

**PIERRE  
AUGER**  
OBSERVATORY



# Obserwatorium Pierre Auger

Henryk Wilczyński  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN

# Skala odległości

jednostka astronomiczna:  $1\text{ au} \approx 150\text{ mln km}$

parsek:  $1\text{ pc} \approx 3.26\text{ lat świetlnych} \approx 206\,000\text{ au}$

średnica Galaktyki:  $\sim 30\text{ kpc}$

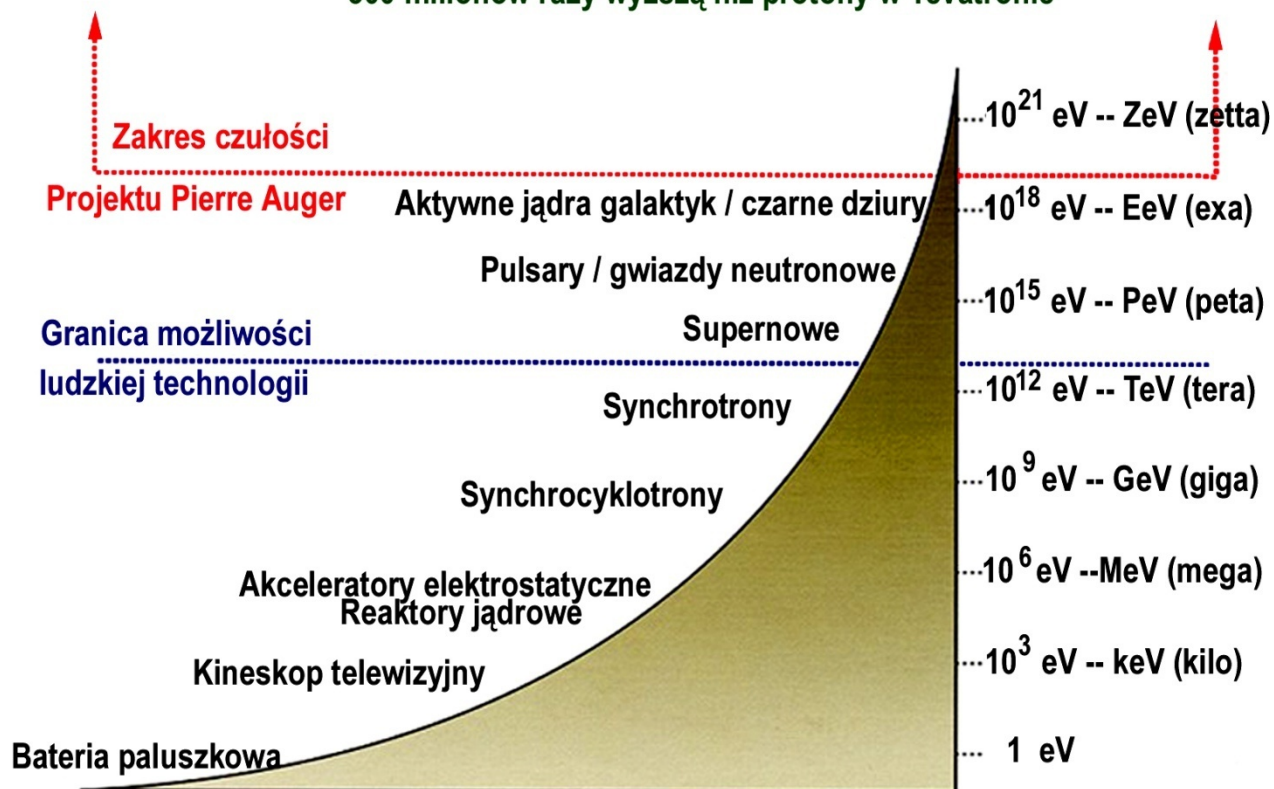
odległości do kwazarów:  $> 500\text{ Mpc}$

granica widzialnego Wszechświata:  $\sim 4.5\text{ Gpc}$

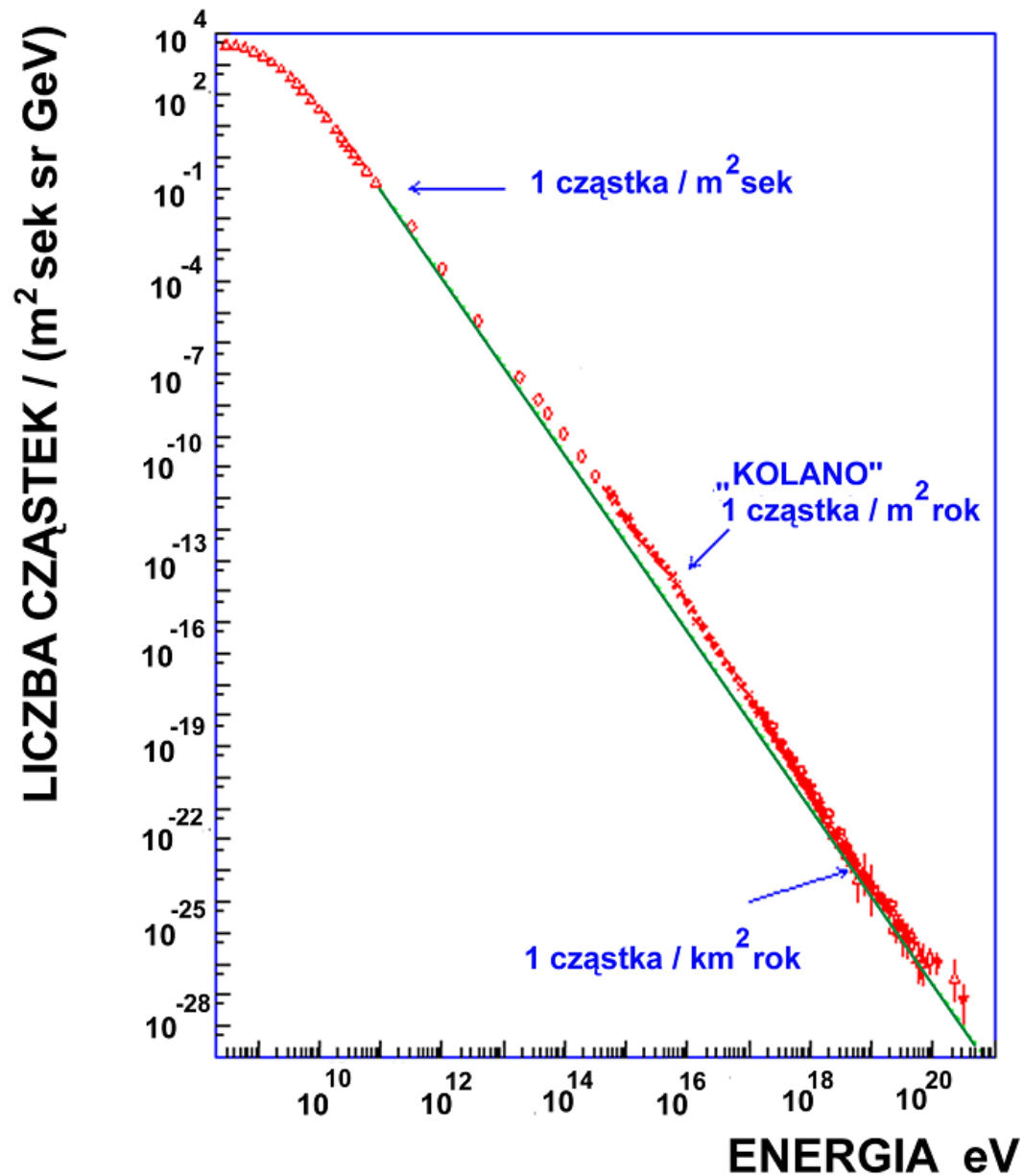
# Skala energii

| ENERGIA          | NOTACJA<br>NAUKOWA | SKRÓT   | WZGLĘDEM<br>TEVATRONU |
|------------------|--------------------|---------|-----------------------|
| 1 000 eV         | $10^3$ eV          | 1 keV   | Jedna miliardowa      |
| 1 000 000 eV     | $10^6$ eV          | 1 MeV   | Jedna milionowa       |
| 1 000 000 000 eV | $10^9$ eV          | 1 GeV   | Jedna tysięczna       |
| 1 ... 12 zer ... | $10^{12}$ eV       | 1 TeV   | Jeden                 |
| 1 ... 15 zer ... | $10^{15}$ eV       | 1 PeV   | Tysiąc razy           |
| 1 ... 18 zer ... | $10^{18}$ eV       | 1 EeV   | Milion razy           |
| 1 ... 20 zer     | $10^{20}$ eV       | 100 EeV | Sto milionów razy     |

Najwyższej energii cząstka promieni kosmicznych ma energię  
300 milionów razy wyższą niż protony w Tevatronie

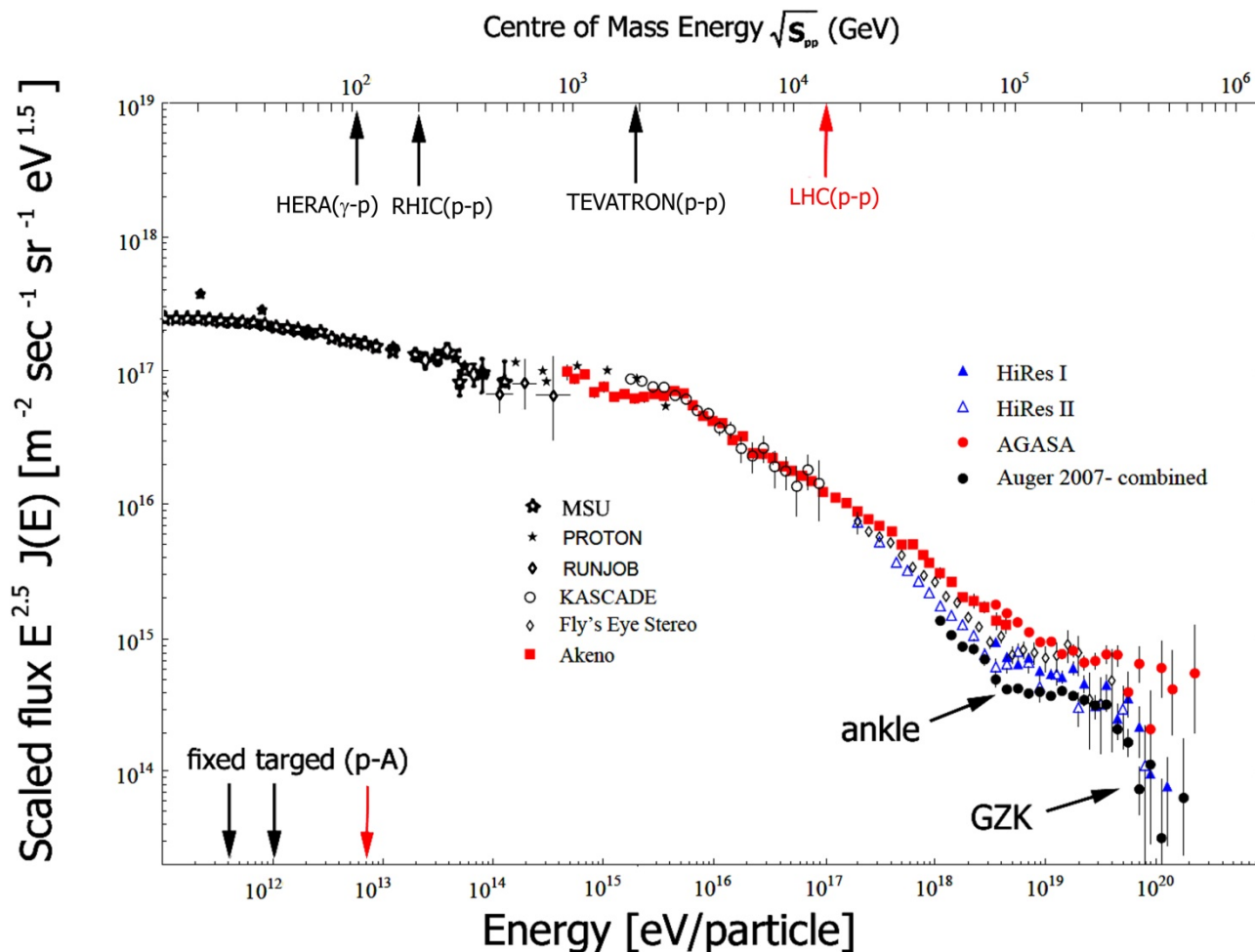


# Widmo energii promieni kosmicznych



# Energie akceleratorów i promieni kosmicznych

## Cosmic ray energy spectrum - 2008



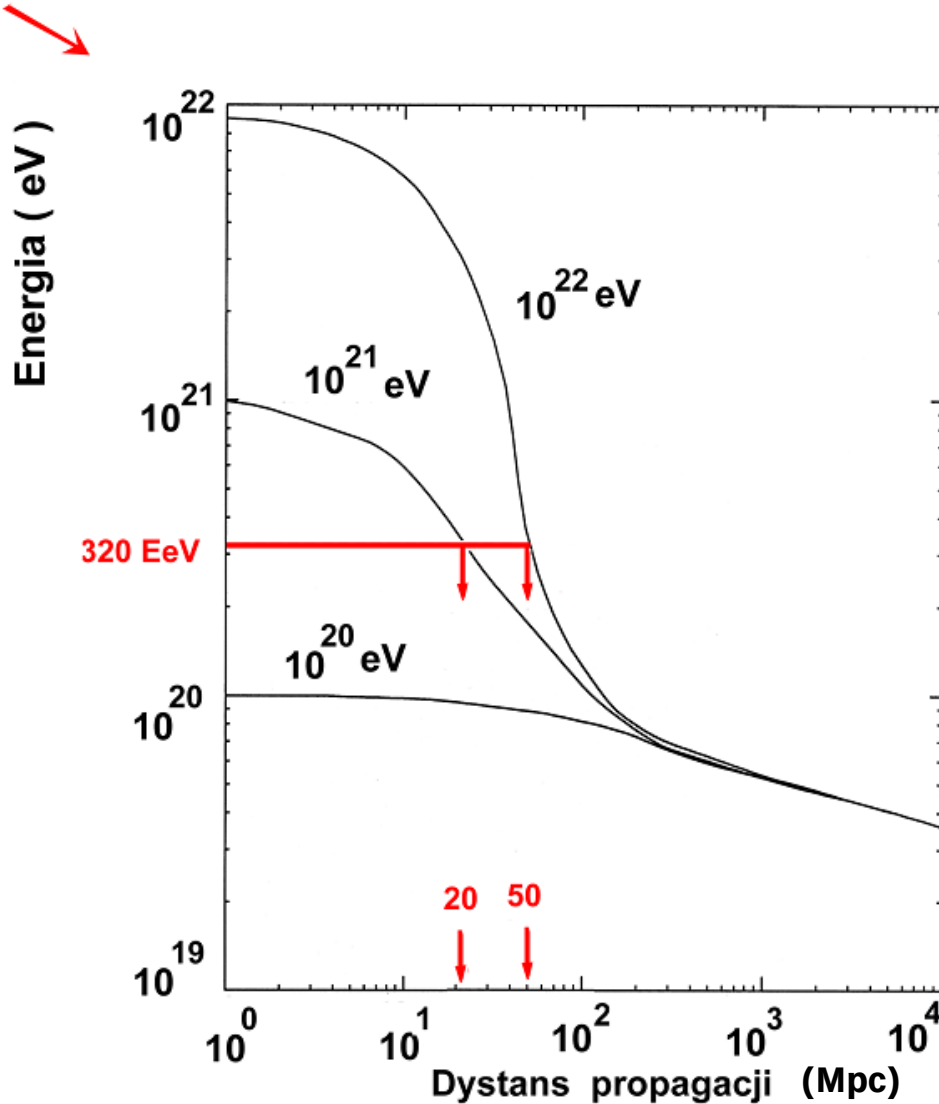
w badaniach wielkich pęków

trzeba **ekstrapolować** własności oddziaływań jądrowych do wysokich energii



# Obcięcie Greisena-Zatsepina-Kuzmina (GZK)

Energia  
u źródła

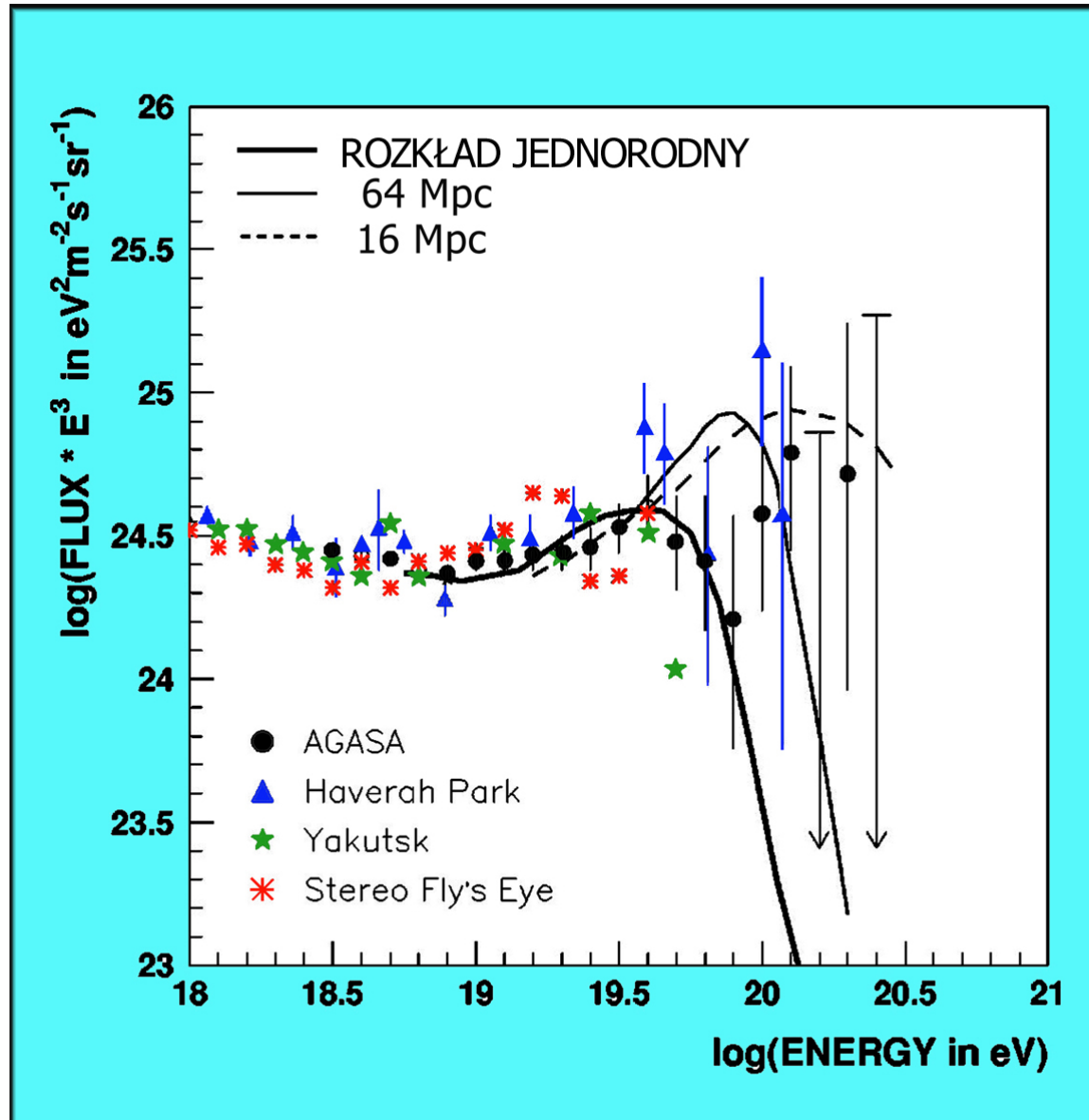


ODDZIAŁYWANIA Z MIKROFALOWYM PROMIENIOWANIEM  
RELIKTOWYM PRZY  $E \gtrsim 5 \cdot 10^{19}$  eV

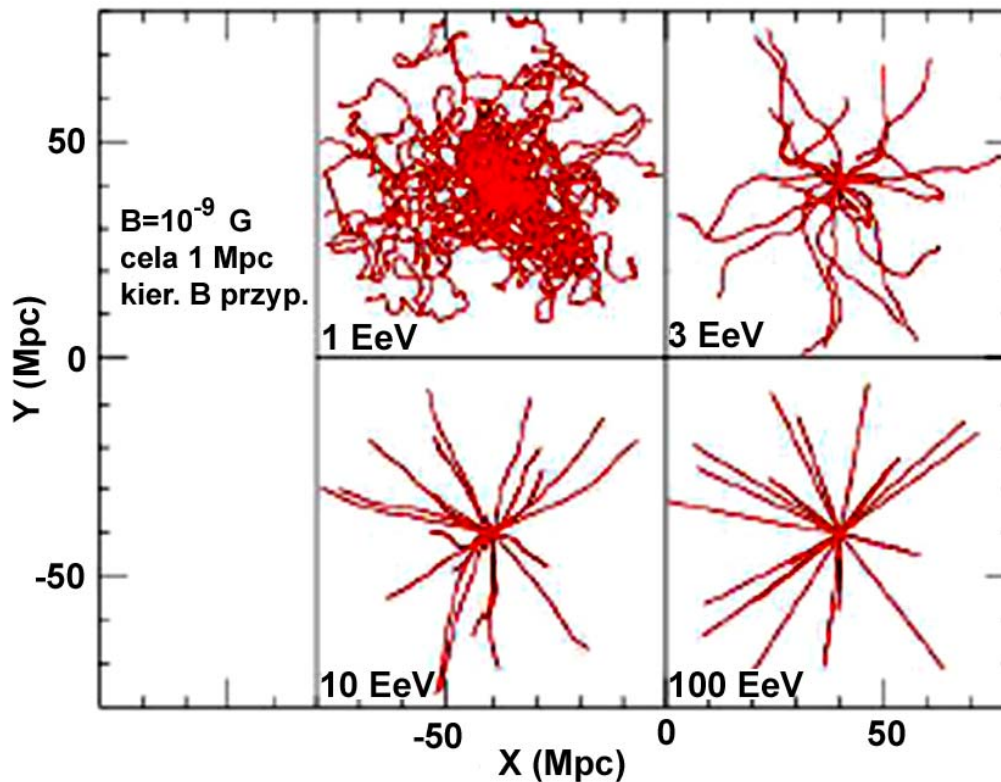
- FOTOPRODUKCJA :  $p\gamma_{2.7} \rightarrow p\pi^0$   
 $n\pi^+$

Dla  $E > 100$  EeV źródła muszą być bliżej  
niż  $\sim 50$  Mpc

# Efekt GZK w widmie energii



# Propagacja promieni kosmicznych poza Galaktyką



rzut trajektorii 3D  
na płaszczyznę XY

Odchylenie toru przy skrajnie wysokich energiach

$$\Theta \approx 0.3^\circ (L_{\text{Mpc}} Z B_{\text{nG}}) / E_{20}$$

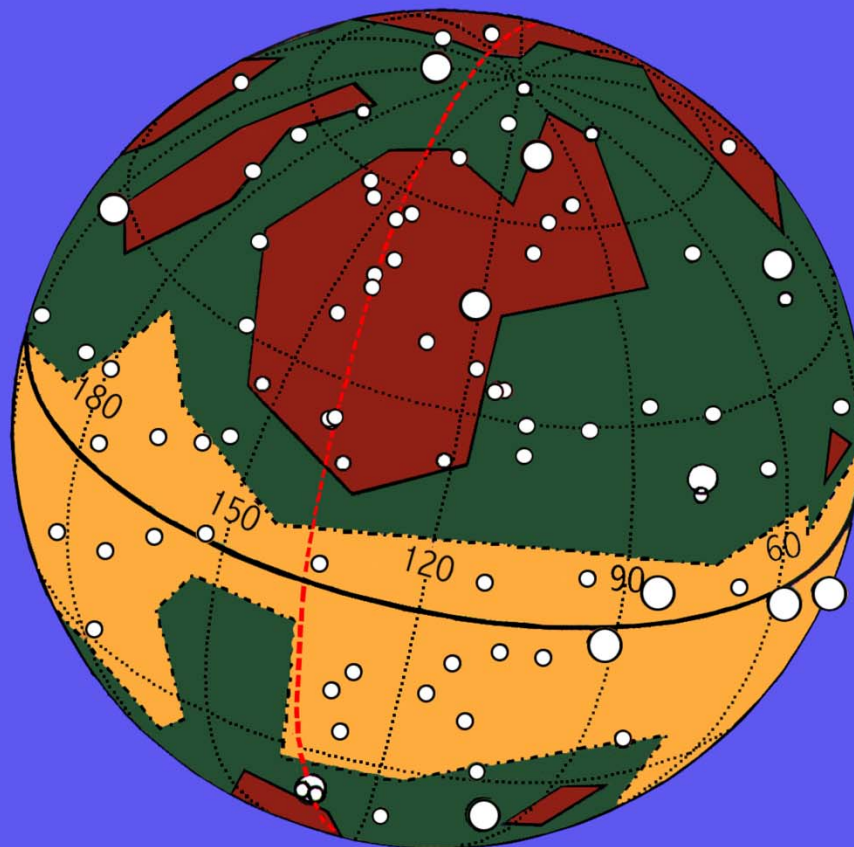
$$\Theta \approx 0.3^\circ \text{ dla } L=1\text{Mpc}, B=1 \text{ nG}, E=100 \text{ EeV}$$

$$\Theta \approx 10^\circ \text{ dla } L=100 \text{ Mpc}, E=300 \text{ EeV}$$

⇒ kierunek do źródła - „astronomia cząstek naładowanych”!



# ROZKŁAD KĄTOWY PROMIENI KOSMICZNYCH NAJWYŻSZYCH ENERGII



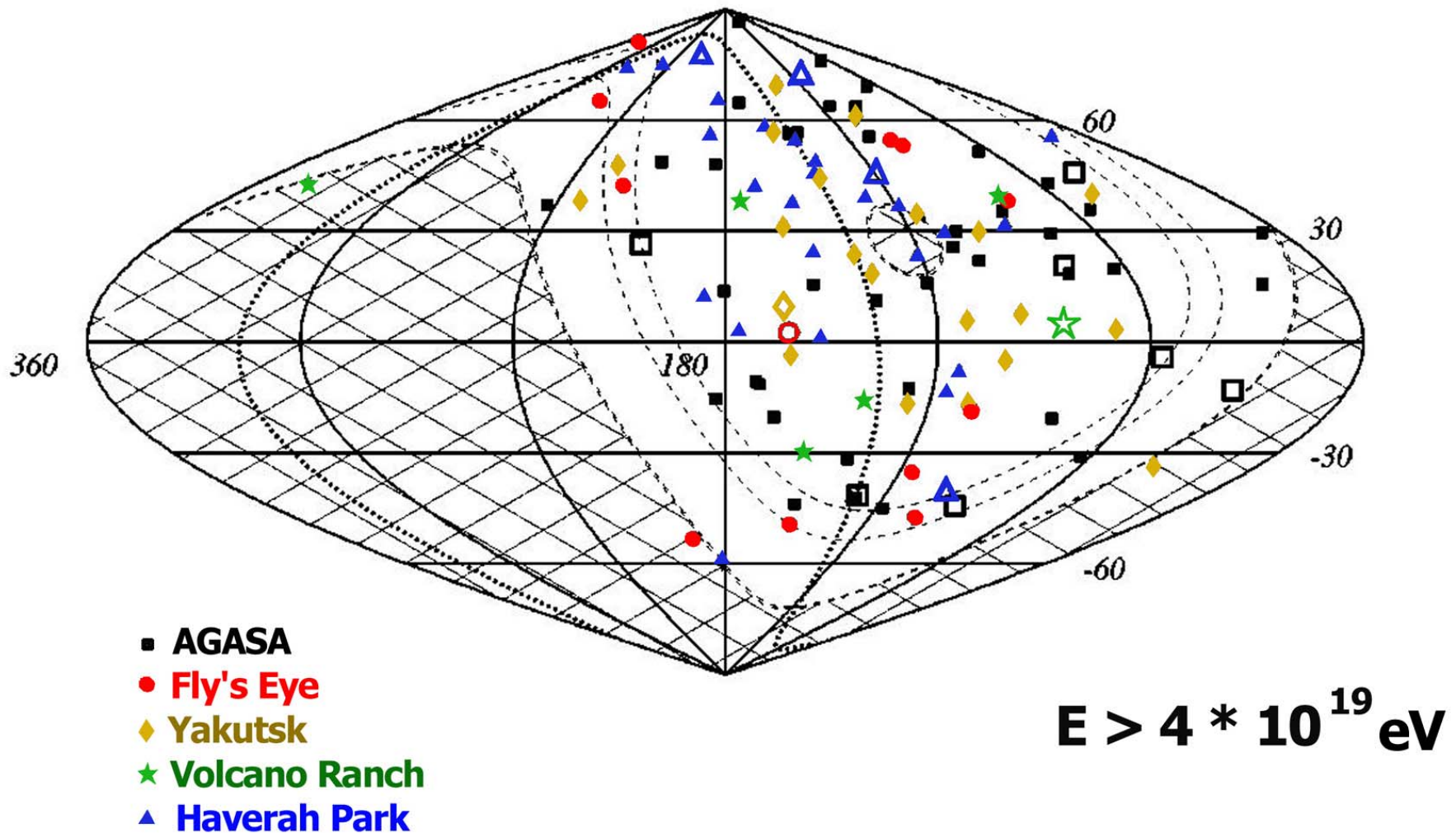
■ Duża koncentracja  
bliskich galaktyk

■ Obszary puste

•  $E > 40 \text{ EeV}$

●  $E > 100 \text{ EeV}$

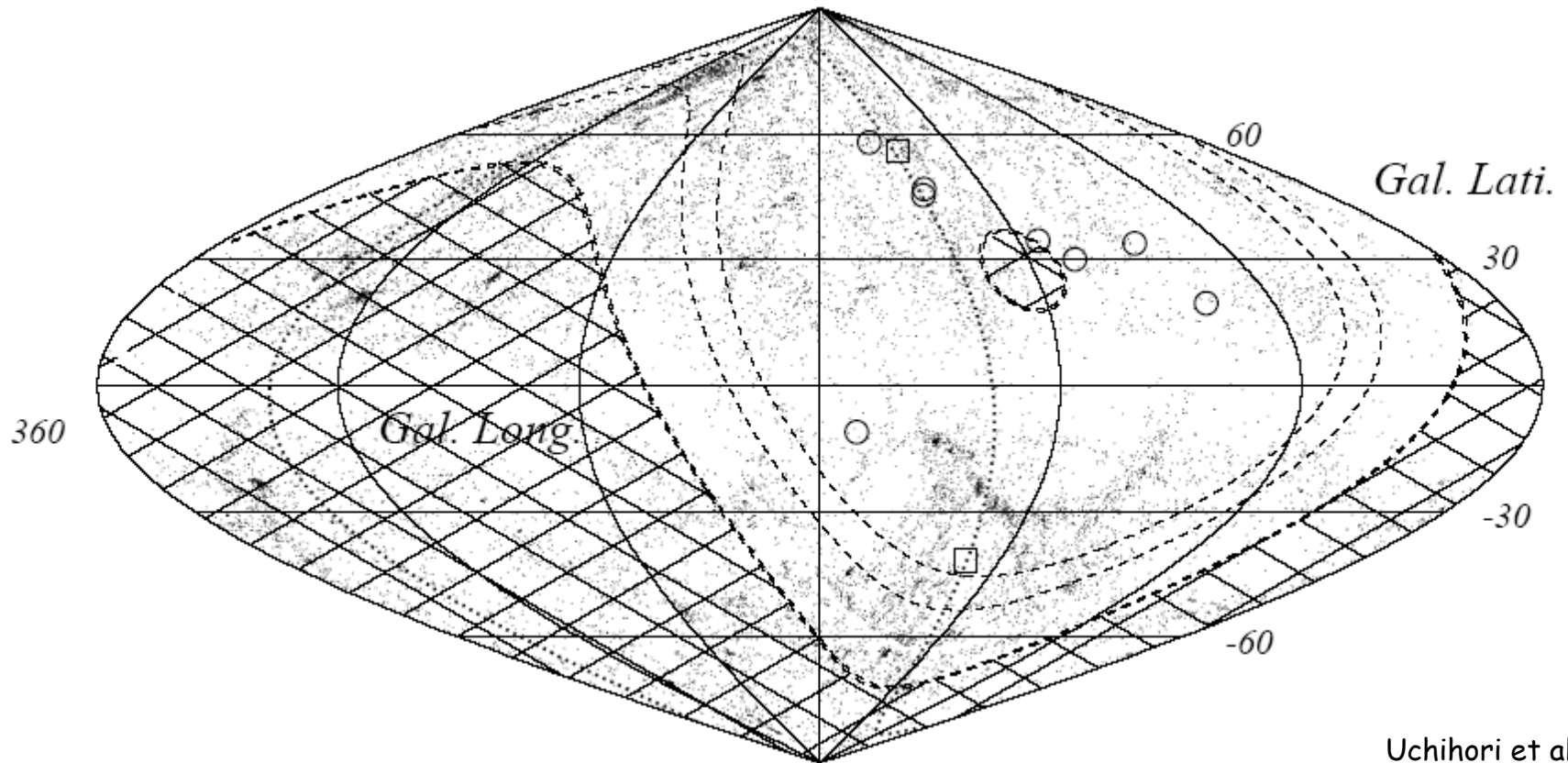
# Rozkład kierunkowy promieni kosmicznych



Izotropia w dużej skali - pochodzenie pozagalaktyczne?

# Rozkład pobliskich galaktyk

Galaktyki w odległościach  $< 100$  Mpc



Uchihori et al. 1999

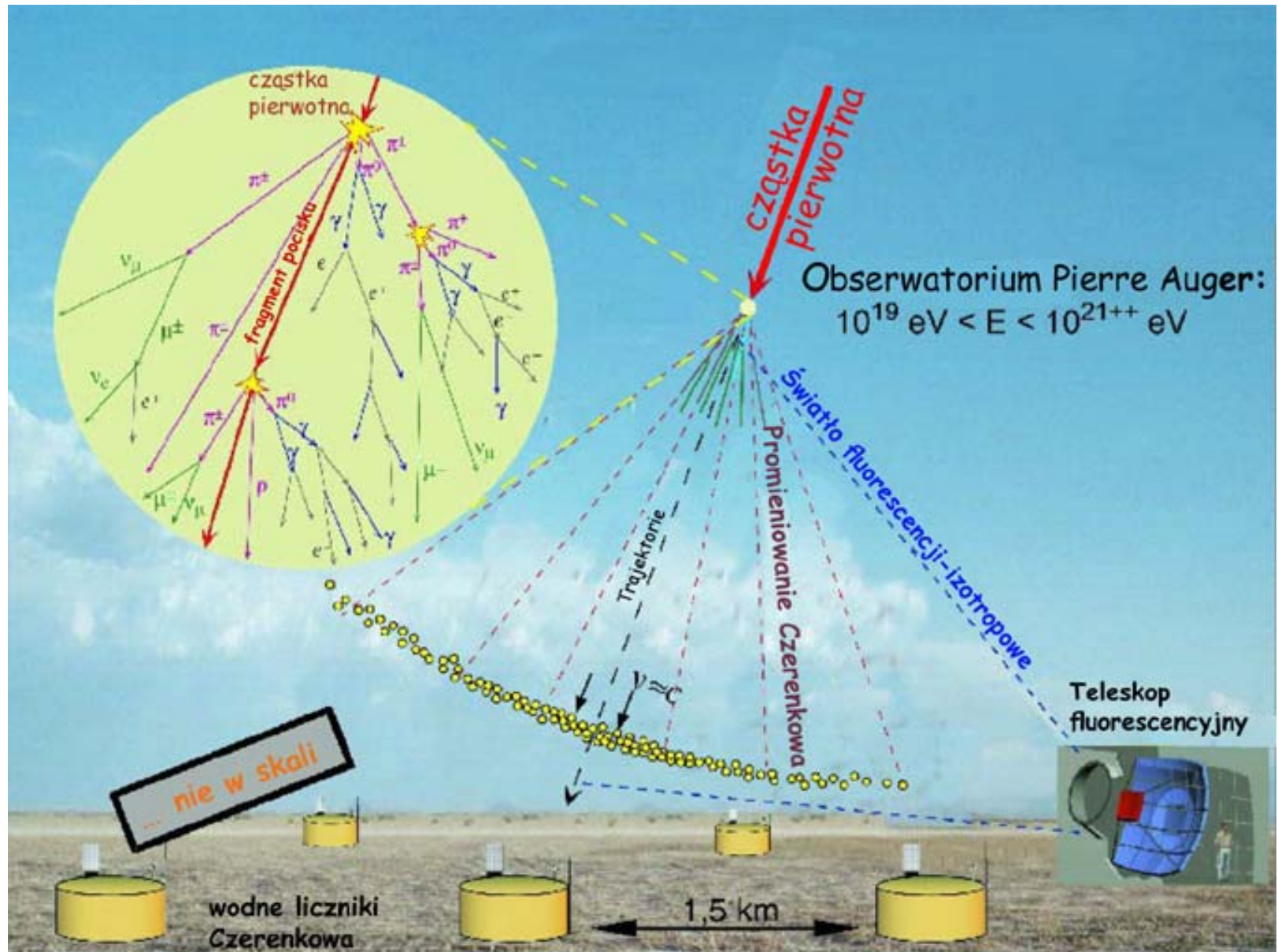
Nie widać korelacji kierunków z rozkładem galaktyk w odległościach  $< 100$  Mpc, ale obserwuje się korelacje w małej skali  $\Delta\Theta < 2.5^\circ$

# Hipotetyczne źródła promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii

- przyspieszanie stopniowe w dużych obiektach  
(proces Fermiego I rzędu)  
np.: radiogalaktyki, zderzenia galaktyk, gromady galaktyk
- silne pola elektromagnetyczne wokół zwartych obiektów  
np.: pulsary (magnetary!)
- źródła błysków gamma (relatywistyczne fale uderzeniowe)
- źródła egzotyczne: defekty topologiczne, cząstki reliktowe, itp.  
np. hipotetyczne cząstki  $X \rightarrow$  kwarki, leptony  $\rightarrow$  promienie kosmiczne

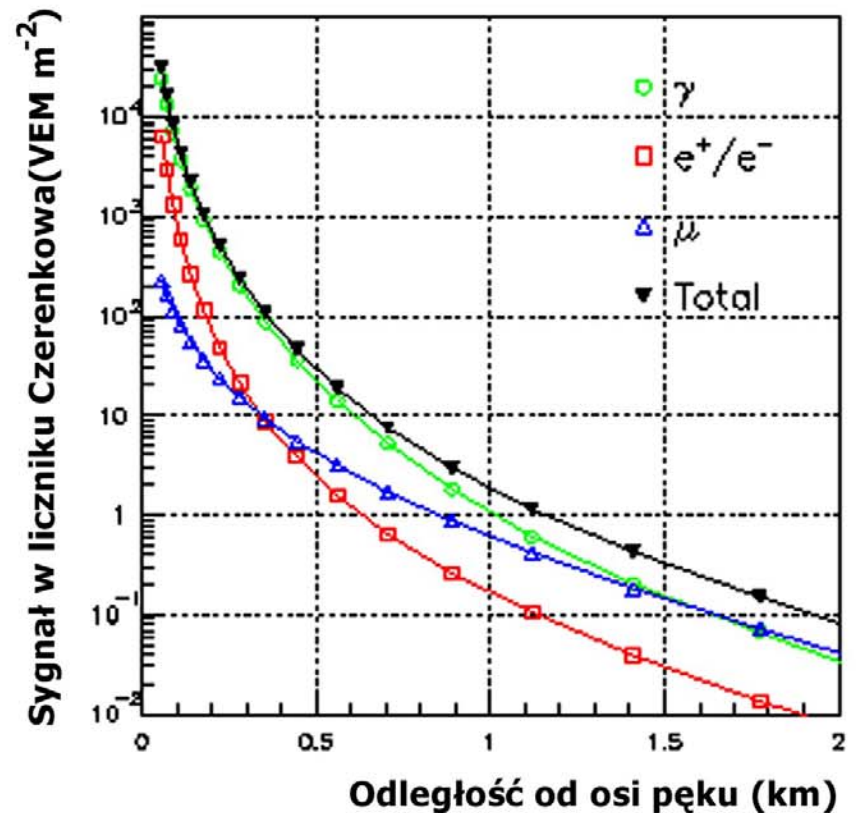
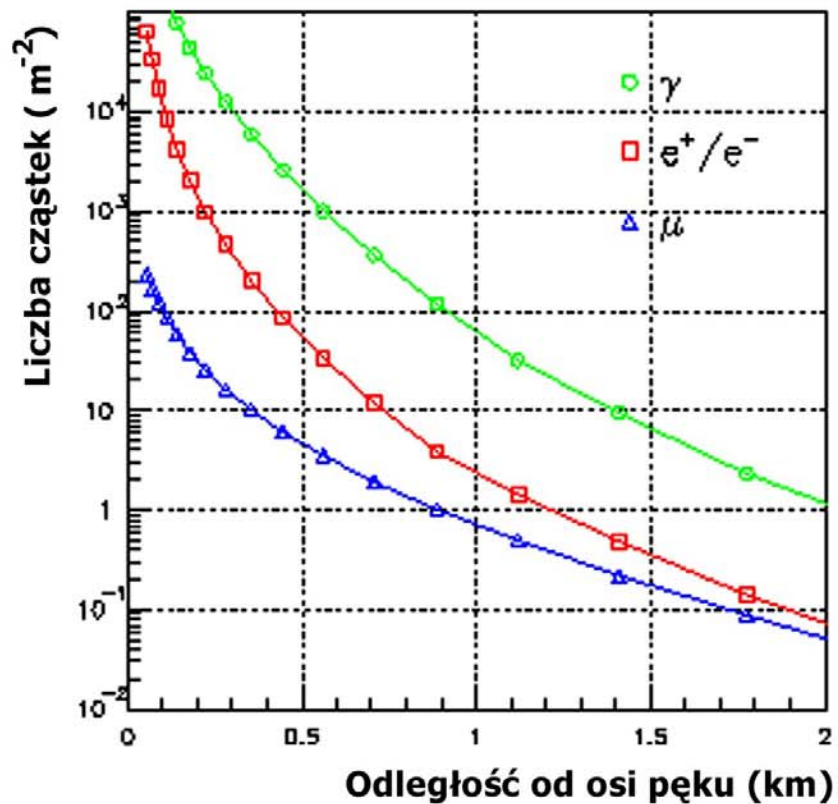


# Wielki pęk atmosferyczny



# Rozkłady poprzeczne cząstek w pęku

proton  $E_0 = 10^{19}$  eV



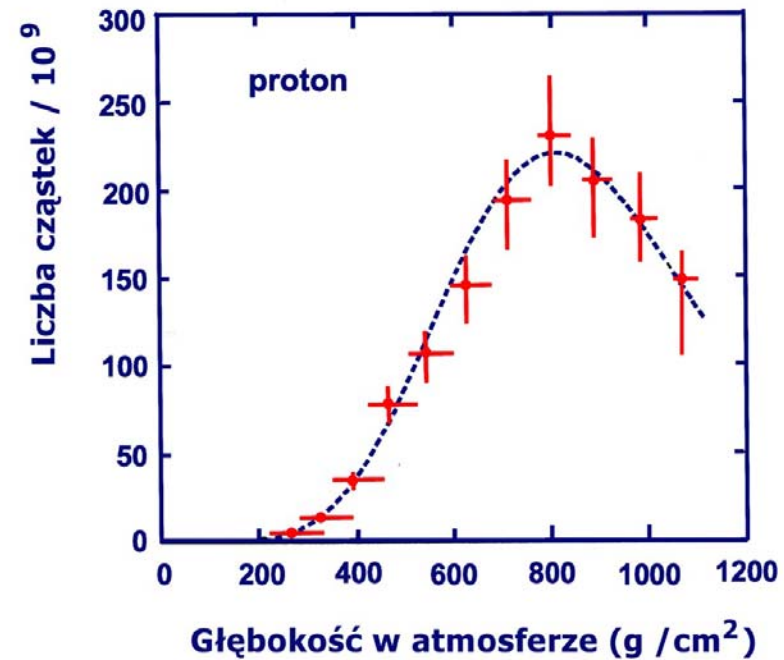
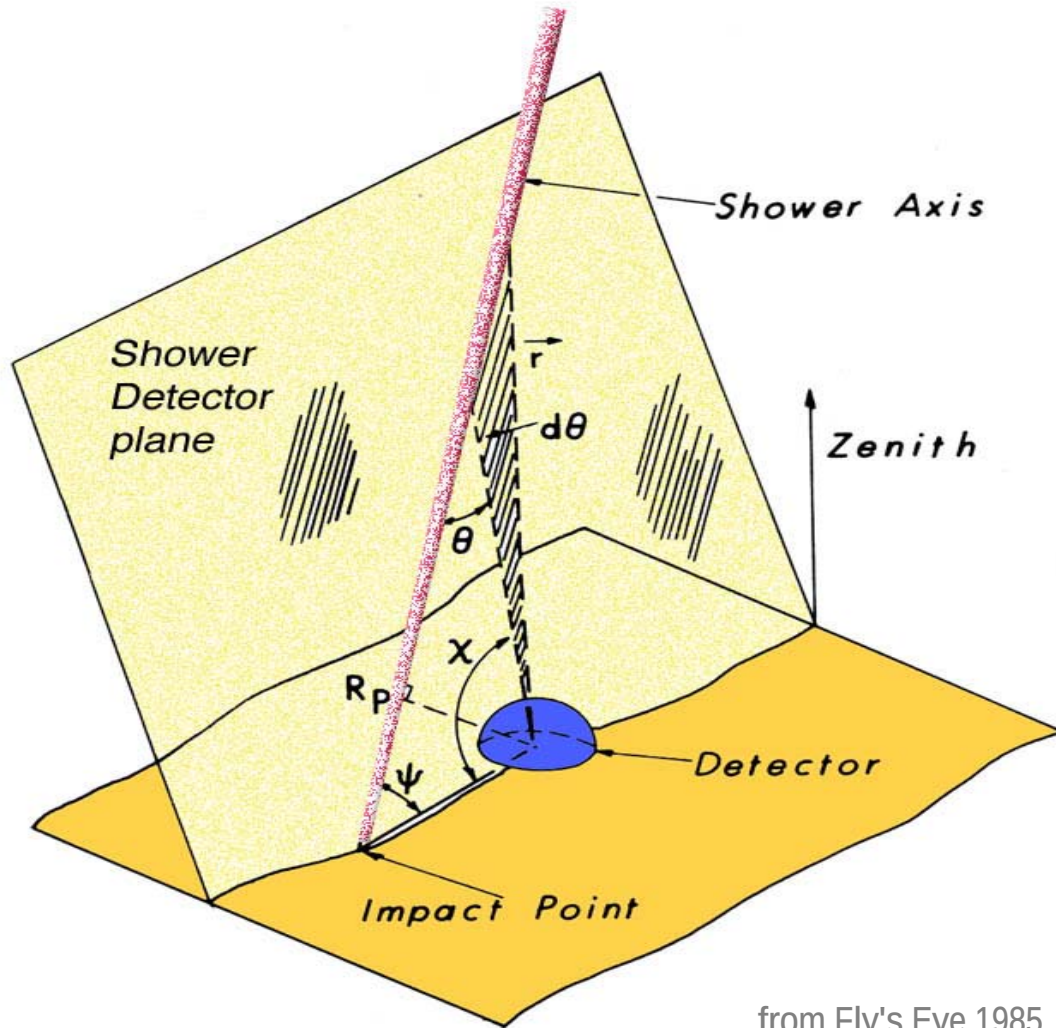


# Sieć detektorów naziemnych

## CASA



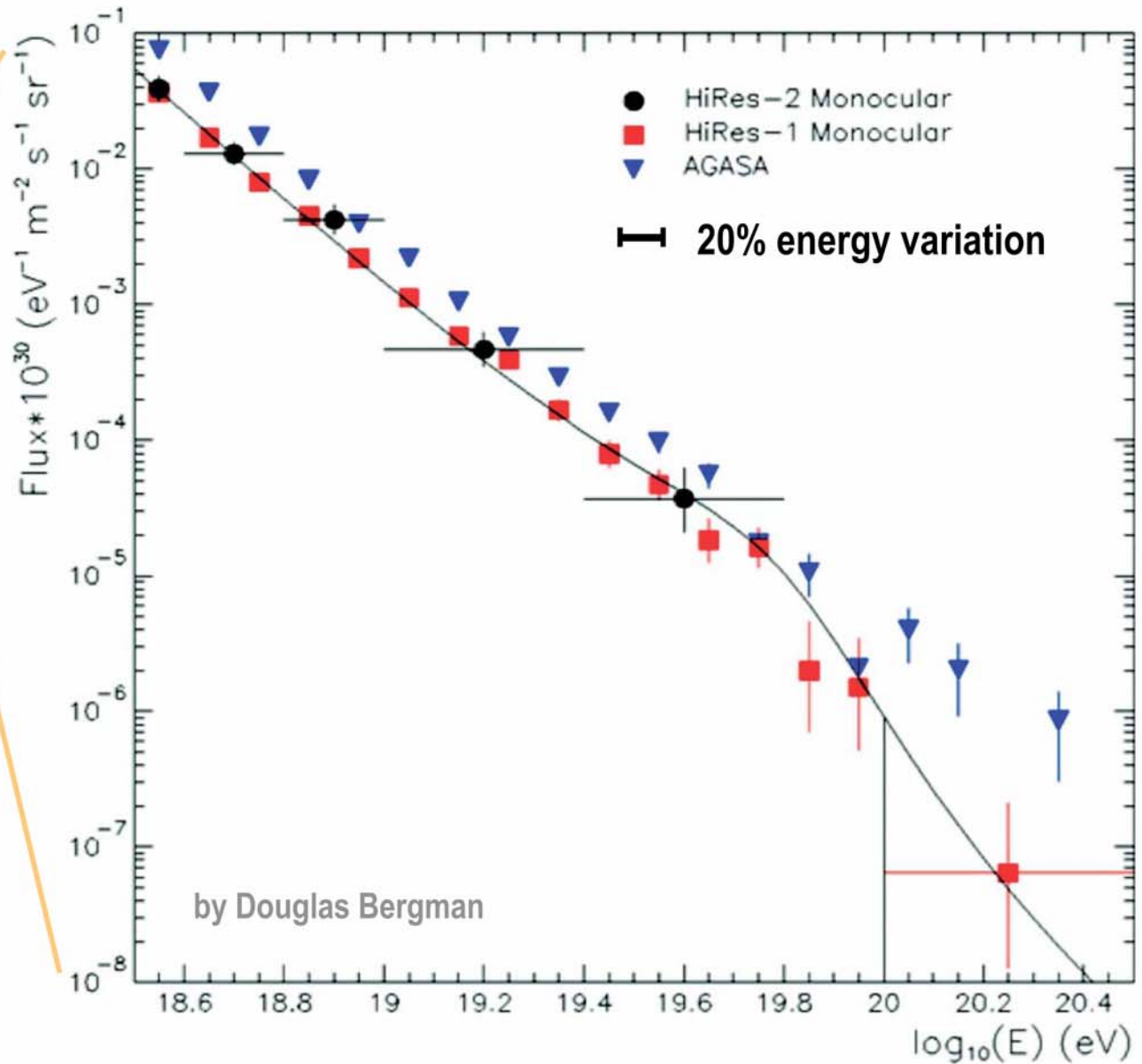
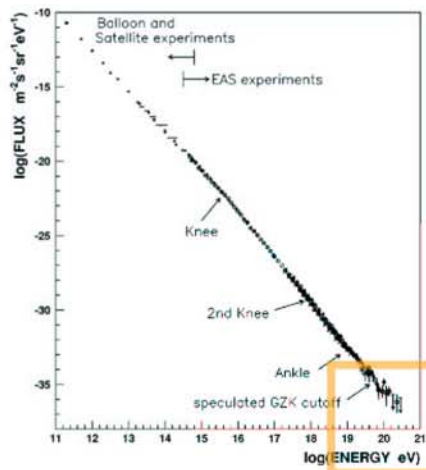
# Detekcja metodą fluorescencyjną



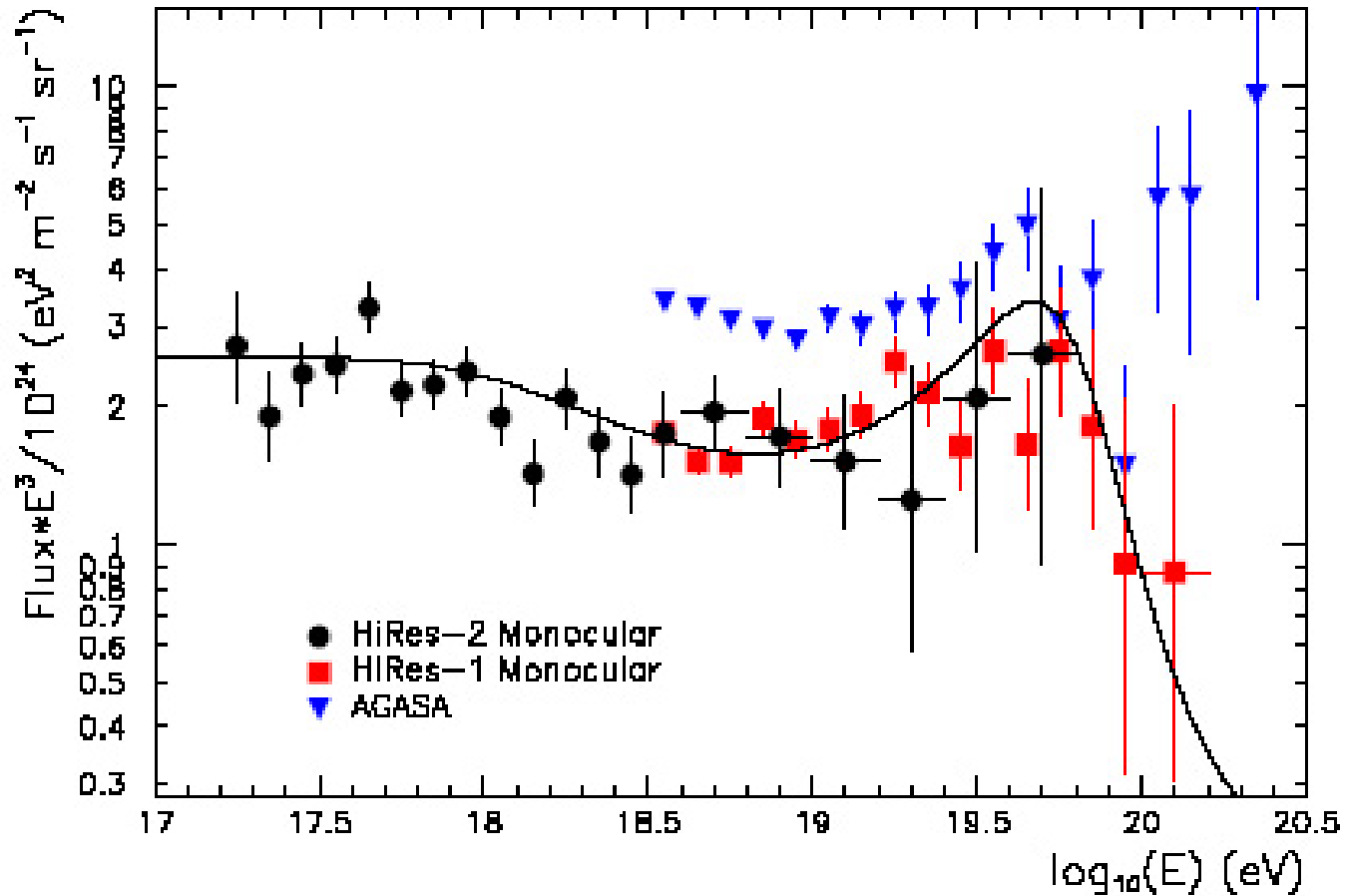
from Fly's Eye 1985



# Widmo AGASA i HiRes



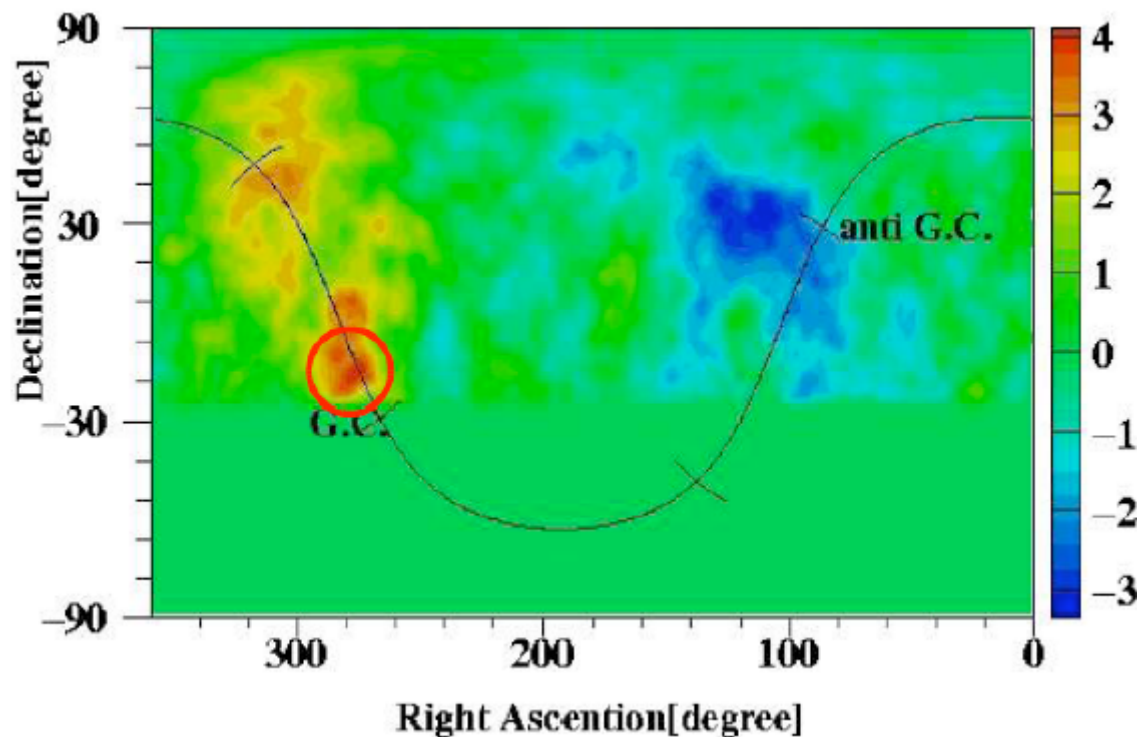
## Widmo AGASA i HiRes



jest obcięcie GZK?

# Anizotropia promieni kosmicznych

**AGASA:** nadmiar  $\sim 4.5\sigma$  blisko centrum Galaktyki  $1 < E < 2.5$  EeV; 20 deg  
413.6 spodziewanych, 506 przyp. obserwowanych (+22%)



**SUGAR:** nadmiar  $\sim 2.9\sigma$   $0.8 < E < 3.2$  EeV; 5.5 deg  
11.8 przyp. spodz., 21.8 przyp. obserw. (+85%)

→ galaktyczne pochodzenie promieni kosmicznych o  $E \sim 1$  EeV?



# Obserwatorium Pierre Auger

Badanie promieni kosmicznych w zakresie najwyższych obserwowanych energii,  $E > 10 \text{ EeV}$ :

skład

lekke czy ciężkie jądra, fotony, neutrina, ??

widmo energii

kształt widma w zakresie efektu GZK

rozkład kierunkowy

anizotropia, źródła punktowe

→ wyjaśnienie ich pochodzenia ???

- obserwacja całego nieba - detektory w Argentynie i w USA
- $2 * 3000 \text{ km}^2$  → duża statystyka danych
- hybrydowa detekcja wielkich pęków: dwa układy detektorów

> 350 uczestników

~70 instytucji w 17 krajach (z Polski: IFJ PAN + Uniw. Łódzki)

# LOKALIZACJA PÓŁNOCNEGO I POŁUDNOWEGO OBSERWATORIUM PIERRE AUGER



**LOKACJA PÓŁNOCNA:  
PROWERS COUNTY,  
COLORADO (USA)**

**320 km (S-E) od Denver**

**Wysokość npm : 1125 m**

**Szerokość geogr : 37,45N**

**Długość geogr : 102,45W**

**LOKACJA POŁUDNIOWA :  
EL NIHUIL, MENDOZA  
ARGENTYNA**  
**80 km (S-W) od San Rafael**

**Wysokość npm : 1300 m**

**Szerokość geogr : 35,2 S**

**Długość geogr : 69,2 W**



# Kampus południowego Obserwatorium Pierre Auger

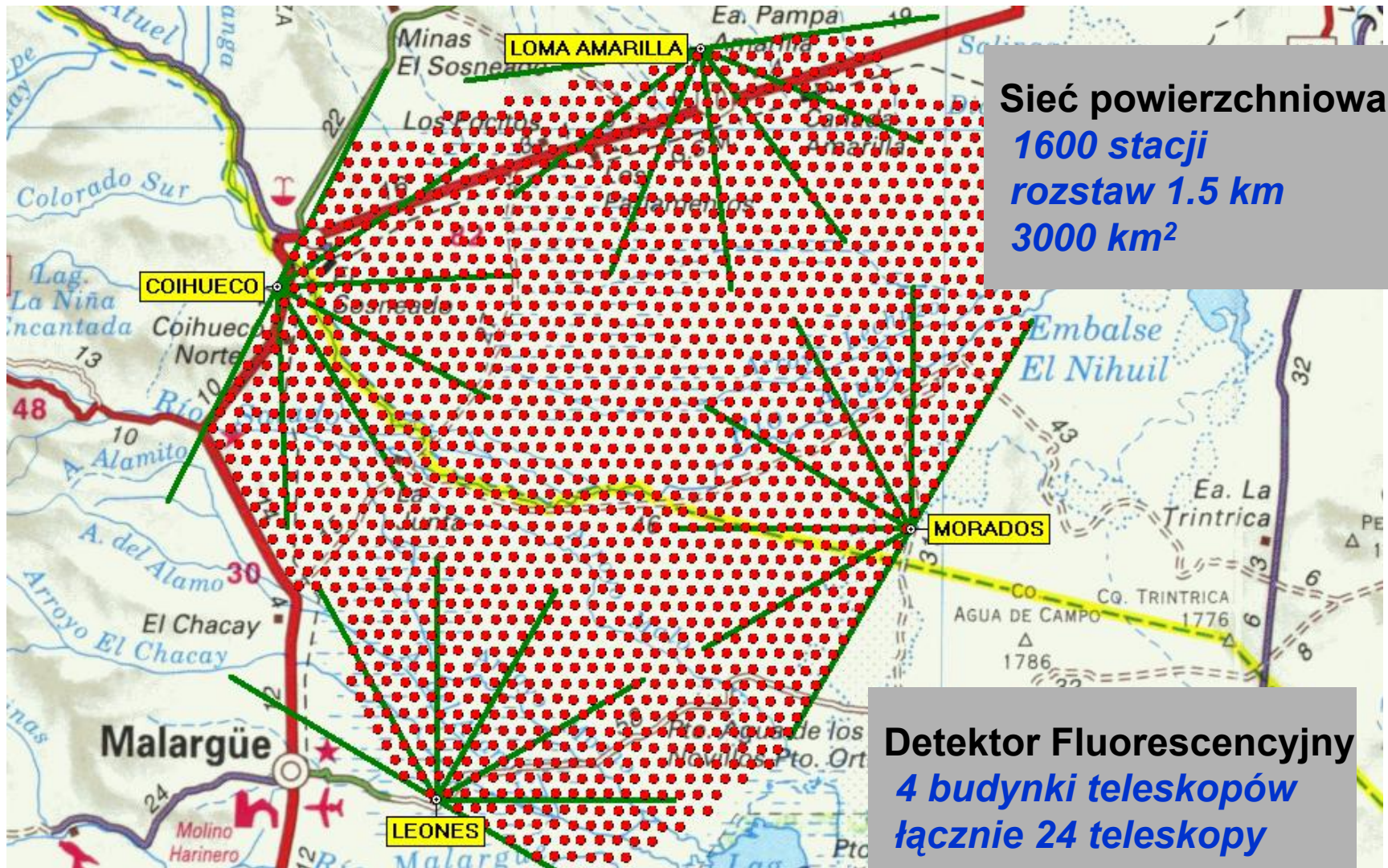


<http://auger.ifj.edu.pl>

[www.auger.org](http://www.auger.org)

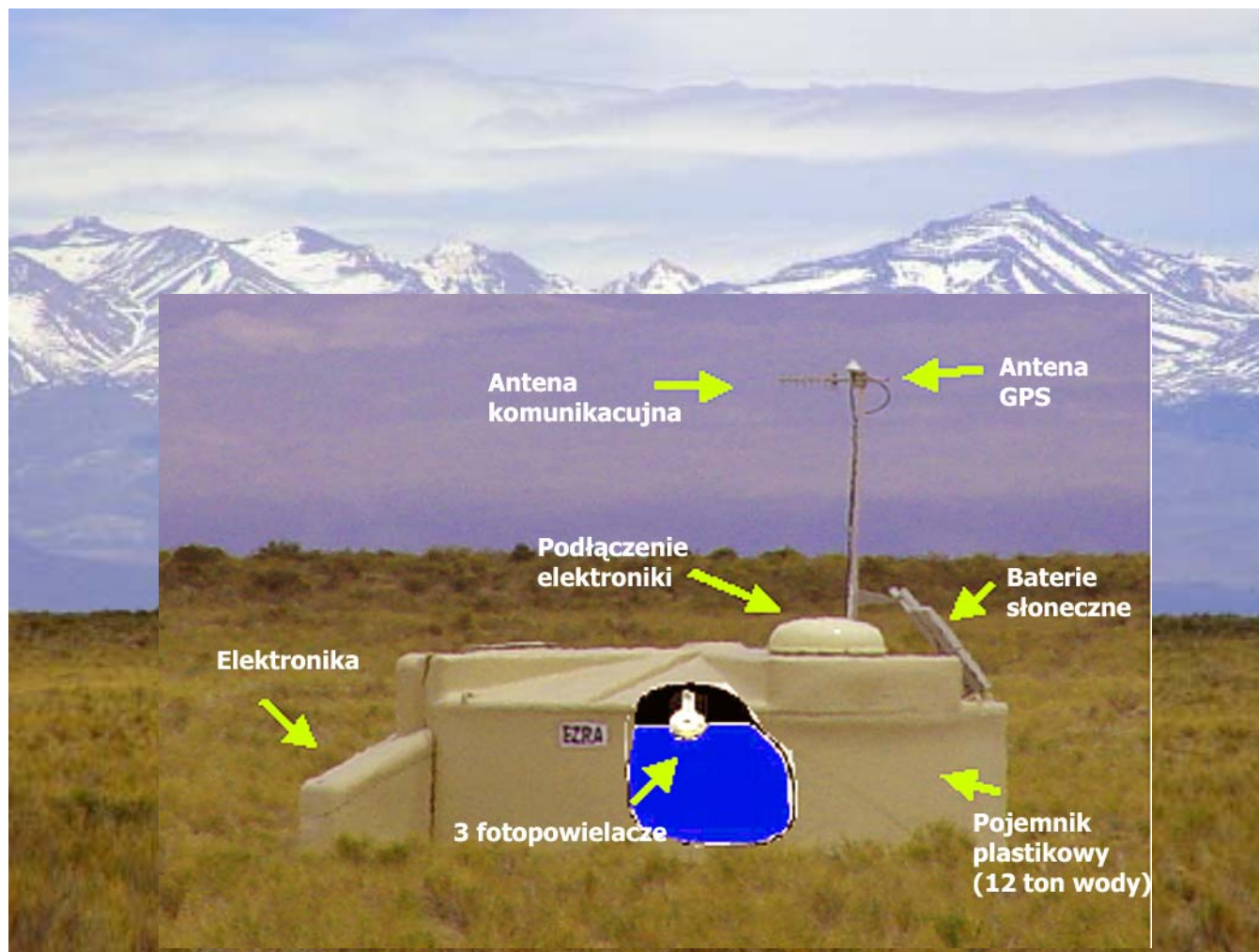


# Plan Obserwatorium Pierre Auger





# Detektor naziemny

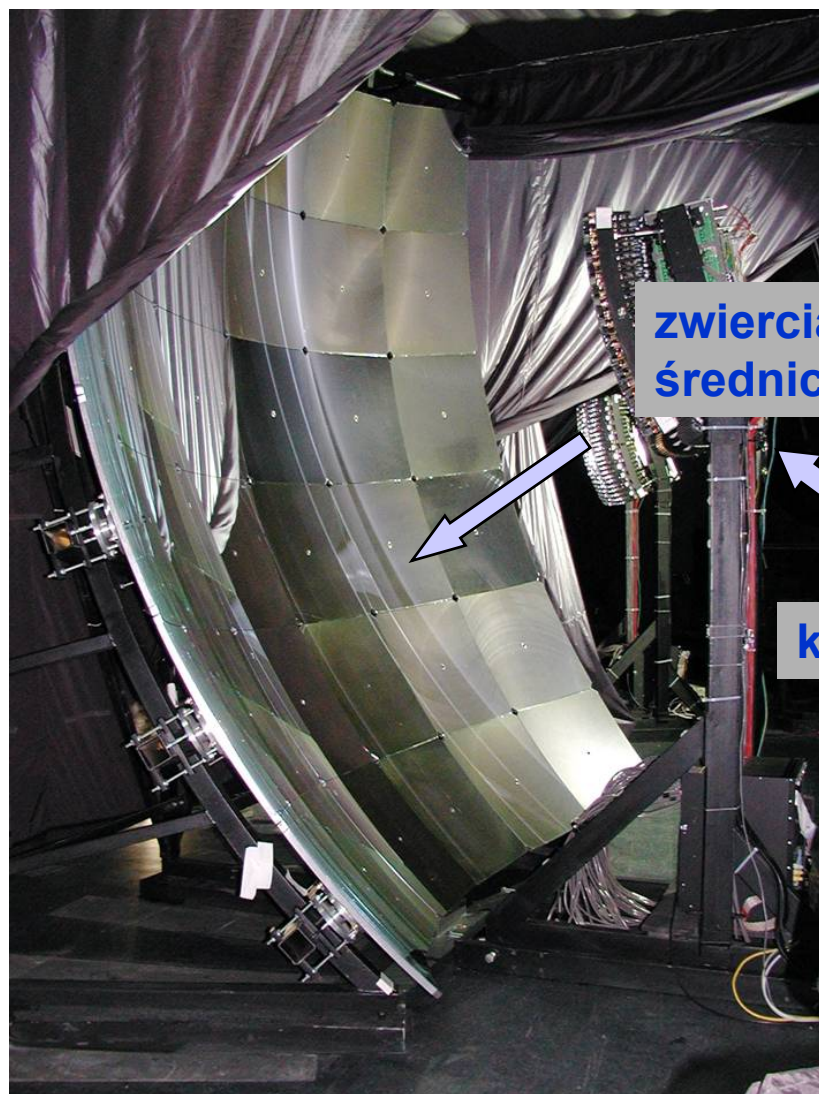


# Rozmieszczanie detektorów powierzchniowych



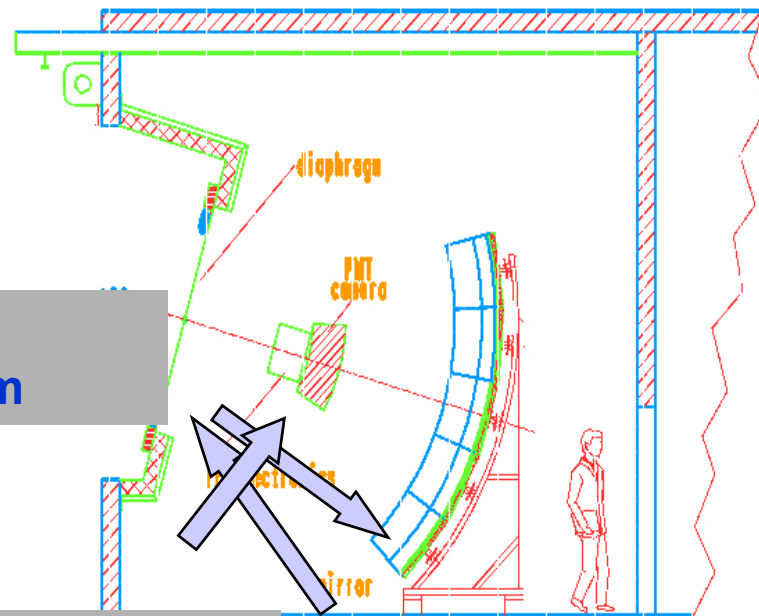


# Detektor Fluorescencyjny

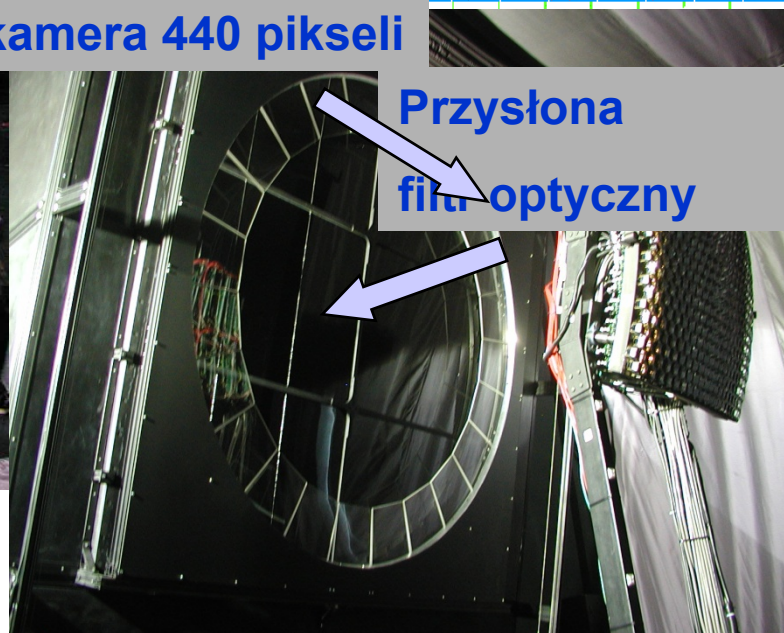


zwierciadło  
średnicy 3.4 m

kamera 440 pikseli

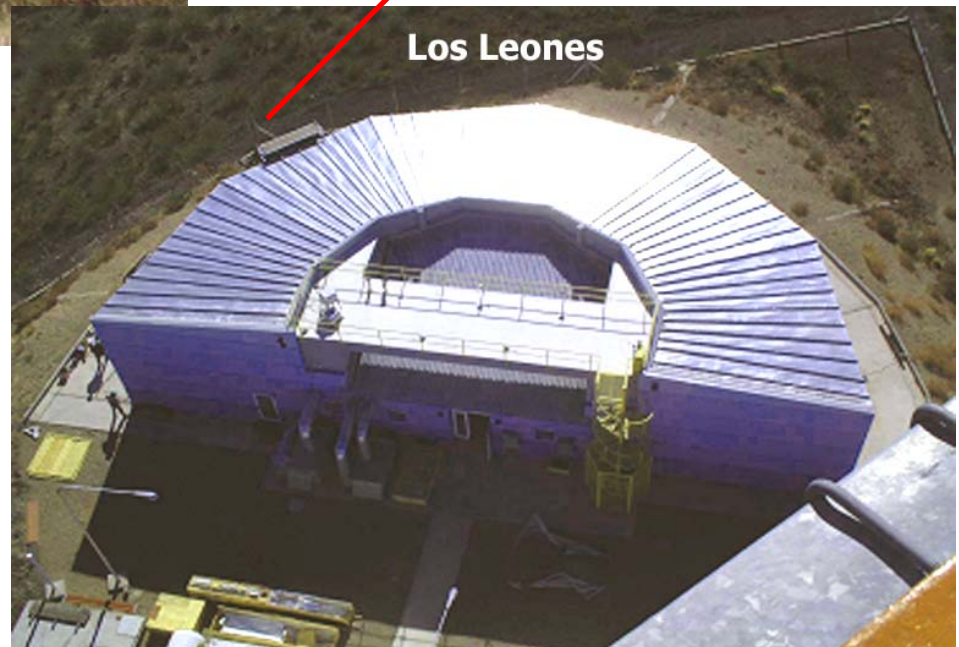
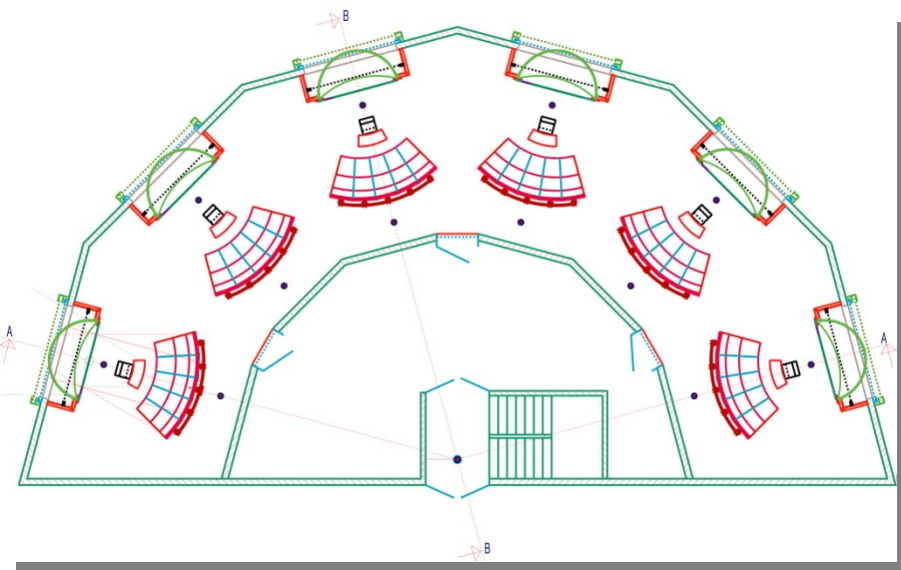
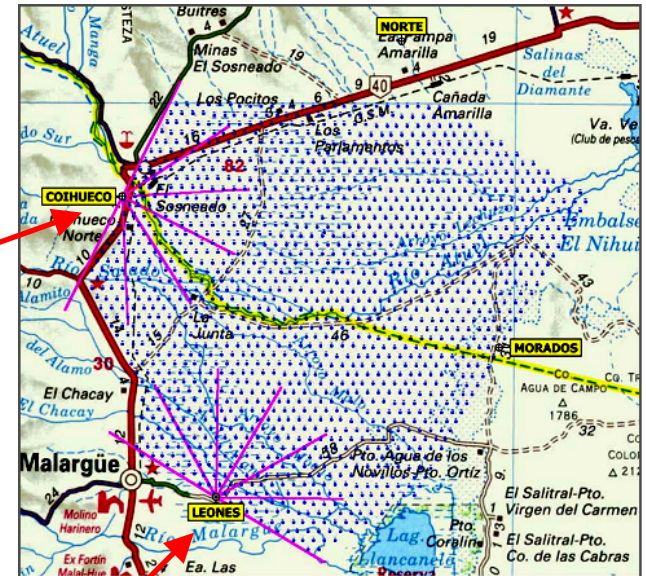
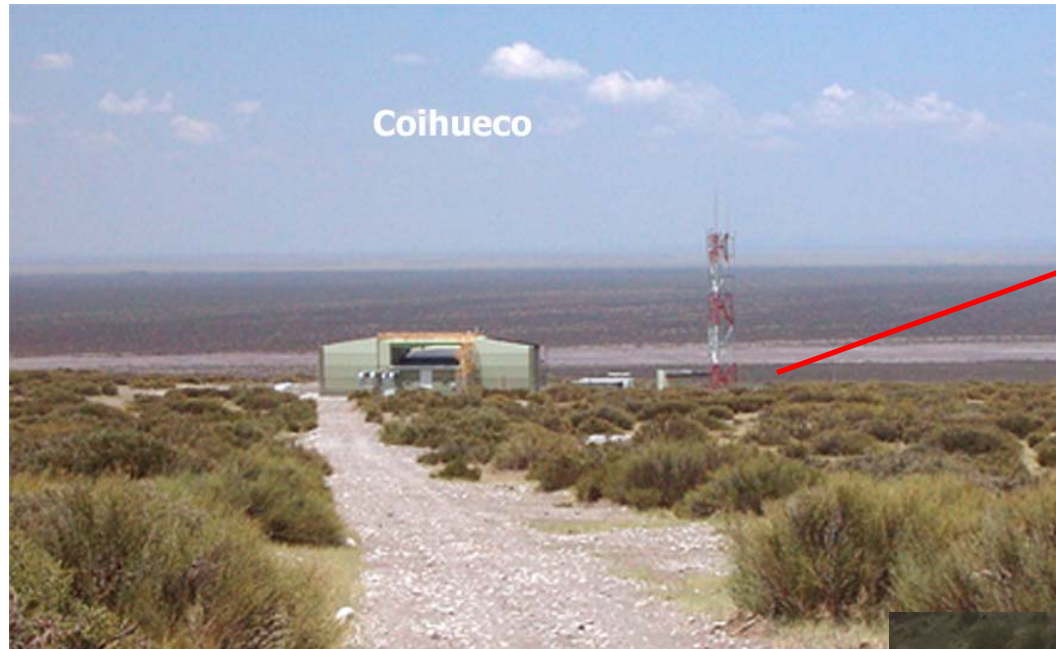


Przysłona  
filtr optyczny





# Detektory fluorescencyjne





# Obserwatorium Pierre Auger już działa!

Budowa południowej części Obserwatorium w Argentynie została ukończona

Akwizycja pełnowartościowych danych pomimo trwającej budowy

Dotychczasowe rezultaty Auger

Nie obserwuje się nadmiaru z centrum Galaktyki

anizotropii wielkoskalowej (dipol)

klasteryzacji [AGASA]

Brak znaczącej korelacji z obiektami typu BL Lac [HiRes]

Obserwacja efektu GZK

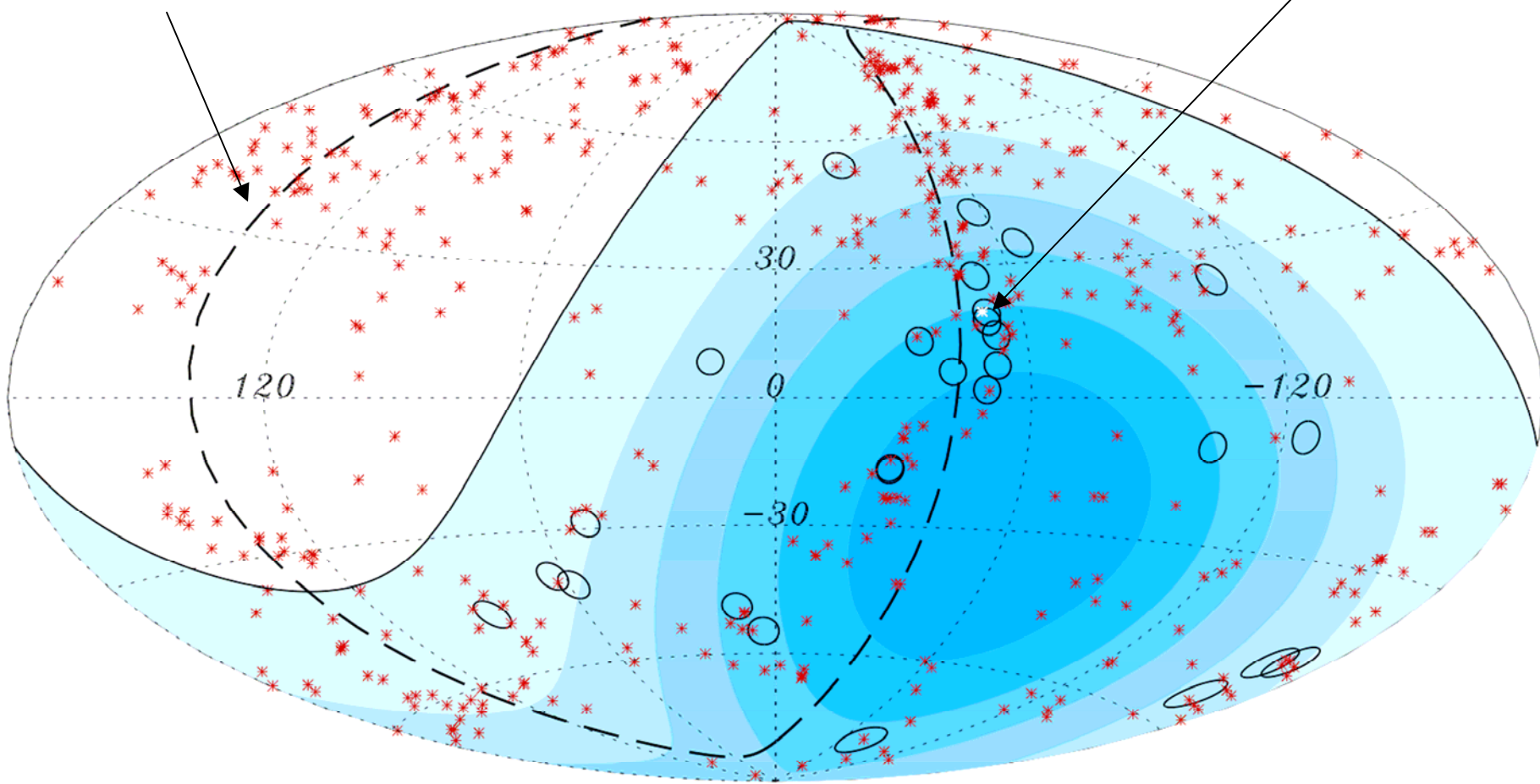
# Korelacja z aktywnymi jądrami galaktyk

\* 472 AGN  $d < 75$  Mpc  
(318 w polu widzenia Auger)

○ przyp.  $E > 57$  EeV

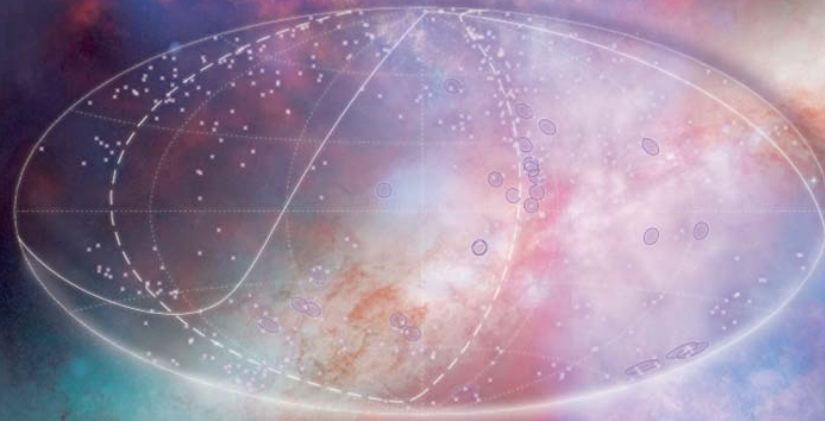
płaszczyzna Supergalaktyki

Cen A



# Science

9 November 2007 | \$10

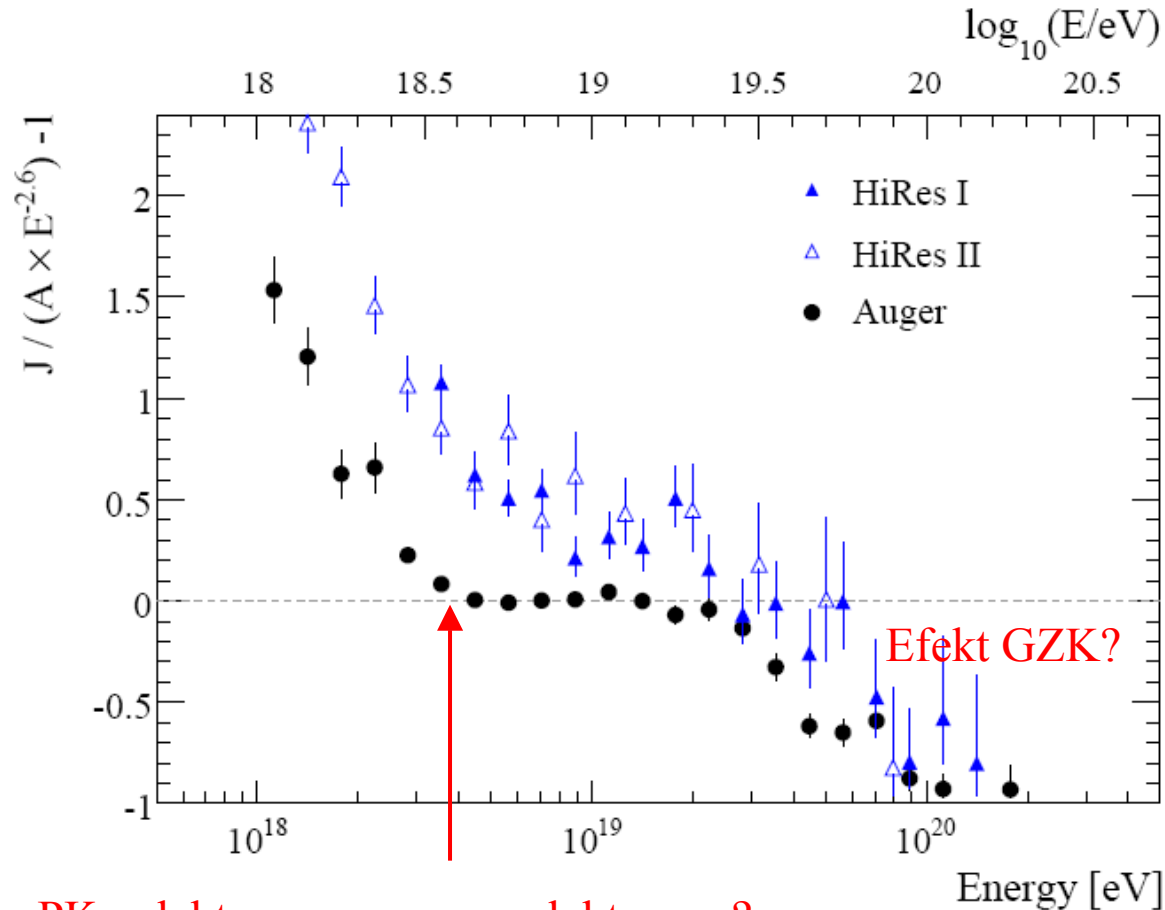




# Centaur A



# Widmo energii 2009



PK galaktyczne  $\rightarrow$  pozagalaktyczne?

Źródła pozagalaktyczne przy najwyższych energiach

# Podsumowanie

Dotychczasowe dane nie pozwalały na rozstrzygnięcie

czy istnieje obcięcie GZK w widmie energii?

czy istnieją „punktowe” źródła promieni kosmicznych?

jaki jest skład promieni kosmicznych?

Źródła promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii pozostają nieznane

Obserwatorium Pierre Auger dostarcza potrzebnych danych  
eksperymentalnych:

duża szansa na odkrycia w dziedzinie astrofizyki i/lub fizyki cząstek

→ znakomite perspektywy pracy badawczej!