

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: $\sim 30\text{ kpc}$

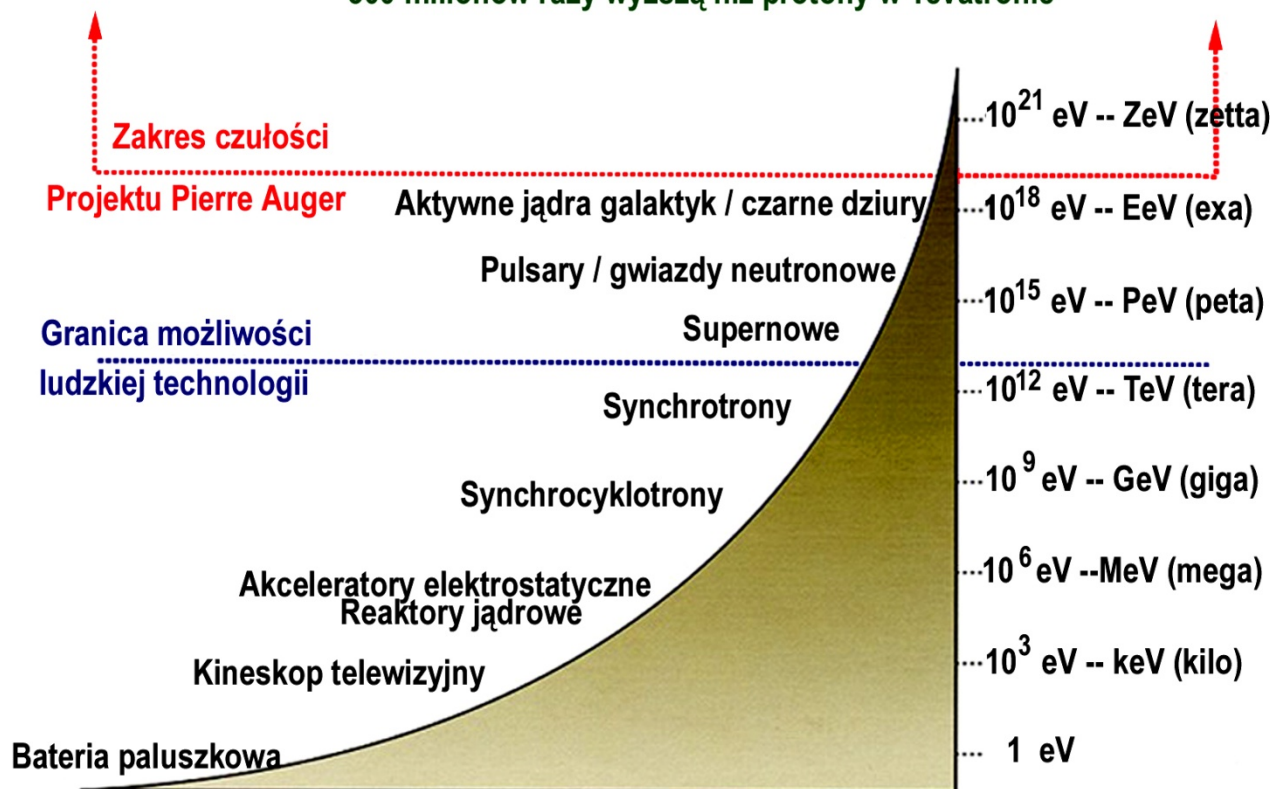
odległości do kwazarów: $> 500\text{ Mpc}$

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

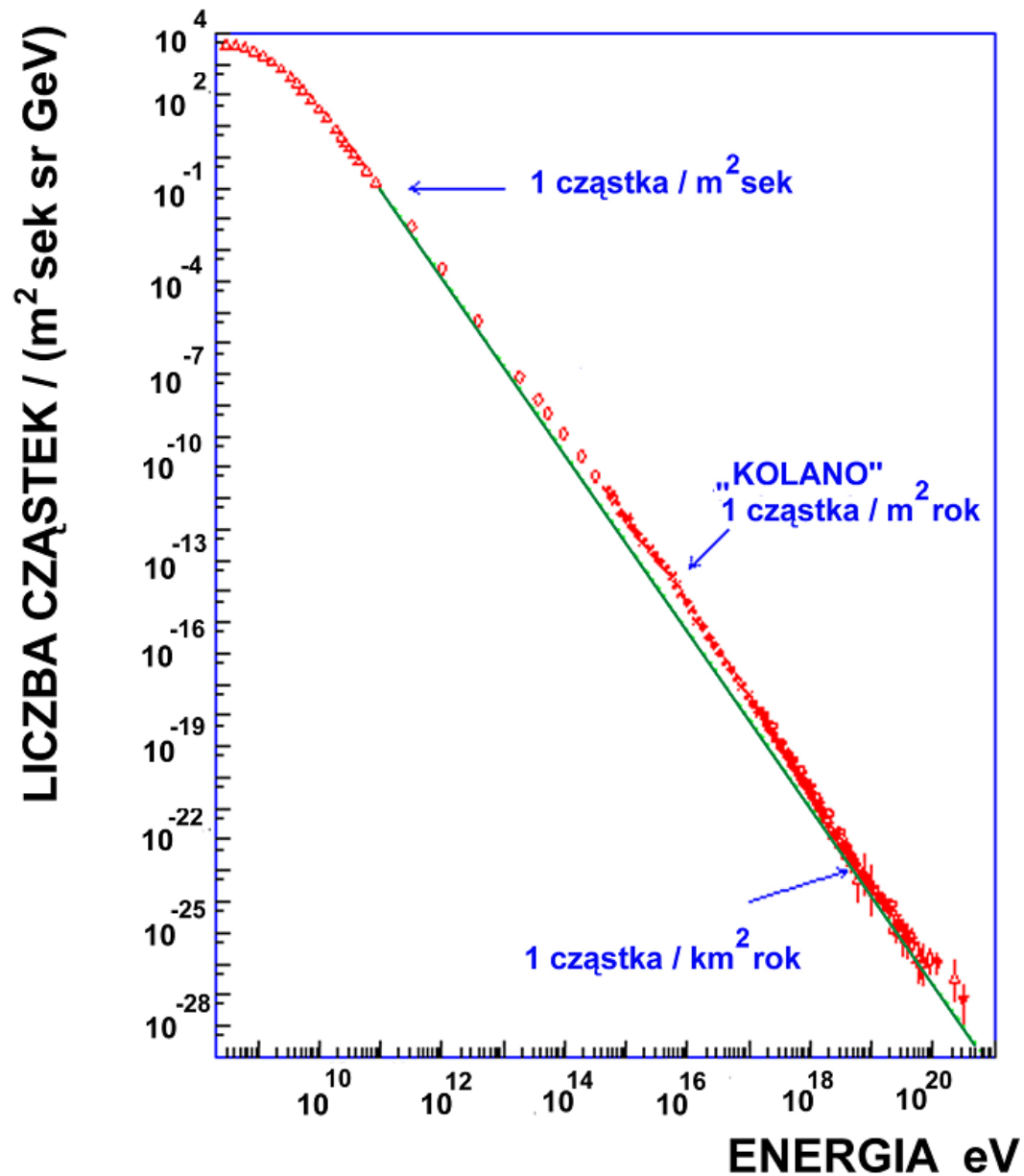
Skala energii

ENERGIA	NOTACJA NAUKOWA	SKRÓT	WZGLĘDEM 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

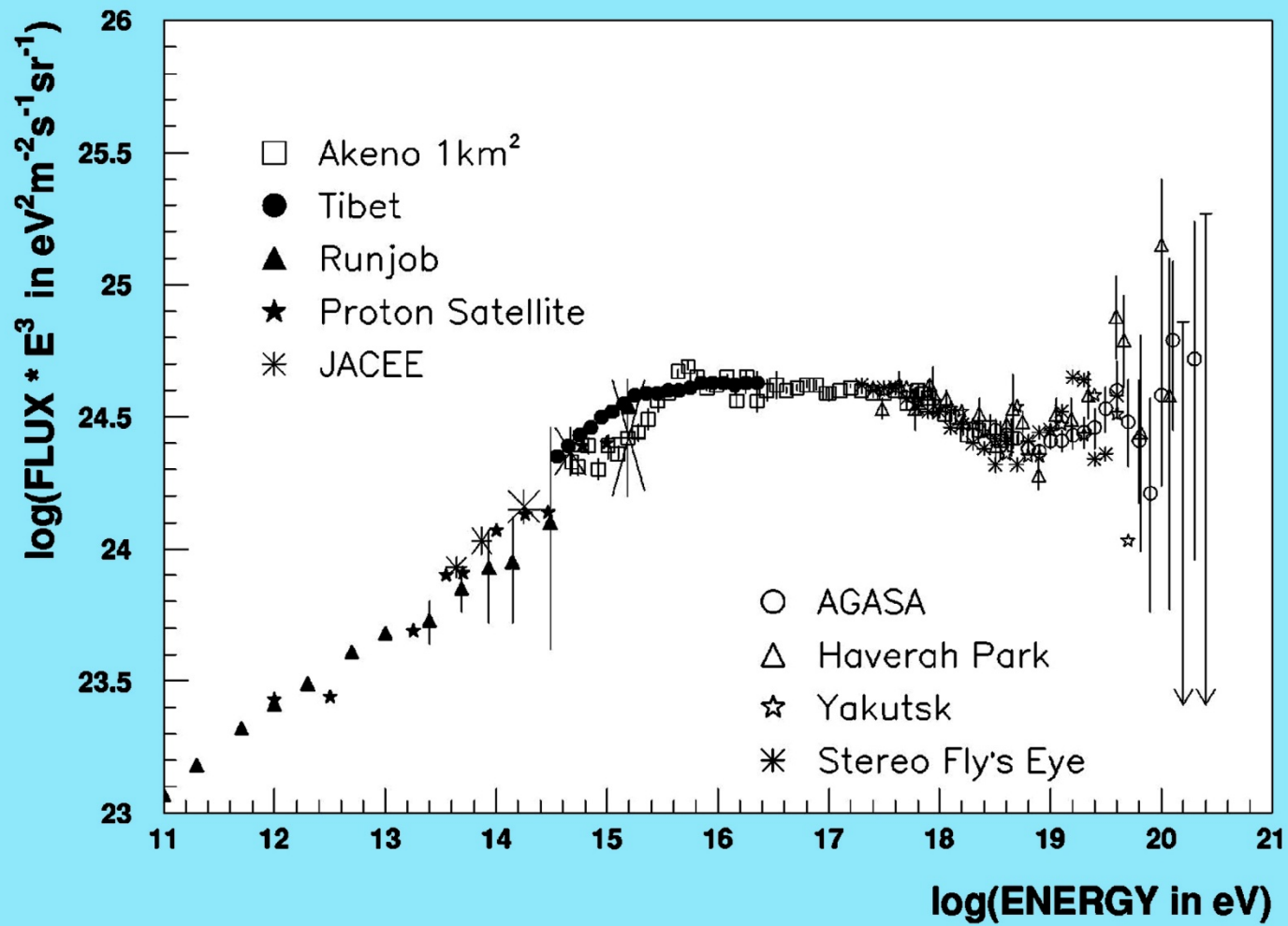
Najwyższej energii cząstka promieni kosmicznych ma energię
300 milionów razy wyższą niż protony w Tevatronie



Widmo energii promieni kosmicznych

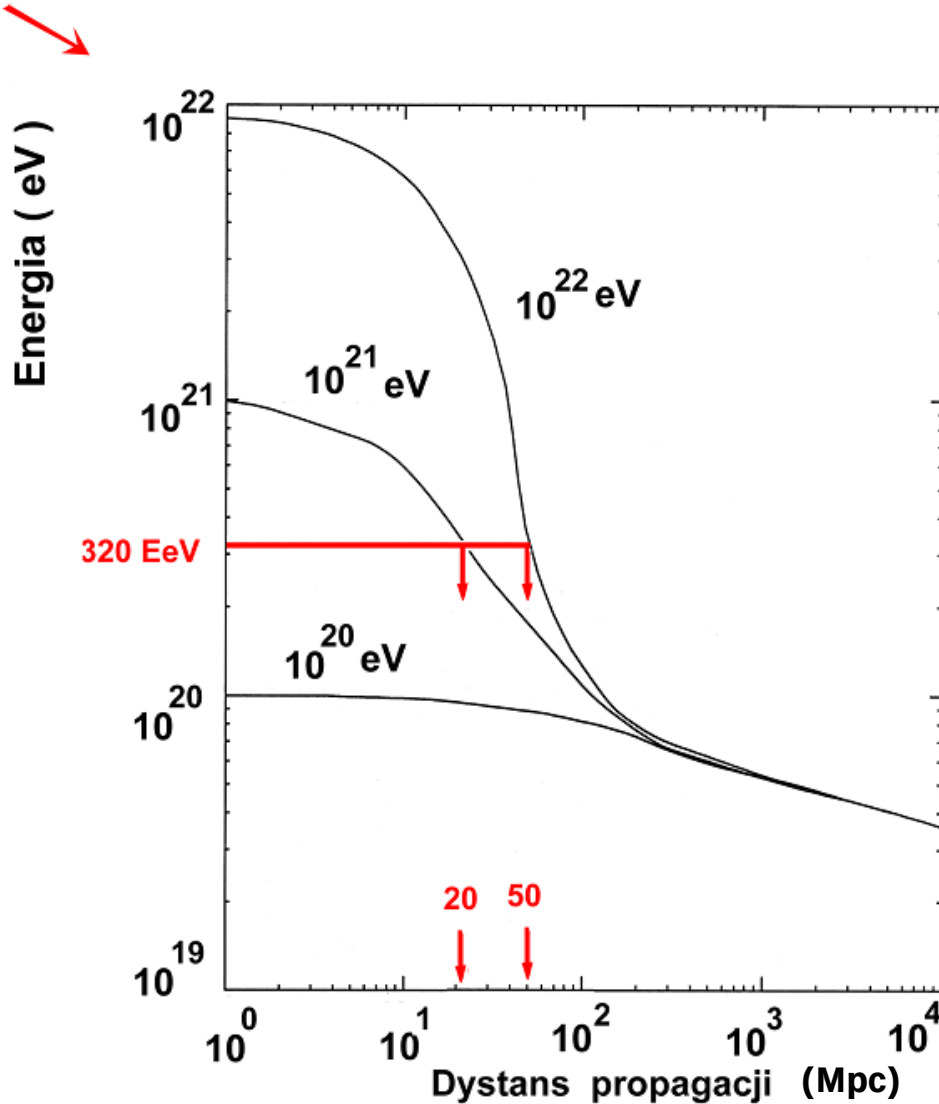


WIDMO PROMIENI KOSMICZNYCH



Obcięcie Greisena-Zatsepina-Kuzmina (GZK)

Energia
u źródła

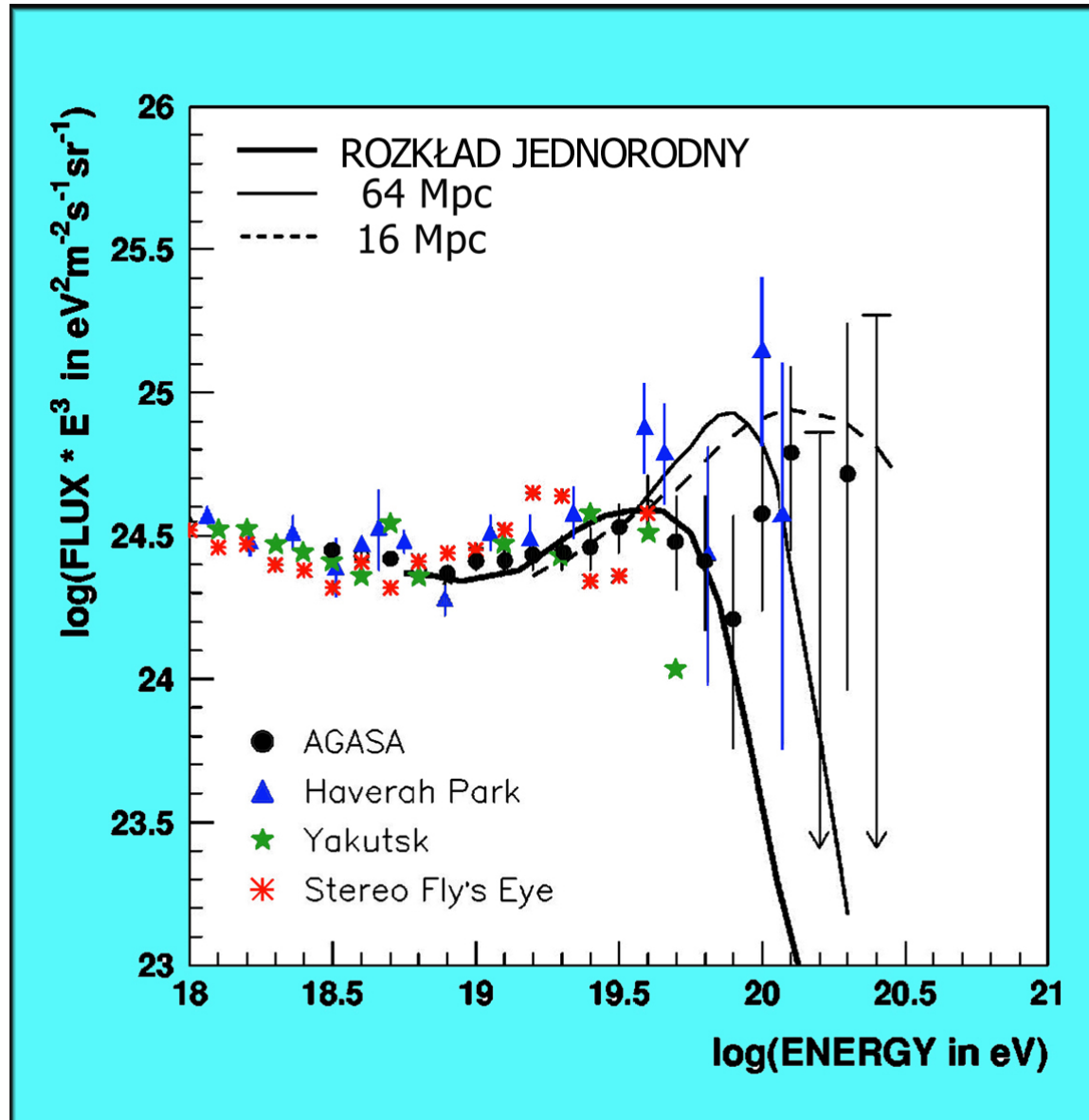


ODDZIAŁYWANIA Z MIKROFALOWYM PROMIENIOWANIEM
RELIKTOWYM PRZY $E \gtrsim 5 \cdot 10^{19}$ eV

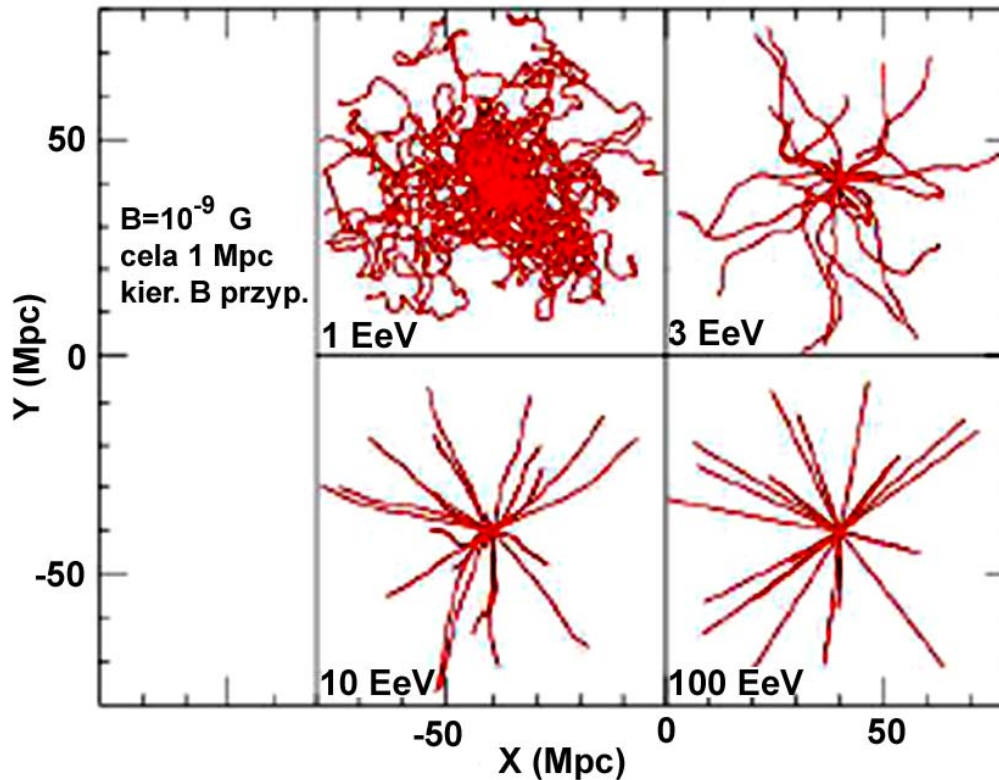
- FOTOPRODUKCJA : $p\gamma_{2.7} \rightarrow p\pi^0$
 $n\pi^+$

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

Efekt GZK w widmie energii



Propagacja promieni kosmicznych poza Galaktyką



rzut trajektorii 3D
na płaszczyznę XY

Odchylenie toru przy skrajnie wysokich energiach

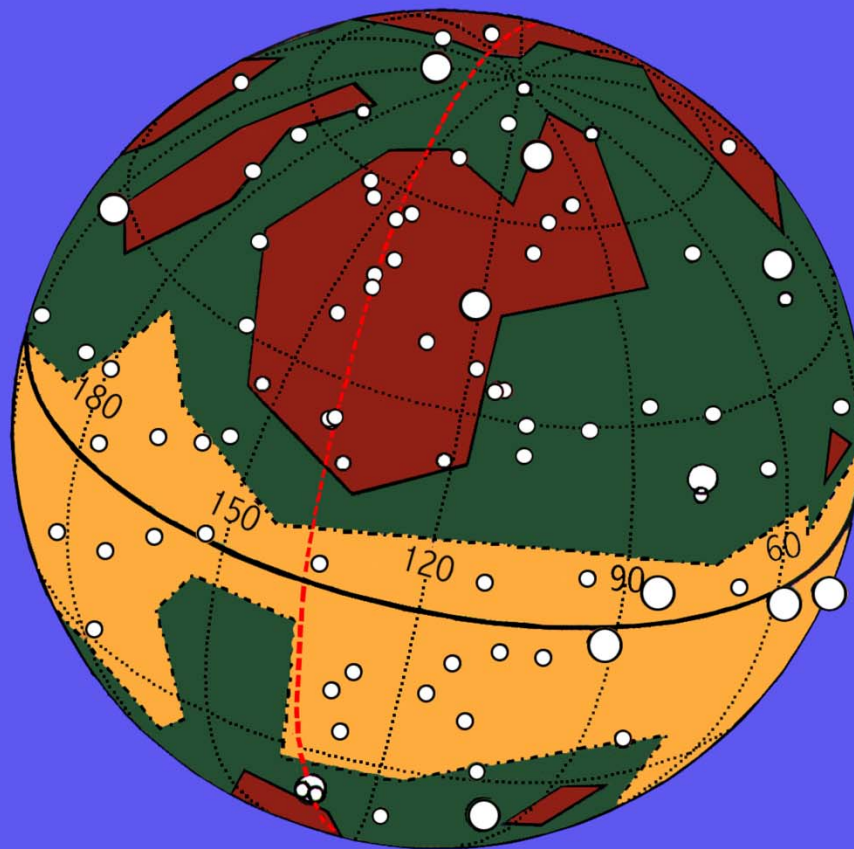
$$\Theta \approx 0.3^\circ (L_{\text{Mpc}} Z B_{\text{nG}}) / E_{20}$$

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

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

⇒ kierunek do źródła - „astronomia cząstek naładowanych”!

ROZKŁAD KĄTOWY PROMIENI KOSMICZNYCH NAJWYŻSZYCH ENERGII



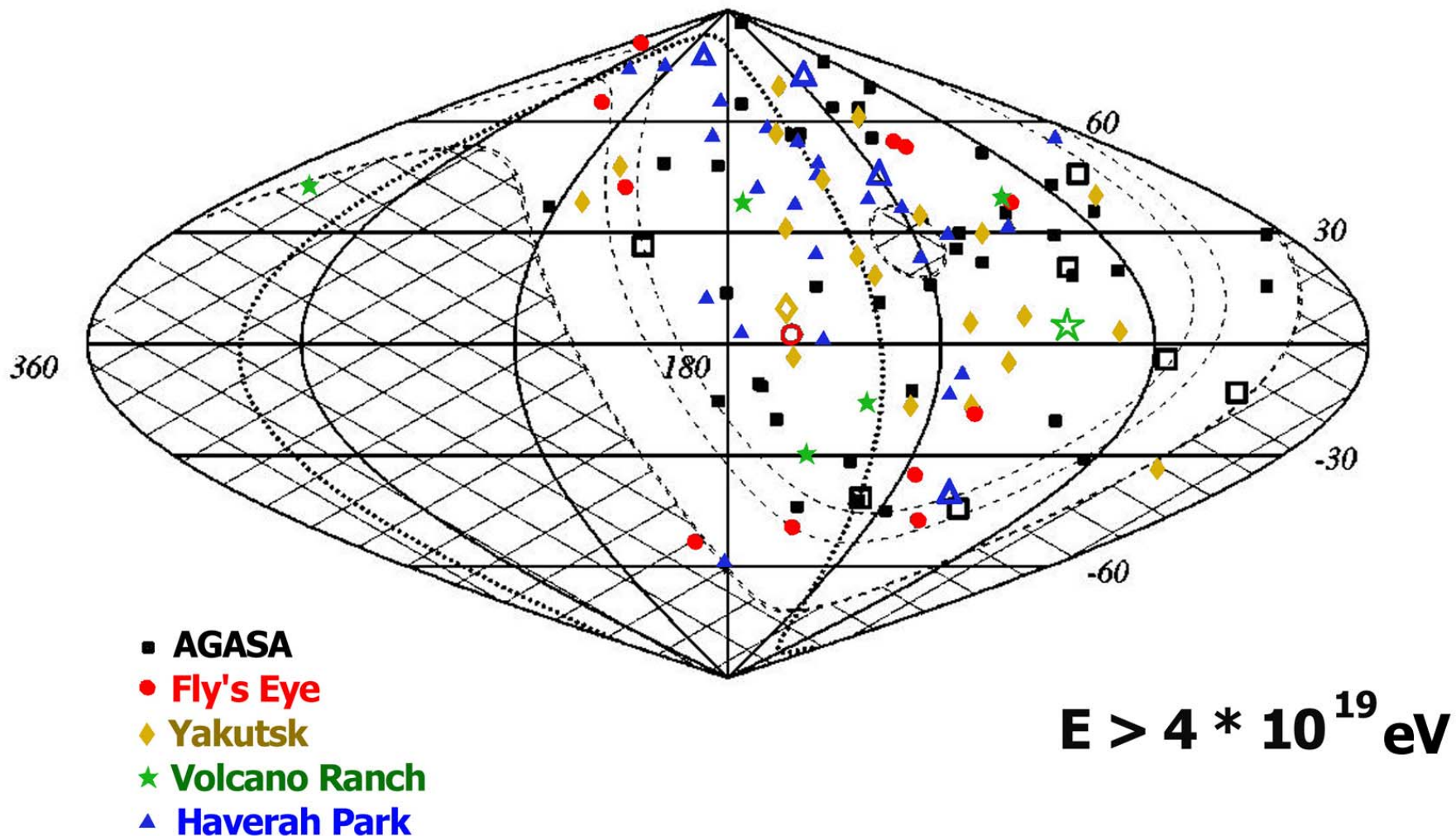
■ Duża koncentracja
bliskich galaktyk

■ Obszary puste

• $E > 40 \text{ EeV}$

● $E > 100 \text{ EeV}$

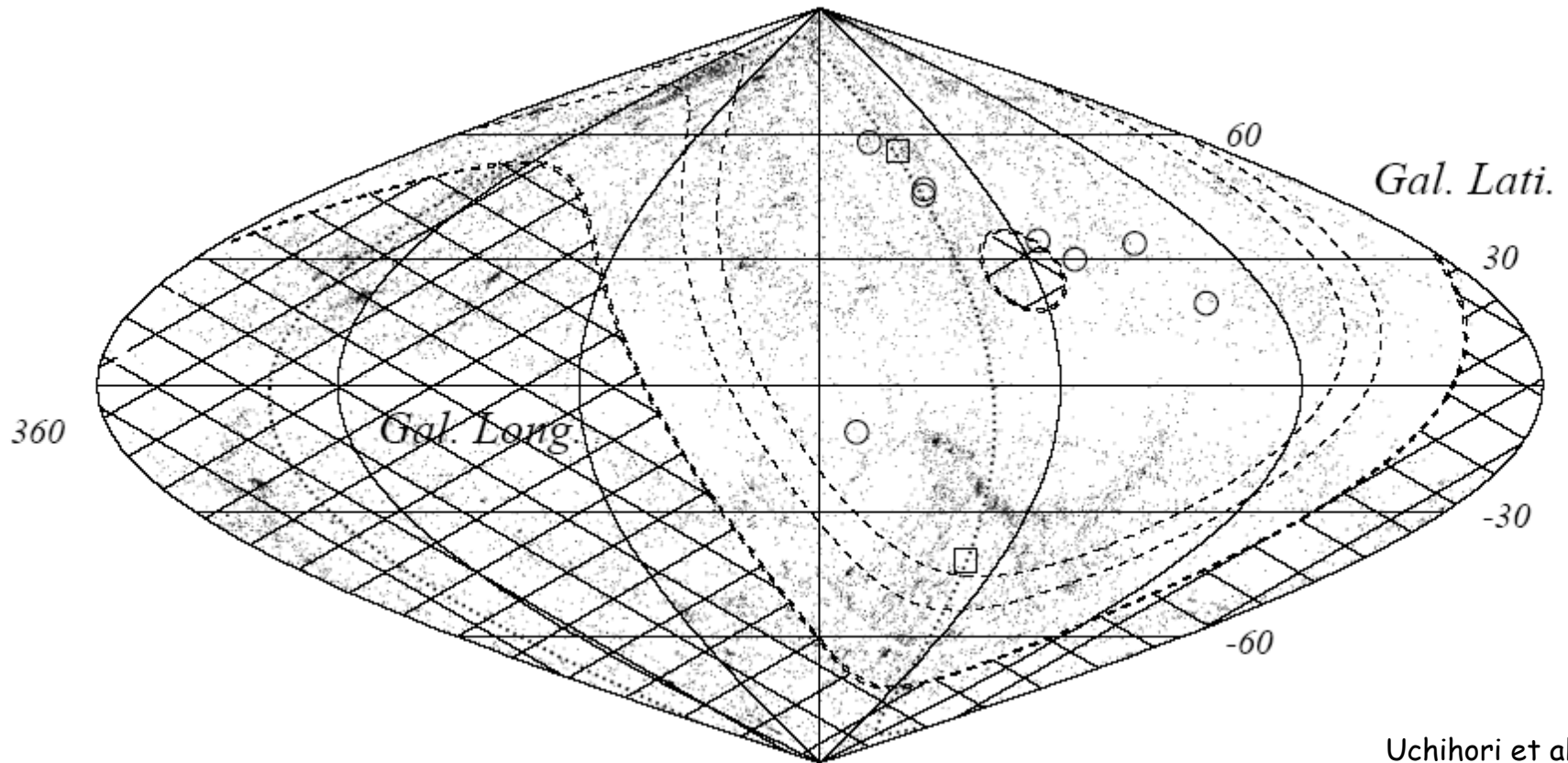
Rozkład kierunkowy promieni kosmicznych



Izotropia w dużej skali - pochodzenie pozagalaktyczne?

Rozkład pobliskich galaktyk

Galaktyki w odległościach < 100 Mpc



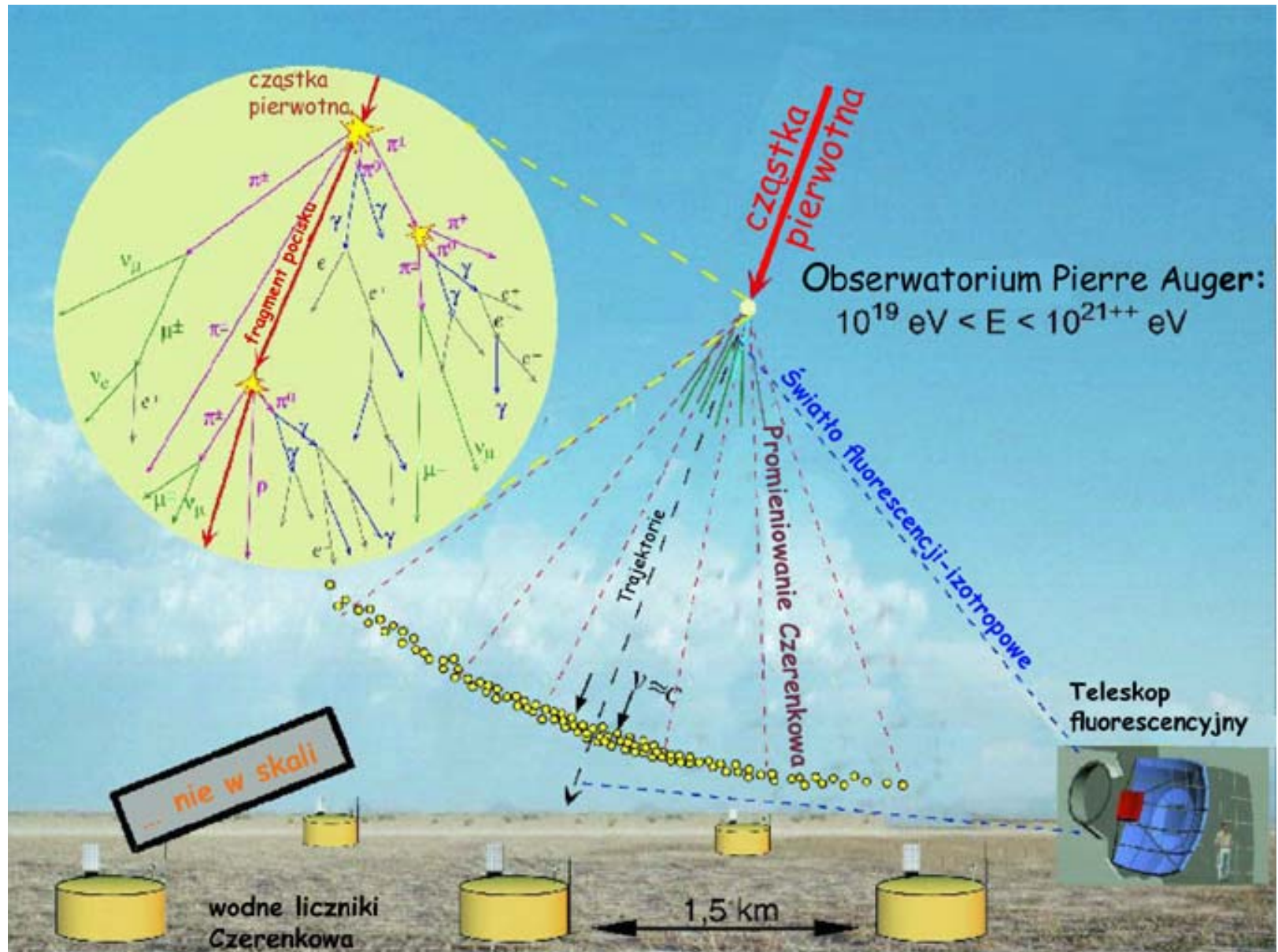
Uchihori et al. 1999

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

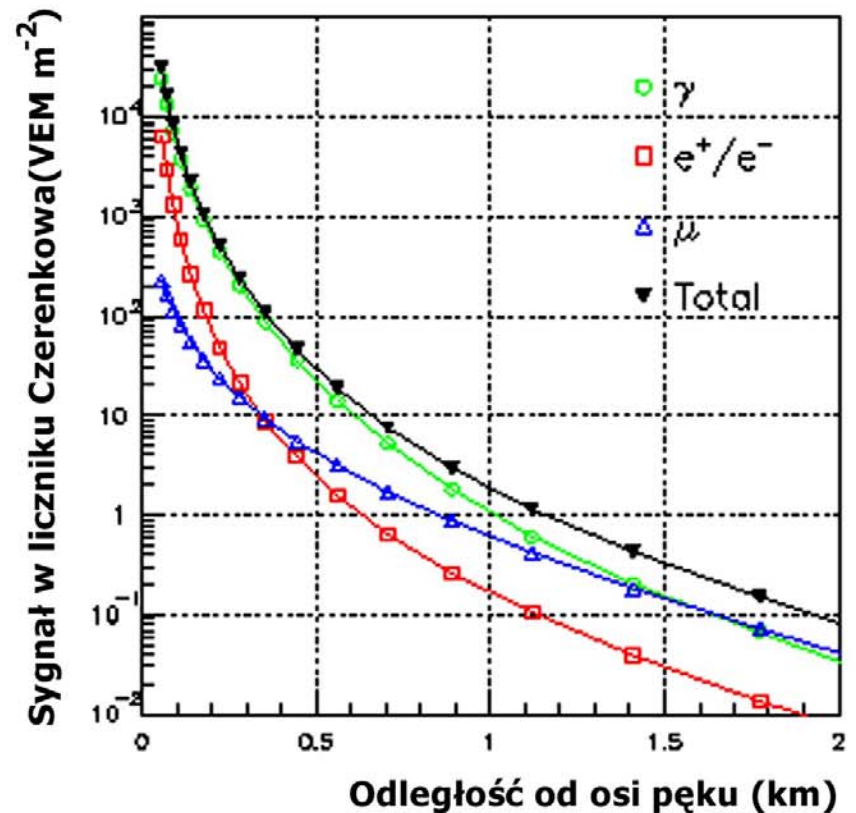
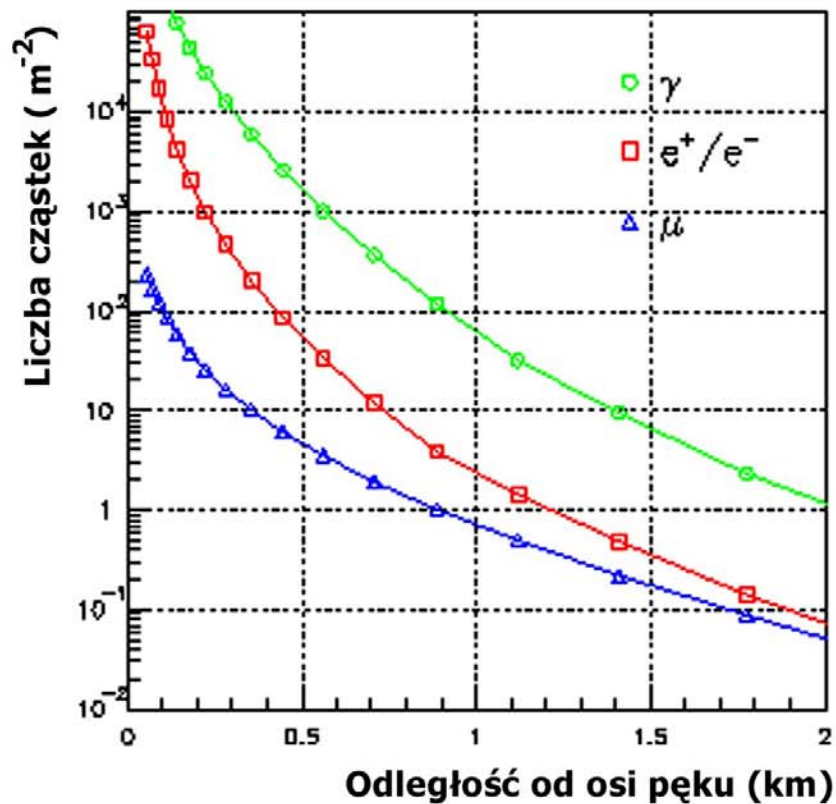
- przyspieszanie stopniowe w dużych obiektach
(proces Fermiego I rzędu)
np.: radiogalaktyki, zderzenia galaktyk, gromady galaktyk
- silne pola elektromagnetyczne wokół zwartych obiektów
np.: pulsary (magnetary!)
- źródła błysków gamma (relatywistyczne fale uderzeniowe)
- źródła egzotyczne: defekty topologiczne, 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

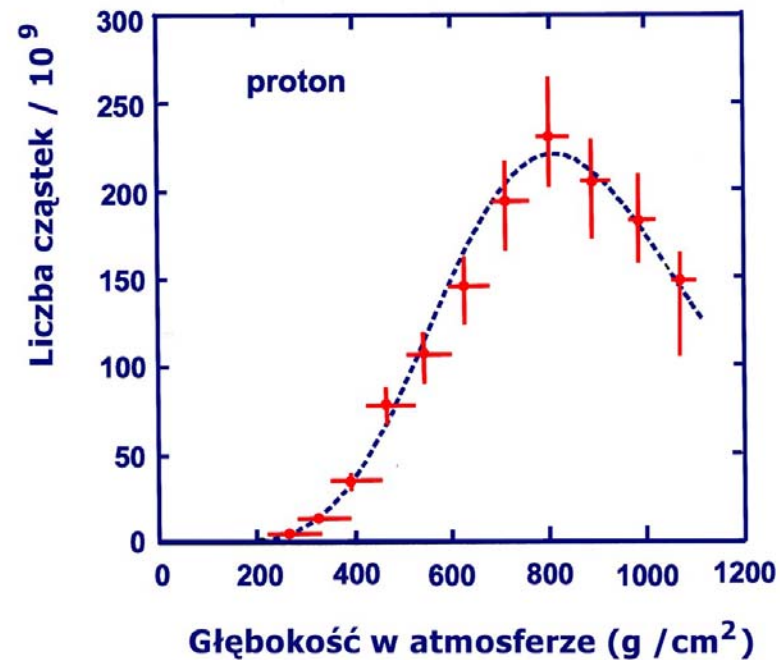
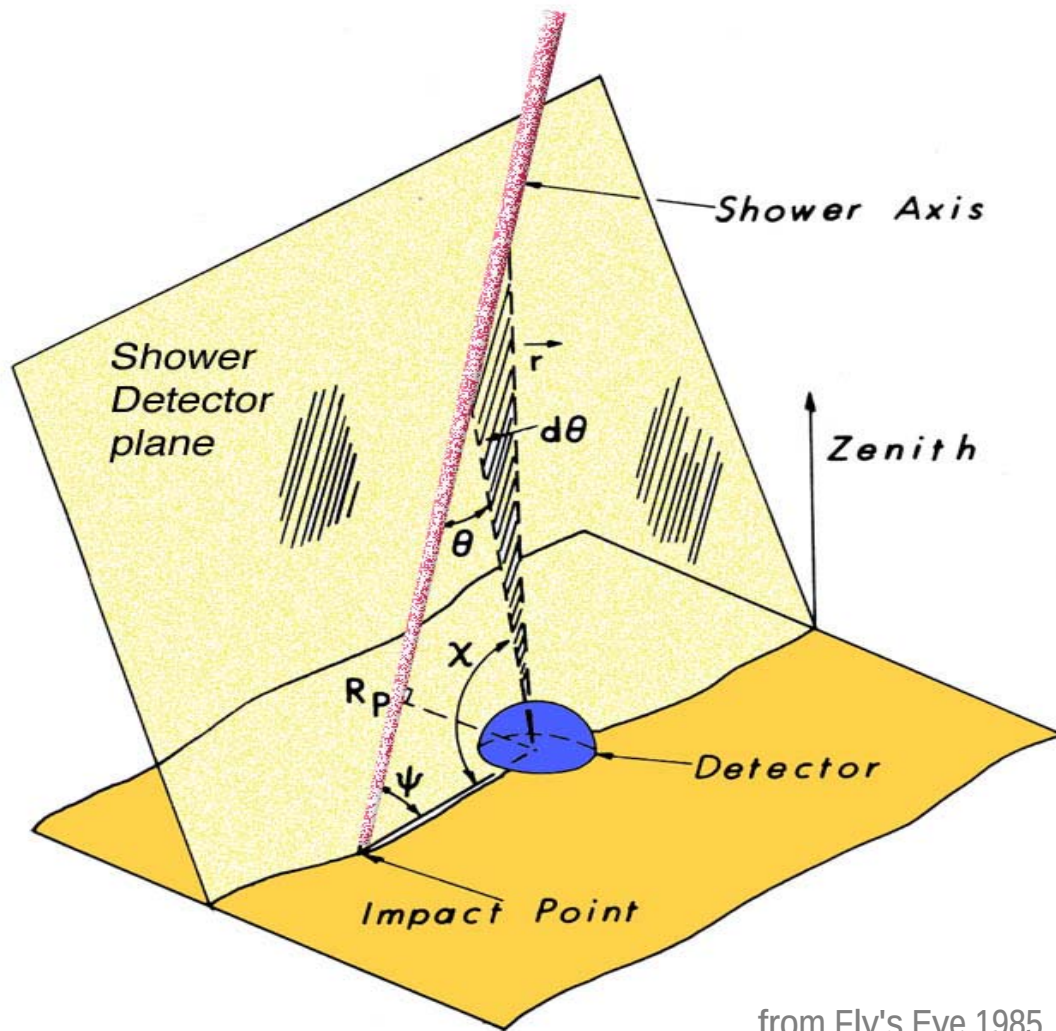


Sieć detektorów naziemnych

CASA

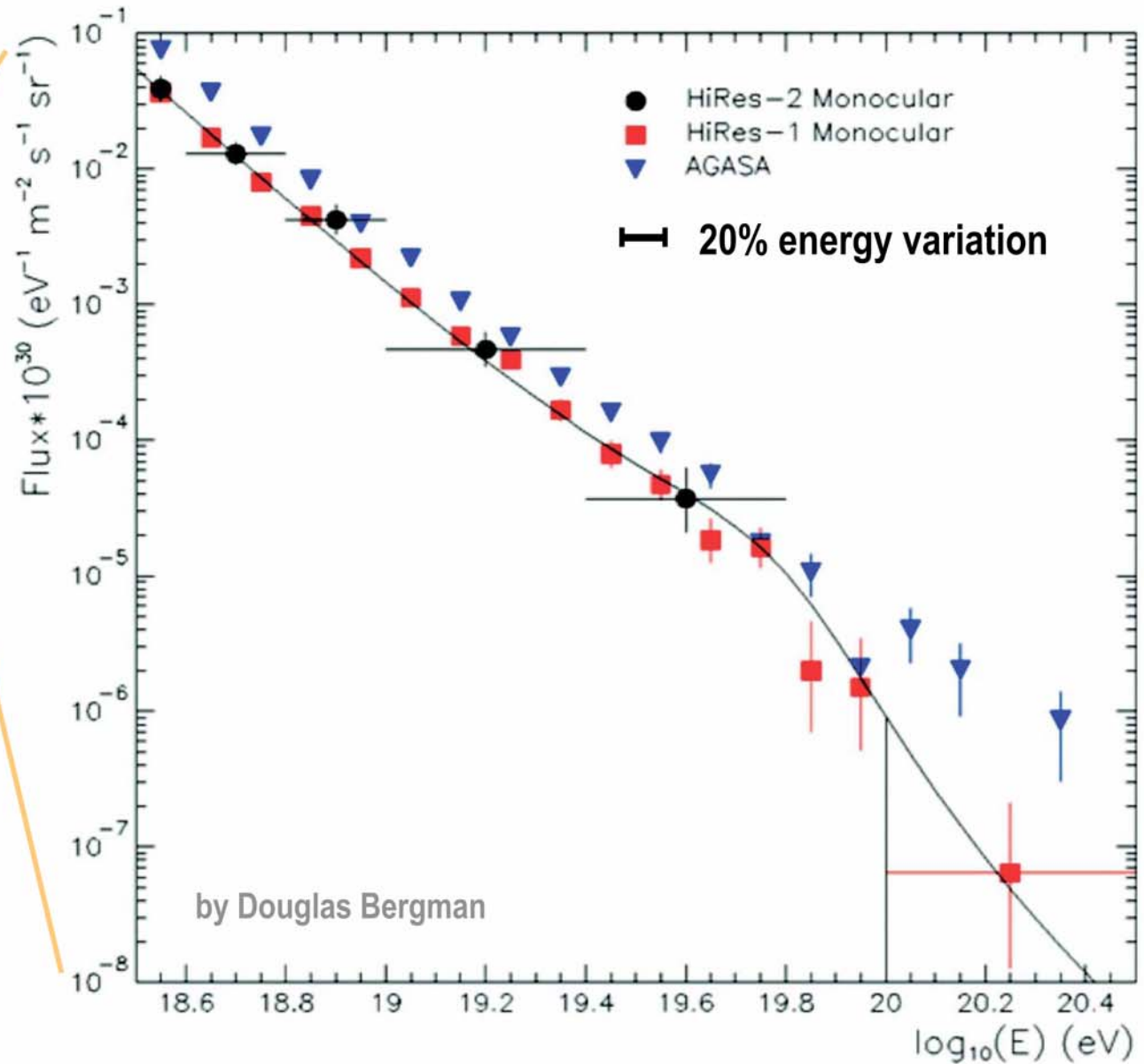
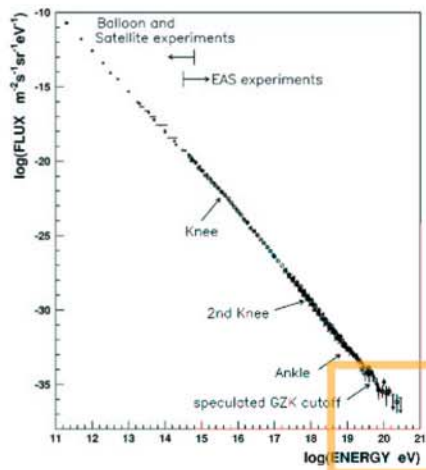


Detekcja metodą fluorescencyjną

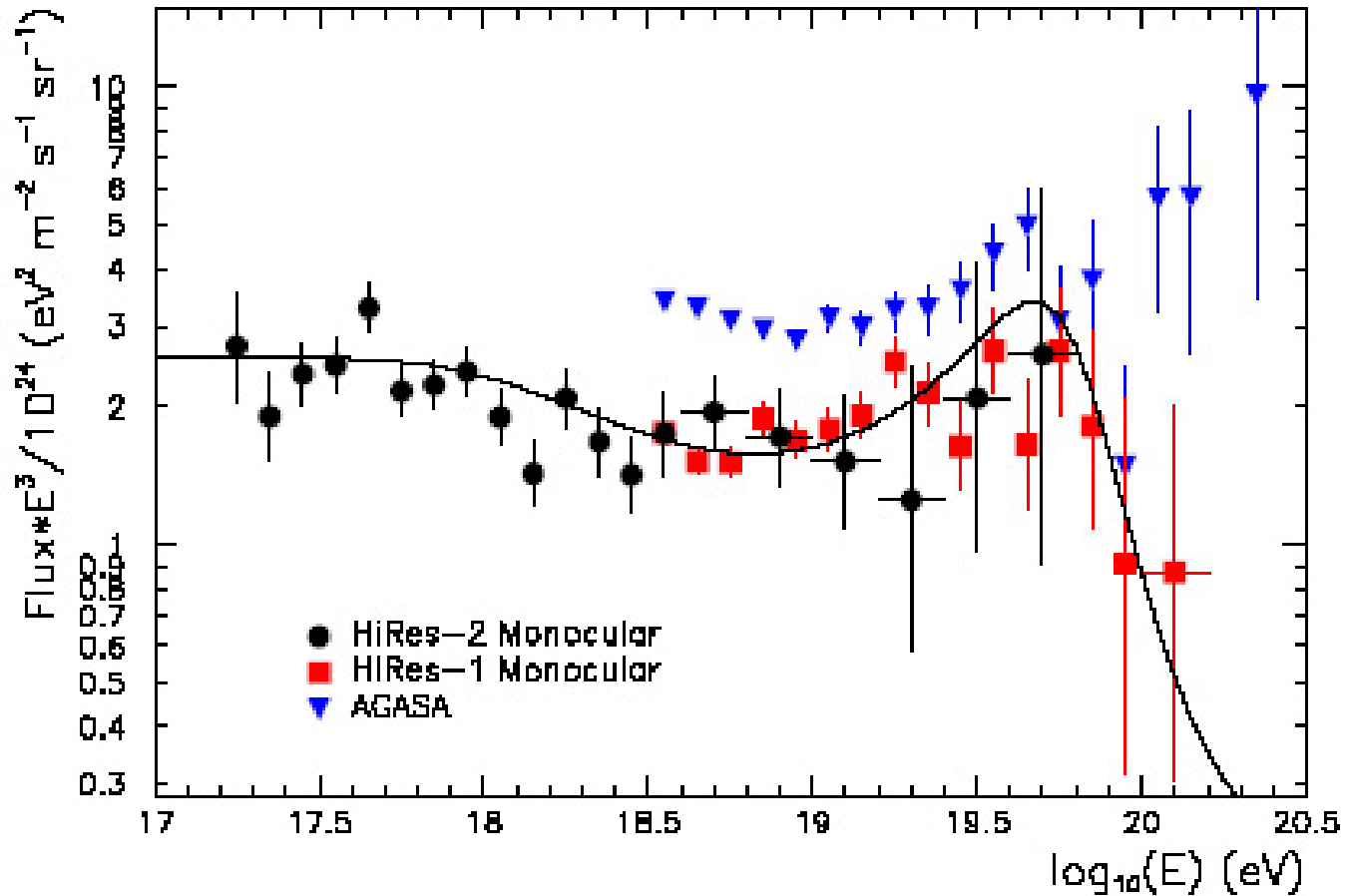


from Fly's Eye 1985

Widmo AGASA i HiRes



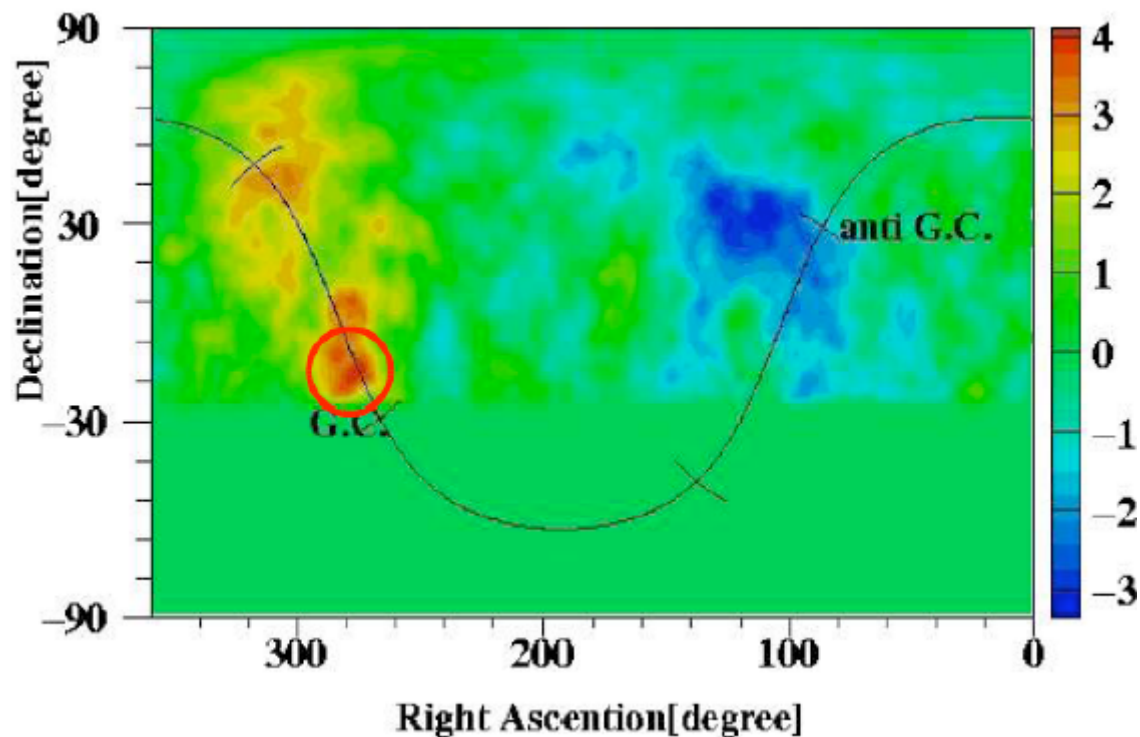
Widmo AGASA i HiRes



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%)



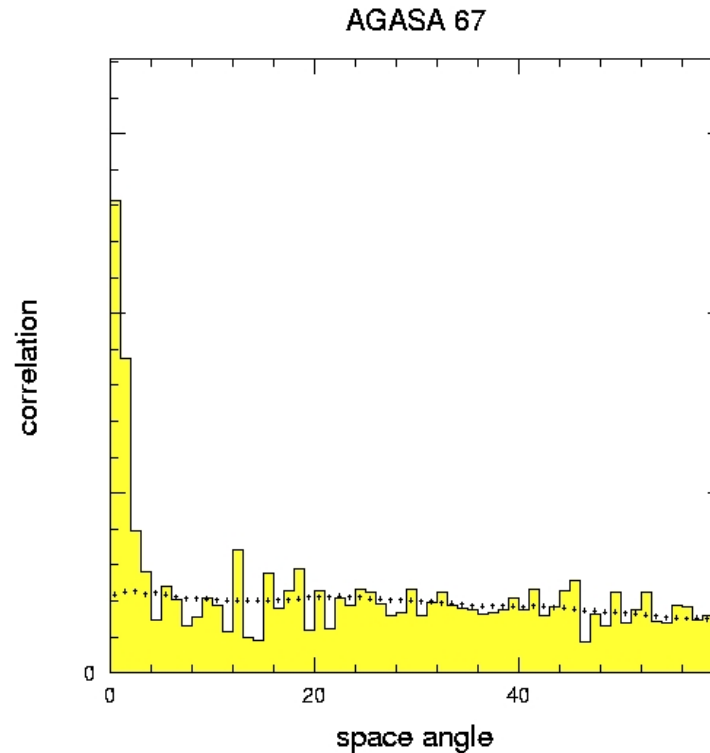
SUGAR: nadmiar $\sim 2.9\sigma$ $0.8 < E < 3.2$ EeV; 5.5 deg
11.8 przyp. spodz., 21.8 przyp. obserw. (+85%)

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

Autokorelacja kierunków

Pary przypadków AGASA $E > 40$ EeV: korelacja 3.2σ

→ źródła punktowe?



Niepewna interpretacja, znaczącość statystyczna?
Brak korelacji w danych HiRes