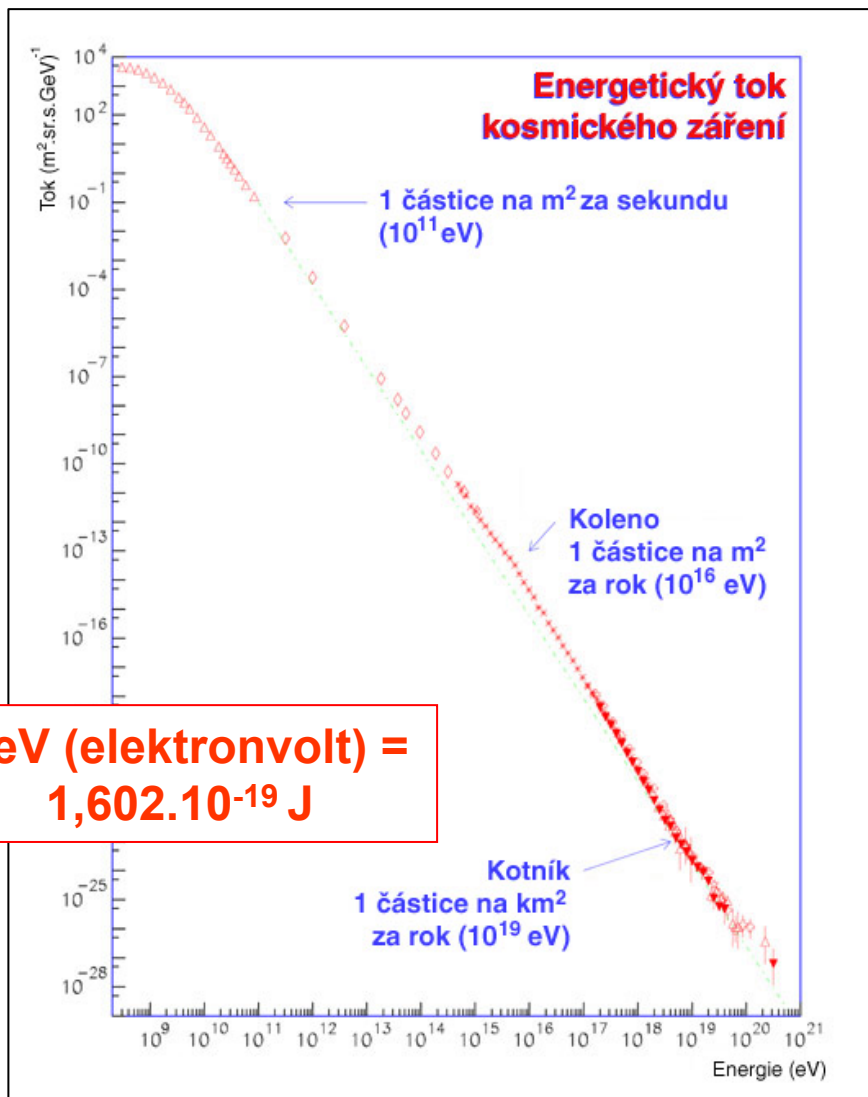
Evropa: ASPERA (2006) – spolupráce 14 států včetně Česka

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
nabité částice –
protony, elektrony,
jádra těžších atomů,
energetické paprsky
gama)



Jaké jsou jeho energie? Rekordní!



- 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)

PIERRE AUGER OBSERVATORY

1999 – 2008

MALARGUE, provincie Mendoza, Argentina

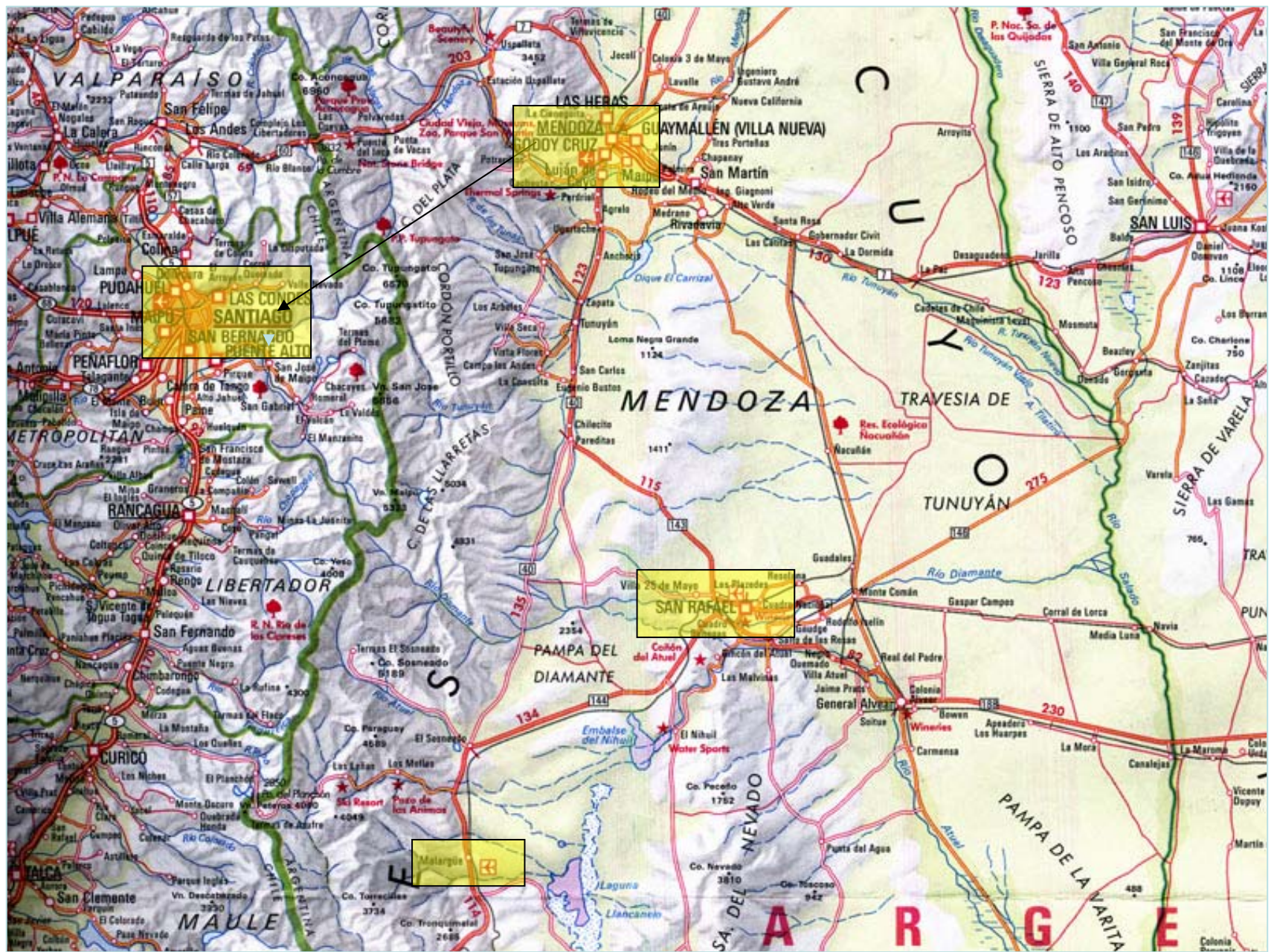
Ústřední budova v Malargue

4 observatoře, každá se 6 světelnými komorami pro sledování spršek KZ

>1600 pozemních detektorů spršek

(válcové sudy s 12 t destilované vody)

Plocha 3000 km² !



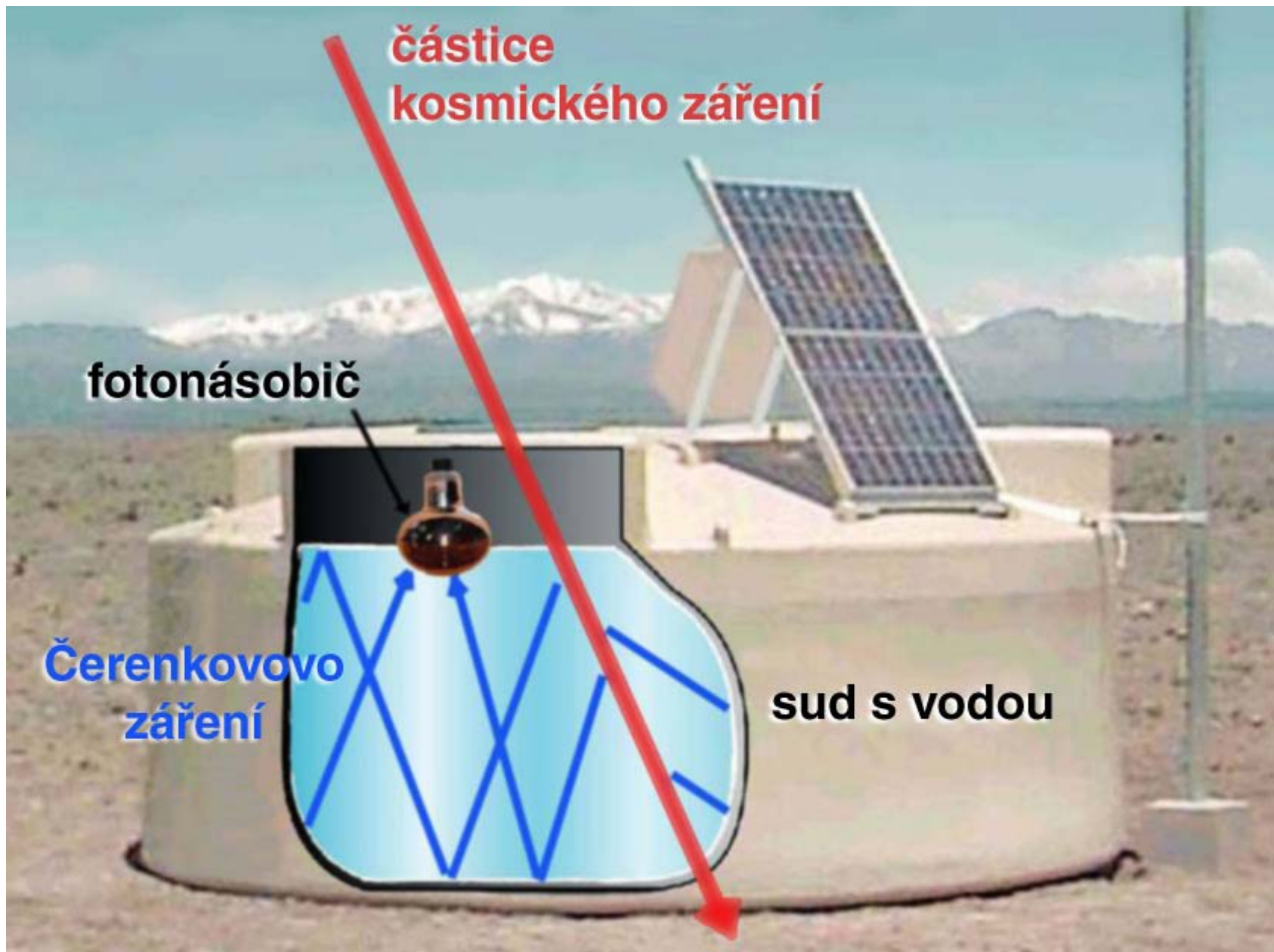
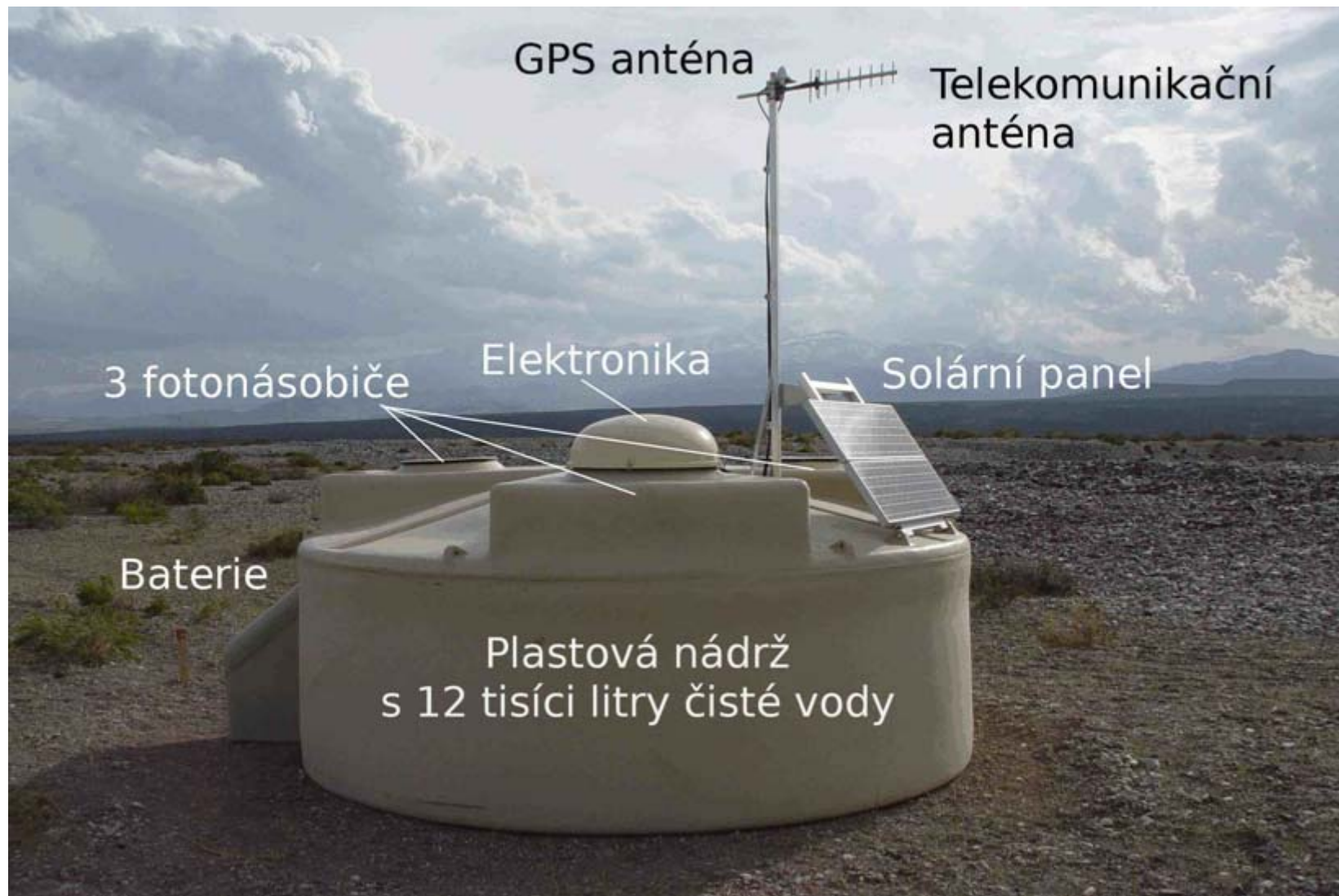
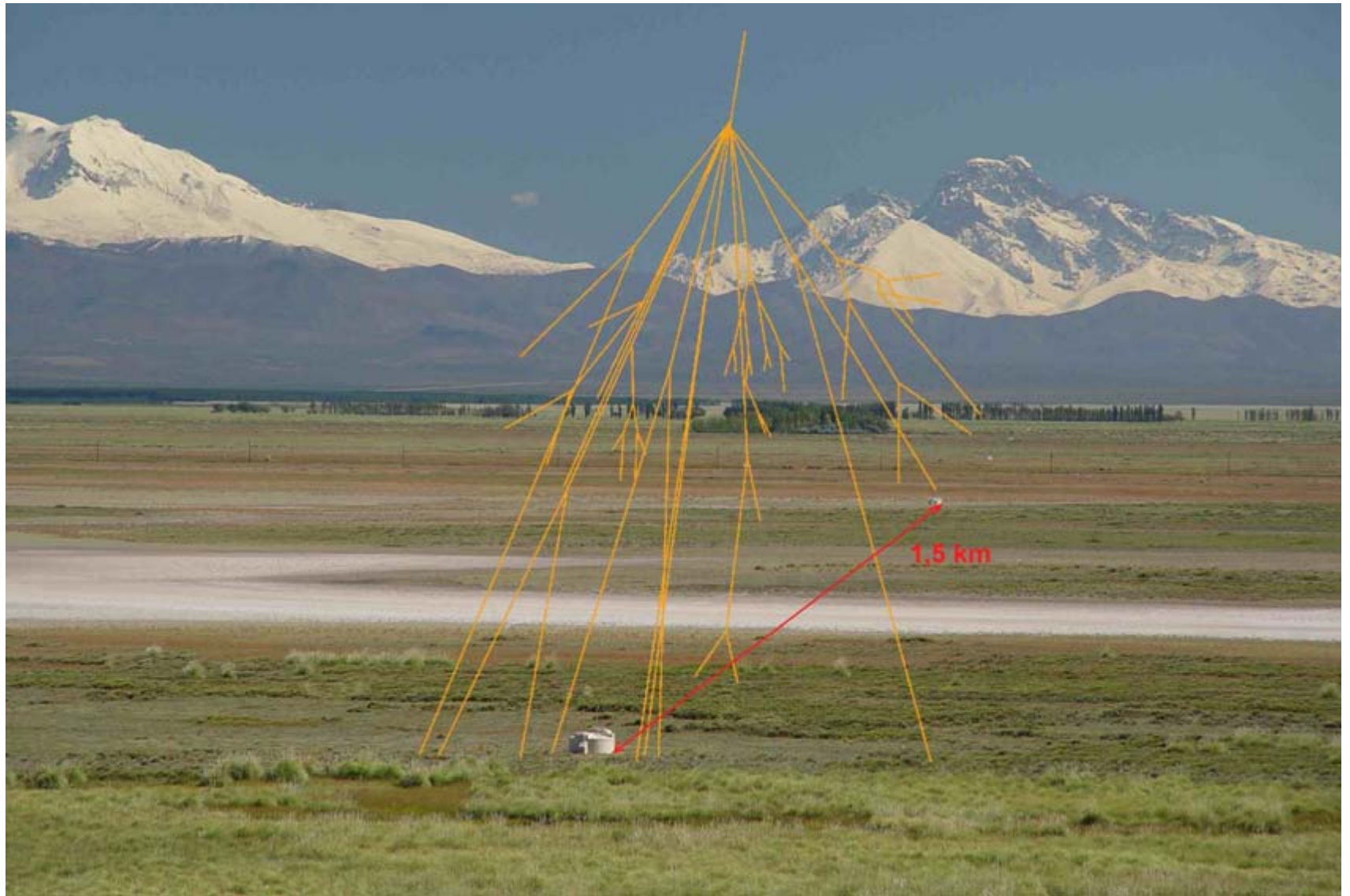


Schéma pozemního detektoru



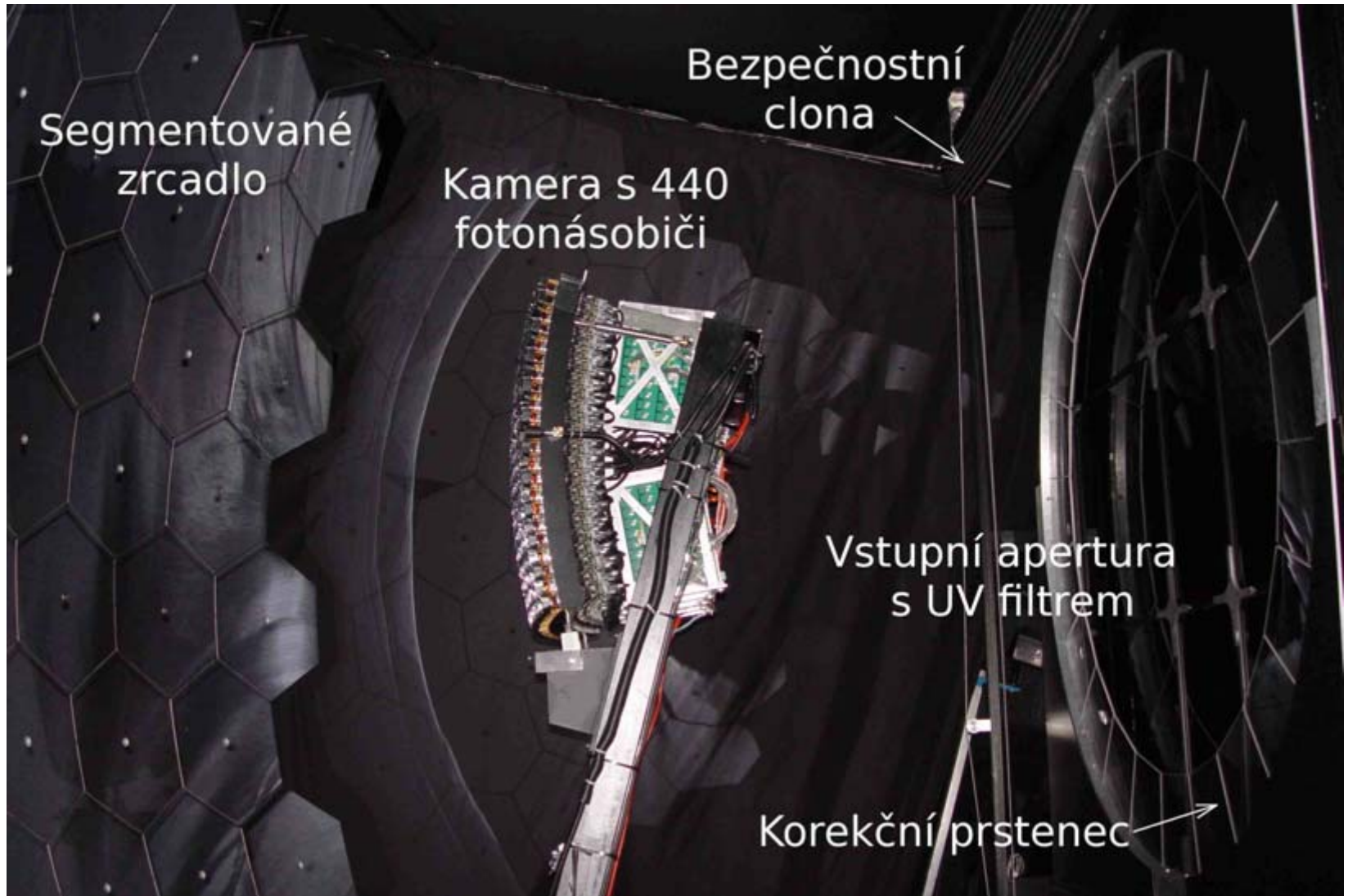
Řada detektorů pod Andami



Kovové kolébky pro zrcadla fluorescenčních detektorů (FZÚ AV ČR)



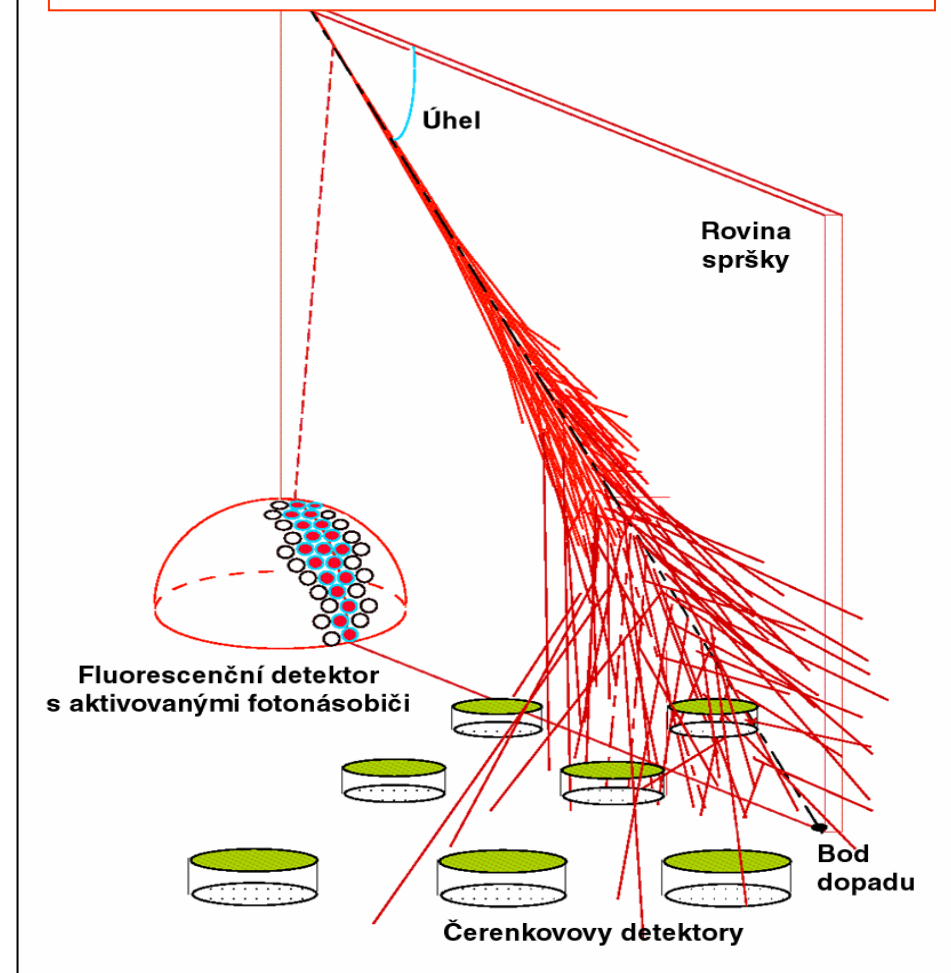
Fluorescenční detektor (CZ)



„The Pierre Auger Observatory“ = hybridní detektor kosmického záření

- **Sít' pozemních Čerenkovových detektorů** bude doplněna o soustavu velmi citlivých **fluorescenčních teleskopů**, které budou za jasných bezměsíčných nocí pozorovat slabé modrofialové (až ultrafialové) světlo, které vzniká jako vedlejší produkt při tvorbě částic spršky kosmického záření.

Schéma funkce hybridního detektoru



Centrální budova Observatoře Pierra Augera (Malargue)



18.10.2009

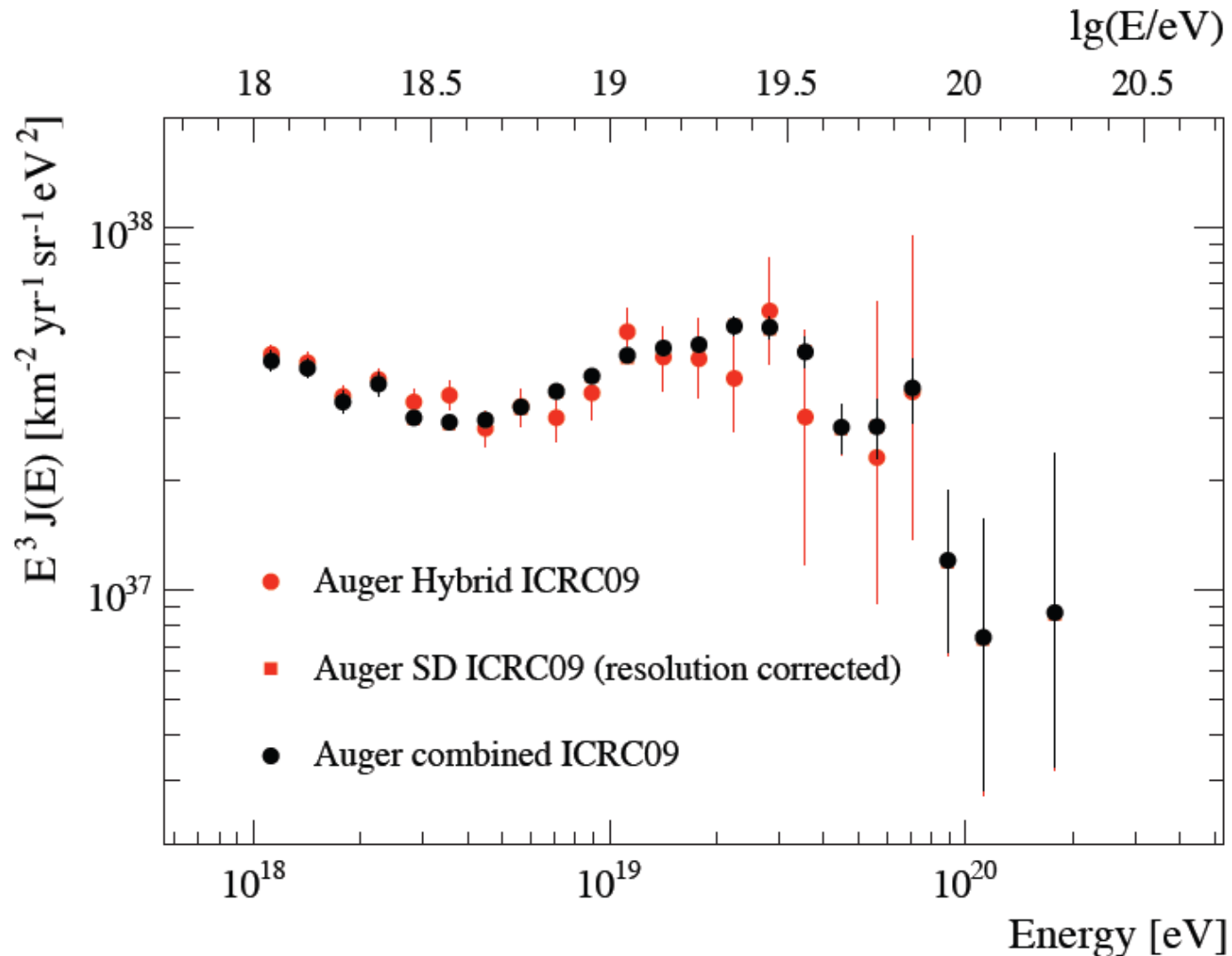
Astročásticová fyzika

14

Pozorovaná anizotropie kosmického záření na titulní stránce prestižního časopisu Science



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



VYSOCE ENERGETICKÉ ZÁŘENÍ GAMA (až 10 TeV)

Energetické fotony se srážejí s molekulami vzduchu a vytvářejí „nadsvětelné“ pozitrony a elektrony: modré záblesky Čerenkovova záření

Projekt HESS (poušť v Namibii): 4 teleskopy \varnothing 12 m; 390 zrcadel \varnothing 0,6 m (sklo Kavalier)

Přes 100 badatelů z 9 zemí

Descartesova cena 2006 (L. Rob, D. Nedbal, MFF UK)

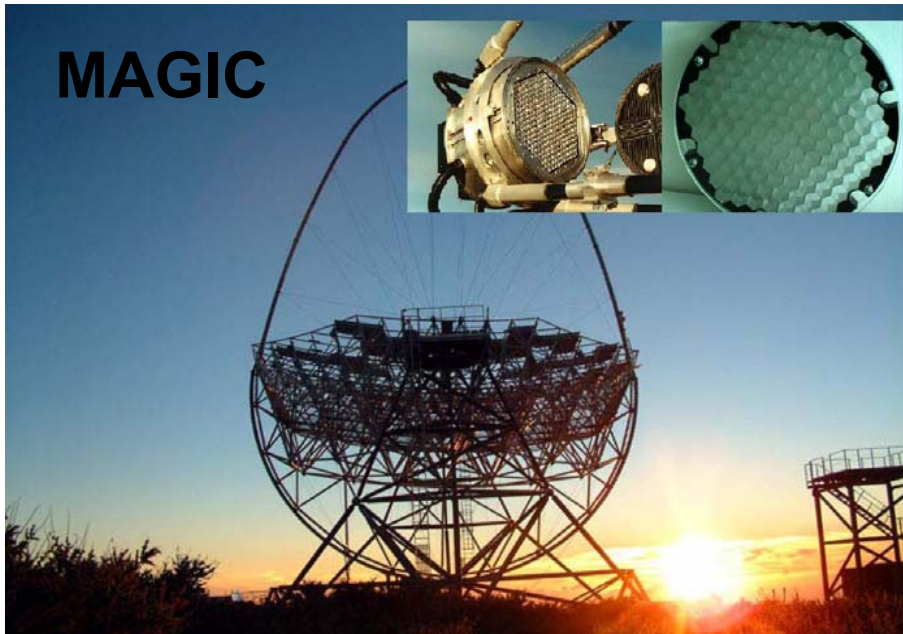
Další aparatury: MAGIC (La Palma; 2 teleskopy do 50 TeV), VERITAS (Arizona; 4 teleskopy \varnothing 12 m)

Družice Fermi (VI 2008): <300 GeV

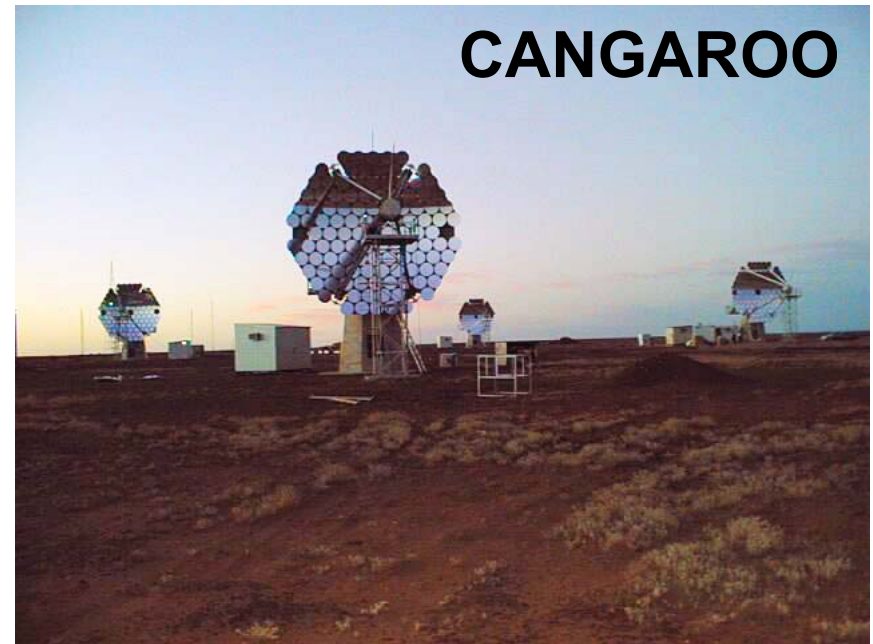
HESS



MAGIC

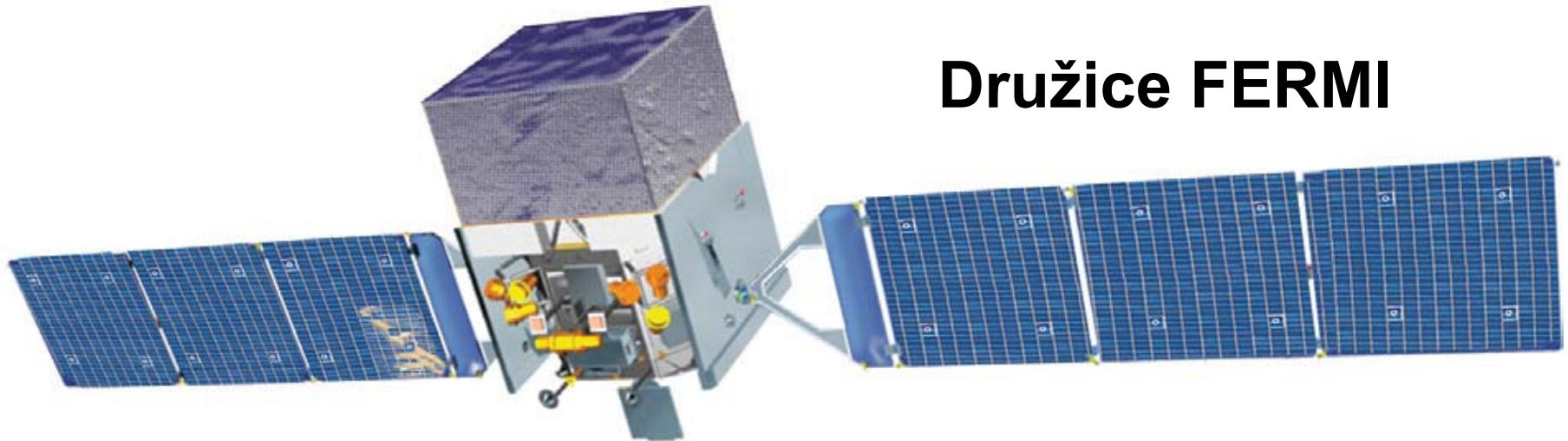


CANGAROO





4 teleskopy VERITAS



Družice FERMI

18.10.2009

Astročásticová fyzika

19

NEUTRINA

- 1930: W. Pauli – teoretická domněnka
- 1956: F. Reines a C. Cowan – objev neutrin
- 1968 – 1992: R. Davis - neutrina ze Slunce
- 1987: Superkamiokande: supernova 1987A
- 2001: SNO (hloubka 2 km!): oscilace neutrin
- detektory v ledu (AMANDA, IceCube) a v moři (*Antares*)
- řada Nobelových cen: (Pauli, Reines, Lederman, Schwartz, Steinberger, Davis, Koshiba,...)

Superkamiokande (Japonsko)

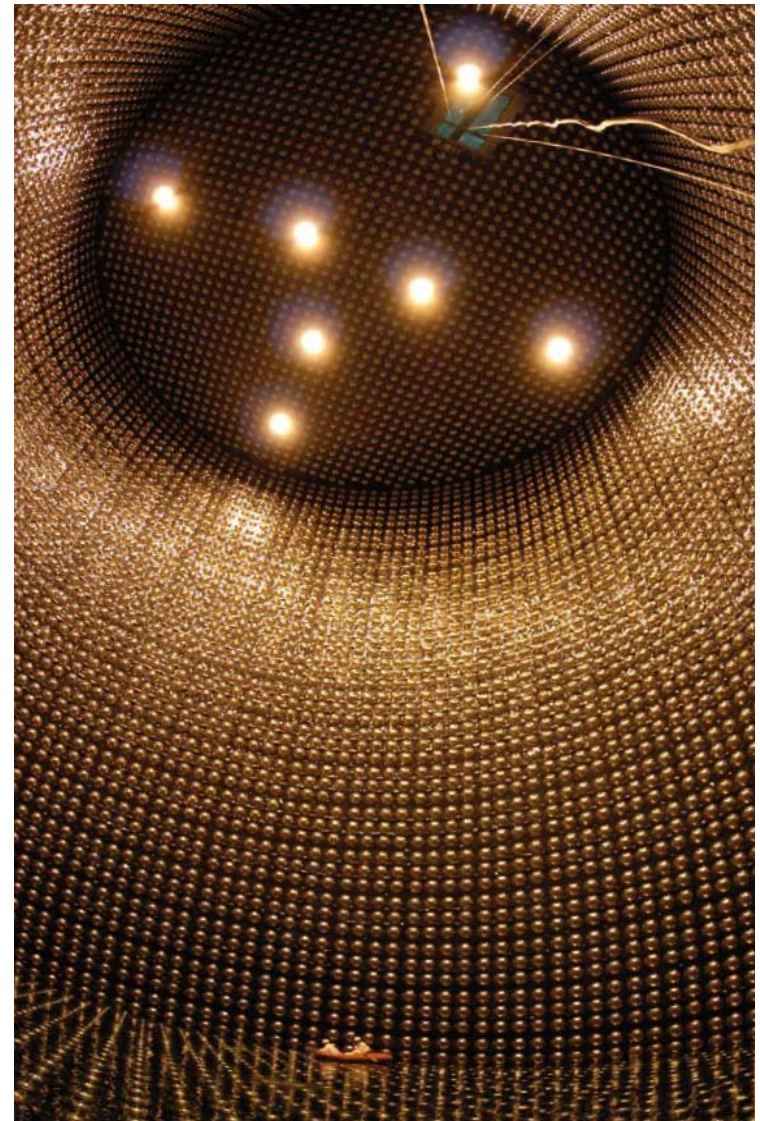
Důl na zinek, hloubka 1,5 km

**50 tis. tun destilované vody,
11 tis. velkých fotonásobičů**

**Detekce záblesků
Čerenkovova záření**

**Rozpad protonu: poločas
nad 10^{34} let!**

**Směr příletu neutrin: ze
Slunce a ze supernovy
1987A (Velké Magellanovo
mračno, 165 tis. sv. let)**

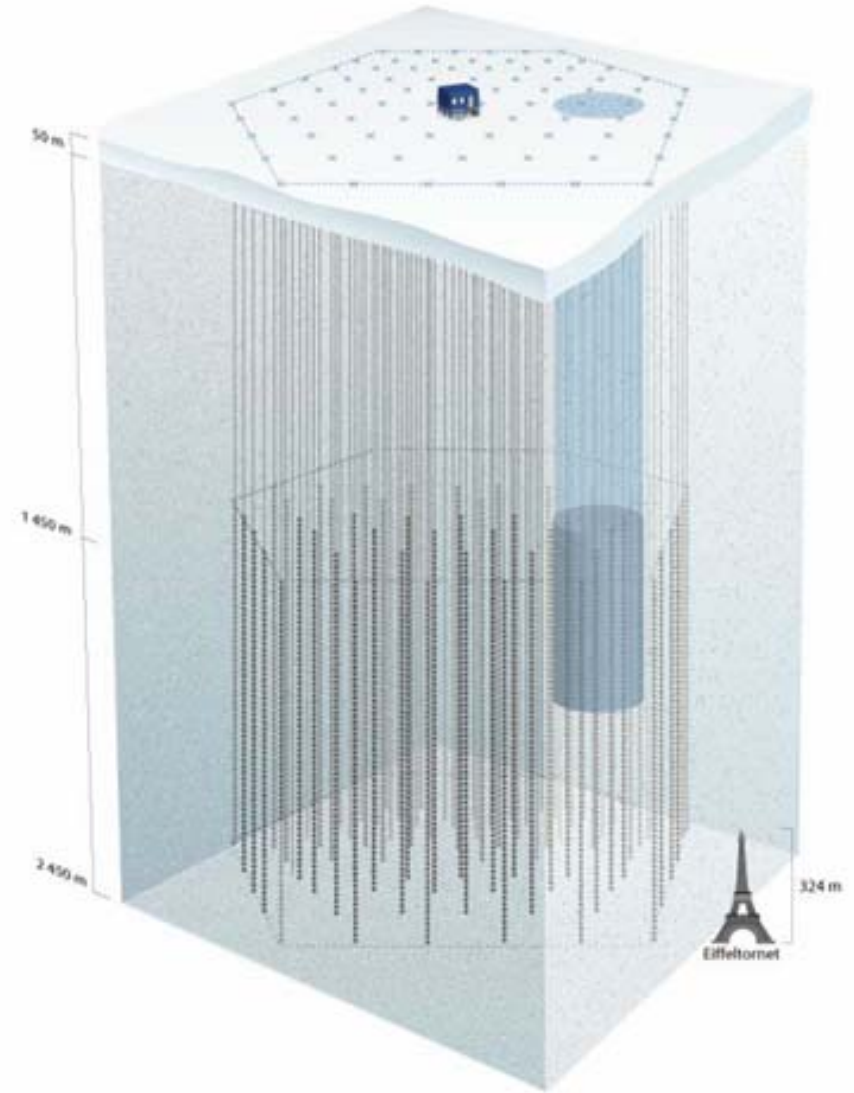


IceCube (Antarktida)

Proud horké vody – 80 vertikálních děr do ledu do hloubky 2,4 km. Kably s 60 fotonásobiči od hloubky 1,4 km. Objem 1 km³.

Mezinárodní spolupráce 8 států. Náklady 270 mil. \$. Dokončení 2011. Záznam Čerenkovových záblesků od interakcí neutrin v čirém ledu. Odstínění kosmického záření horní vrstvou ledu.

Studium neutrin různých energií a zdrojů. Možnost nalezení částic WIMP (skrytá látka) a zdrojů VHE záření gama.

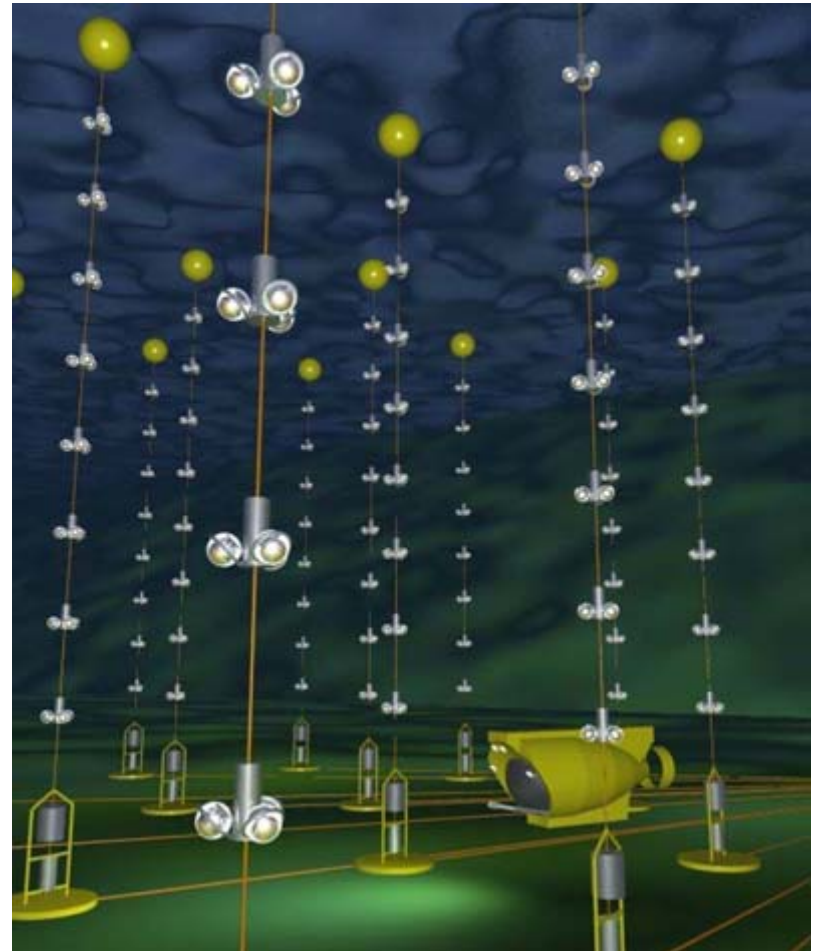


Antares (Středozemní moře)

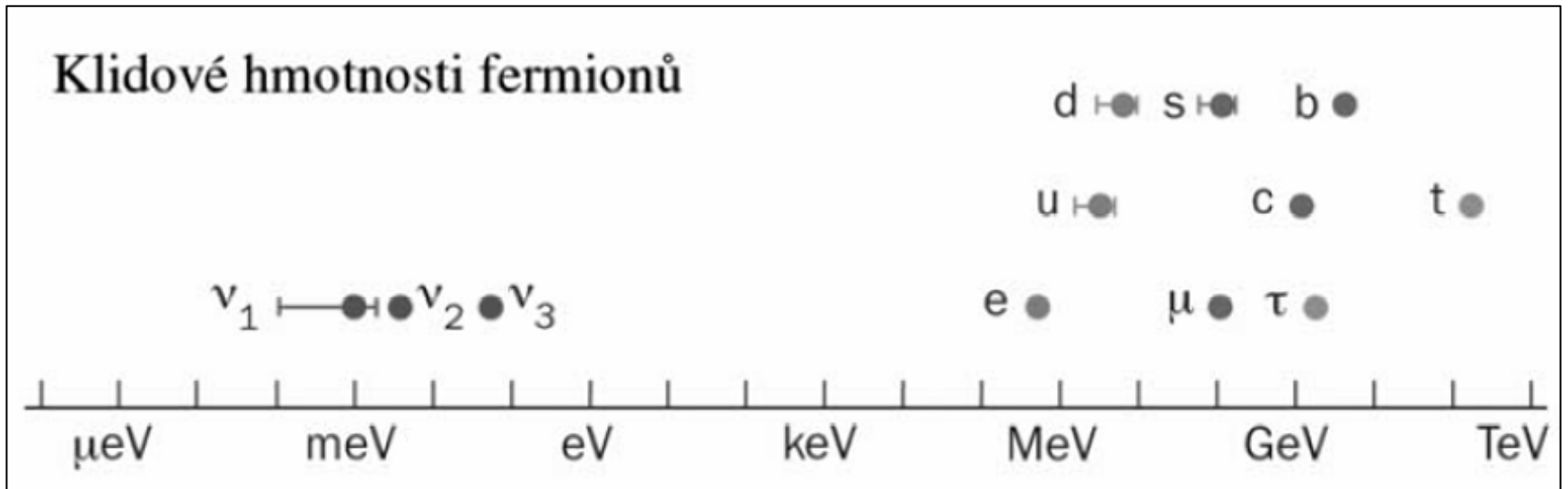
Detektor neutrin ve Středozemním moři, 80 km jihovýchodně od Marseille, hloubka 2,5 km. Spolupráce 7 evropských států. Uveden do chodu 2009.

Na mořském dně jsou zakotveny struny s bójkami optických detektorů, vznášejících se 400 m nad dnem.

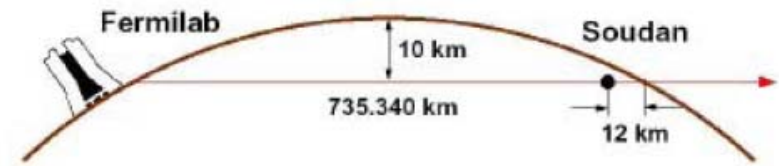
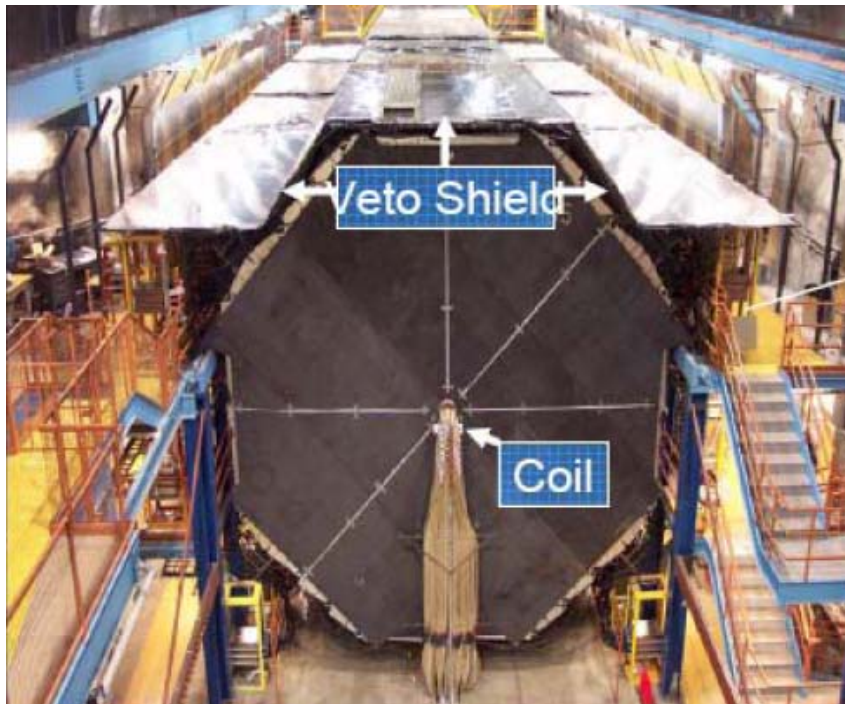
Citlivý zejména na vysokoenergetická mionová neutrina.



Klidové hmotnosti tří vůní neutrin (ν), elektronů (e, μ, τ) a kvarků (u, d, s, c, b, t) v logaritmické stupnici



Výzkum oscilací neutrin na trase Fermilab – Soudan (MINOS) od r. 2006



KATRIN (měření hmotnosti neutrin)

Stěhování vakuové nádoby do Karlsruhe (experiment cca 100 vědců evropských zemí včetně Česka a USA).

Elektrony z radioaktivního tritia usměrněny v magnetickém poli – změření klidové hmotnosti elektronového neutrina.



GRAVITAČNÍ VLNY Z VESMÍRU

1968: J. Weber – neúspěšné hledání pomocí hliníkového válce.

Současnost: laserové interferometry měří vzdálenosti až kilometry s přesností na zlomek průměru atomového jádra!

Budoucnost: tři kosmické sondy v trojúhelníku o stranách 5 mil. km (LISA)



Možné zdroje gravitačních vln ve vesmíru

zdroj	amplituda	frekvence	typ signálu
supernova v Galaxii	10^{-18}	1 kHz	pulzní
supernova v LMC	10^{-19}	1 kHz	pulzní
supernova v Panně	10^{-21}	1 kHz	pulzní
srážka černých děr	10^{-20}	100 Hz	kvaziperiodický
srážka neutronových hvězd	10^{-22}	< 1 kHz	kvaziperiodický
vibrace černé díry	?	< 10 kHz	tlumené oscilace
velký třesk	?	?	šum

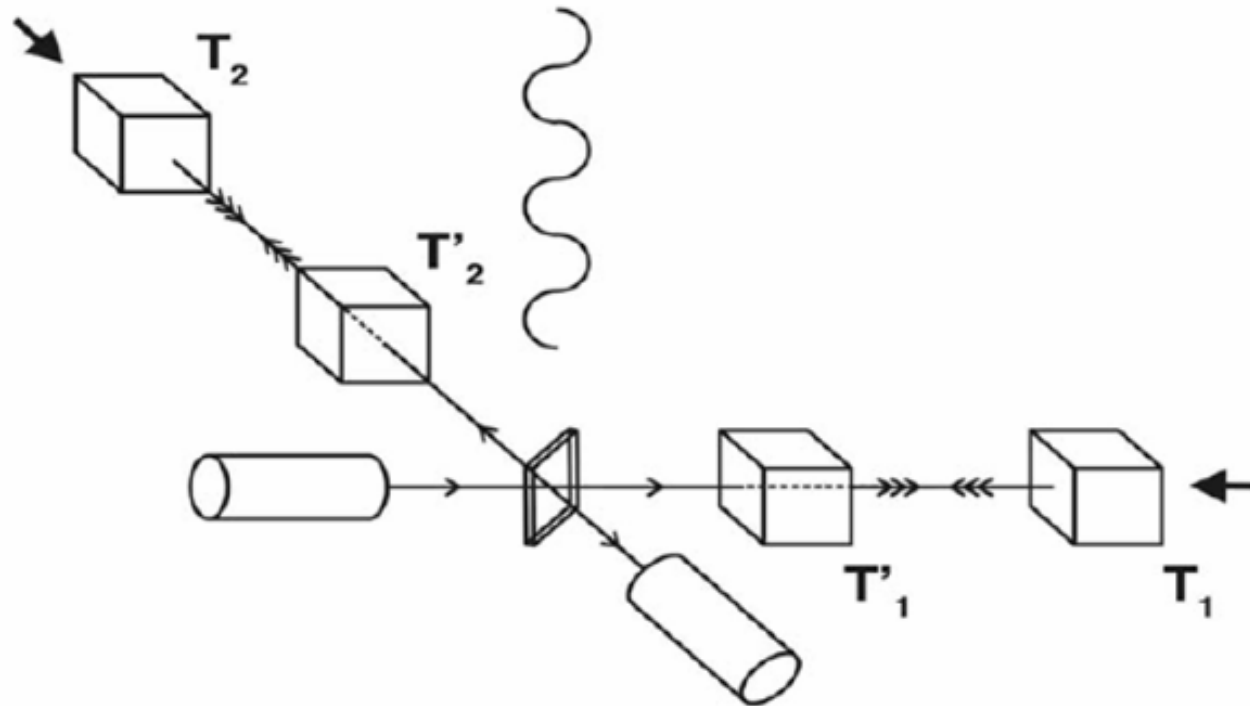
Aparatury pro sledování gravitačních vln

název	umístění	země	rok	rozměr	www
MARK 2	Pasadena	USA	1991	40m	www.ligo.caltech.edu
TAMA 300	Tokio	Japonsko	2000	300m	tamago.mtk.nao.ac.jp
GEO 600	Hannover	SRN, GB	2001	600m	www.geo600.uni-hannover.de
LIGO	Hanford, Livingstone	USA	2002	4km	www.ligo.caltech.edu
VIRGO	Pisa	Itálie, Francie	2003	3km	www.virgo.infn.it
LISA	vesmír	ESA, NASA	2010?	5 mil km	sci.esa.int/lisa ; lisa.jpl.nasa.gov

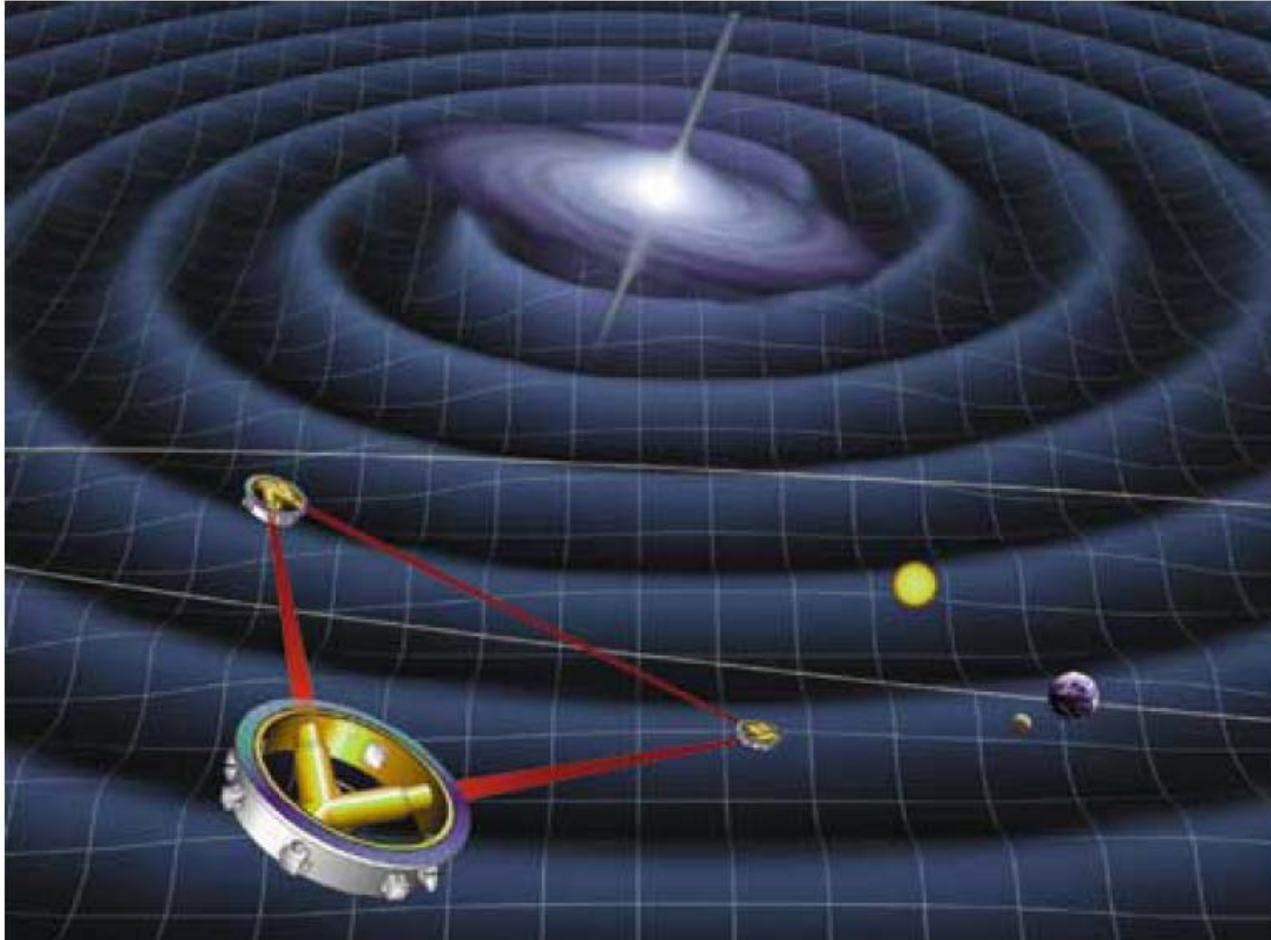
LIGO (USA, 2 aparatury) – státy Washington a Louisiana



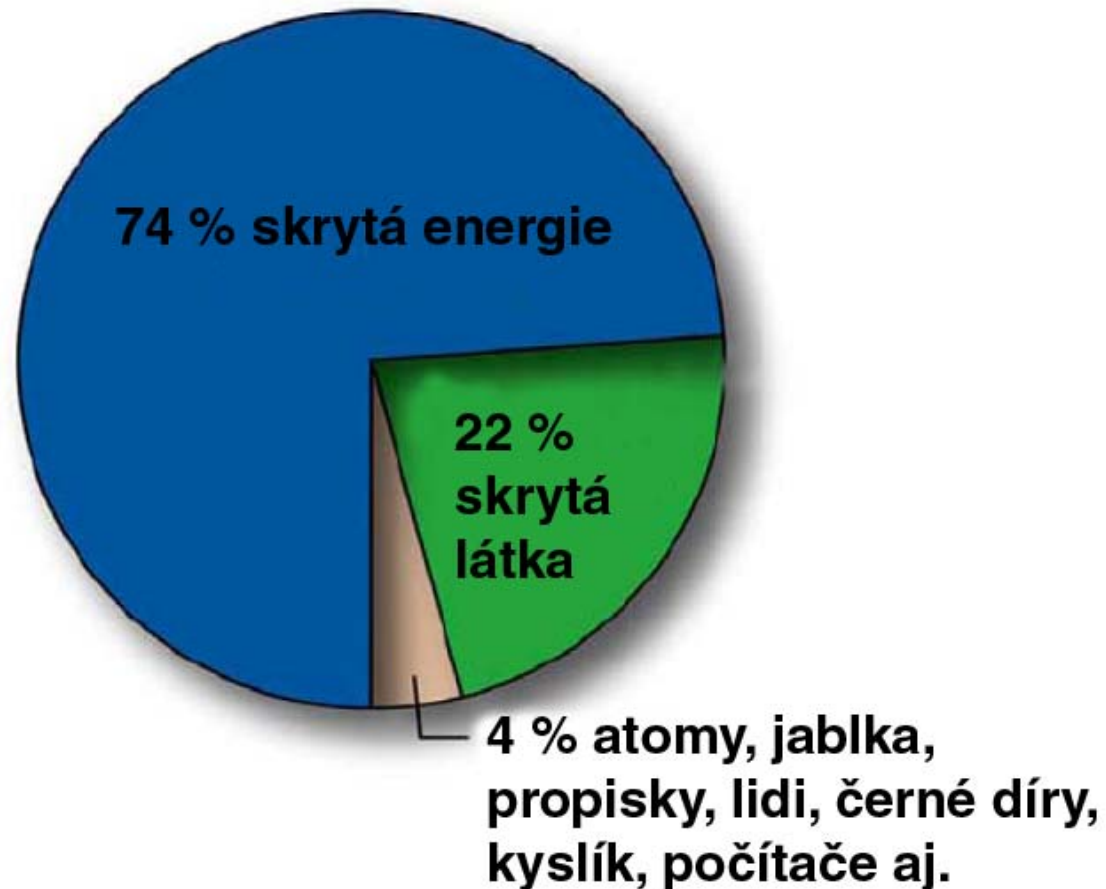
Princíp laserového interferometru (LIGO, VIRGO, GEO 600, TAMA 300)



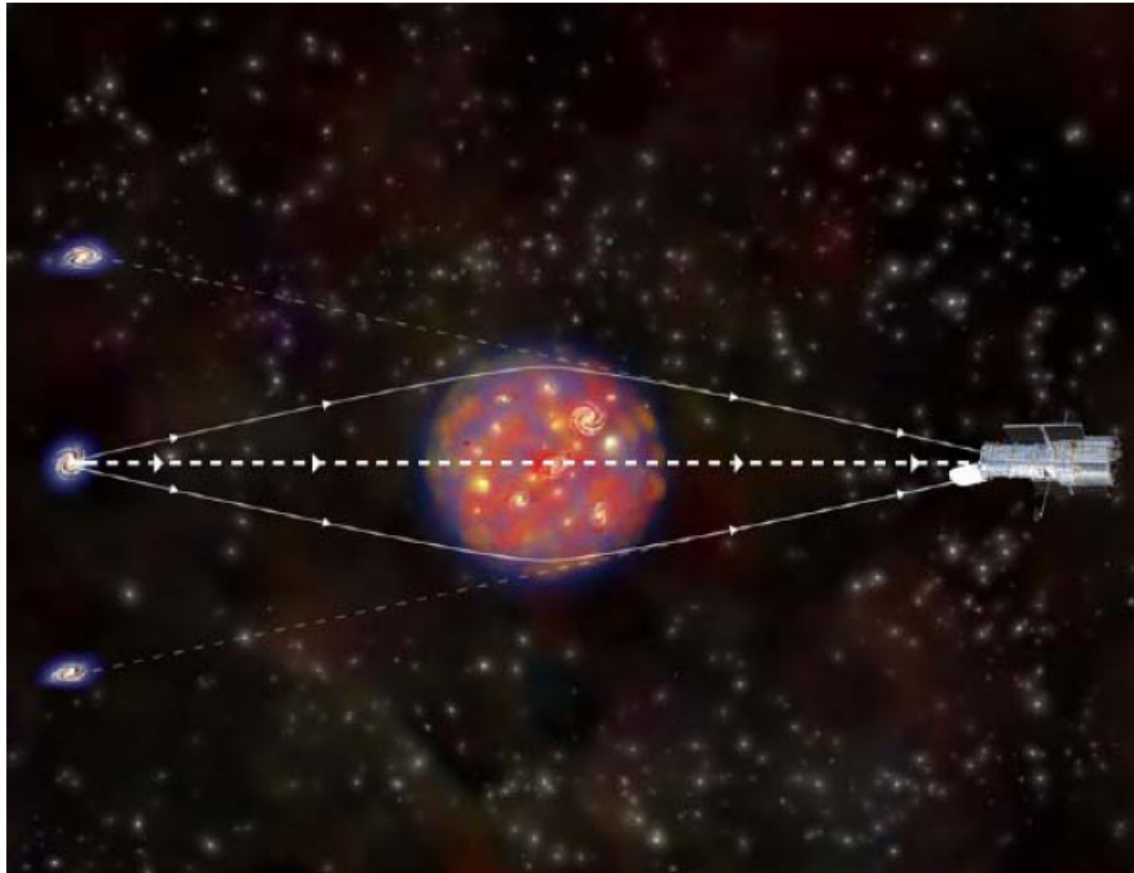
LISA (NASA + ESA): 3 sondy v rovnostranném trojúhelníku o stranách 5 mil. km; start 2016?



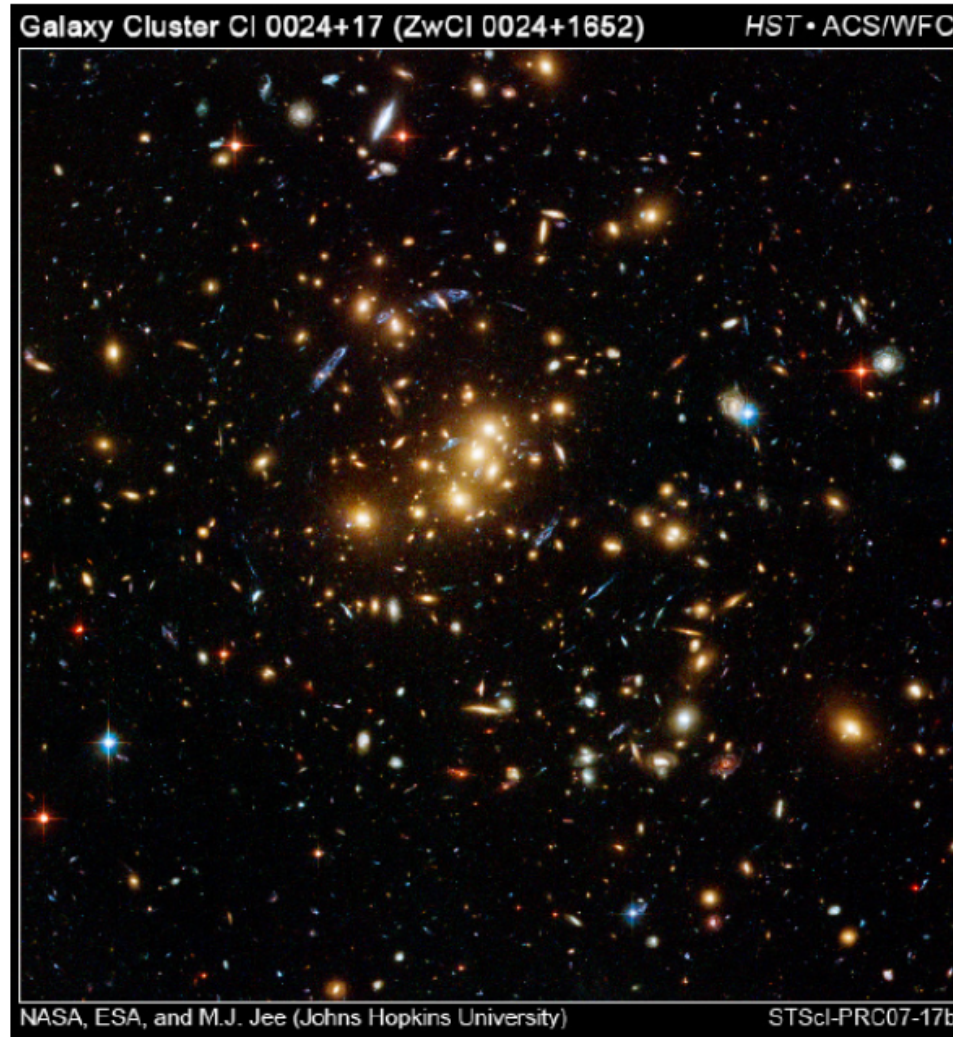
Veškerá hmota vesmíru = skrytá energie + skrytá látka + baryonová látka (tj. hvězdy, planety, smetí aj.)



Mezilehlá kupa galaxií jako objektiv gravitační čočky; Hubbleův kosmický teleskop jako okulár



Kupa galaxií zobrazená bližší galaxií – gravitační čočkou (snímek HST)



Podzemní laboratoř Gran Sasso (Itálie)



Podzemní laboratoř Gran Sasso



**Superčistý
krystal germania
jako detektor
částic WIMP**

**Argonový kapalinový
(100 litrů) detektor částic
skryté látky (WIMP)**



Balón ATIC (Antarktida; dostup 40 km)



Alfa-magnetický spektrometr (AMS) na palubě ISS



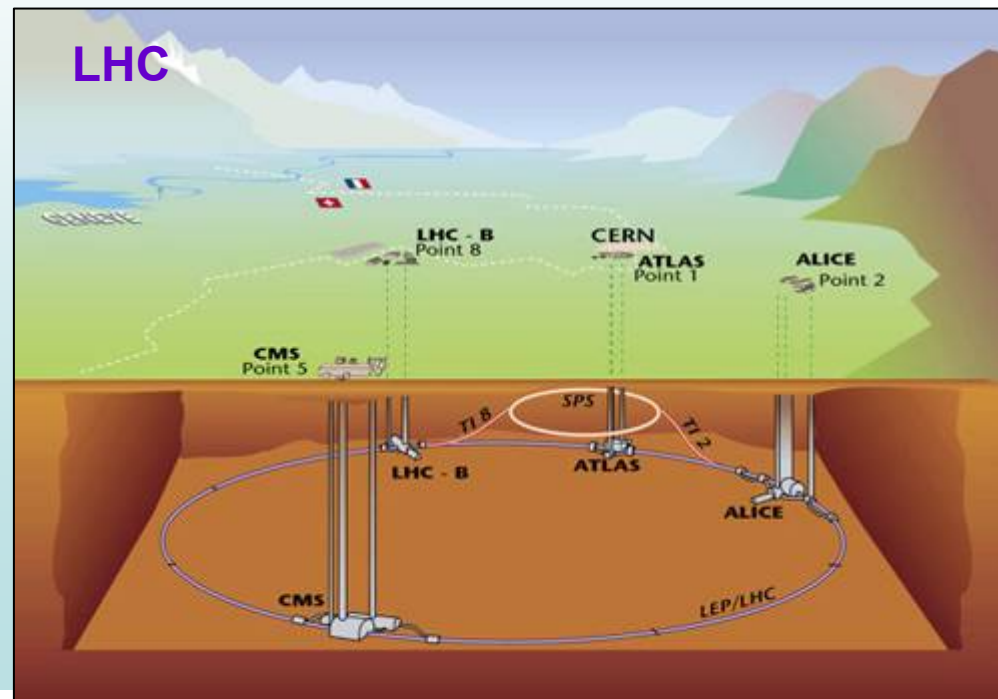
Urychlovače pod zemí

- vstříčné svazky, investice řádu miliard euro

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

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

2010 – **LHC** (CERN) – protony x protony: 7 TeV (ATLAS – Česko)



Čelo detektoru ATLAS (7 tis. tun)



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*

The background of the slide is a composite image. It features a dark blue space filled with various galaxies, including spiral and elliptical ones. A prominent red, angular structure with several dark, oval-shaped cutouts is overlaid on the scene, resembling a large-scale structure or a specific astronomical instrument. In the top-left corner, there are several small, glowing spheres, some of which are clustered together, possibly representing early stages of star formation or planetary systems.

- **7 miliard let:**

rozpínání vesmíru se díky skryté energii začíná znovu zrychlovat

- **9 miliard let:**

vzniká Slunce a planetární soustava včetně Země

- **13,5 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.**