



Kosmické záření

a

Observatoř Pierre Augera

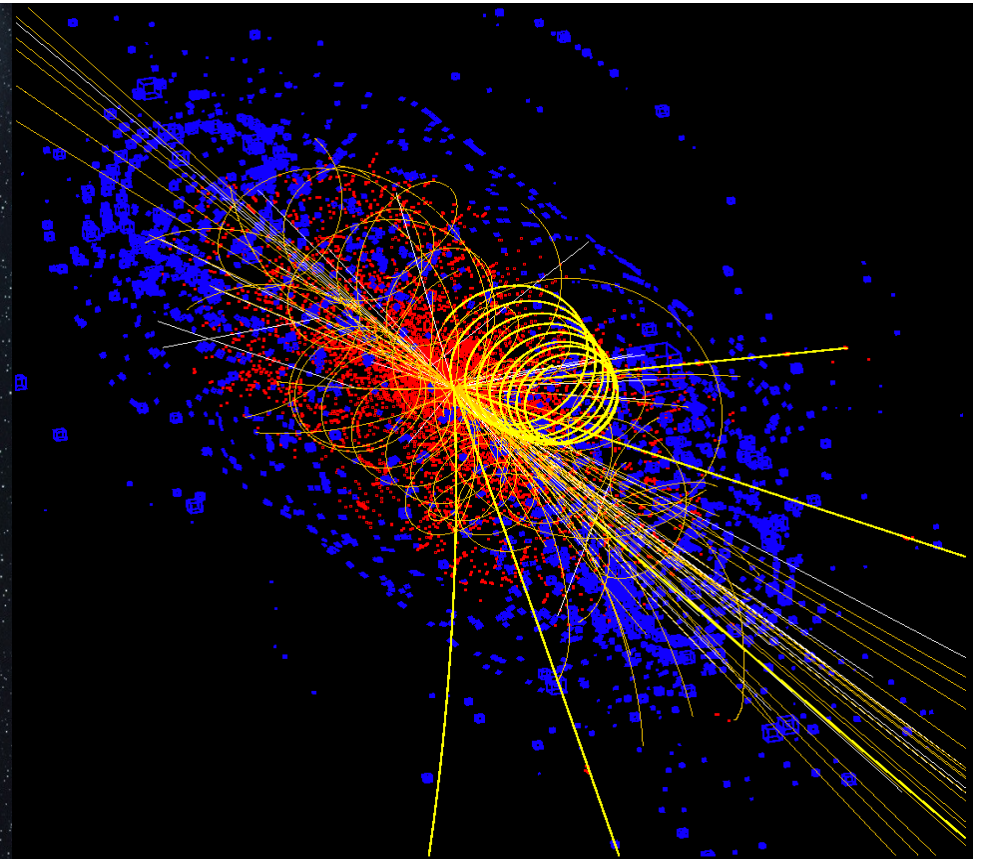


připravil R. Šmída

Astročásticová fyzika



Astronomie
(makrosvět)



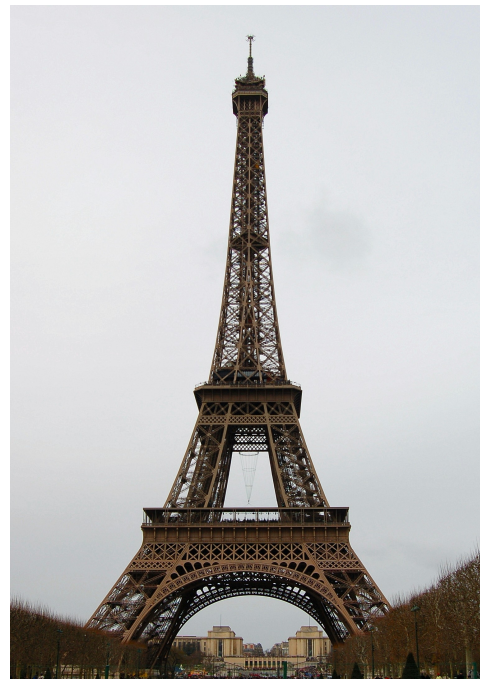
Částicová fyzika
(mikrosvět)

Kosmické záření



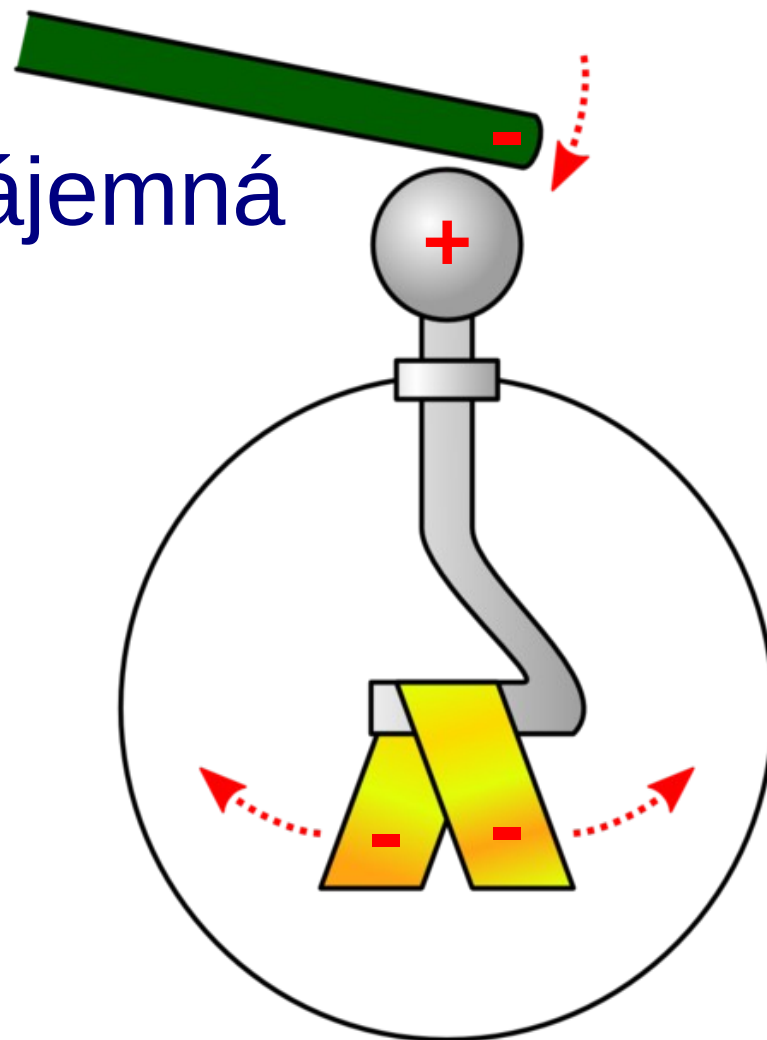
Objev kosmického záření

- 1896: Objev radioaktivity (H. Becquerel)
- Nevysvětluje ionizaci vzduchu vysoko nad povrchem země
- 1909: T. Wulf - pokusy na Eiffelově věži



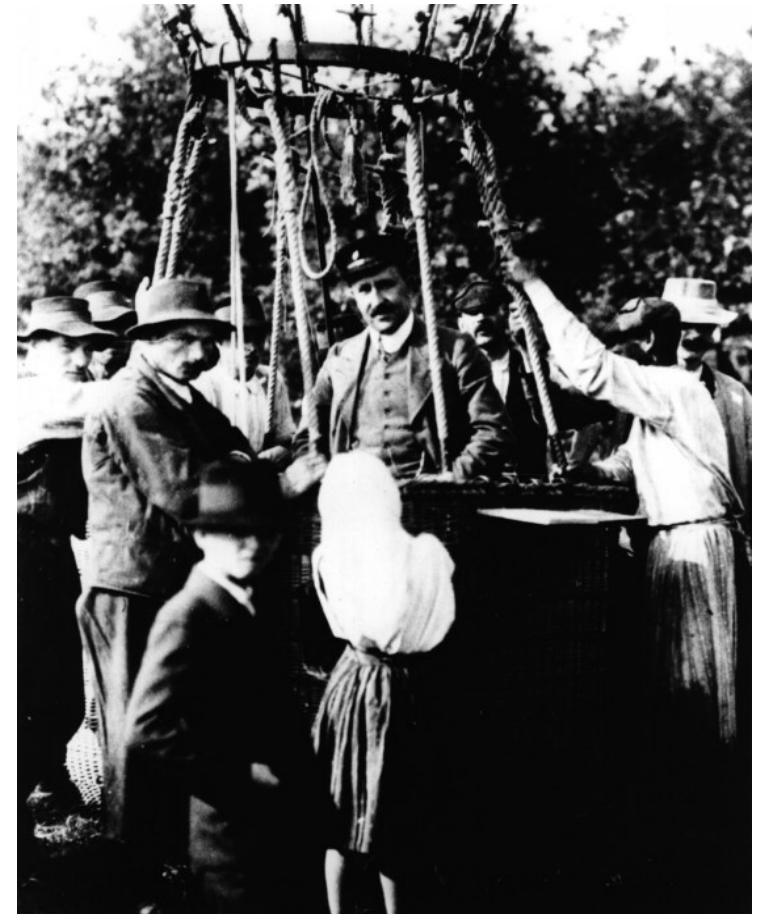
Elektroskop

- Kovové lístky nabité stejným nábojem uzavřené v nádobě
- Při vybíjení se jejich vzájemná vzdálenost zmenšuje
- Rychlost samovolného vybíjení kovových lístků závisí na míře ionizace vzduchu

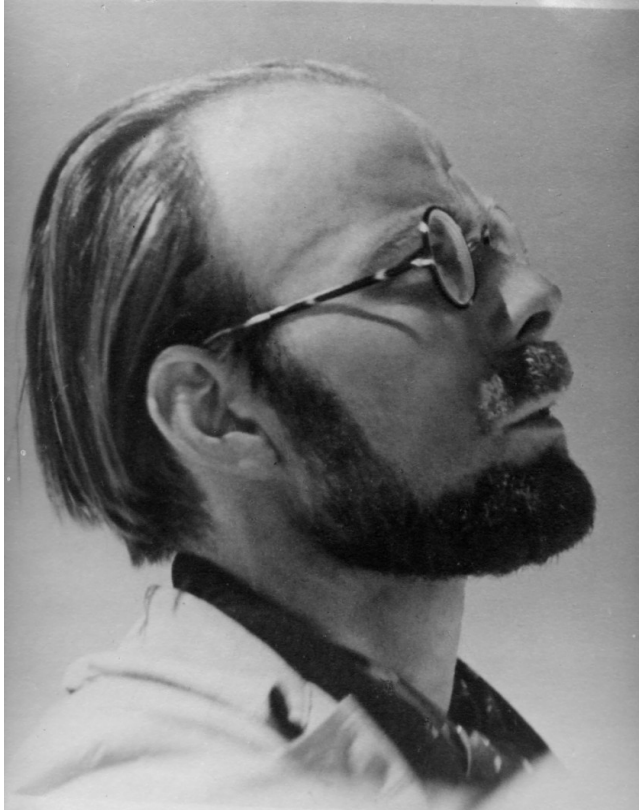


Viktor Hess

- Měření při letech balónem
- 1912: úspěšný let z Ústí n. Labem
- Dosažení nadmořské výšky 4,8 km
- Radiace roste s nadmořskou výškou
- Záhadné záření **přilétá z vesmíru**

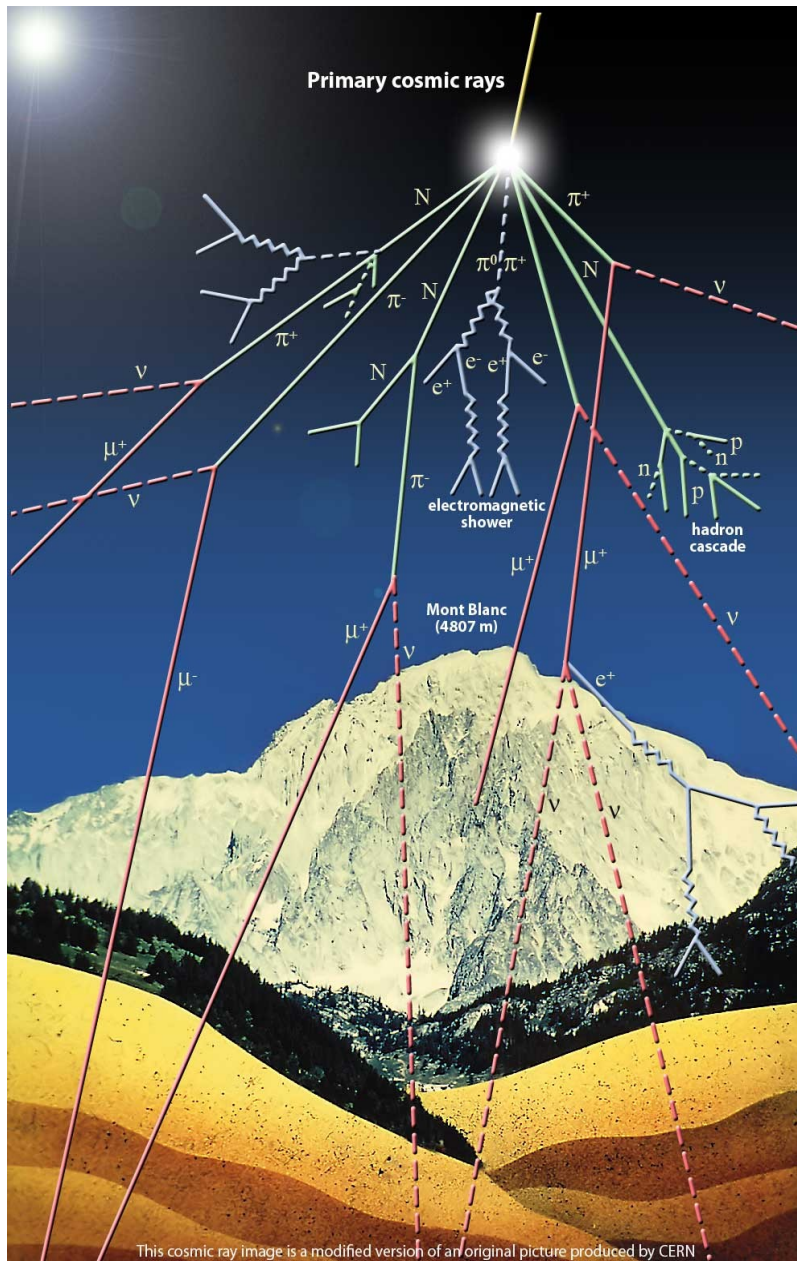


Pierre Auger



- Pozorování v Alpách
- 1939: objev atmosférických spršek
- Primární částice mají energie milión GeV (10^{15} eV)!
- Tehdejší urychlovače: 10 MeV (10^7 eV)
- LHC: 7 TeV = 7×10^{12} eV

Atmosférické spršky



- Primární částice neprojde atmosférou
- Mnohonásobné srážky v atmosféře
- Vzniká až **miliarda** sekundárních částic
- Známé částice (elektrony, nukleony)
- Objev nových částic

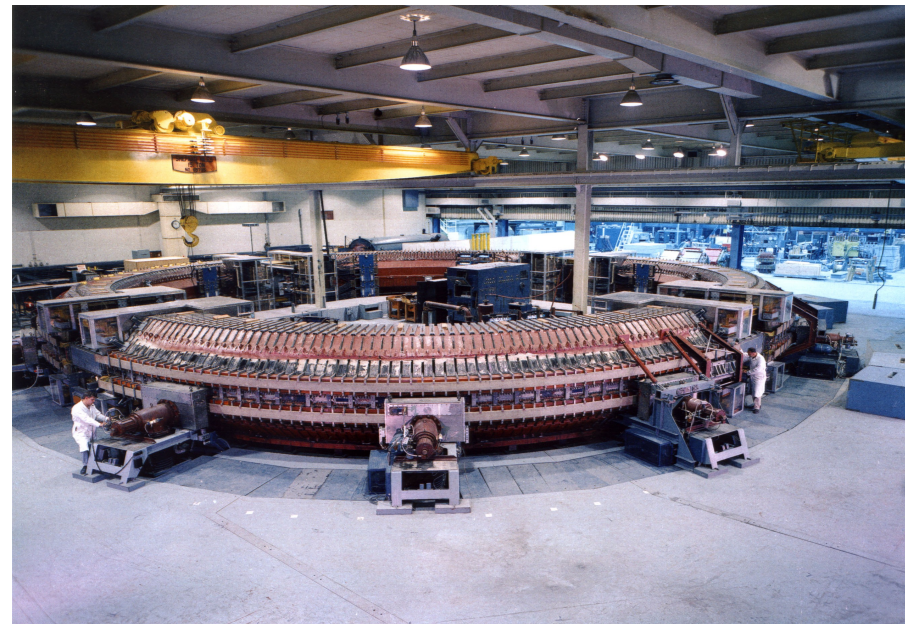
Vlastnosti kosmického záření

- Nabité částice přilétající z vesmíru (98% tvoří protony a atomová jádra)
- **PRIMÁRNÍ** (přilétá z vesmíru)
- **SEKUNDÁRNÍ** (vzniká až zde v atmosféře)
- neviditelné ionizující záření
- asi 300 částic prolétne m^2 za jednu sekundu



Sekundární kosmické záření

- Důležitá úloha v historii částicové fyziky
- Zdroj vysoceenergetických částic
- 1953: první urychlovač Cosmotron (3 GeV)
- Objevy nových částic: miony, piony, kaony...
- Objev **antihmoty** (1932 positron: antičástice elektronu)



Nobelovy ceny

- 1936: V. Hess: objev kosmického záření
C. Anderson: objev pozitronu
- 1948: P. Blackett: mlžná komora
- 1950: C. Powell: objev pionů
- 2002: R. Davis a M. Koshiba:
detekce kosmických neutrin
- ocenění za práce v jiných oblastech:
E. Fermi, R. Millikan, A. Compton,...



Polární záře



Měření kosmického záření

1) přímá (primární částice)

- stratosférické balóny
- družice

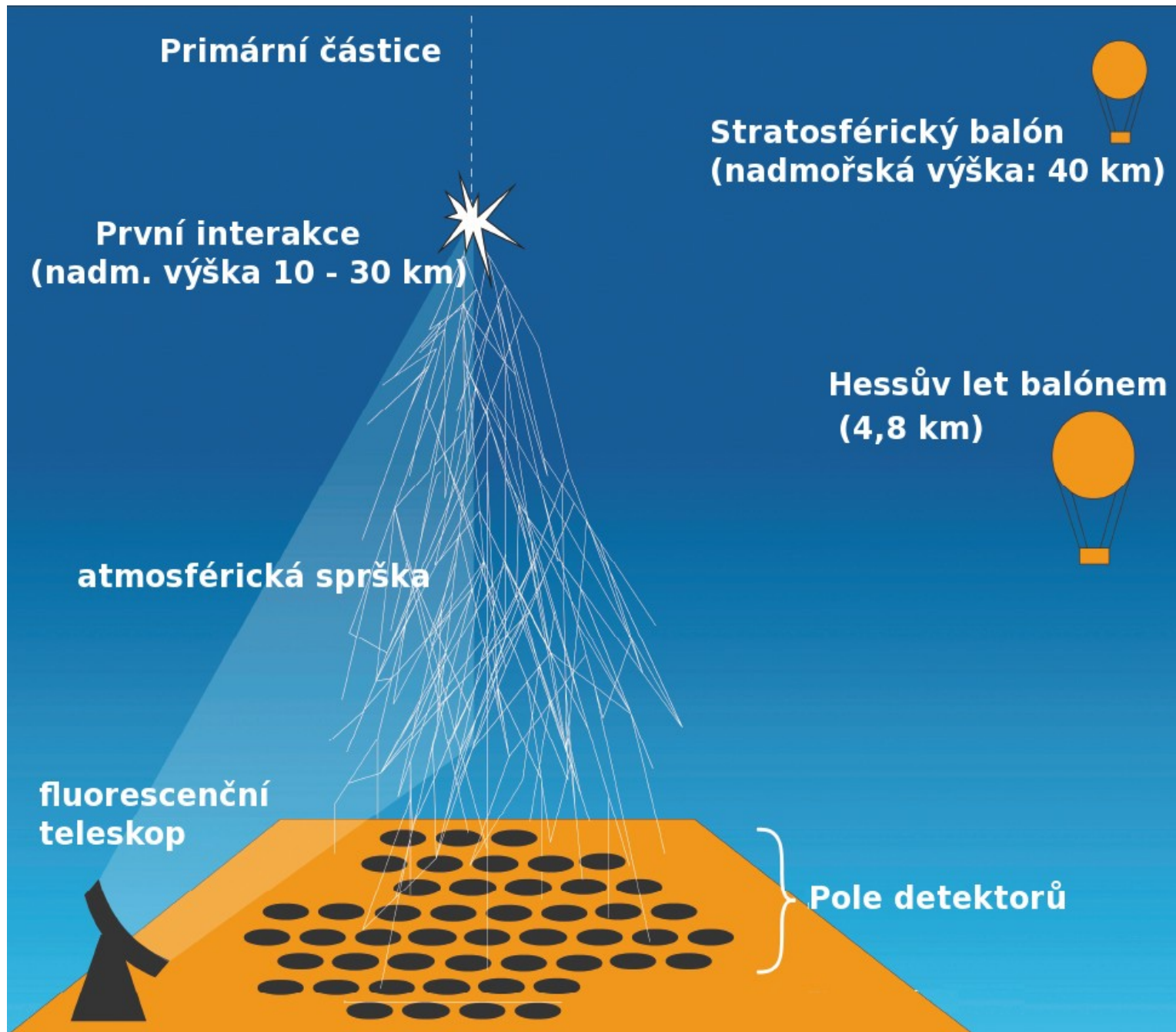
limitováno
velikostí
detektoru



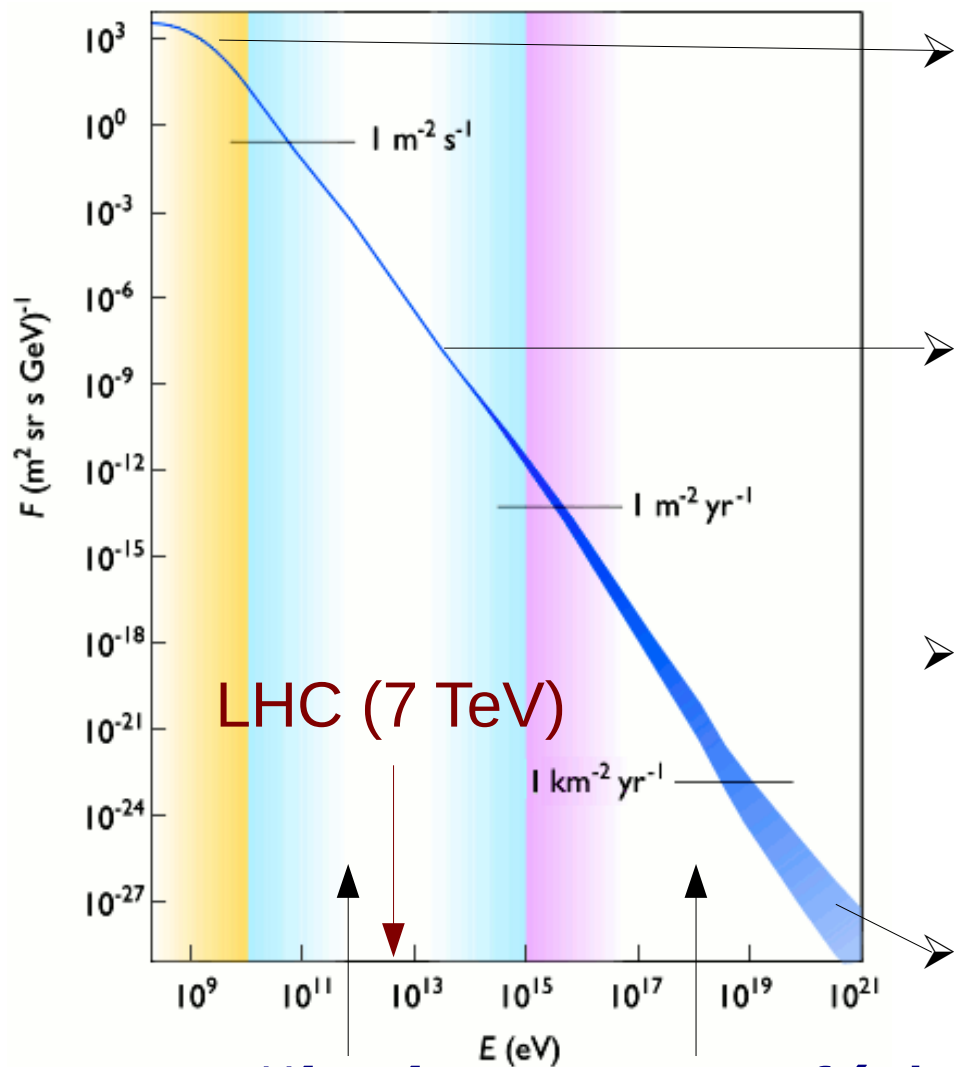
2) nepřímá (atmosférické spršky)

- Čerenkovovo záření ($v > c_{\text{air}}$)
- sekundární částice na povrchu (i pod)
- fluorescence (deexcitace N_2)

Nákres detekce



Energetické spektrum



➤ modulace sluneční činností ($E < 10$ GeV)

➤ strmý pokles toku ($dN / dE \sim E^{-\alpha}$)

➤ konst. spektrální index ($\alpha \sim 3$)

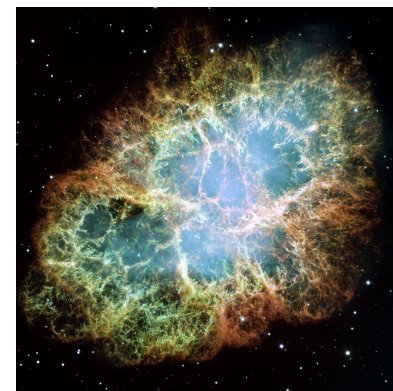
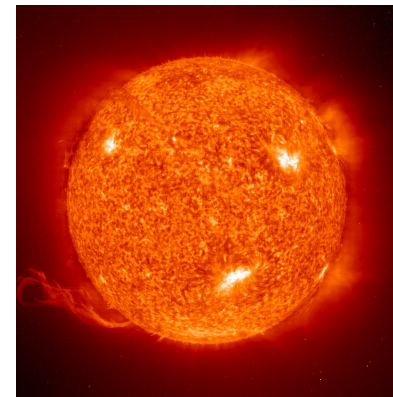
➤ konec spektra ?

přímá
měření

atmosférické
spršky

Pravděpodobné zdroje

- částice ze Slunce
(sluneční vítr) do 10^{10} eV
- naše Galaxie: do 10^{18} eV
- extragalaktické
objekty: nad 10^{18} eV



Rekordní energie

Americký experiment Fly's Eye
15. 10. 1991 energie $3,2 \times 10^{20}$ eV

Japonský experiment AGASA
3. 11. 1993 energie $2,1 \times 10^{20}$ eV

Při těchto energiích dopadá pouze
jedna částice na 1000 km^2 za století!

- **Kde vznikají tyto extrémně energetické částice???**

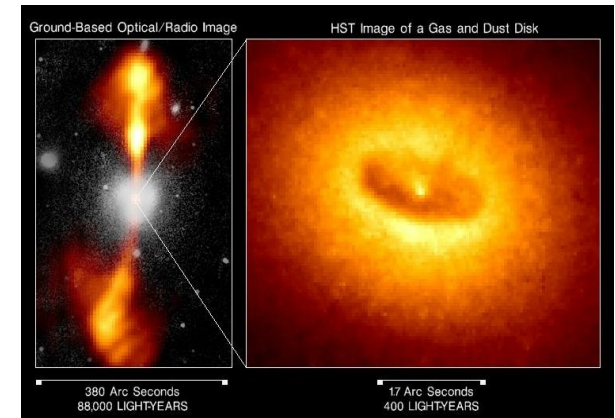
Odkud přicházejí?

➤ Urychlování v astronomických objektech?

→ aktivní galaktická jádra

→ výtrysky rádiových galaxií

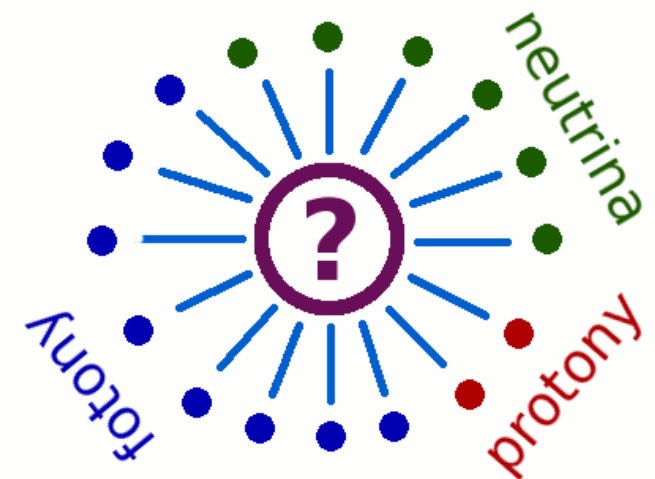
→ magnetary



➤ Anebo rozpady dosud neznámé temné hmoty?

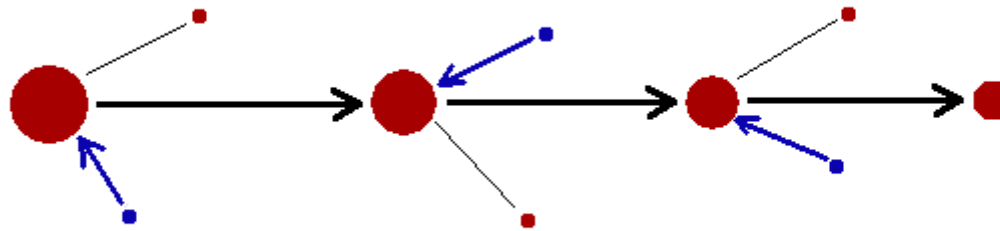
→ pozůstatky Velkého třesku?

→ obrovská hmotnost 10^{24} eV



Mez GZK

- "moře" reliktního záření (2,7 K)
- pozůstatek Velkého třesku
- Kosmické částice s ním interagují. Každou interakcí ztratí část své energie.



- Po prolétnutí vzdálenosti 100 Mpc klesne energie vždy pod 4×10^{19} eV
- Mohou přilétat jen z "blízkého" okolí!

Nejedná se o astronomii :-)

- Astronomie je pozorování zdrojů neutrálních částic

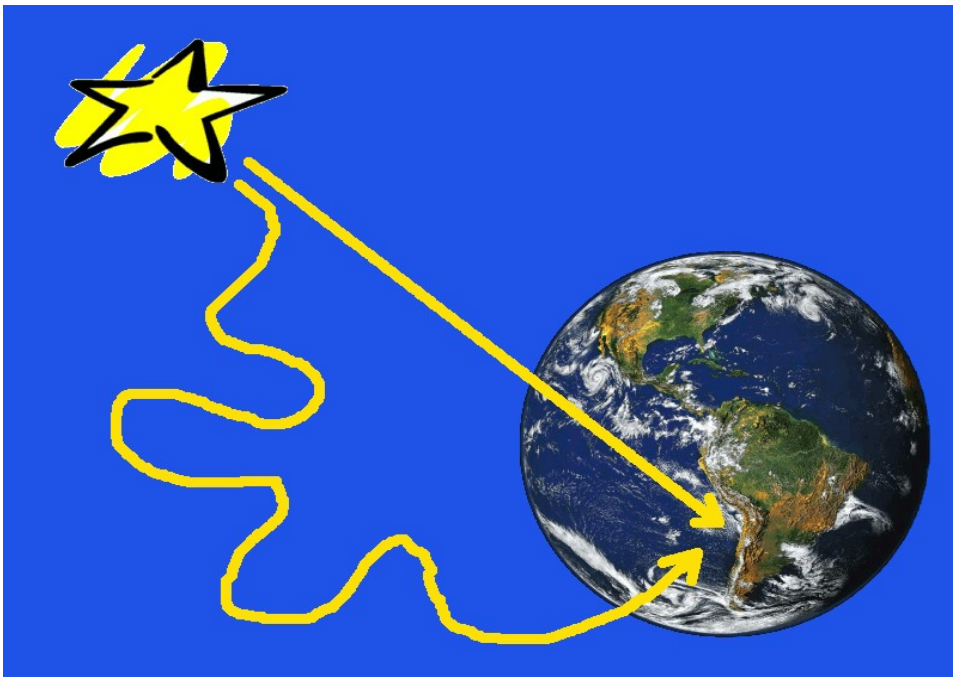


- světlo, rádiové a rentgenové záření (fotony s různými energiemi)

Pohyb nabité částice

- Elektický náboj
- Hybnost částice
- Magnetické pole

Lorentzova síla:
zakřivení dráhy
letící částice

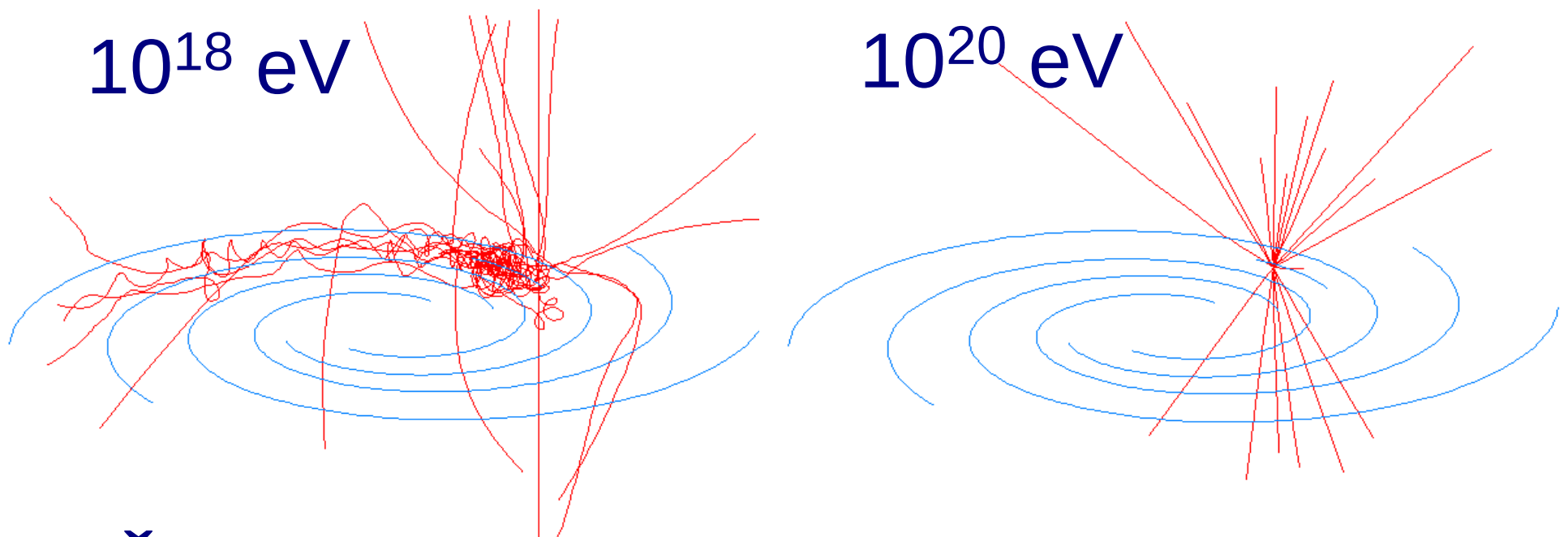


Přilétávající částice
nemíří ke svému
zdroji :-)

Astročásticová astronomie

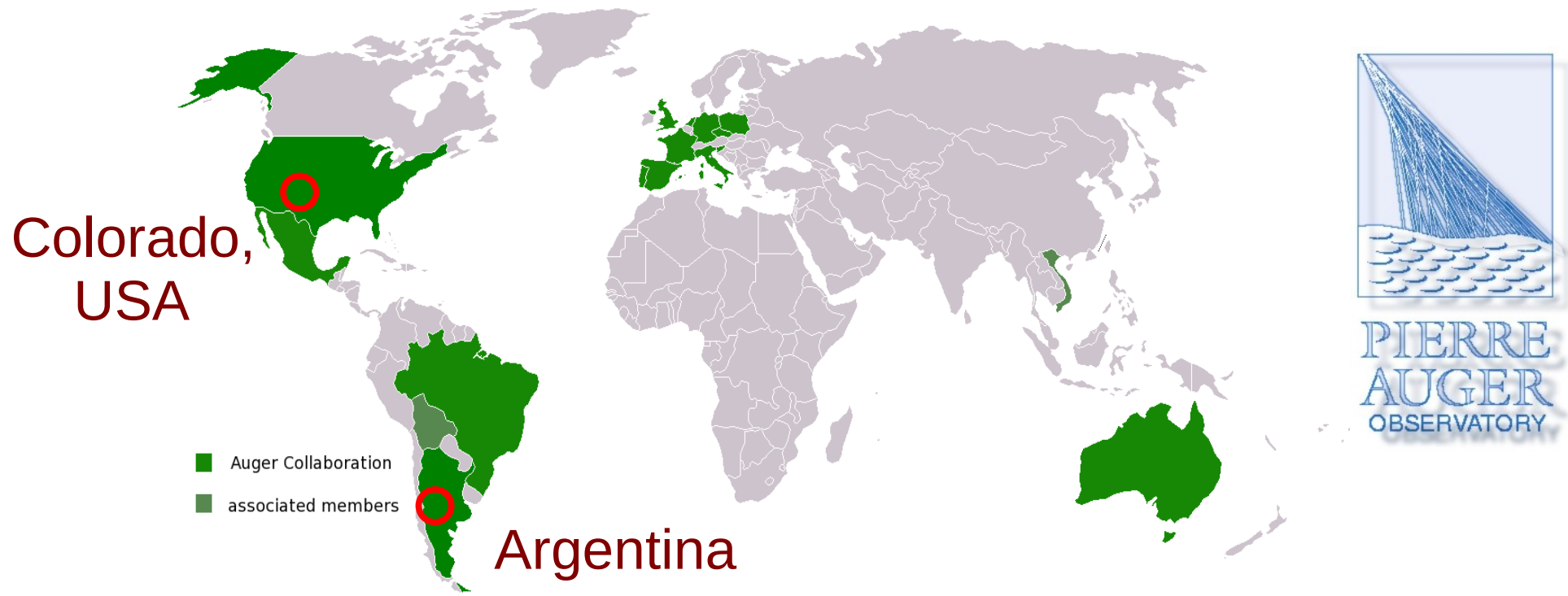
Velikost zakřivení klesá

- s nábojem částice
- s její hybností (kinetickou energií)

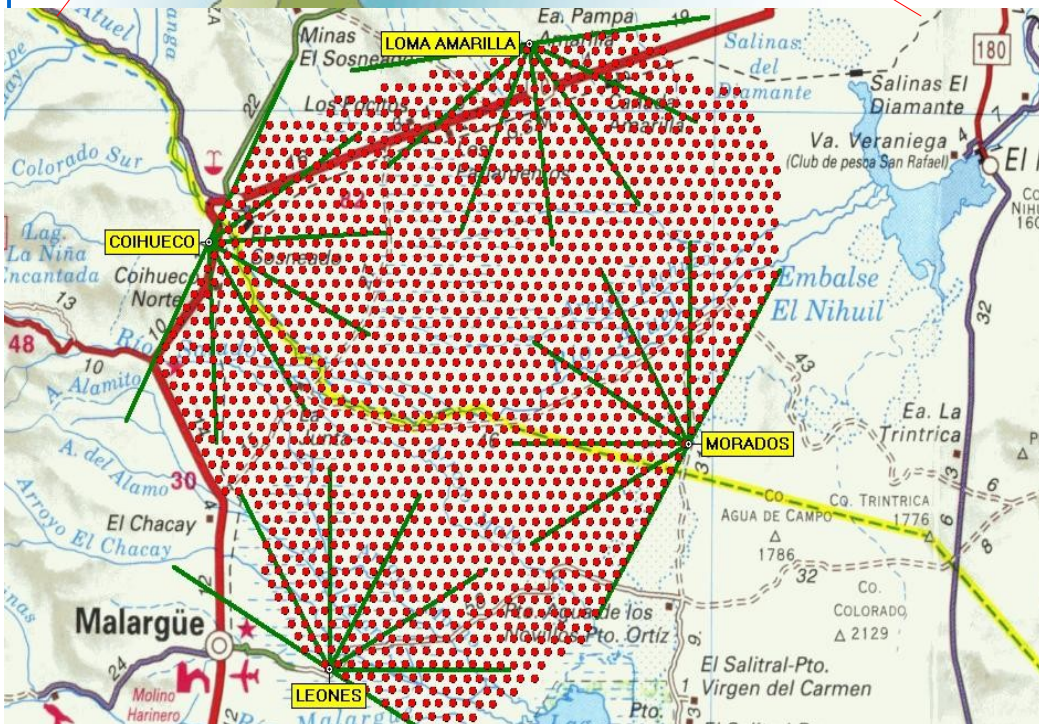


Čím vyšší energie, tím menší zakřivení!

Observatoř Pierra Augera



Observatoř v Argentině



- jižní polokoule
- Argentina
- provincie Mendoza
- 1400 m. n. m.
- plocha 3000 km²

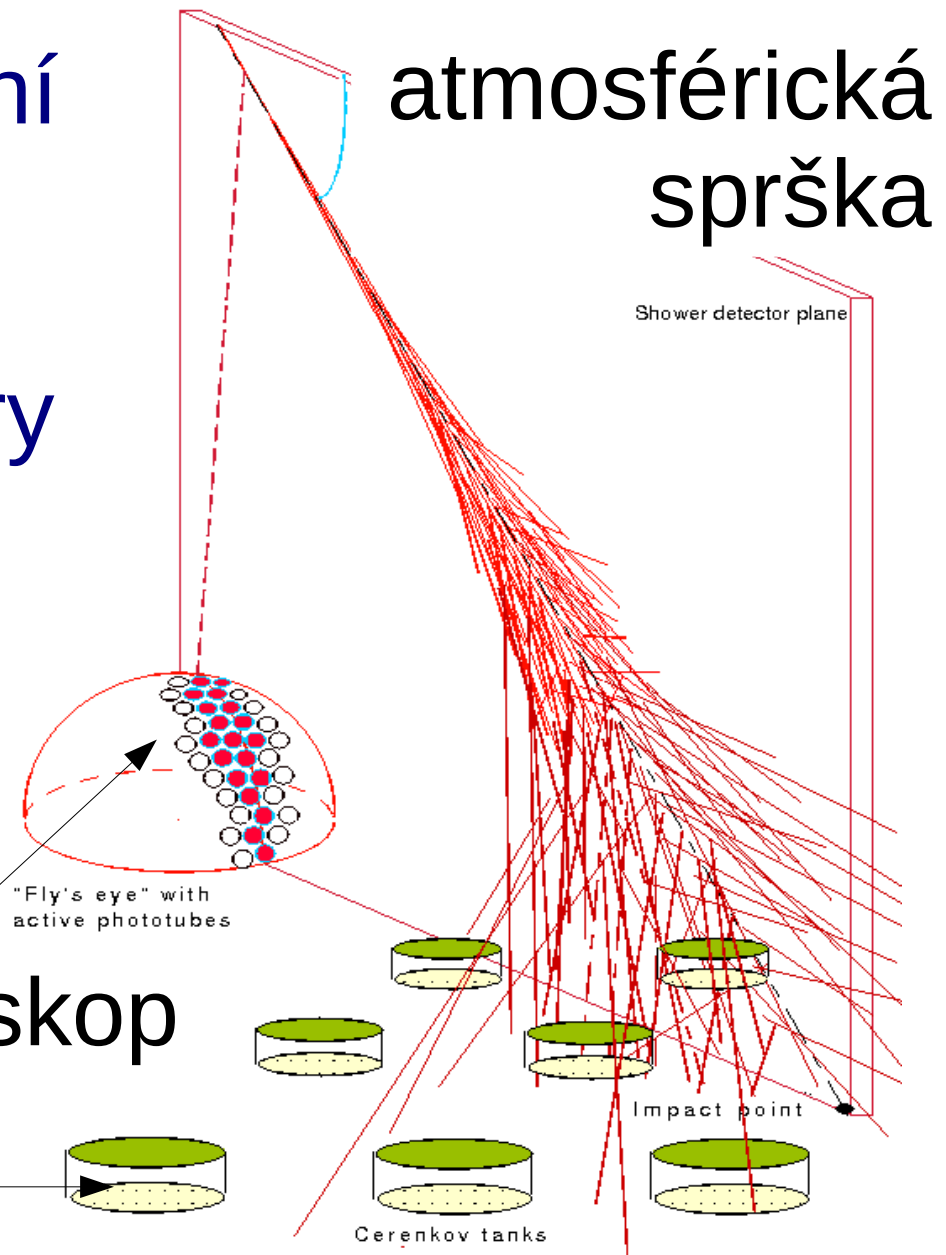
Pampa pod Andami



Hybridní detekce

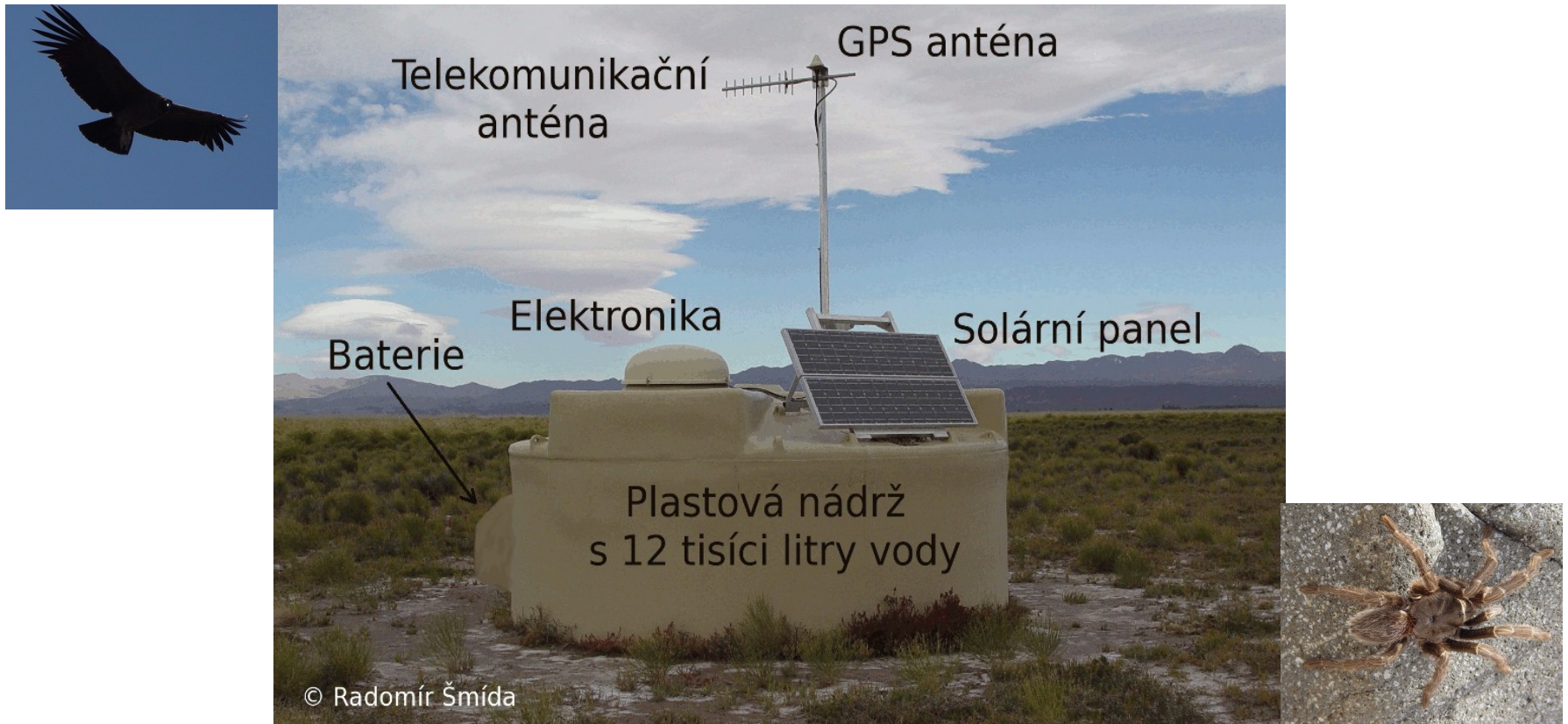
- současné pozorování stejné atmosférické spršky dvěma nezávislými detektory
- výrazné zpřesnění rekonstrukce
- kalibrace

fluorescenční teleskop
povrchový detektor



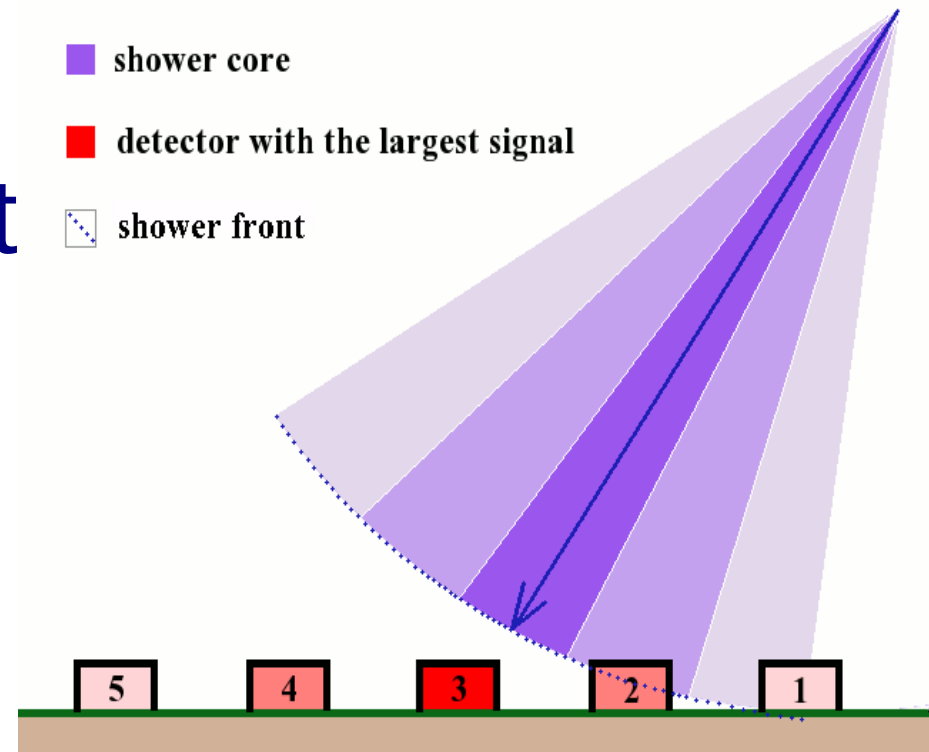
Povrchový detektor

- 1600 plastových sudů naplněných vodou
- rozmístěny v pravidelné síti 1,5 km od sebe
- měří bez přerušení a jsou plně samostatné



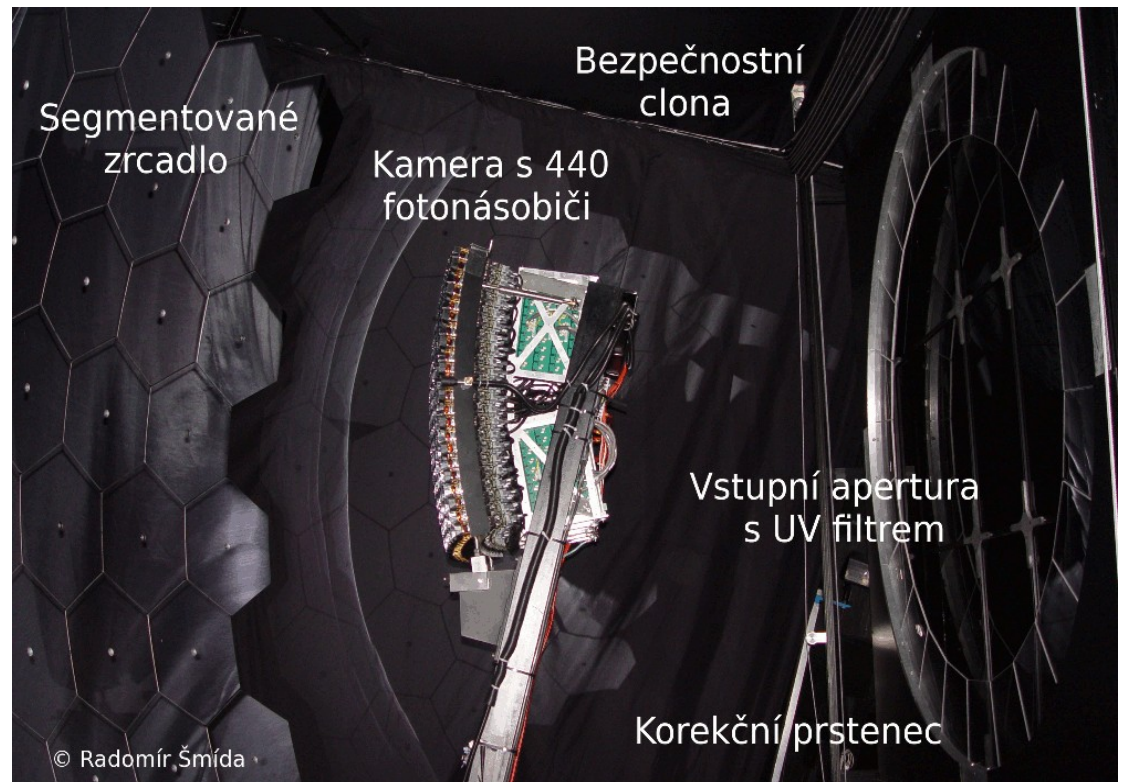
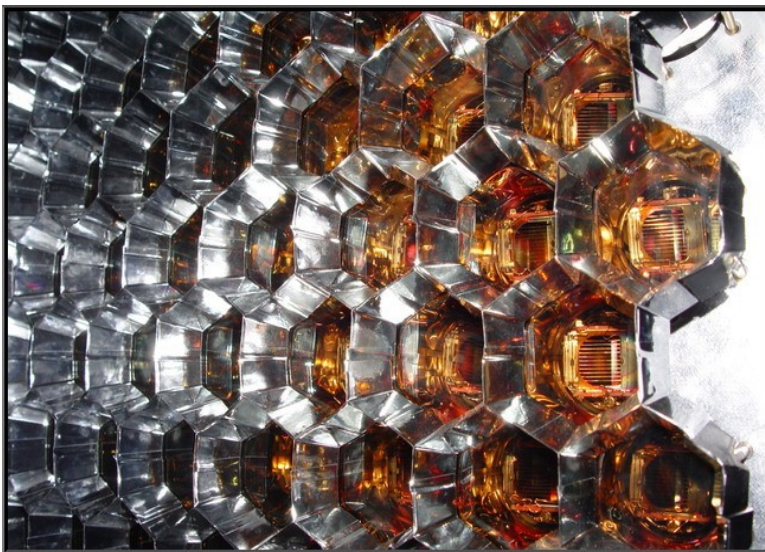
Rekonstrukce signálu

- síť povrchových detektorů
- vodní Čerenkovovy
- čas příletu a velikost signálu na zemi
- rekonstrukce energie závisí na interakčních modelech (velké nepřesnosti)



Fluorescenční teleskopy

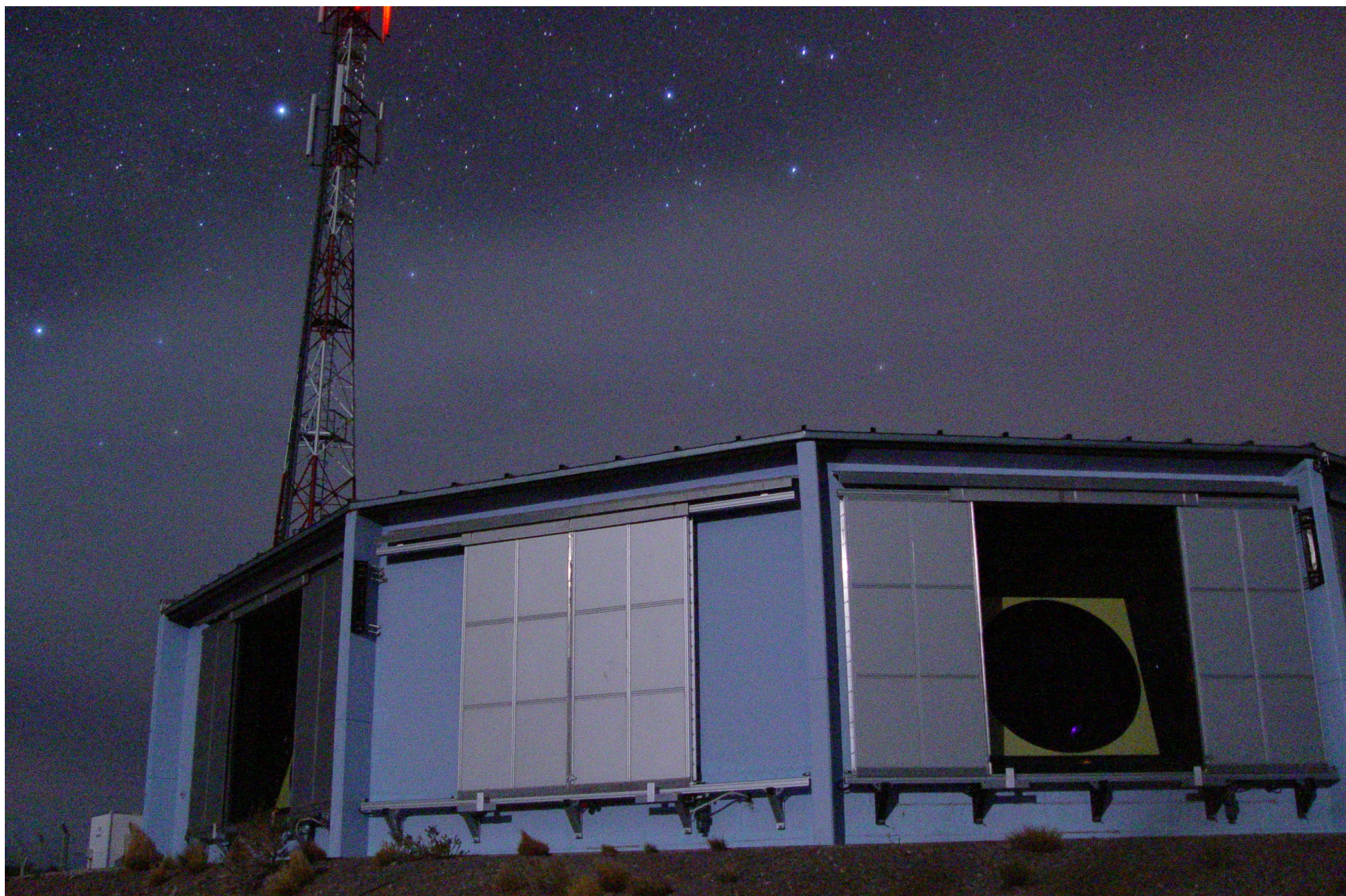
- pozorování rozvoje spršky během jasných bezměsíčných nocí
- UV světlo (300 - 400 nm)
- Přesné určení energie



Pohled do pampy

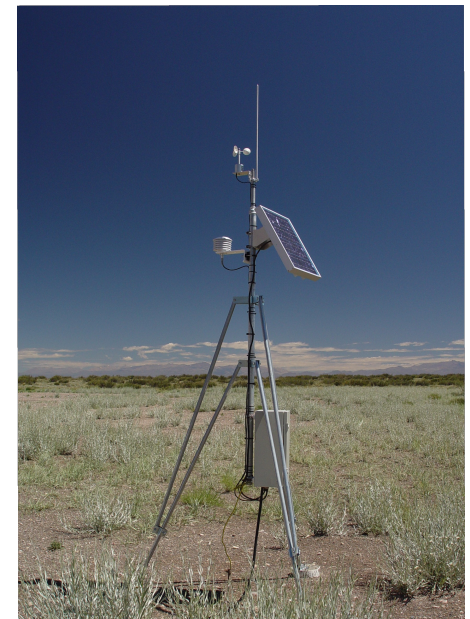
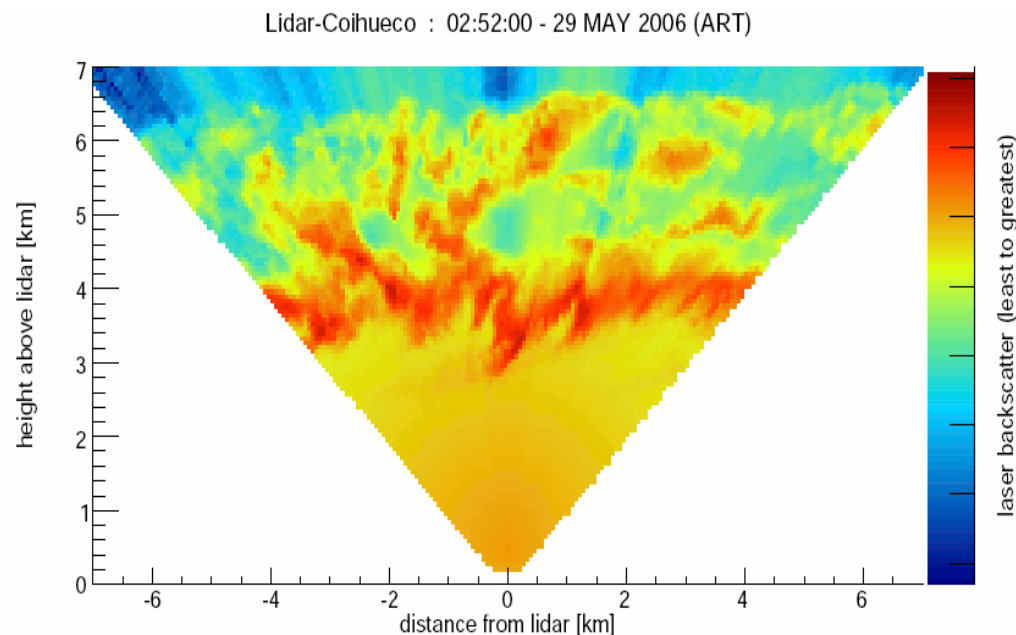


Během měření



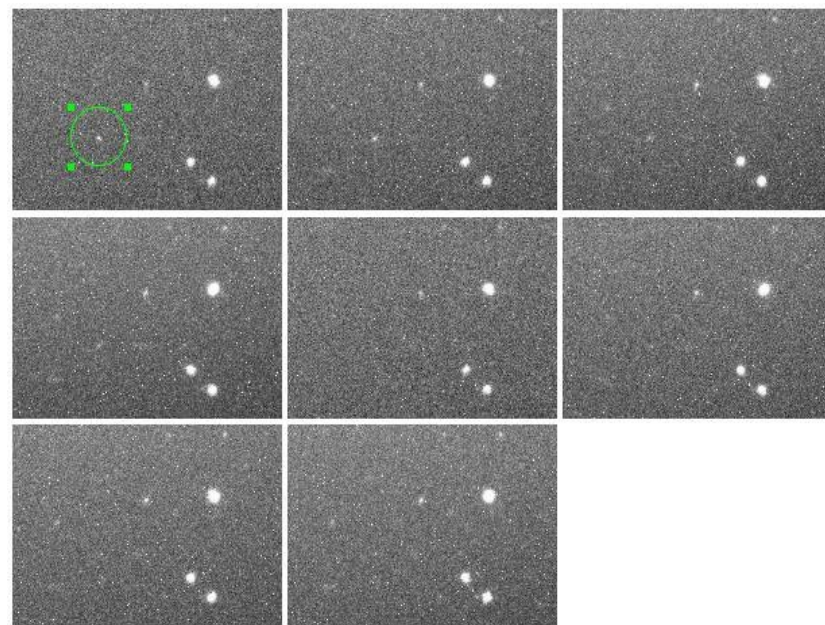
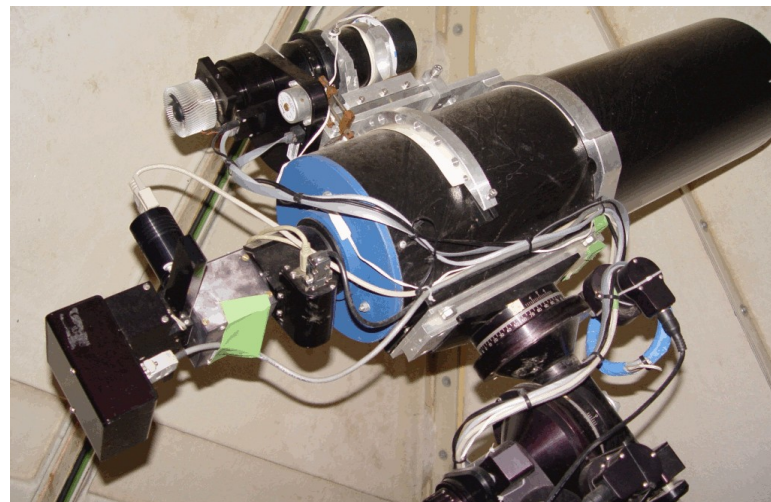
Sledování atmosféry

- Pohlcení a rozptyl světla v atmosféře
- Pravidelná měření teploty, vlhkosti, tlaku a aerosolů
- Lasery, balóny, kamery,...

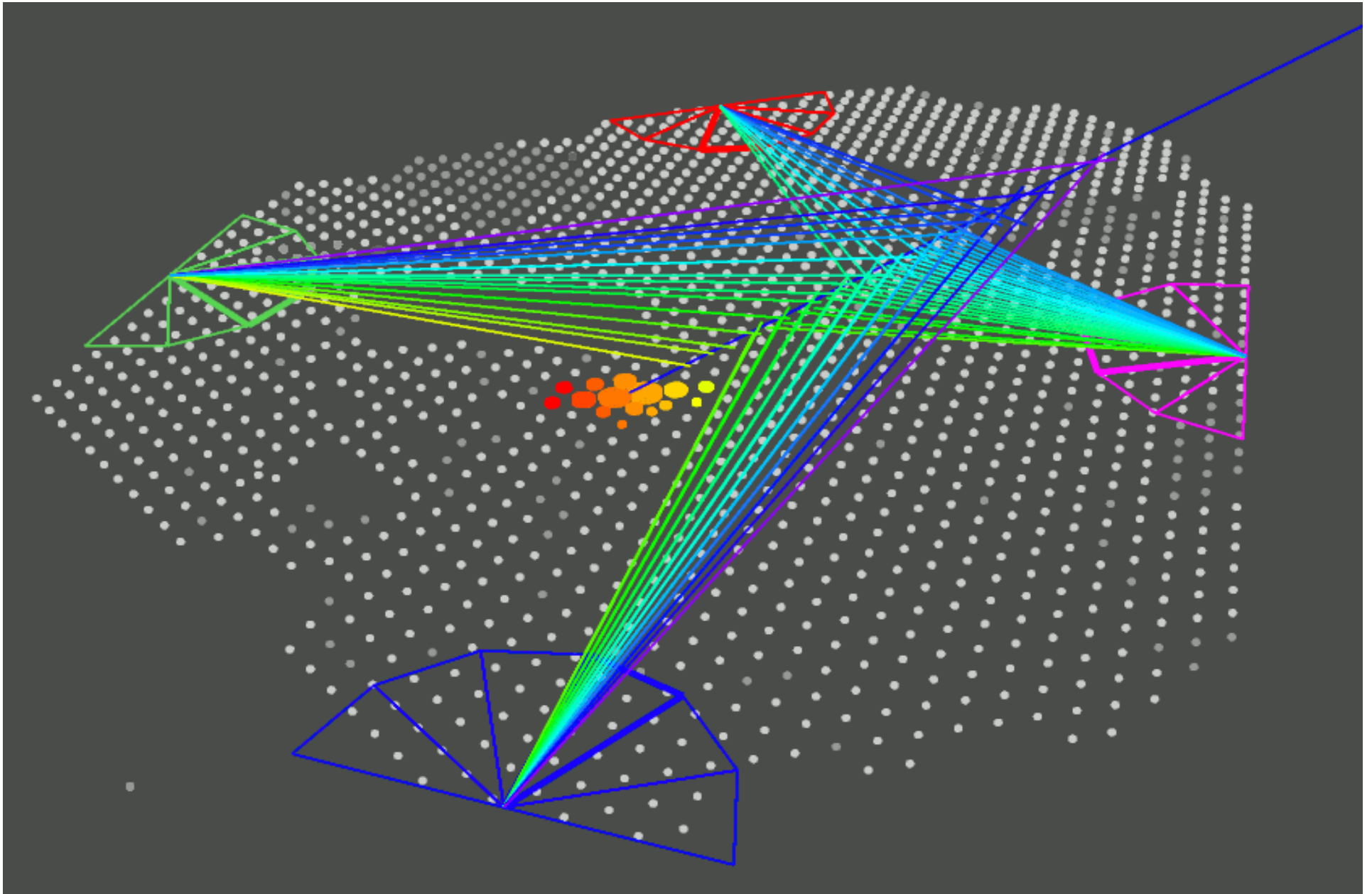


Teleskop FRAM

- Závislost extinkčního koeficientu na vlnové délce
- Cassegrain (200 mm)
- ohnisko 2,97 m
- fotometr Optec SSP5-A
- Johnsonovy filtry + další
- další 2 kamery CCD
- optický protějšek GRB 060117 (124 s po družici SWIFT)



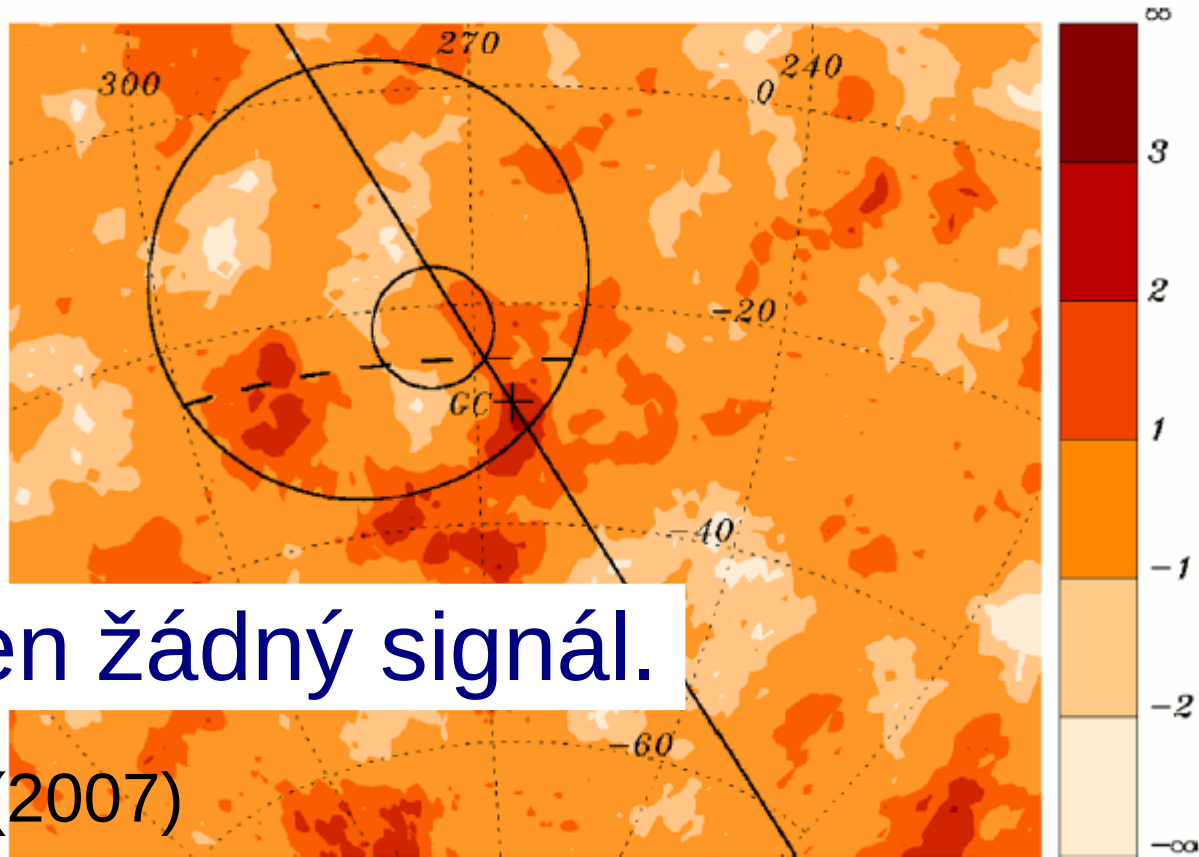
AUGER Quattro



Dosavadní výsledky



Galaktické centrum

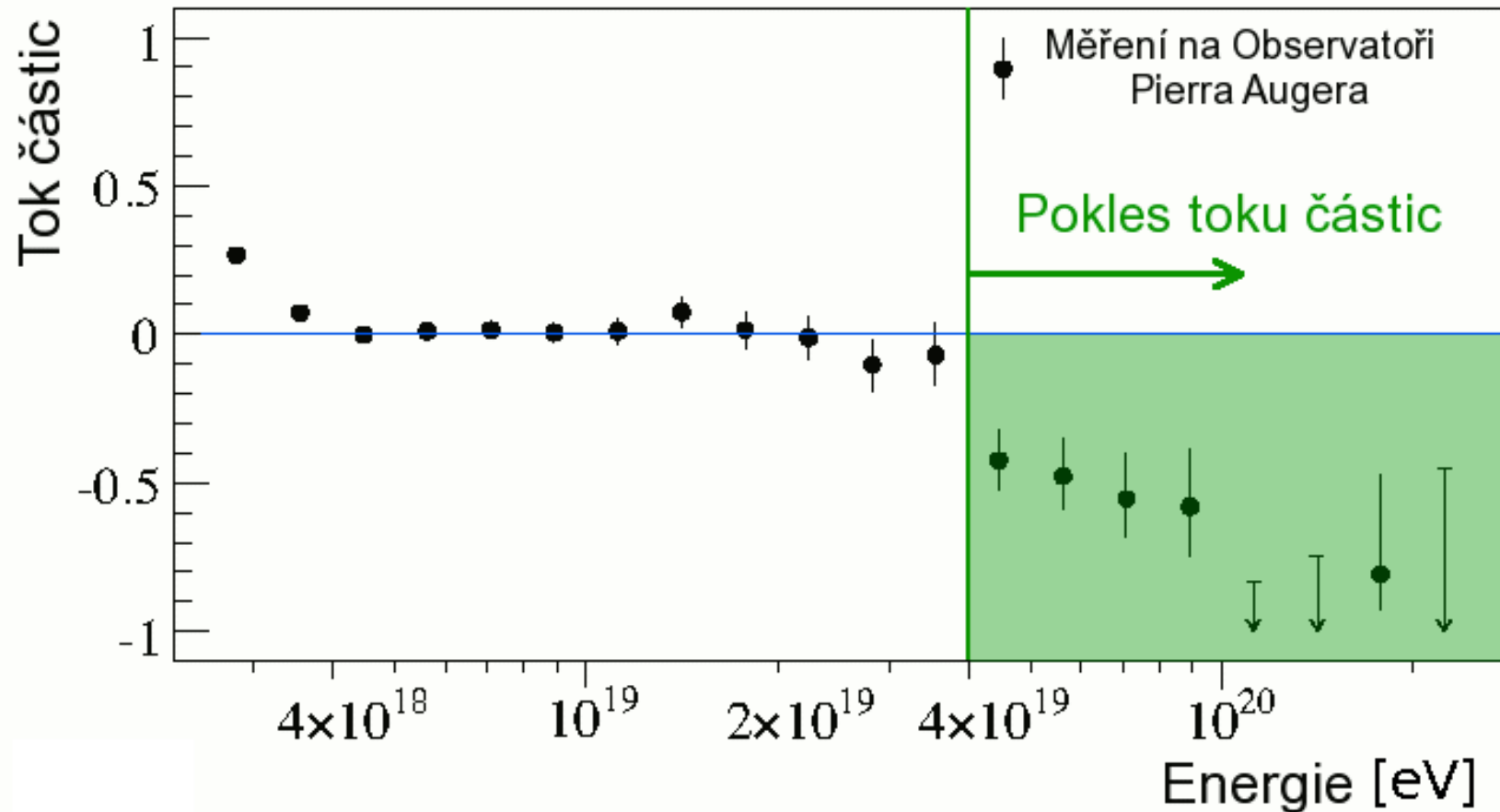


Nepotvrzen žádný signál.

APh 27, 244 (2007)



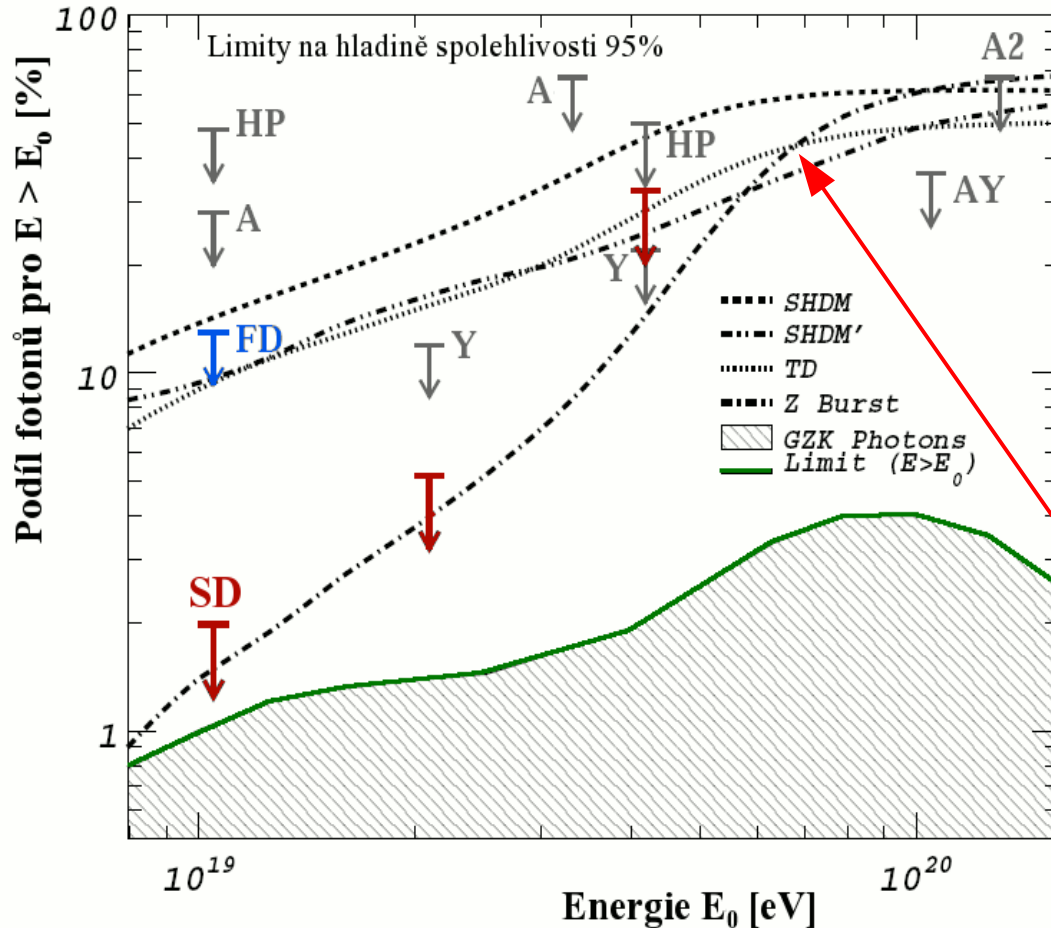
Spektrum kosmického záření



Pokles toku částic nad 4×10^{19} eV.

Potvrzení fyzikálních předpovědí.

Limit na podíl fotonů

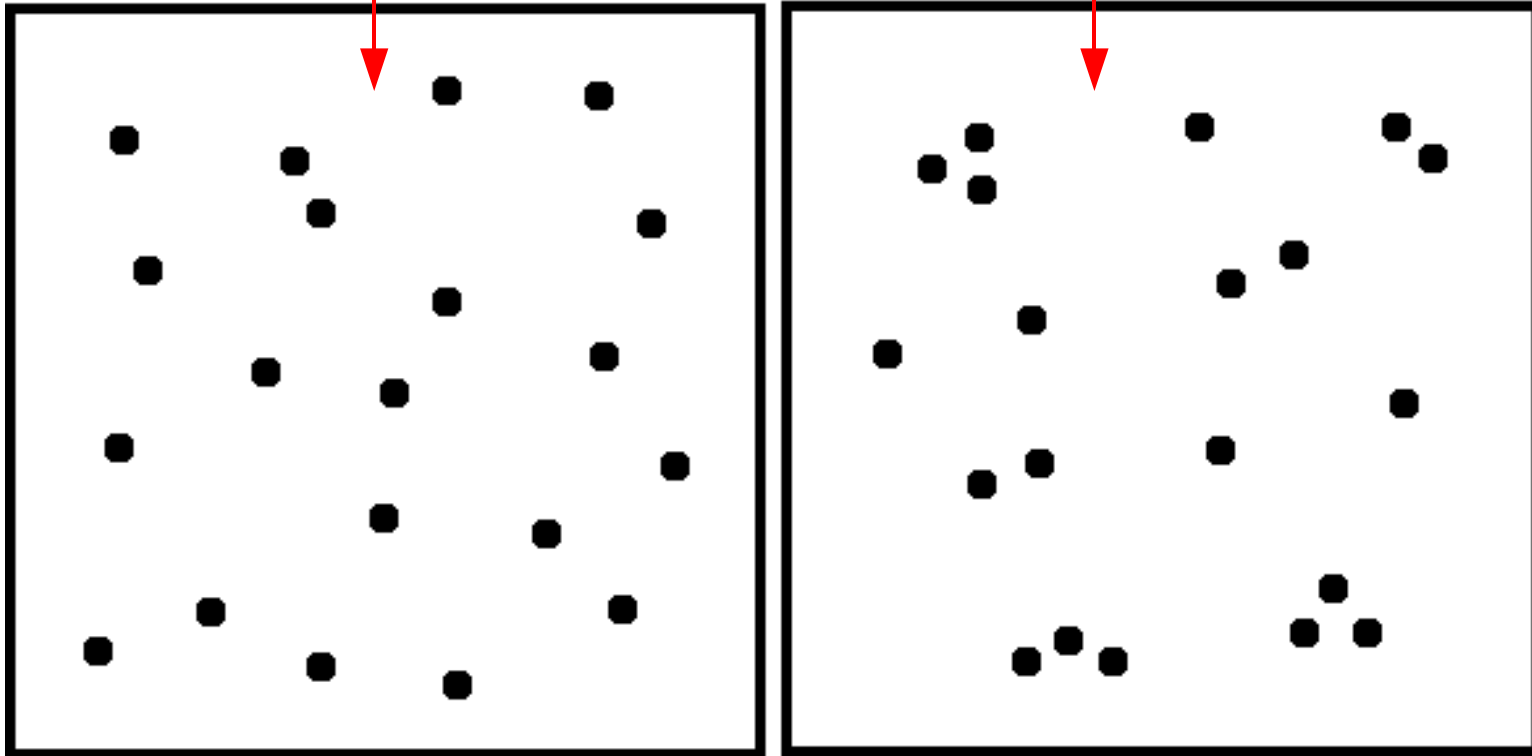


- Zatím nebyl pozorován žádný vysoceenergetický foton.
- Byly vyvráceny předpovědi mnoha exotických teorií (např. rozpady temné hmoty)

Nejvýznamnější výsledek

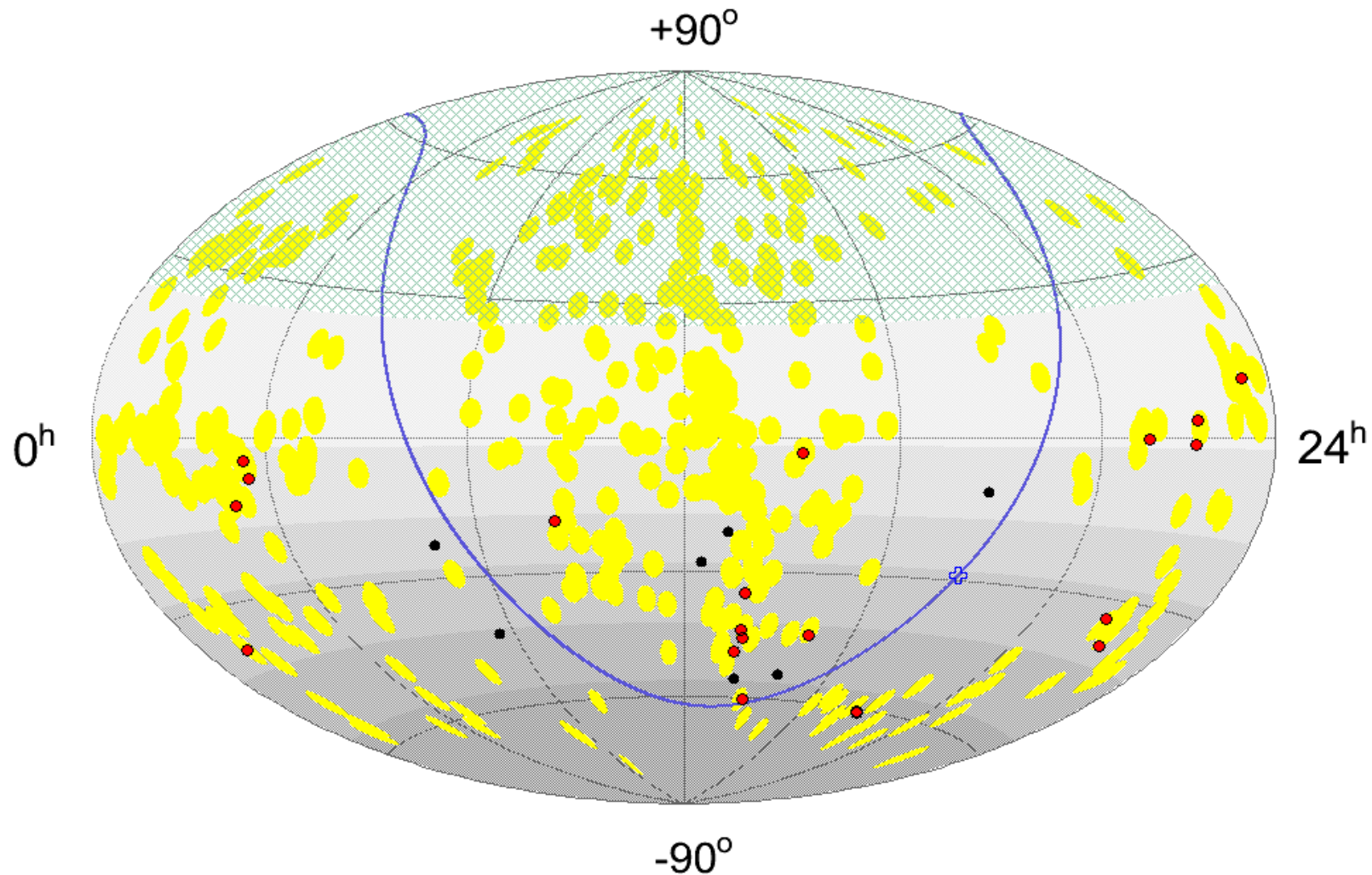


Izotropie a anizotropie



- Jsou body rozmístěny náhodně?
- Pro složitější případy používáme statistické testy.

Pozorované směry příletů

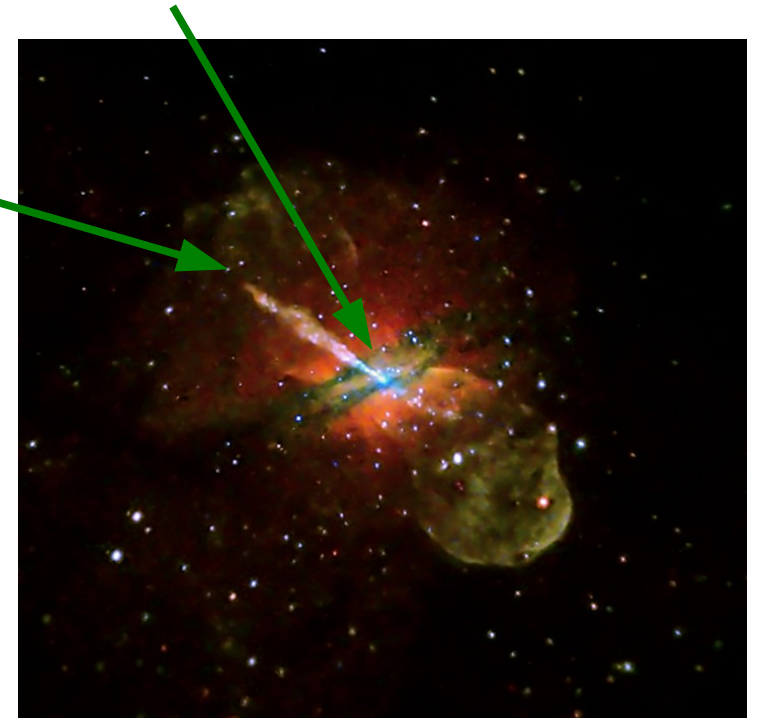


- 20 z 27 částic s energiemi nad $5,7 \times 10^{19}$ eV dopadly blíže než 3,1 stupňů od pozice AGN

Science 318, 938 (2007) & APh 29, 188 (2008)

Aktivní galaktická jádra

- velmi jasné zdroje netepelného záření
- superhmotná černá díra v centru
- oboustranné výtrysky
- nejbližše k nám leží Cen A (4,2 Mpc)
- Možné zdroje nejenergetičtějších částic
- K potvrzení této představy je potřeba naměřit více částic (nyní 1 částice za měsíc)



Pozorujeme dál...



Correo Argentino

