

Kosmické záření a astročásticová fyzika

Jan Řídký
Fyzikální ústav AV ČR

Obsah

- Kosmické záření a současná fyzika.
- Historie pozorování kosmického záření.
- Současné znalosti o kosmickém záření.
- Jak jej pozorujeme ?
- Odkud přichází ?
- Co to je ?
- Observatoř Pierra Augera.

1. Co je temná hmota ?
2. Co je podstatou temné energie ?
3. Jaké byly počátky vesmíru ?
4. Řekl Einstein o gravitaci poslední slovo ?
5. Jaká je hmotnost neutrin a jak se podílela na vývoji vesmíru ?
6. Jak pracují kosmické urychlovače a co urychlují ?
7. Jsou protony stabilní ?
8. Existují nové stavy hmoty s velmi vysokou hustotou a energií ?
9. Existují další časoprostorové dimenze ?
10. Jak vznikaly prvky od železa po uran ?
11. Je pro nejvyšší energie potřebná nová teorie hmoty ?

1. Co je temná hmota ?
2. Co je podstatou temné energie ?
3. Jaké byly počátky vesmíru ?
4. Řekl Einstein o gravitaci poslední slovo ?
5. Jaká je hmotnost neutrin a jak se podílela na vývoji vesmíru ?
6. Jak pracují kosmické urychlovače a co urychlují ?
7. Jsou protony stabilní ?
8. Existují nové stavy hmoty s velmi vysokou hustotou a energií ?
9. Existují další časoprostorové dimenze ?
10. Jak vznikaly prvky od železa po uran ?
11. Je pro nejvyšší energie potřebná nová teorie hmoty ?

Historie: objev kosmického záření



1912

Viktor Hess objevuje „pronikavé záření“ z vesmíru.

Výstupy v balónu uskutečnil v Ústí nad Labem

v roce 1936 za to získal Nobelovu cenu

Historie: objev spršek kosmického záření



1938

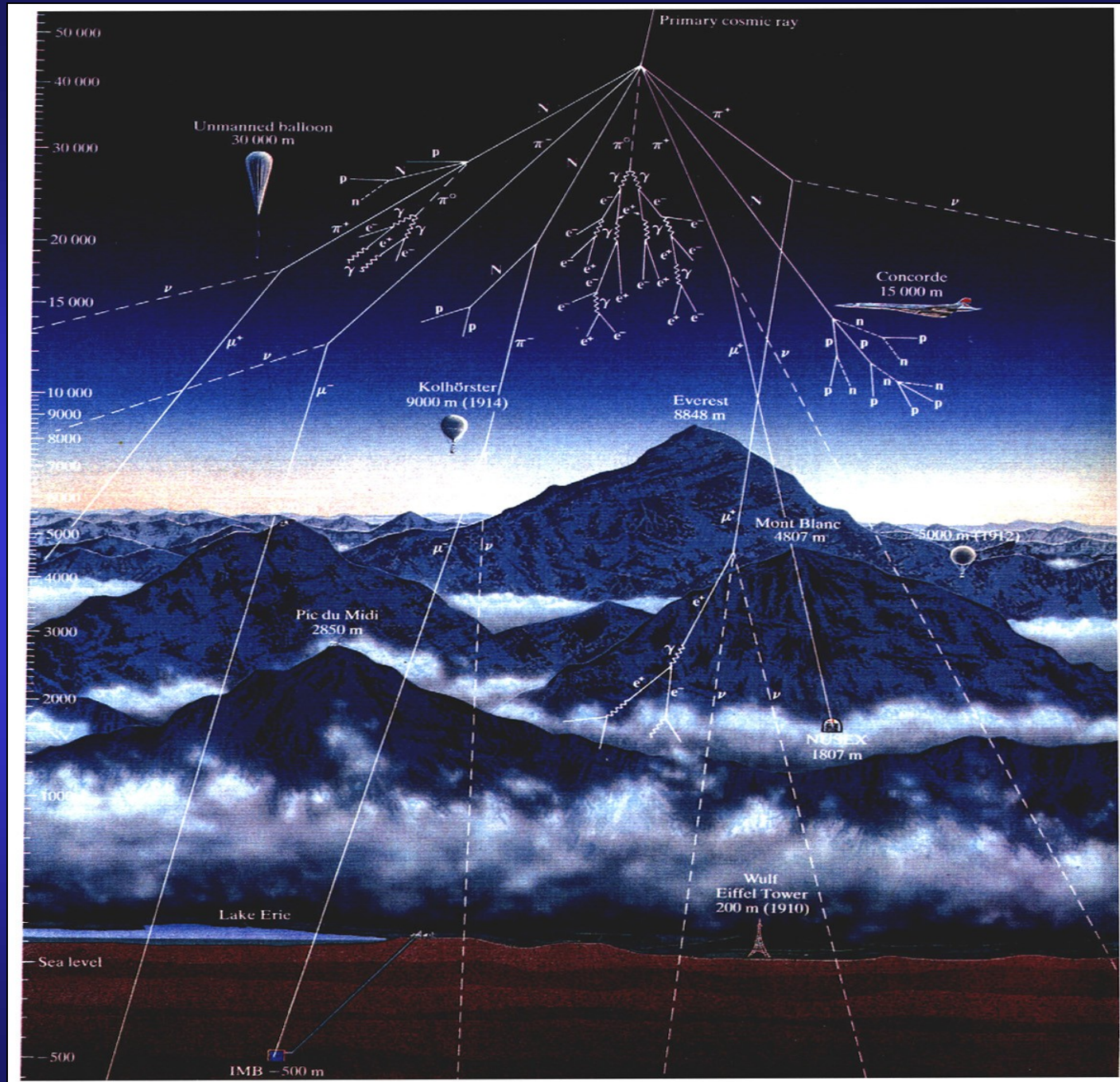
Pierre Auger objevuje rozsáhlé spršky kosmického záření v atmosféře.

Měření uskutečnil v Alpách v nadmořské výšce okolo 3 000 m.n.m.

Vývoj spršky kosmického záření

1. interakce ve výšce kolo 30 km

počet sekundárních částic je úměrný energii primární částice



Intenzita kosmického záření

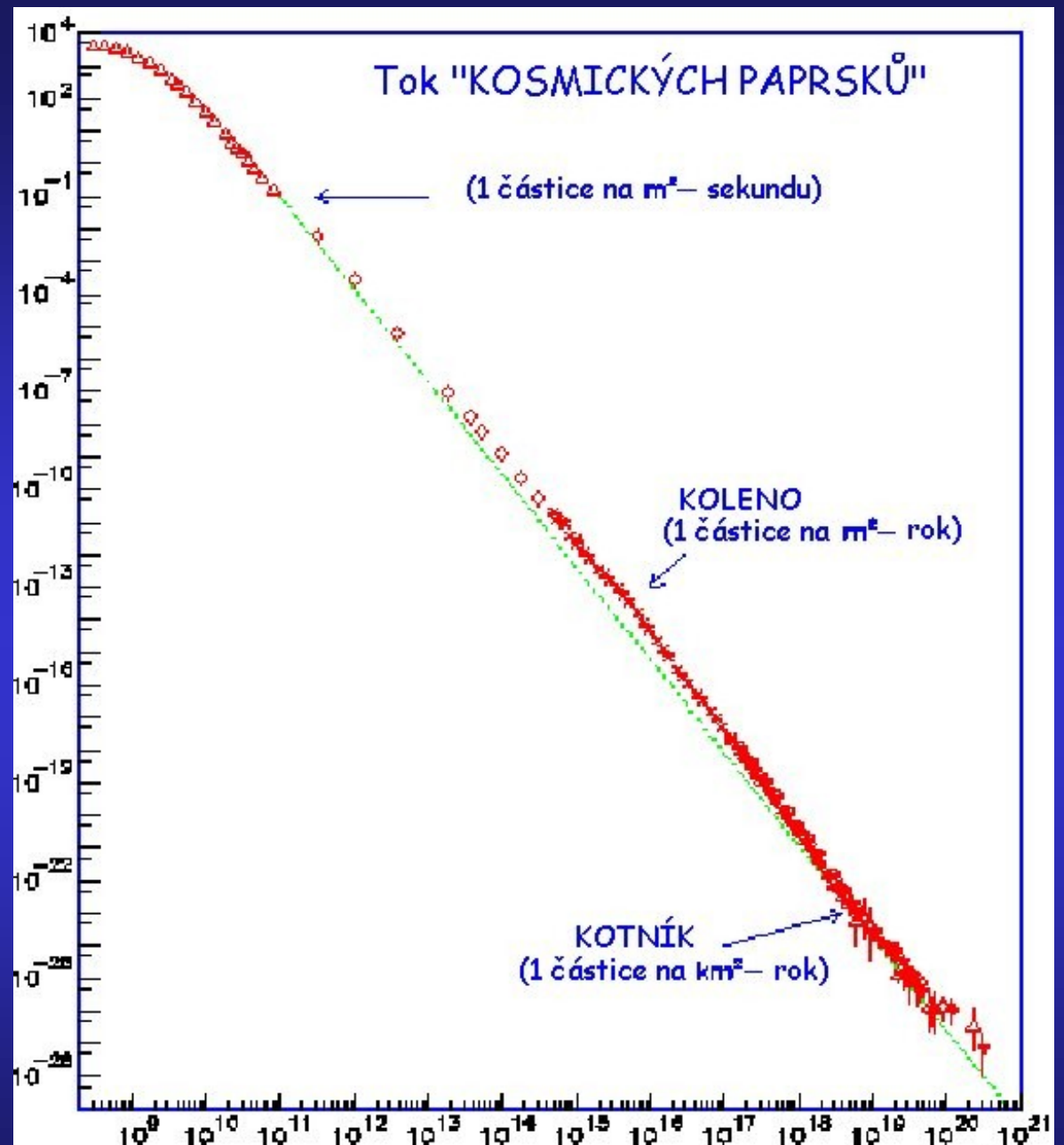
- na povrch Země (ve výšce okolo 0 m.n.m.) dopadá ~ 180 částic $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
 - jsou to převážně miony
 - ve výšce 4 500 metrů nad mořem dopadá $\sim 2,5$ x více částic
- záření je izotropní - přichází z vesmíru ze všech směrů se stejnou intenzitou

Energie, složení a původ kosmického záření

- $E < 10^{10}$ eV . . . převážně p, He ze Slunce (protony > 90 %)
- 10^{10} eV < $E < 10^{17}$ eV . . . p, . . . , Fe záření galaktického původu, složení se mění v závislosti na energii
- 10^{17} eV < E . . . záření patrně extragalaktického původu, složení p ?, ???

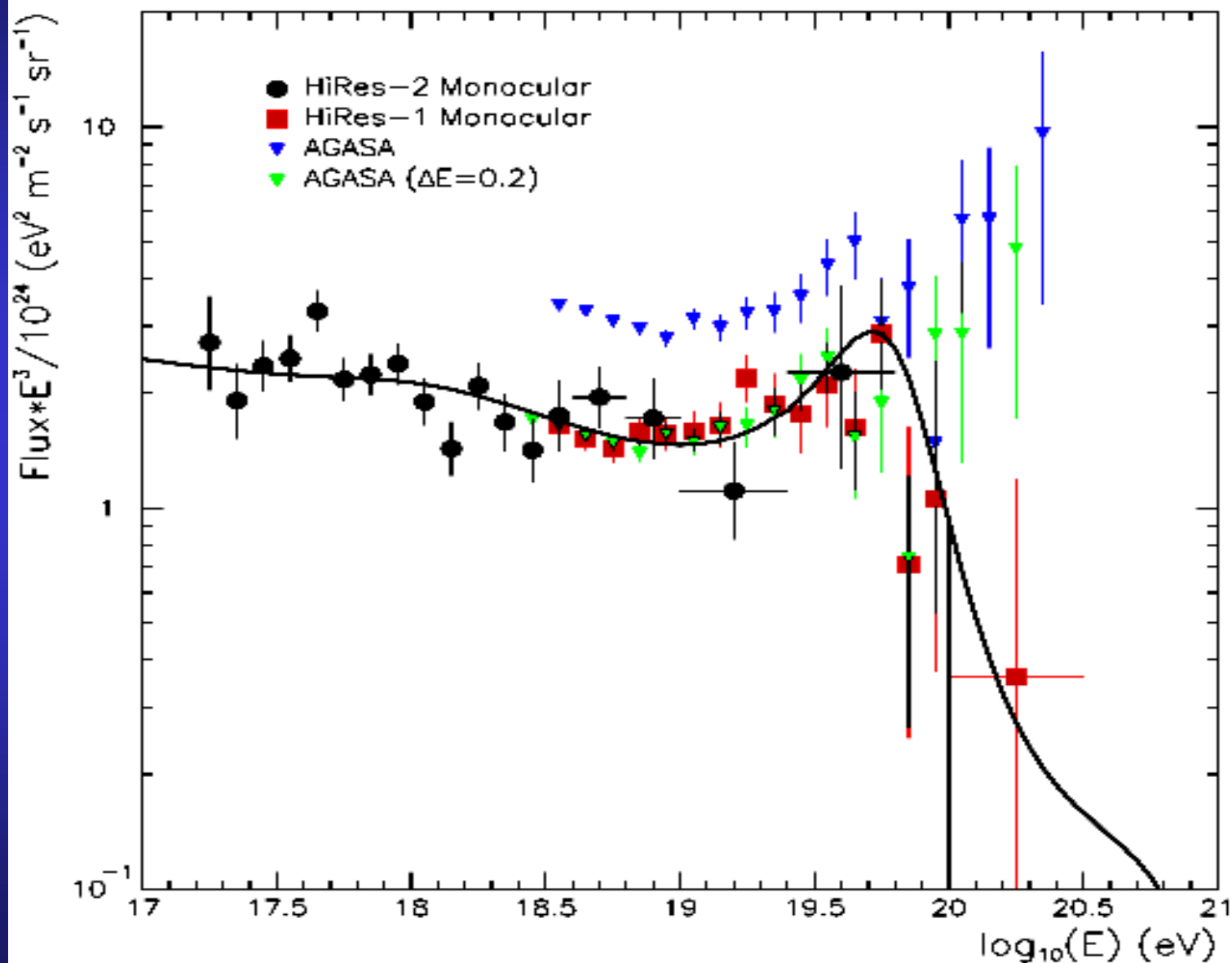
Spektrum kosmického záření

$\text{Tok } (m^2 \text{ sr s eV})^{-1}$



Energie (eV)

Konec spektra energií kosmického záření



Kosmické „paprsky“ s nejvyšší energií

Ultra High Energy Cosmic Ray - UHECR

- za 40 let detekce kosmického záření
~ 20 případů s energií $> 10^{20}$ eV

Rekordní případy :

- 1991 - detektor „Muší oko“ (Fly's Eye) v Utahu $3,2 \times 10^{20}$ eV
- 1993 - detektor AGASA v Akeno (Japonsko) 2×10^{20} eV

50 Joulů!

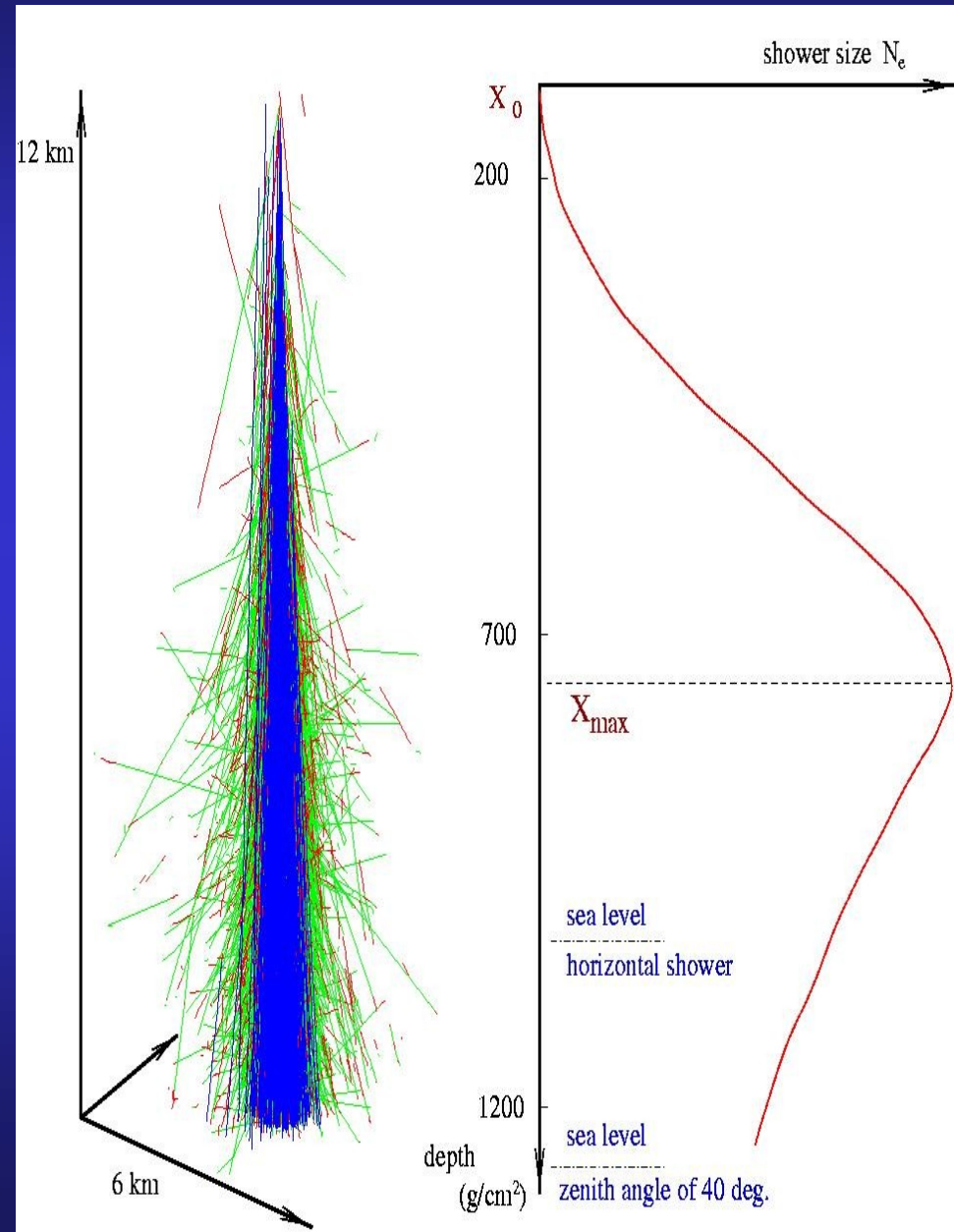
Detekce UHECR

- Pozemní detektory

- 📄 neomezená pozorovací doba
- ○ vidí pouze čelo spršky

- Fluorescenční detektory

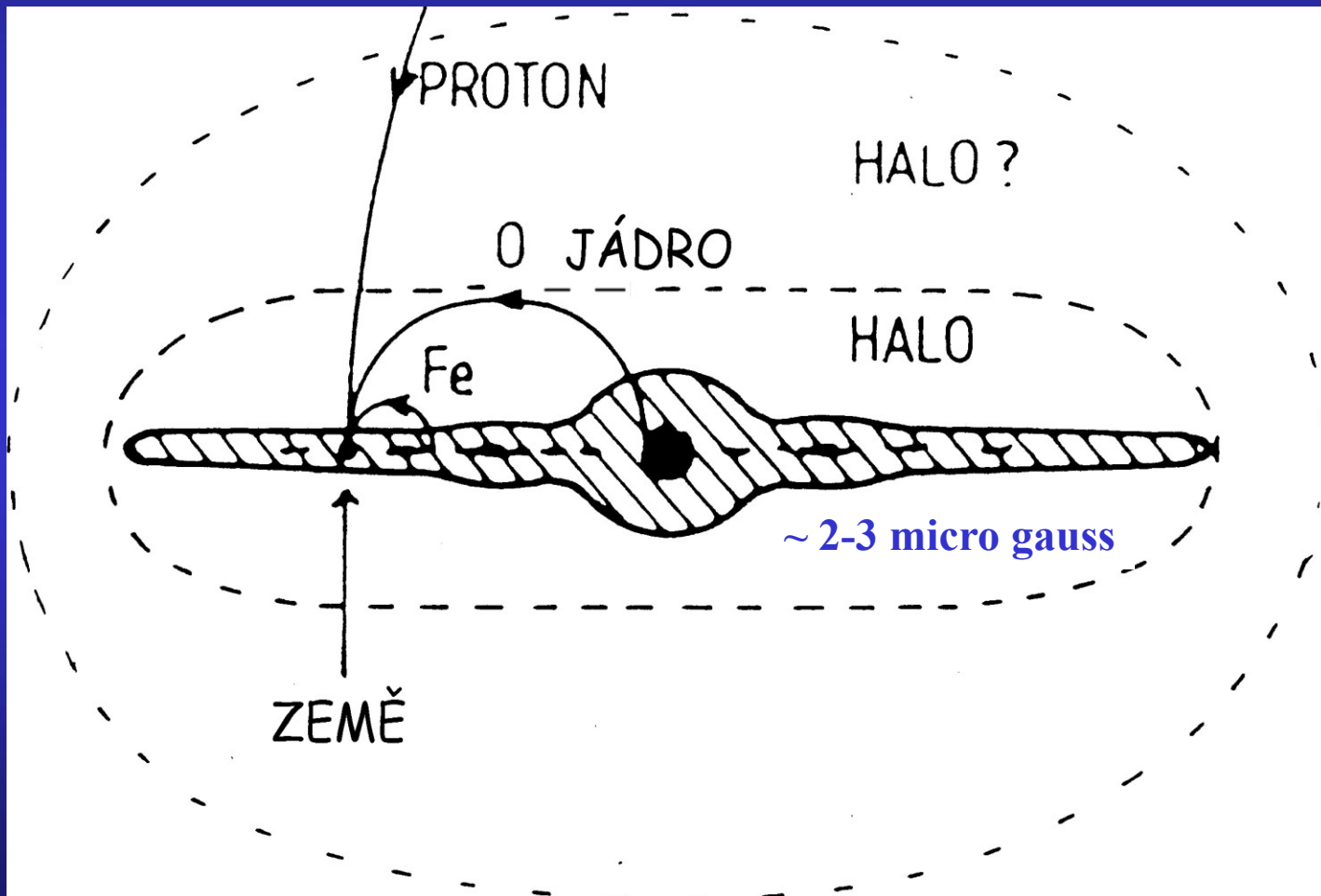
- 📄 vidí celou spršku ... tedy i její průběh
- ○ pouze bezměsíčné jasné noci



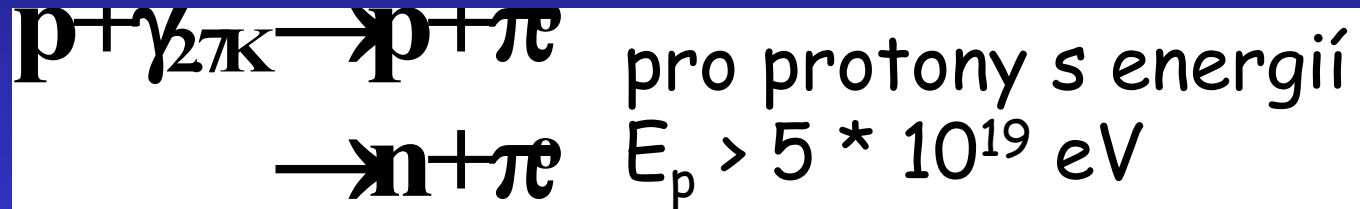
Vliv magnetických polí

Lehké částice s vysokou energií ($\sim 10^{20}$ eV):

- jenom málo se odchylují
- musí mít původ mimo galaxii



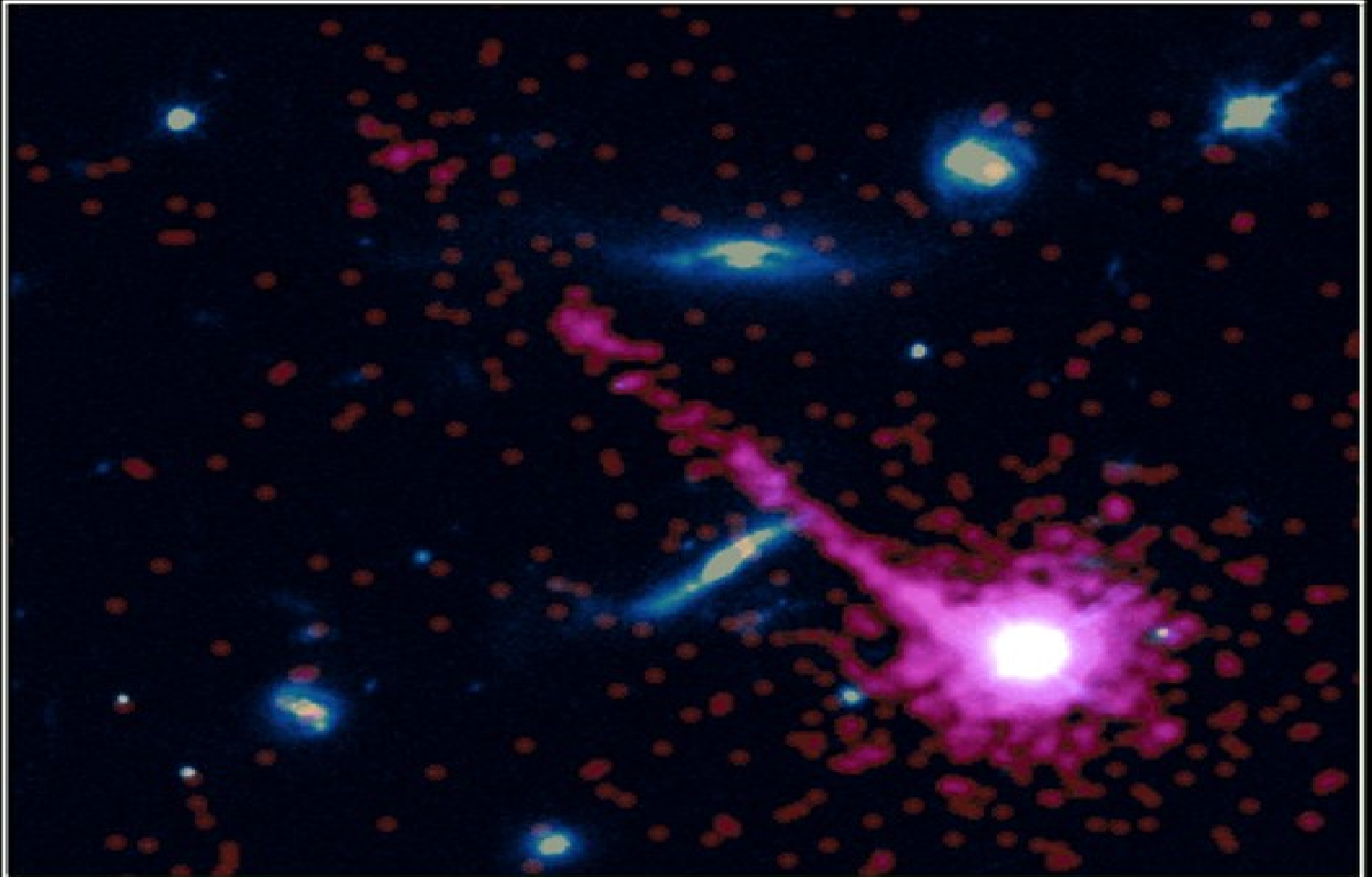
Šíření částic s velmi vysokou energií



mez Greisena - Kuzmina - Zatsepina

částice s energií $> 5 * 10^{19} \text{ eV}$
pocházejí ze vzdálenosti $< \sim 50 \text{ Mpc}$

interakce e^+ , e^- s kosmickým reliktním zářením a produkce gama záření

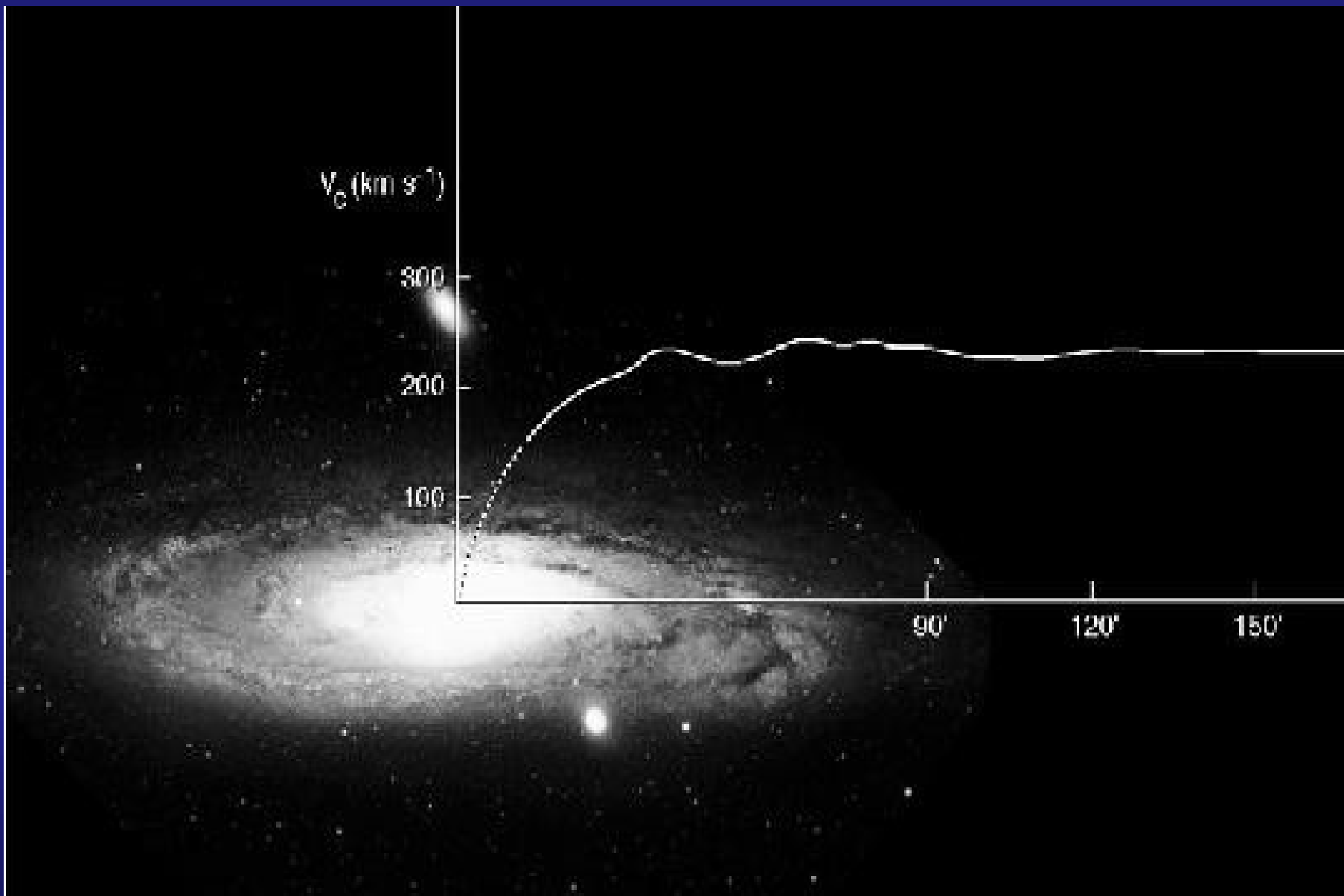


Zdroje kosmického záření vysokých energií

Pouze modelové představy

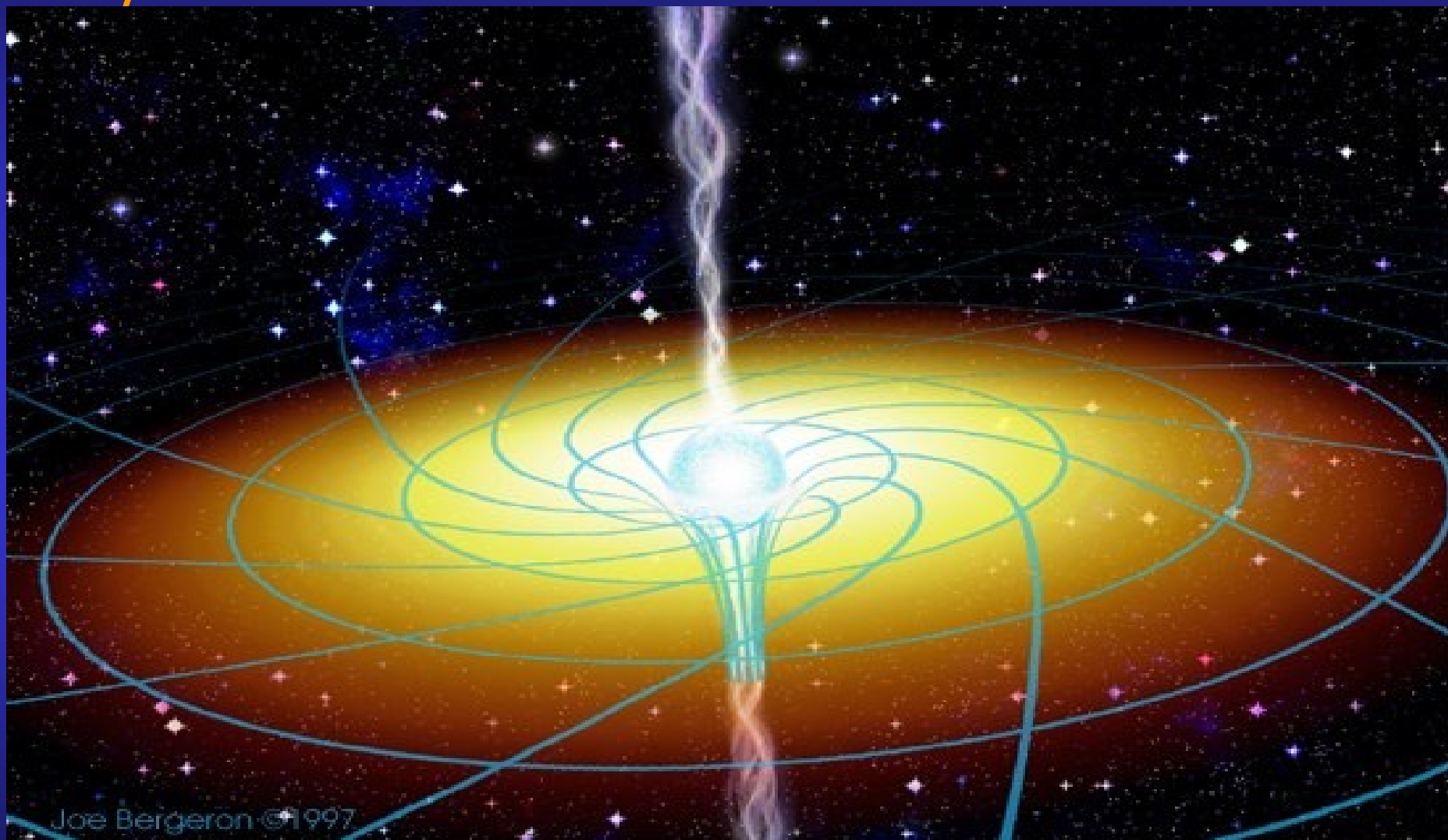
- modely tvoří dvě skupiny
 - modely typu „**bottom-up**“ . . .
předpokládají **postupné urychlování částic** na vyšší energie různými astrofyzikálními mechanismy
 - modely typu „**top-down**“
předpokládají, že pozorované částice vznikají **rozpadem objektů s velkou hmotností** - část této hmoty se přemění na kinetickou energii dceřinných částic

Temná hmota - možný zdroj UHECR



Možné kosmické
urychlovače

černé díry

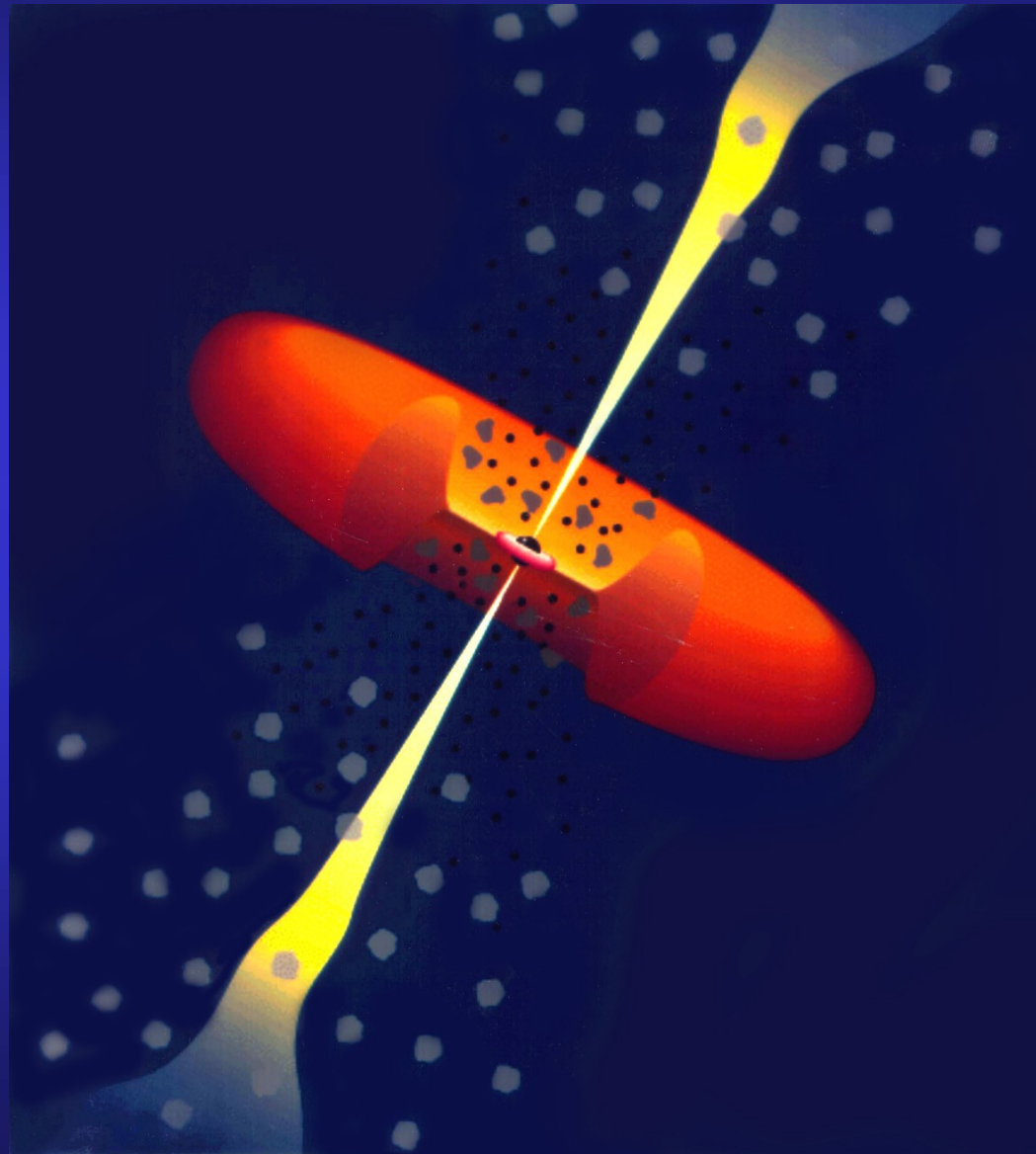


Joe Bergeron ©1997

laskavostí Joe Bergerona © www.joebergeron.com

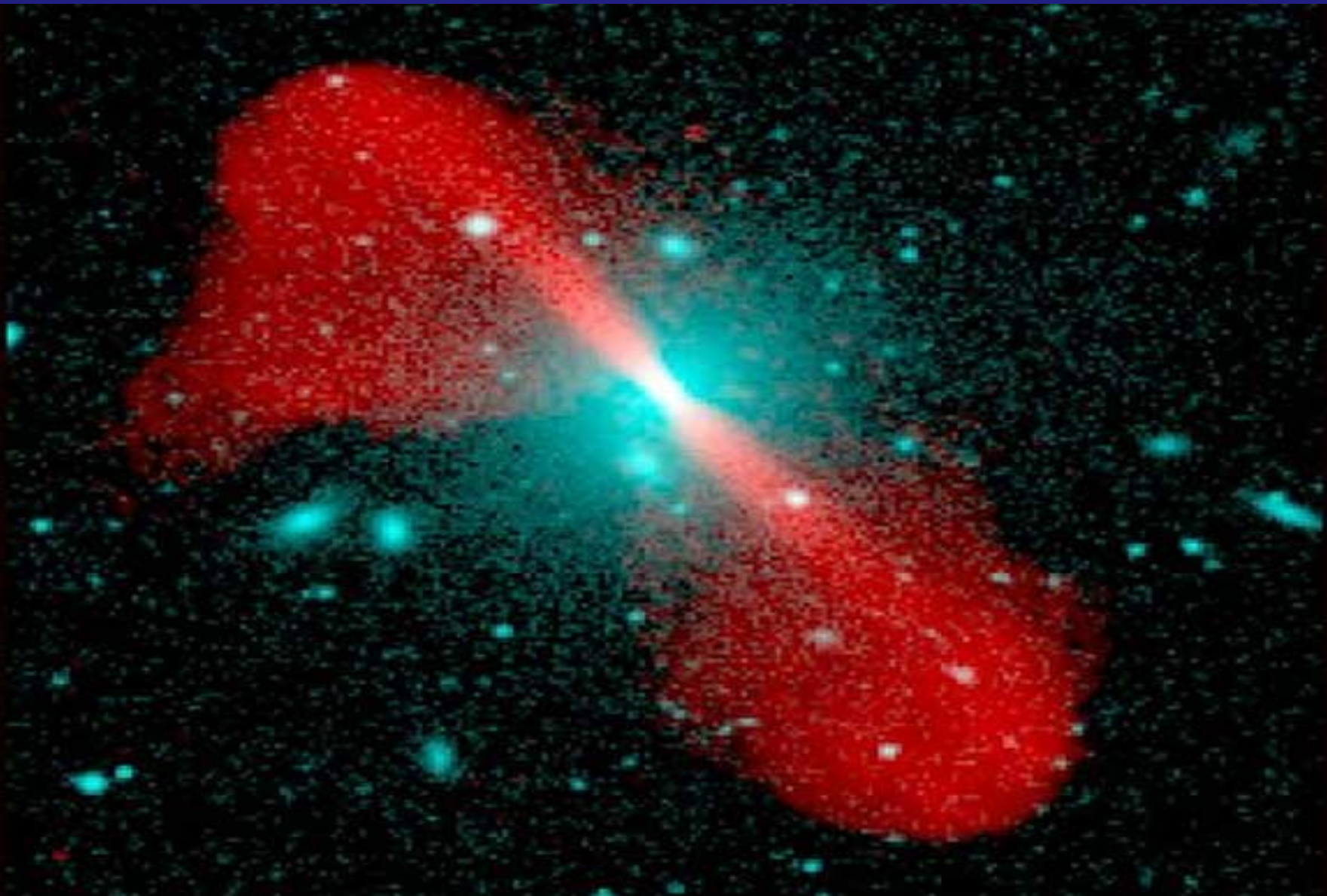
Možné kosmické
urychlovače

- kresba jadra AGN



Možné kosmické
urychlovače

radiogalaxie 3C296 (AUI, NRAO).
--trysky dosahují za hostitelskou galaxii



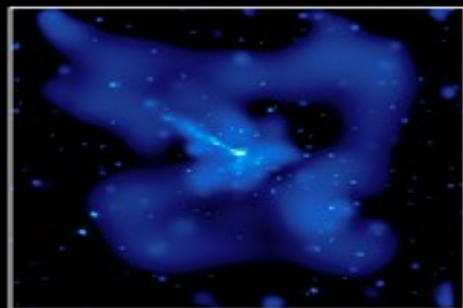
Možné kosmické
urychlovače

srážky galaxií

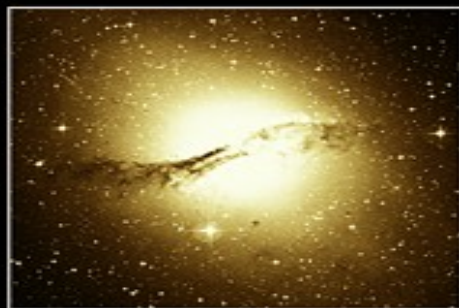


Možné kosmické urychlovače

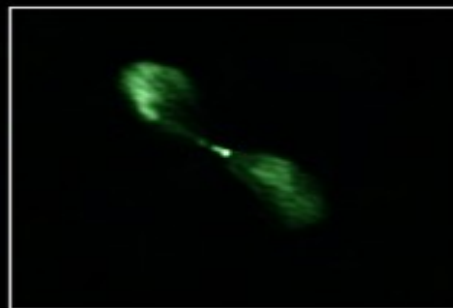
srážky galaxií



CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL

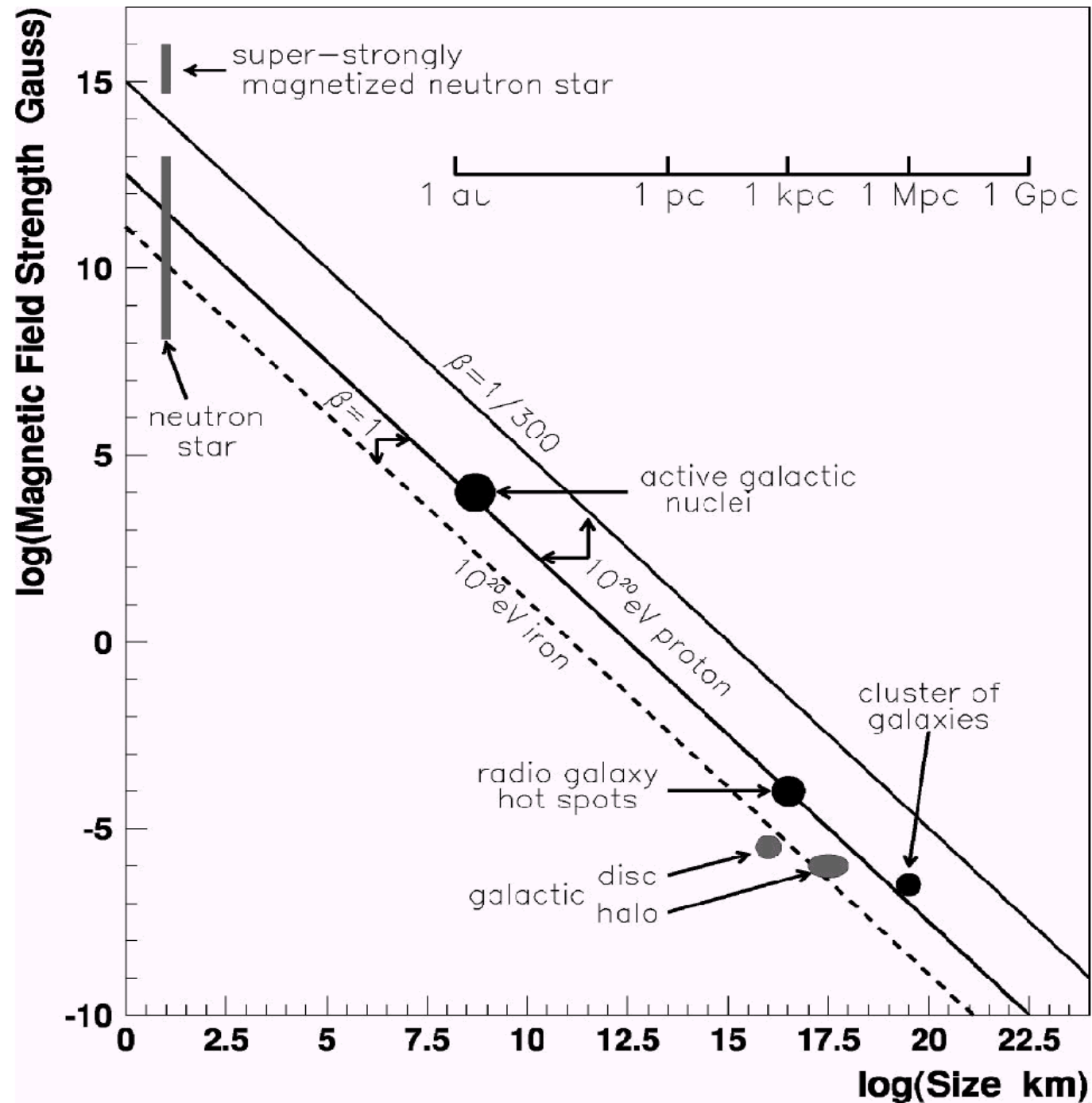


NRAO RADIO
CONTINUUM



NRAO RADIO
(21-CM)

Možnosti kosmických urychlovačů



Kosmické záhady

odkud pochází kosmické záření s nejvyšší energií

- není zřejmý žádný urychlovací proces, který by vysvětlil energie $> 10^{20}$ eV
- zdroj musí být < 50 Mpc kvůli vlivu KMP
- kosmické záření nejvyšších energií by mělo mířit k možným zdrojům

Odpovědi hledá projekt Auger

Projekt „Pierre Auger“

~ 50 ústavů, > 250 fyziků

Argentina

Arménie

Austrálie

Bolívie

Brazílie

Česká republika

Francie

Německo

Itálie

Mexiko

Polsko

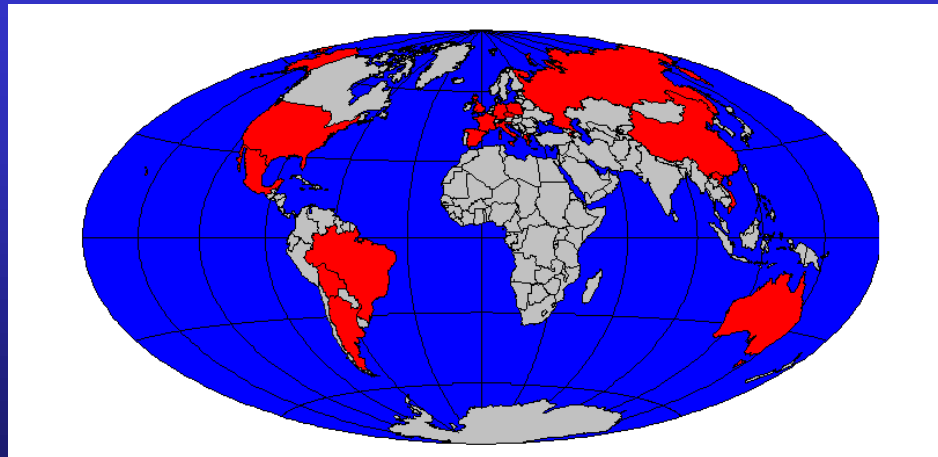
Slovinsko

Španělsko

Velká Británie

USA

Vietnam

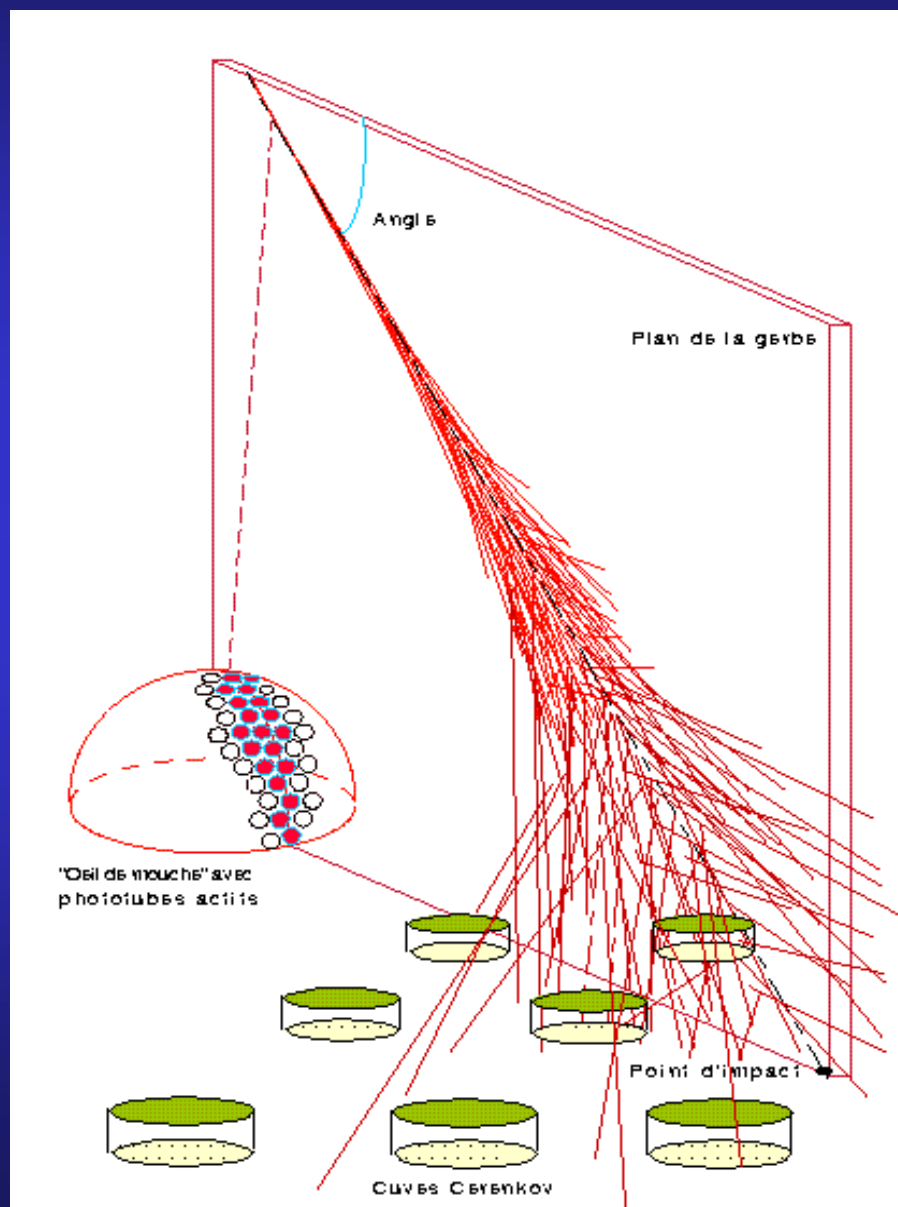


Observatoř Pierra Augera

Hybridní detektor

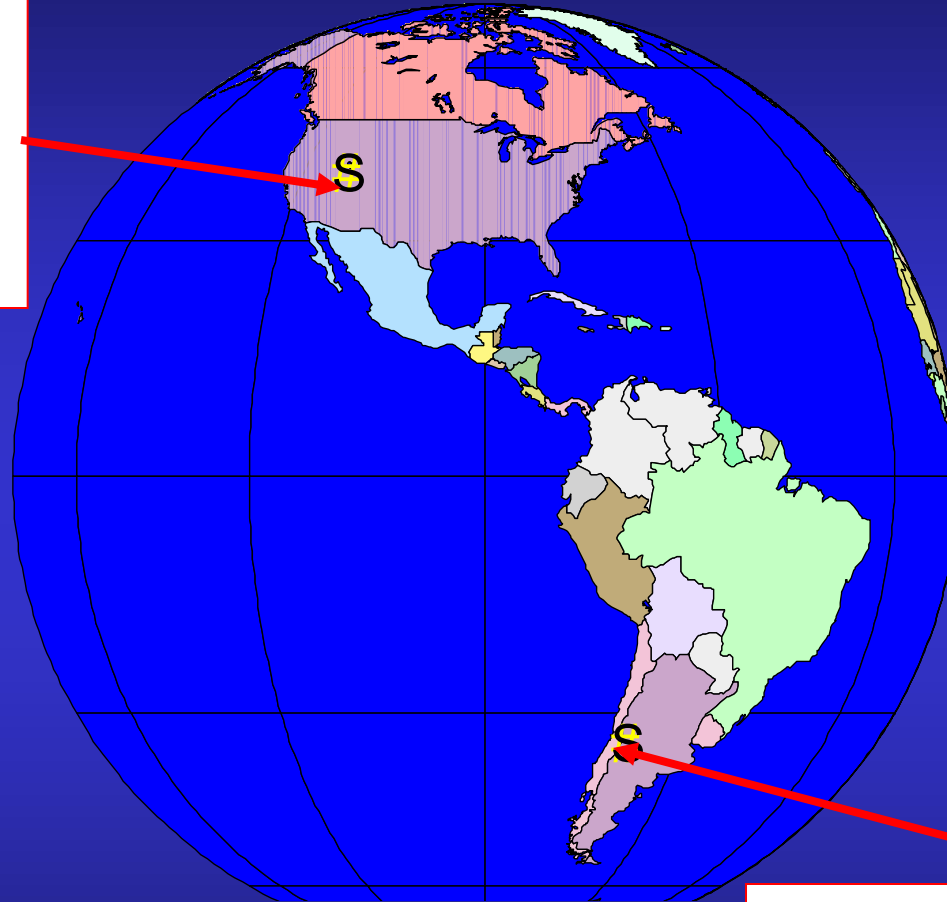
kombinované přednosti
povrchového detektoru a
fluorescenčního detektoru

- 2 nezávislá měření -
vzájemná kalibrace
- přesnější měření energie a
úhlů
- určení typu primární částice



Observatoř Pierra Augera

**Severní
polokoule:**
Millard County,
Utah, USA



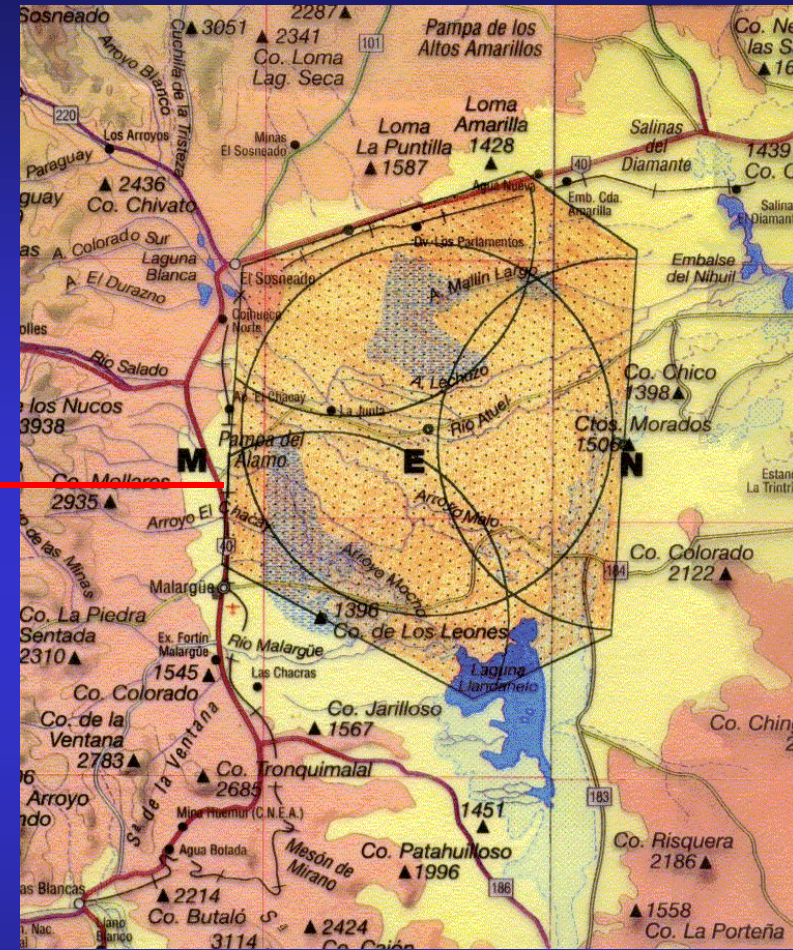
1. jih
výstavba
od roku
2000

Jih:

- dosud žádná data
- je vidět jádro galaxie

Jižní polokoule:
Malargüe,
provincie Mendoza,
Argentina

Observatoř Pierra Augera

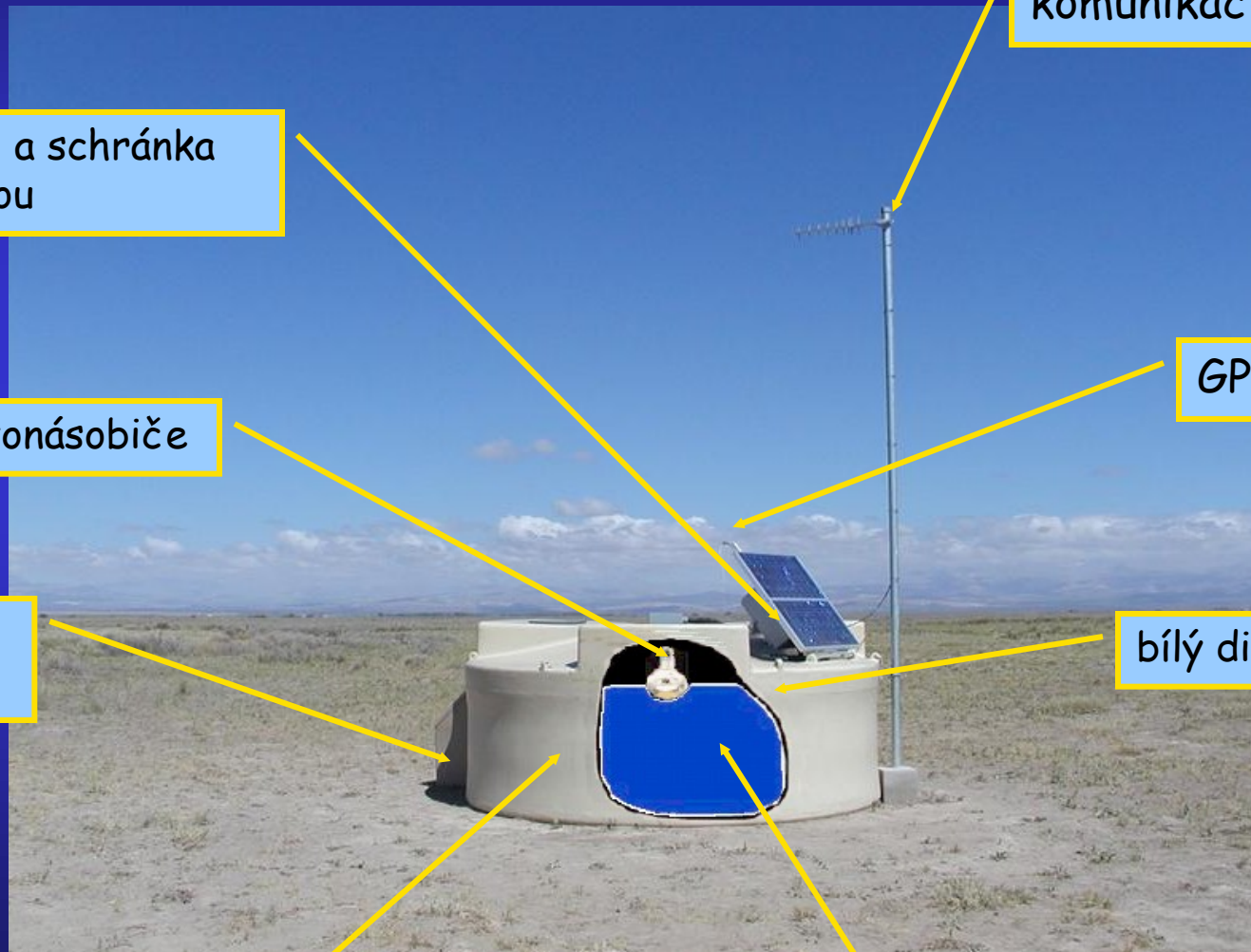


1 600 detektorů
3 000 km²
1.5 km rozteč



Observatoř Pierra Augera - SD

SD = Surface Detector ... povrchový detektor



komunikační anténa

solární panel a schránka
s elektronikou

tři 8" fotonásobiče

GPS anténa

schránka na
akumulátory

bílý difúzní potah

plastový tank

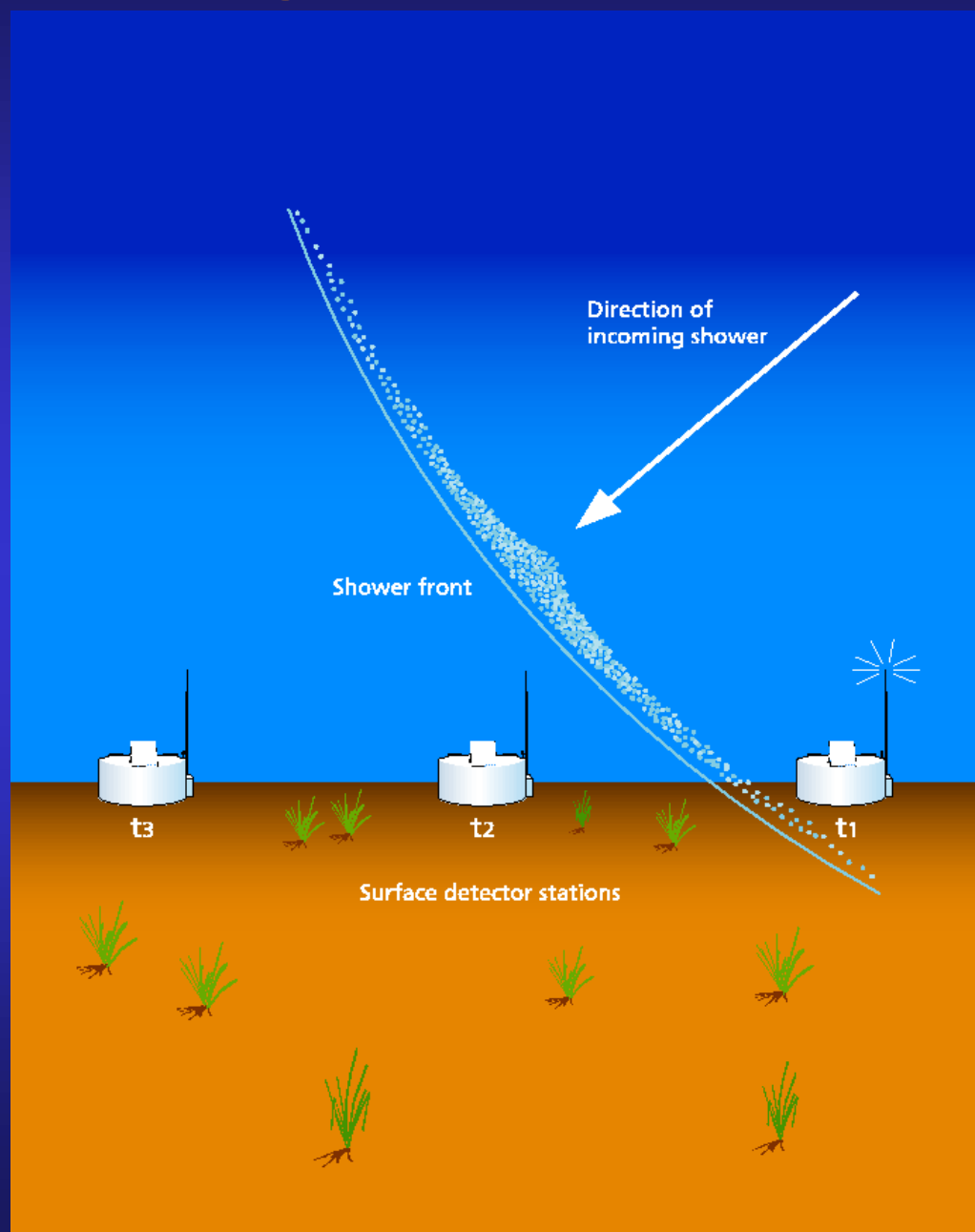
12 m³ destilované vody

Observatoř Pierra Augera - SD

časový sled signálů
→ úhel dopadu spršky

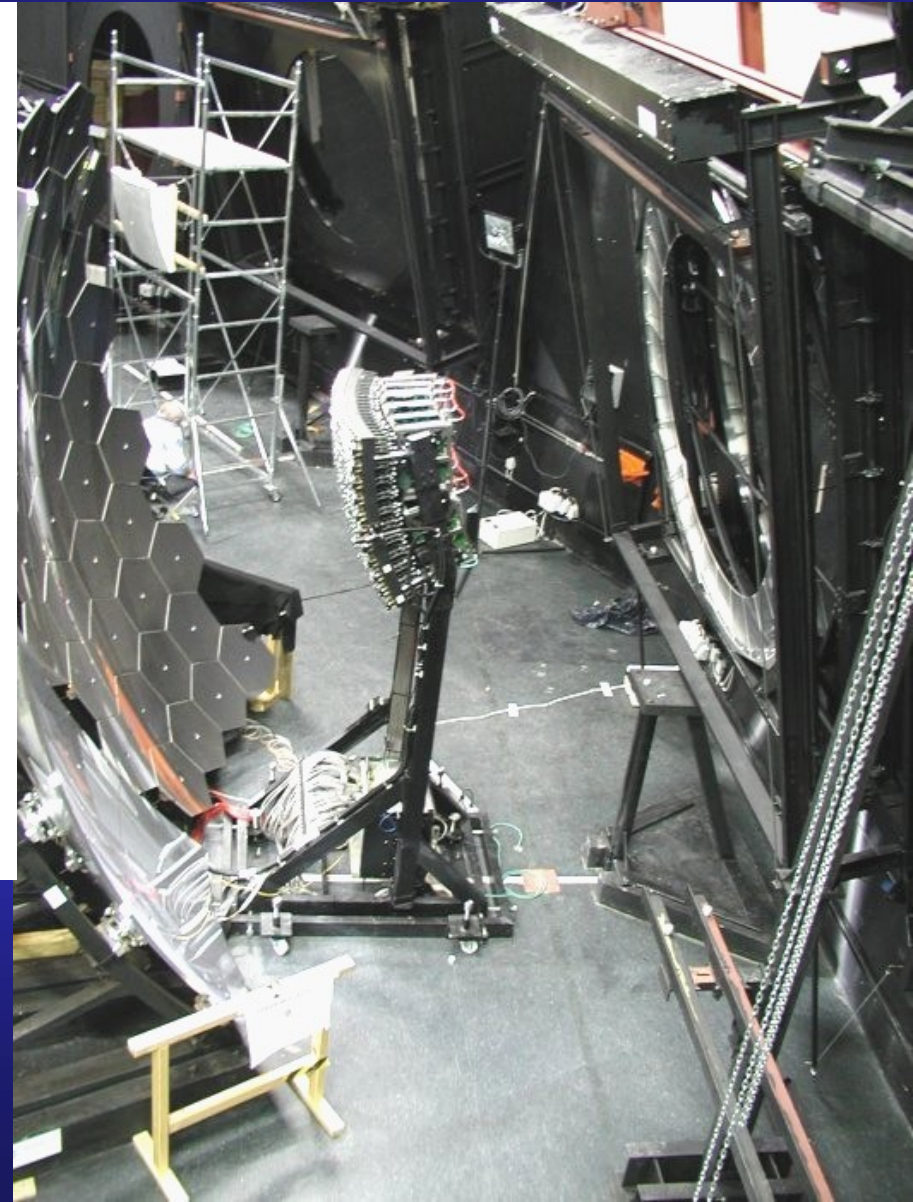
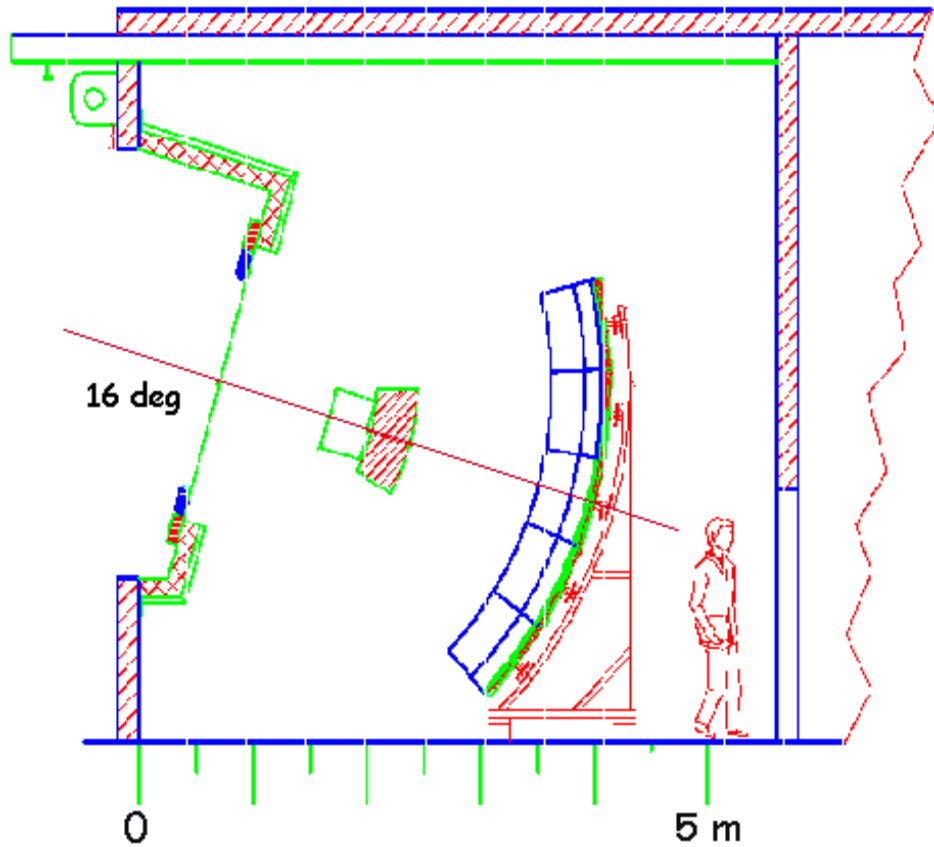
hustota částic
→ energie spršky

počet mionů,
tvar signálu
→ odhad hmoty
primární částice



Observatoř Pierra Augera - FD

FD = fluorescenční detektor



zrcadlo: $R = 3440 \text{ mm}$
plocha: $3,6 \times 3,6 \text{ m}^2$

Observatoř Pierra Augera - FD

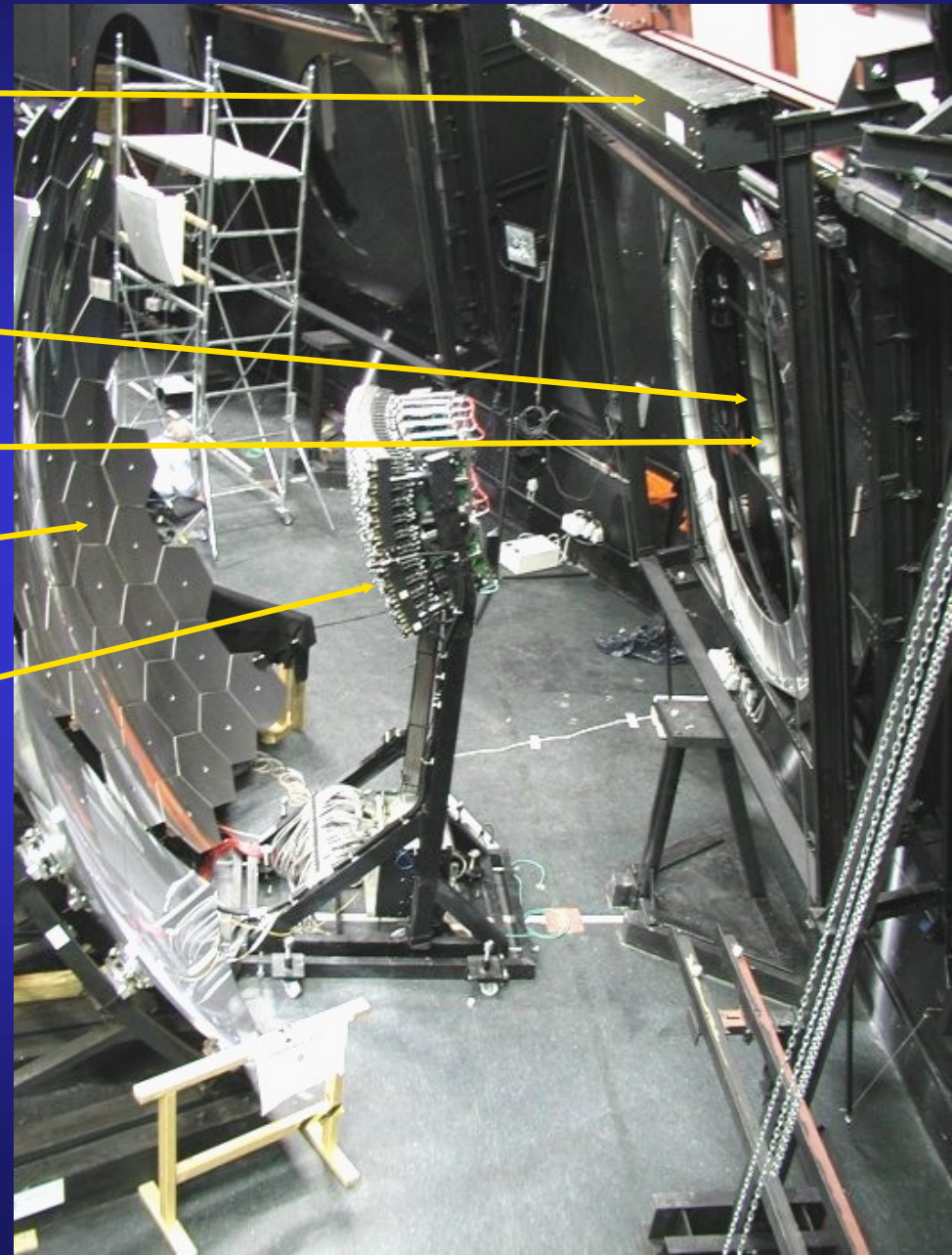
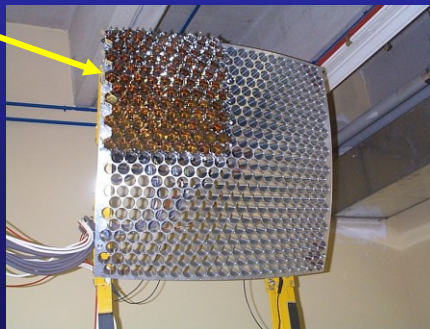
bezpečnostní záclona

diafragma

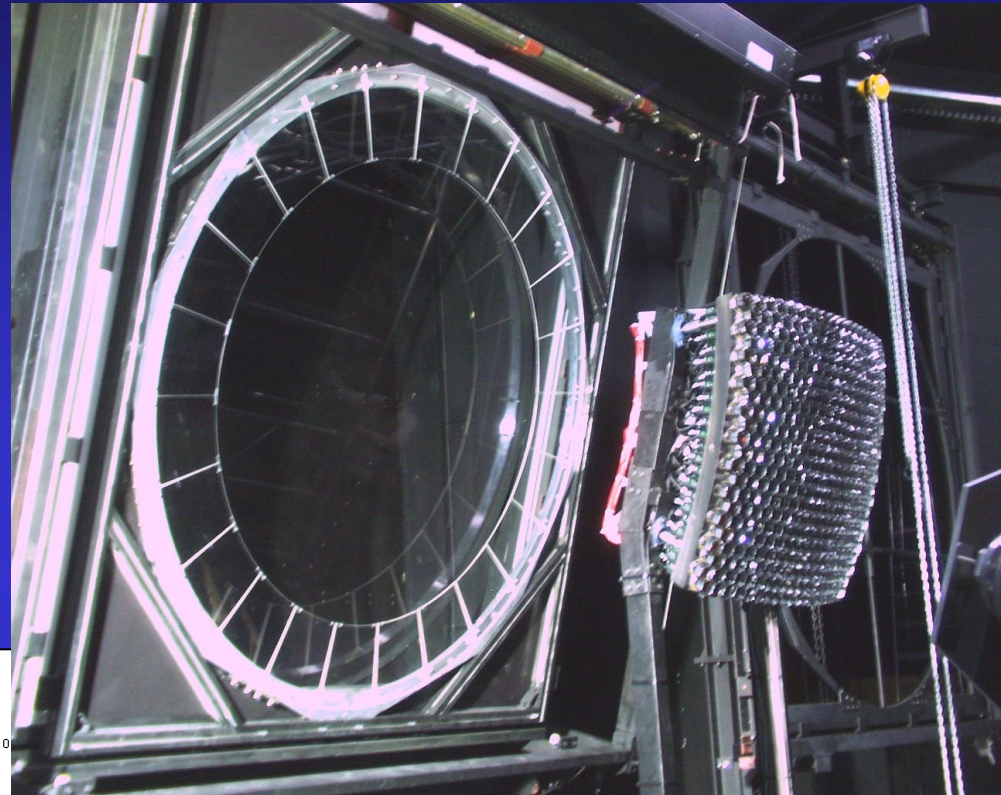
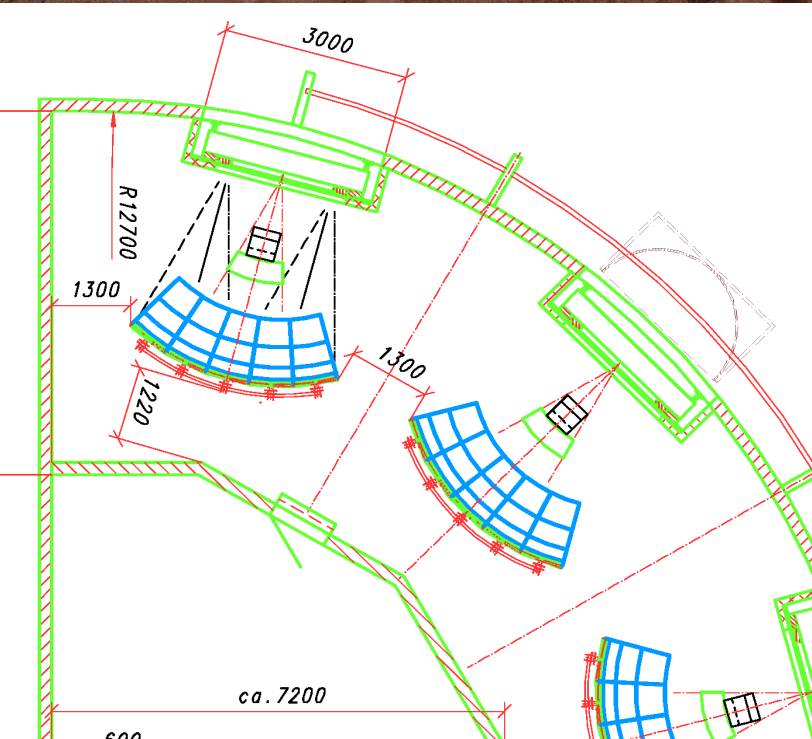
filtr 300 - 400 nm

zrcadlo

kamera - 20 x 22
fotonásobičů 2,6"

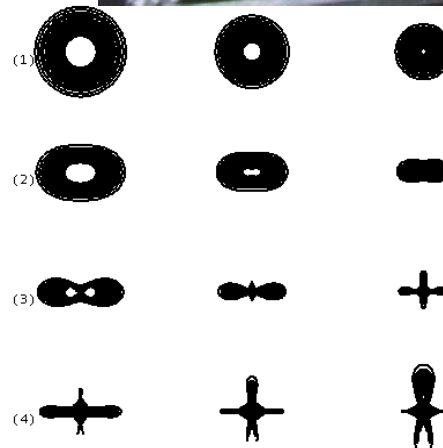


Observatoř Pierra Augera - FD

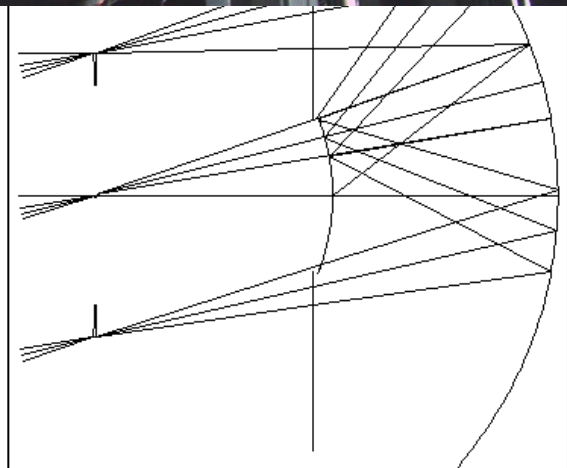


15.000 mm

-5.0



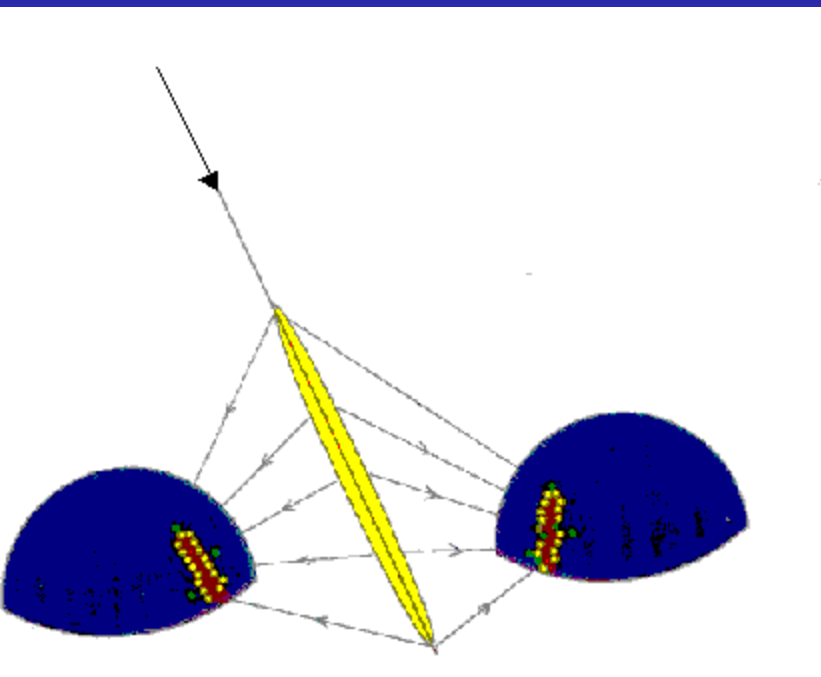
Y= 0° Y=10° Y=15° Y=20°
 (1)X= 0° (2)X= 0° (3)X= 0° (4)X= 0°



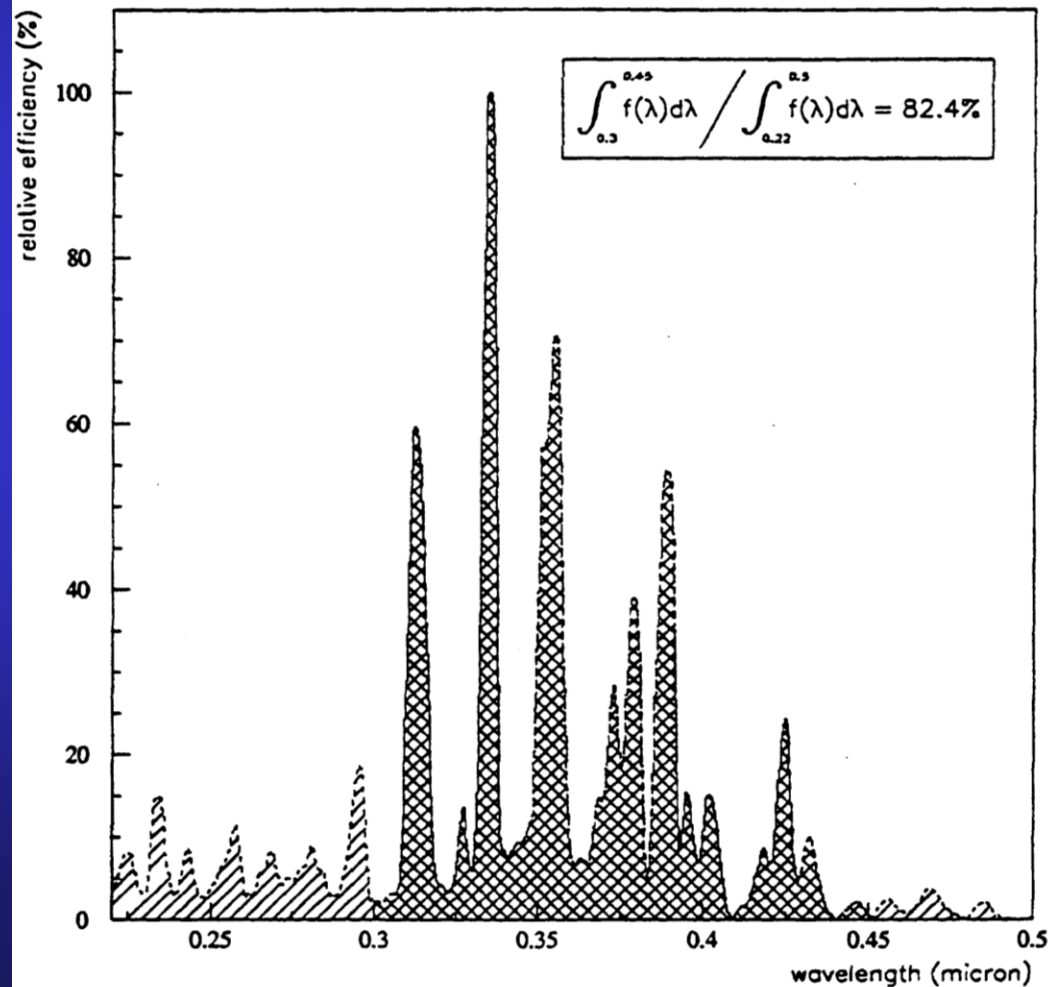
Observatoř Pierra Augera - FD

FD dohlédne 20 - 25 km

kalibrace laserem, monitorování atmosféry, ...

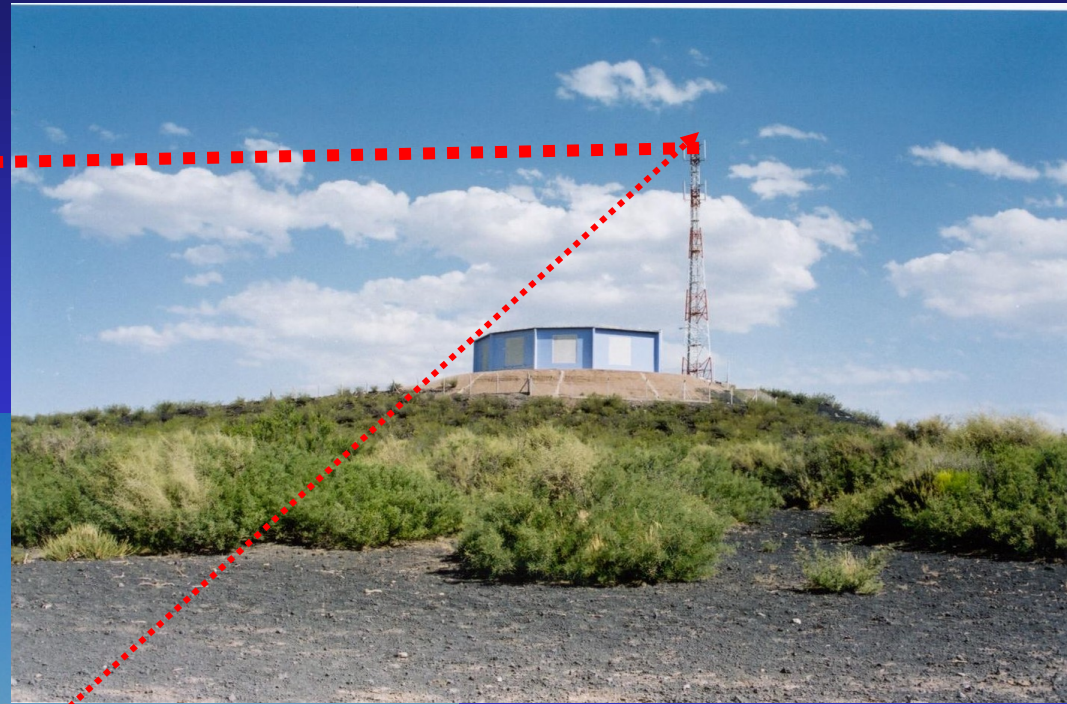


stereo „snímky“ -
přesné určení směru



Observatoř Pierra Augera - komunikace

Centrální stanice



Observatoř Pierra Augera - komunikace



Centrální
stanice

Observatoř Pierra Augera dnes

V roce 2001 probíhalo testování prototypu. Fungovala zmenšená verze celé aparatury:

- 30 vodních nádrží
- 2 teleskopy

SD i FD registrovaly každý zvlášť
značné množství případů
SD & FD dohromady
~ 60 hybridních případů

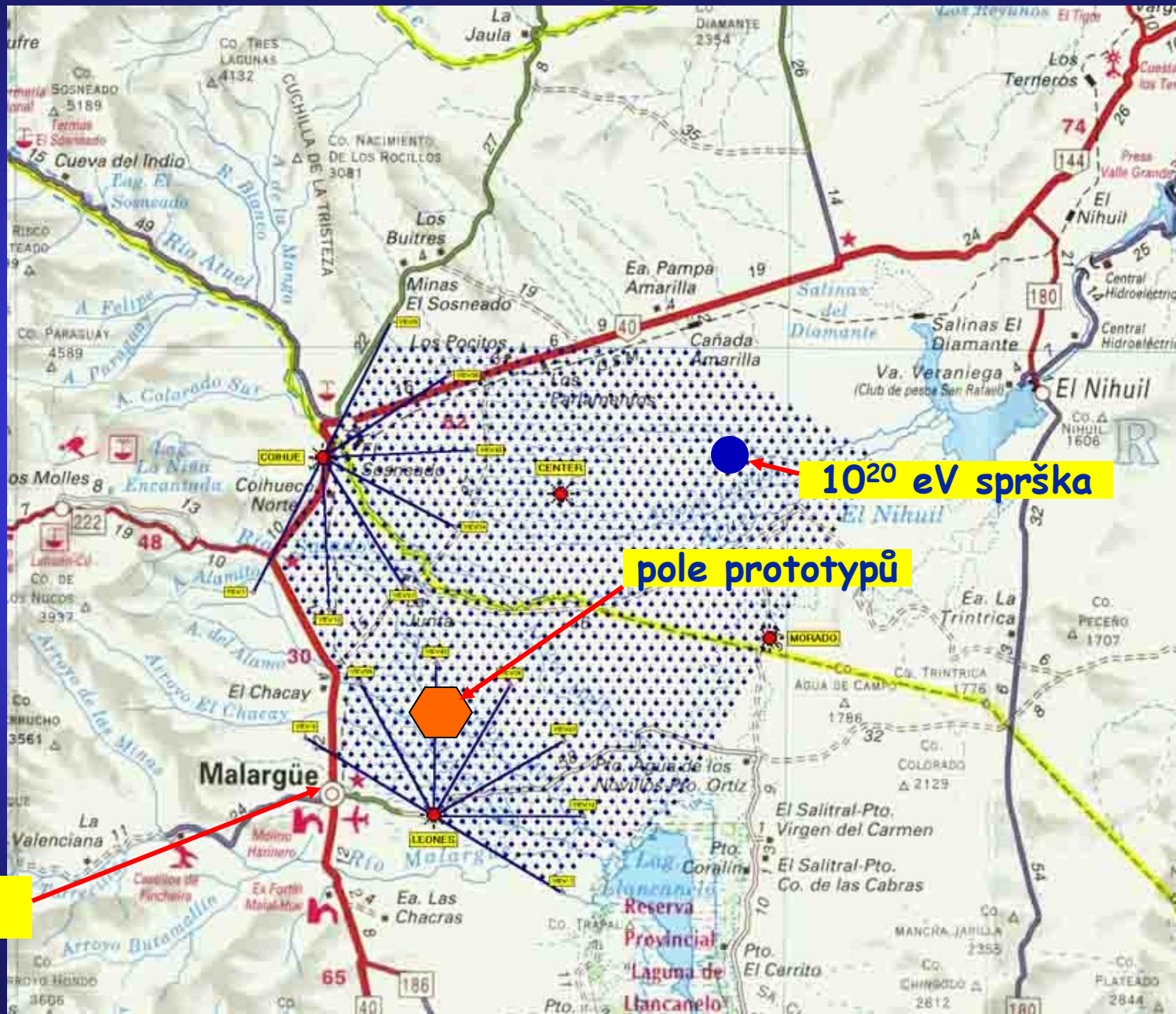
Získané zkušenosti vedly ke změnám detektorů.

Observatoř Pierra Augera dnes

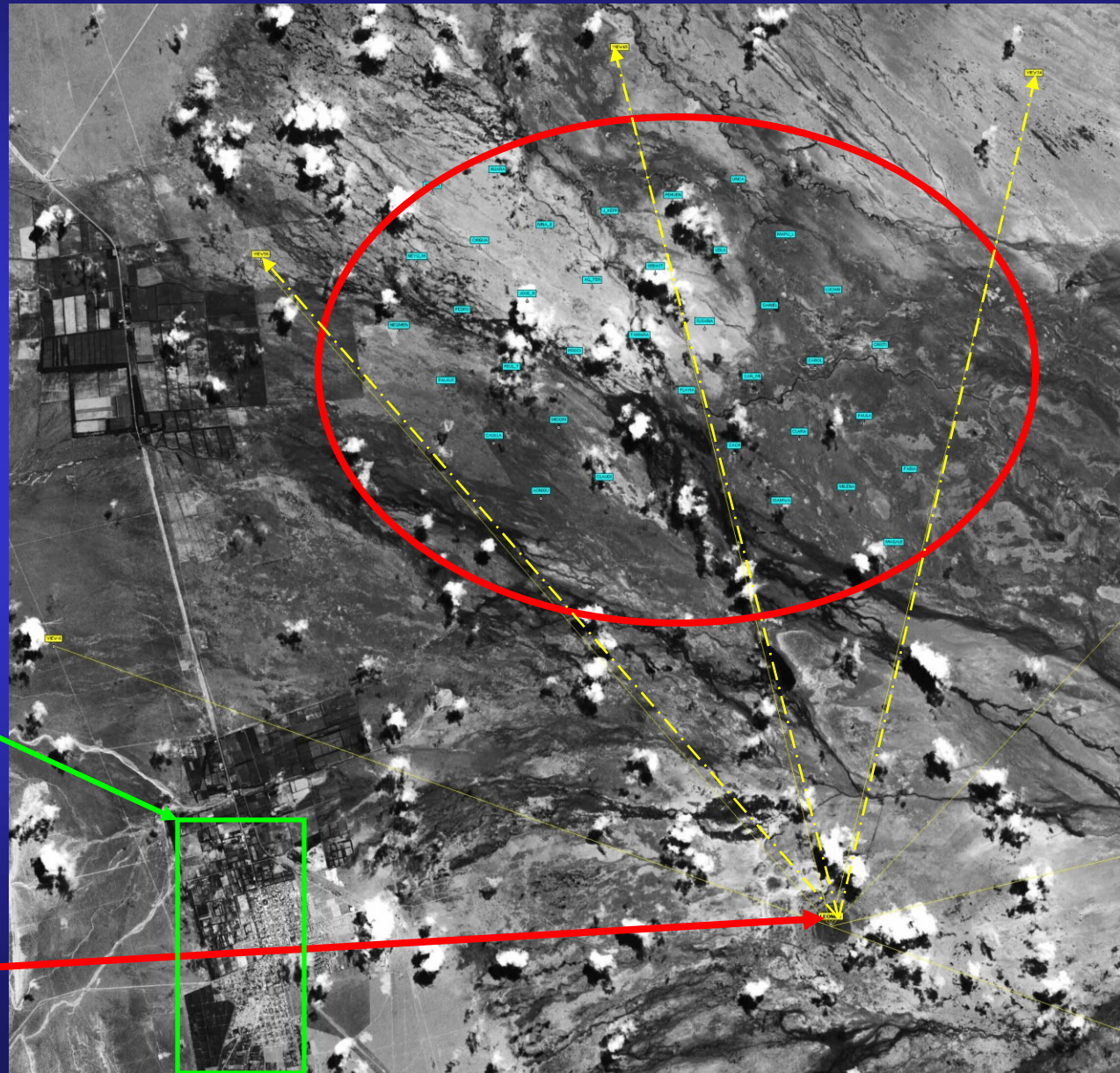
Prototyp
v roce 2001

30 tanků
2 teleskopy

Auger Campus



Observatoř Pierra Augera dnes

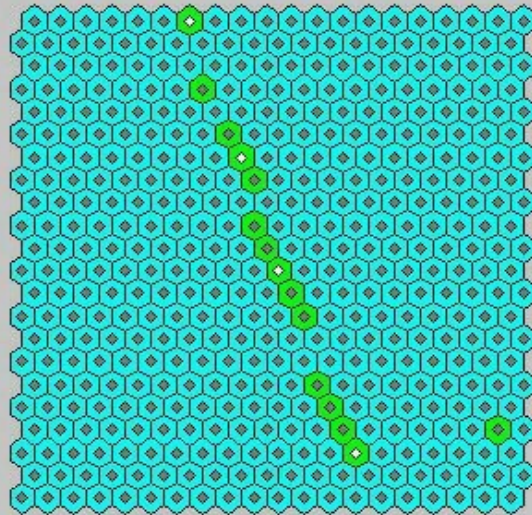


Malargüe

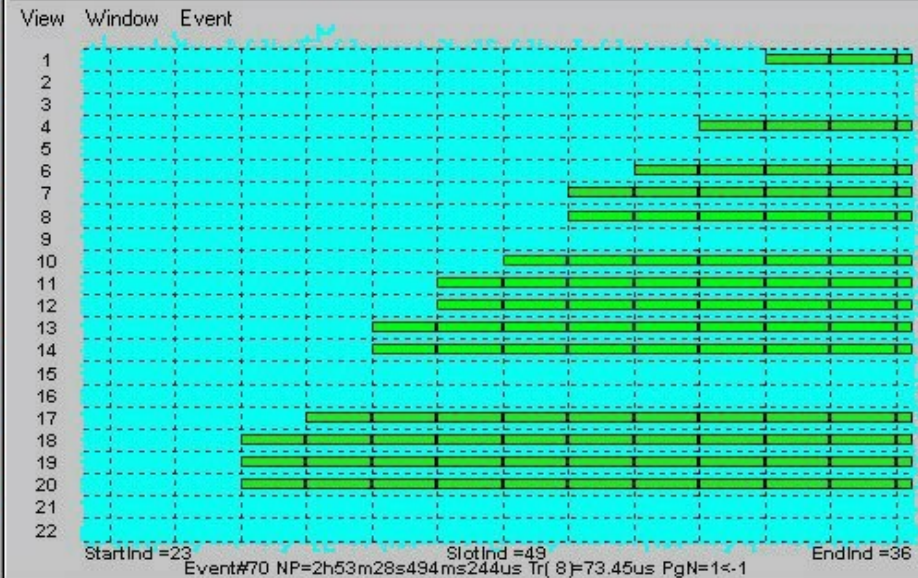
Los Leones

Observatoř Pierra Augera dnes

SLT. Mirror view.

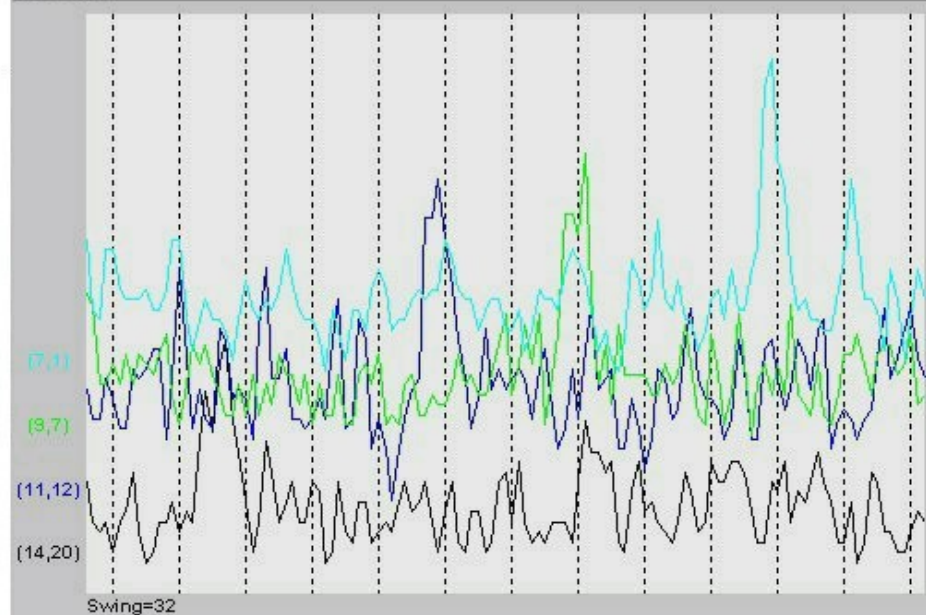


SLT. Time-Altitude View

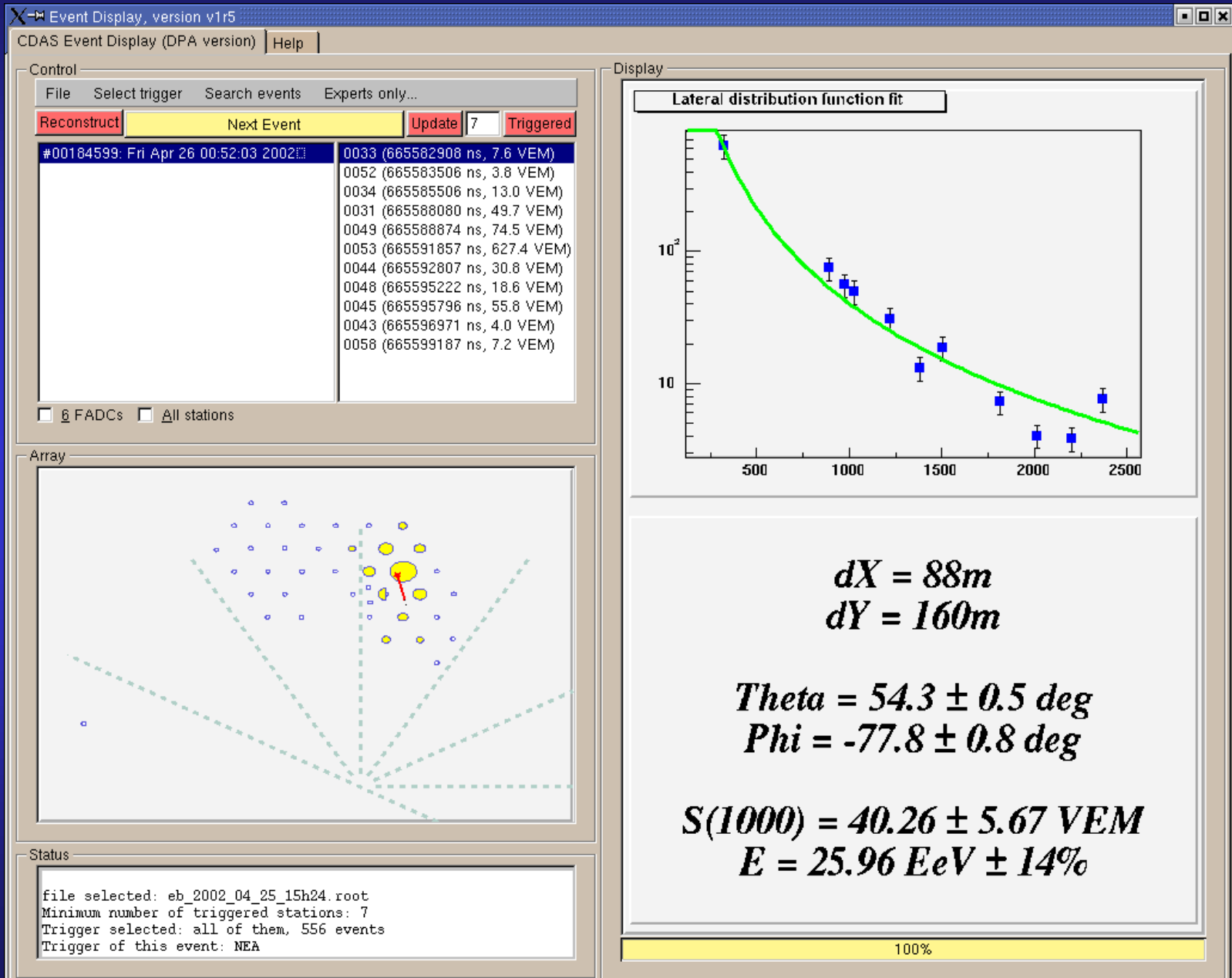


first large
shower in
Auger FD
23.05.2001

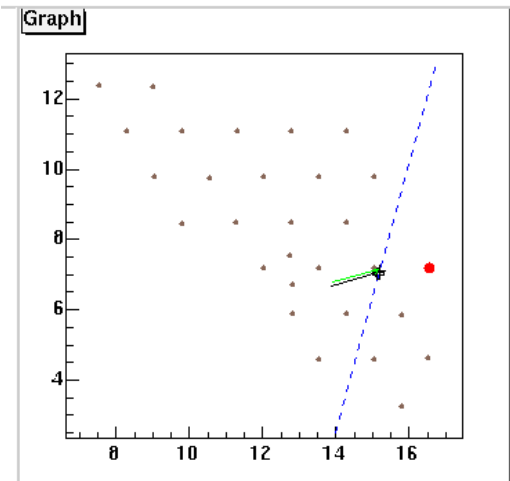
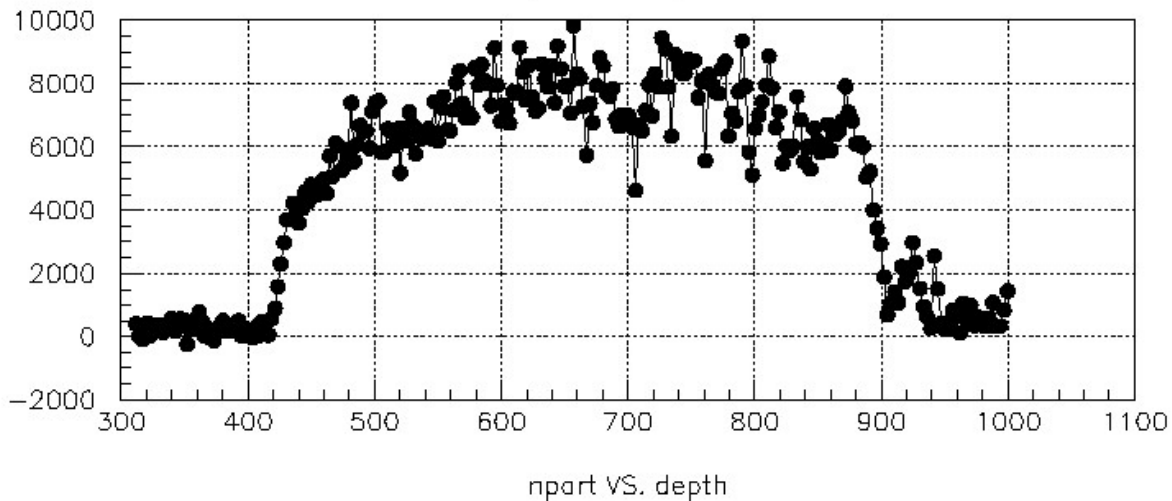
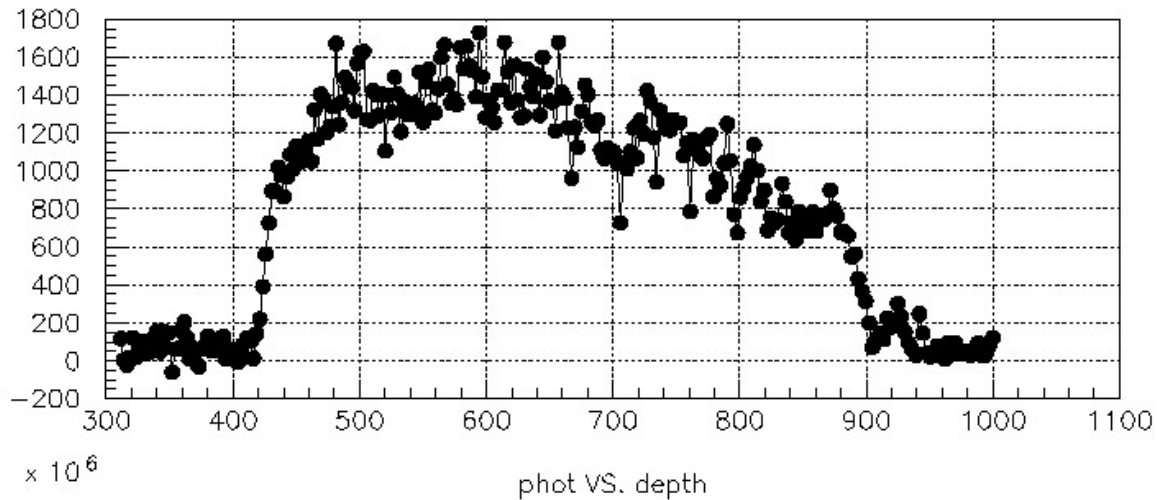
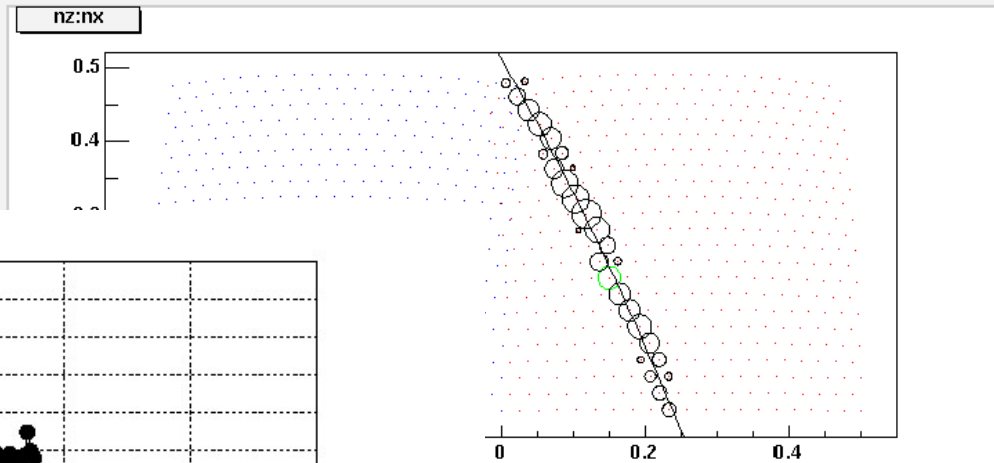
ADC data



Observatoř Pierra Augera dnes



Observatoř Pierra Augera dnes



Observatoř Pierra Augera „zítra“

V roce 2003 by mělo být instalováno:

- > 100 vodních nádrží
- > 4 teleskopy

FD ve 2 pozorovatelnách

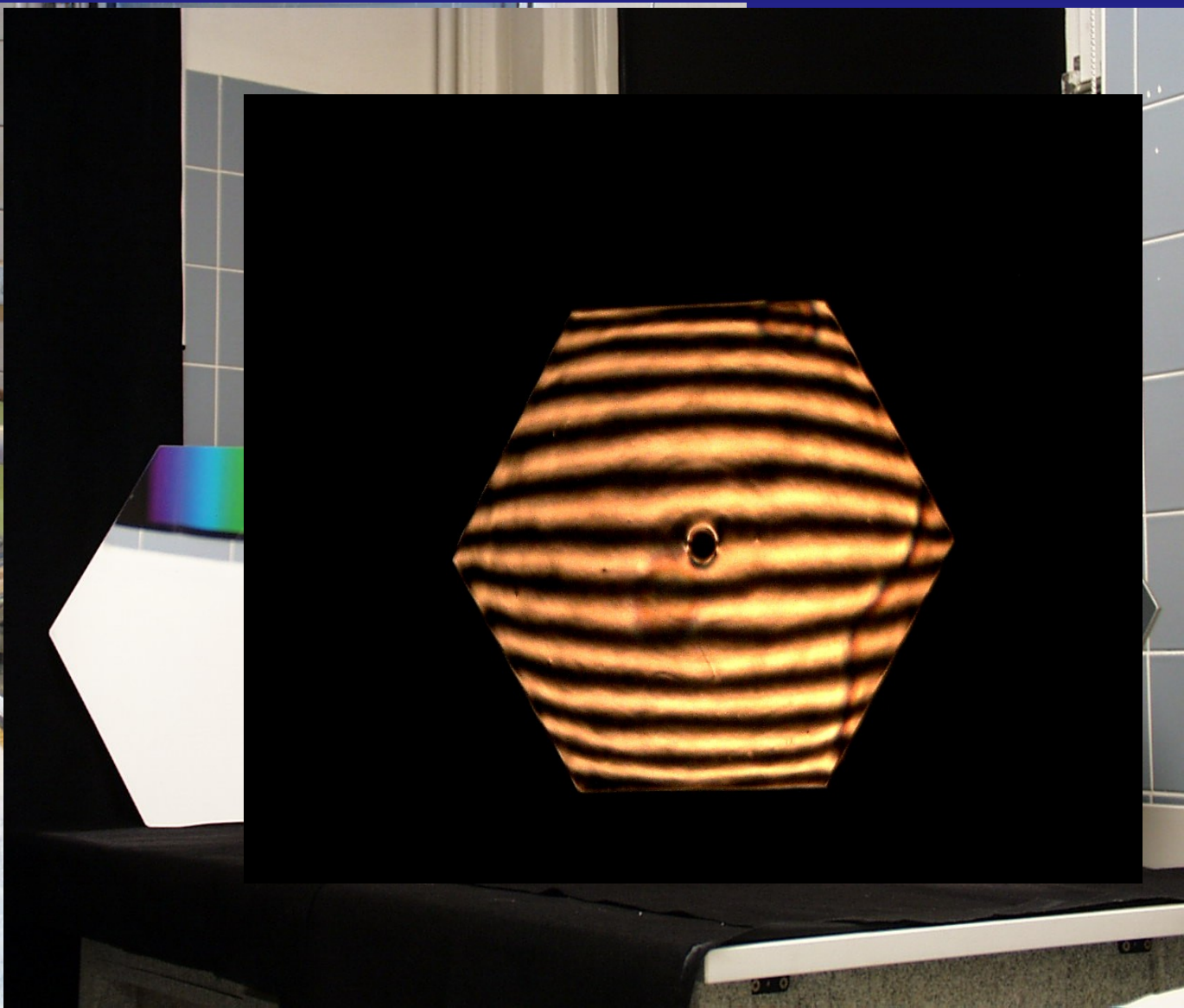
→ stereo případy

Observatoř Pierra Augera „zítra“



Observatoř Pierra Augera „zítra“

Výroba zrcadel v SLO Olomouc



Observatoř Pierra Augera „zítra“

Plocha detektoru bude srovnatelná s detektorem
AGASA ~ 100 km²

