

Astrofizyka promieni kosmicznych-4

Henryk Wilczyński

Detekcja promieni kosmicznych

GRUBOŚĆ ATMOSFERY ZIEMI $\approx 11 \lambda_p \approx 27 L_R$

λ_p droga oddziaływania protonu

L_R jednostka radiacyjna

DETEKCJA BEZPOŚREDNIA $E < 10^{15}$ eV

Rejestracja cząstki pierwotnej poza atmosferą
(satelity, balony w stratosferze)

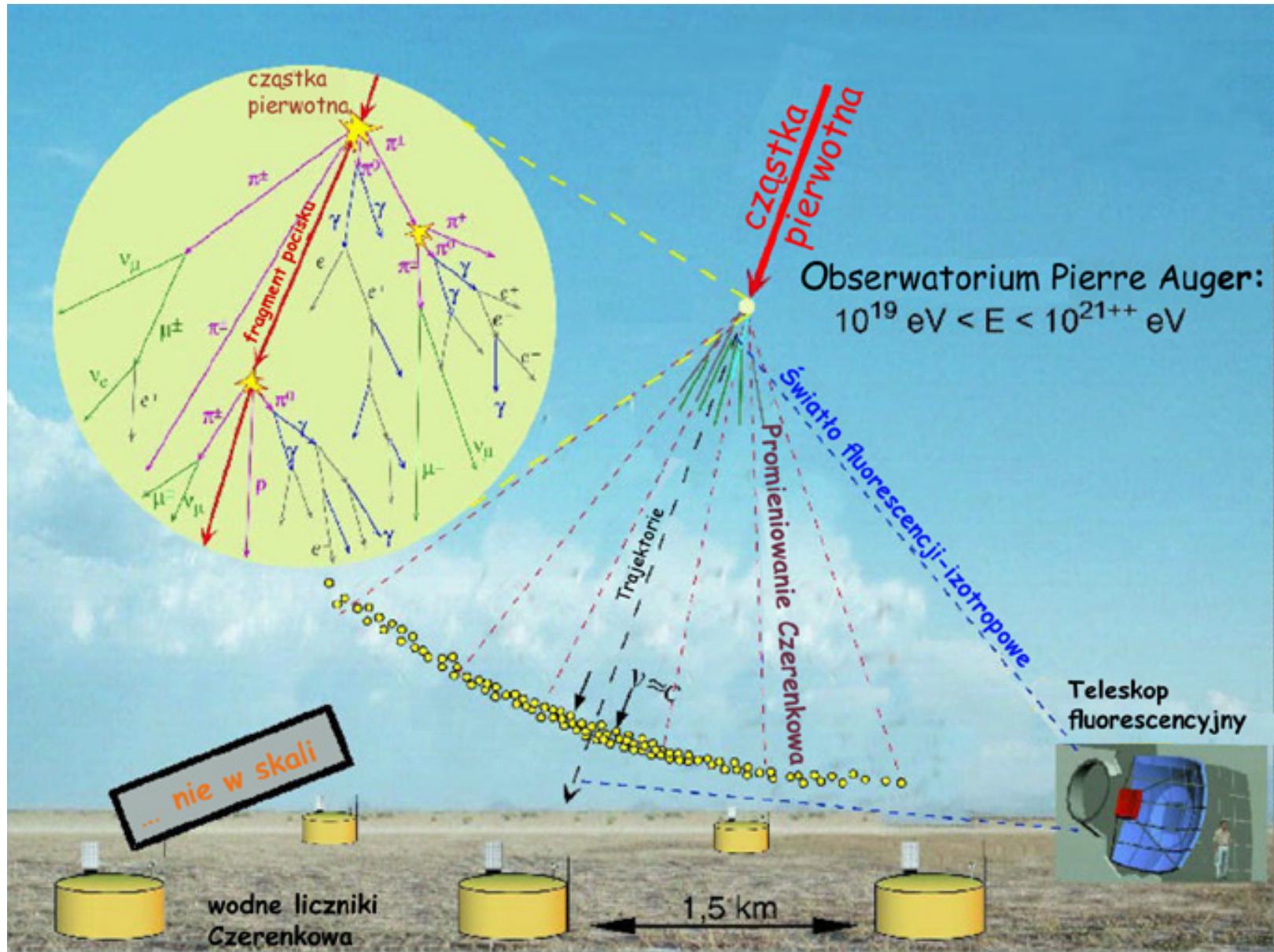
widmo energetyczne, skład chemiczny
skład izotopowy

DETEKCJA POŚREDNIA $E > 10^{14}$ eV

Rejestracja wielkich pęków atmosferycznych na
powierzchni Ziemi

zbiorcze widmo energetyczne
skład chemiczny (przybliżony)

Wielki pęk atmosferyczny



Kaskada elektromagnetyczna

„toy model” (Heitler 1944)

liczba cząstek po n pokoleniach

$$N = 2^n = 2^{X/\lambda}$$

energia na cząstkę

$$E(X) = E_0/N(X)$$

mnożenie cząstek aż do $E(X)=E_c$ (en. krytyczna)
w maksimum kaskady

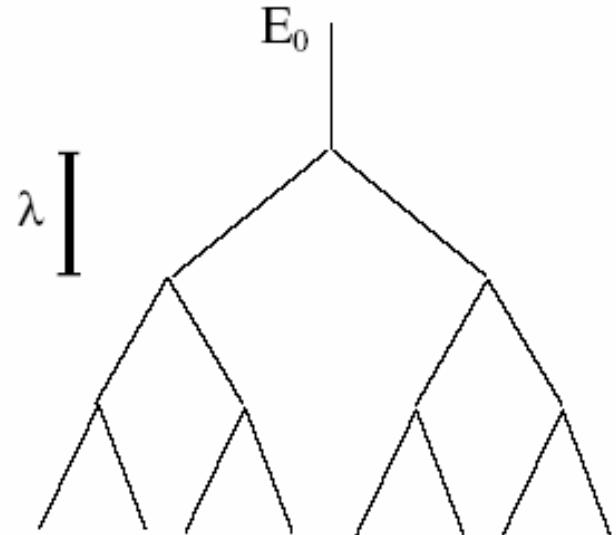
$$N(X_{\max}) = E_0/E_c$$

$$X_{\max} = \lambda \ln(E_0/E_c)/\ln 2$$

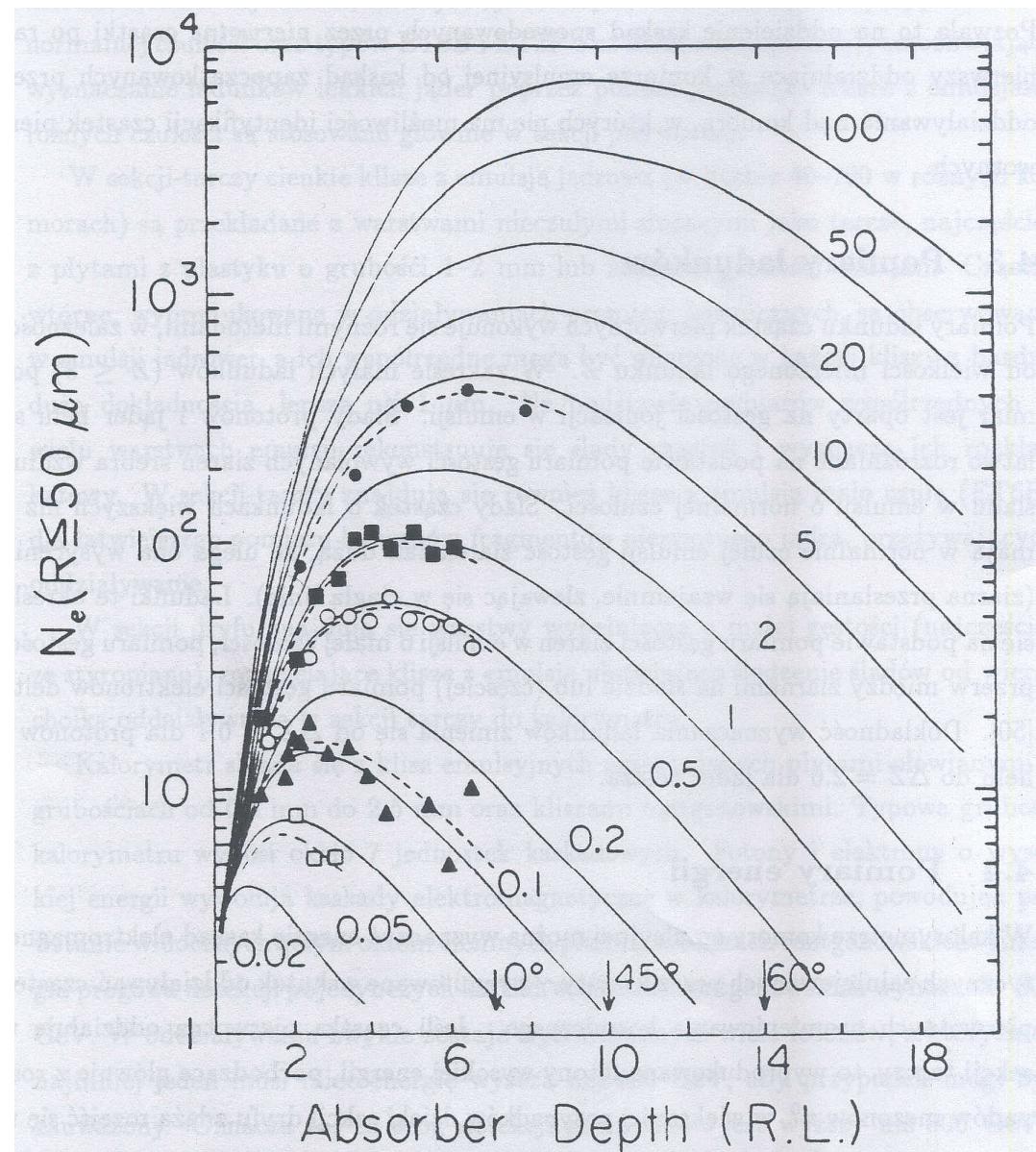
czyli

$$N_{\max} \propto E_0$$

$$X_{\max} \propto \ln E_0$$



profil podłużny kaskady EM



Rozkład cząstek w wielkim pęku

Profil podłużny: liczba cząstek w pęku w funkcji głębokości X (Gaisser-Hillas)

$$N_e(X) = N_{max} \left(\frac{X - X_0}{X_{max} - X_0} \right)^{(X_{max} - X_0)/\lambda} \exp((X_{max} - X)/\lambda)$$

X_0 = początek rozwoju pęku

λ = droga oddziaływania

rozkład poprzeczny

(Nishimura-Kamata-Greisen)

$$\rho_N(X, r) = \frac{N_e(X)}{r_M^2} \left(\frac{r}{r_M}\right)^{s-2} \left(1 + \frac{r}{r_M}\right)^{(s-4.5)} \frac{\Gamma(4.5-s)}{2\pi\Gamma(s)\Gamma(4.5-2s)}$$

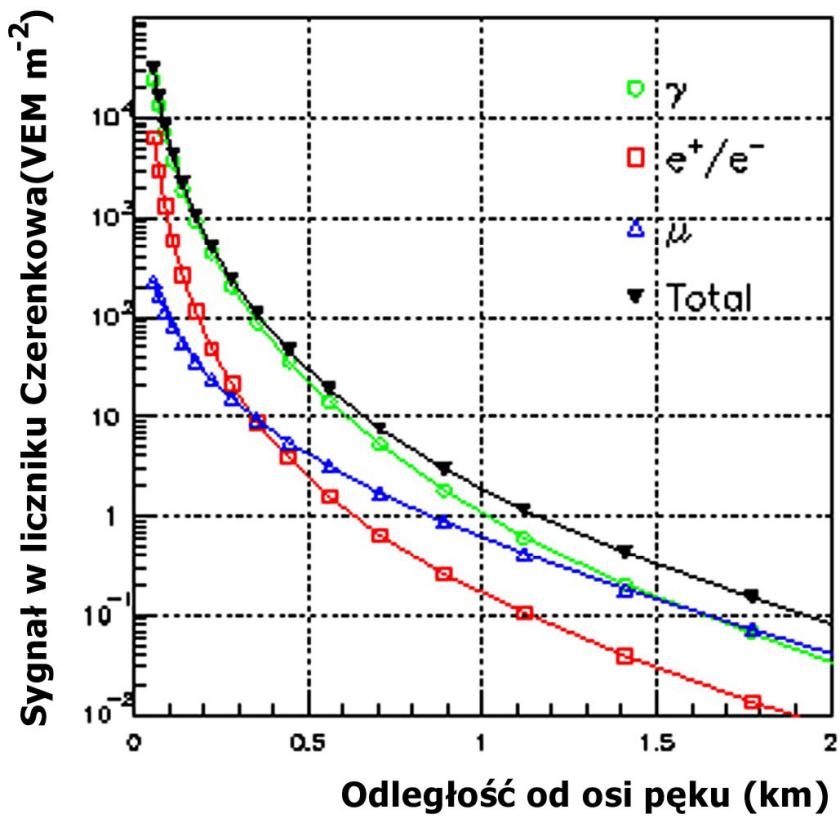
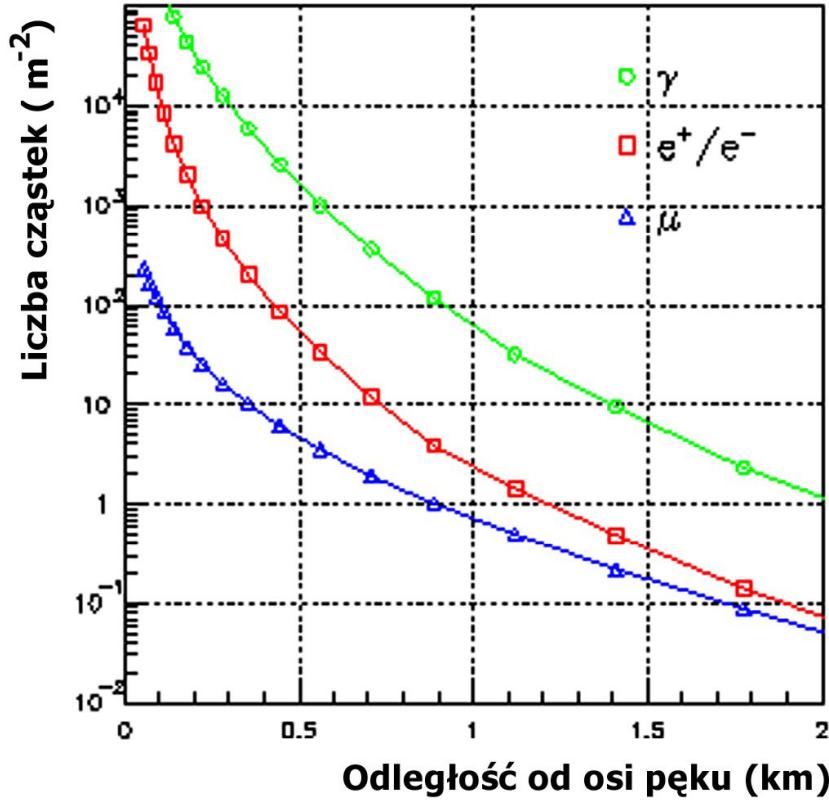
r_M = promień Moliera'a

s = parametr wieku

$$s \equiv \frac{3X/X_l}{X/X_l + 2\ln(E_0/\epsilon_0)}$$

Rozkłady poprzeczne cząstek w pęku

proton $E_0=10^{19}$ eV



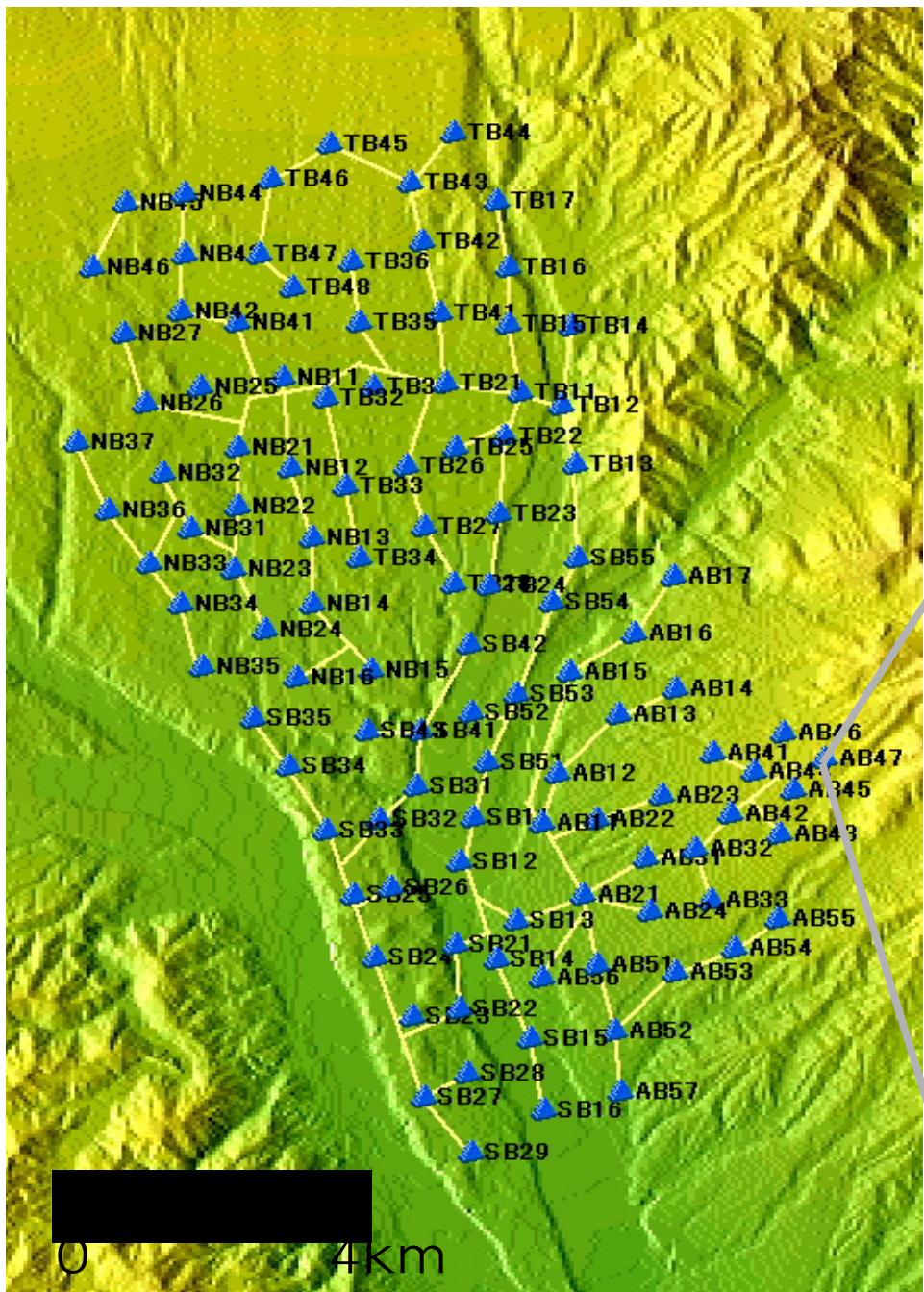
Sieć detektorów naziemnych

CASA



AGASA: Akeno Giant Air Shower Array

111 detektorów elektronów
27 detektorów mionów



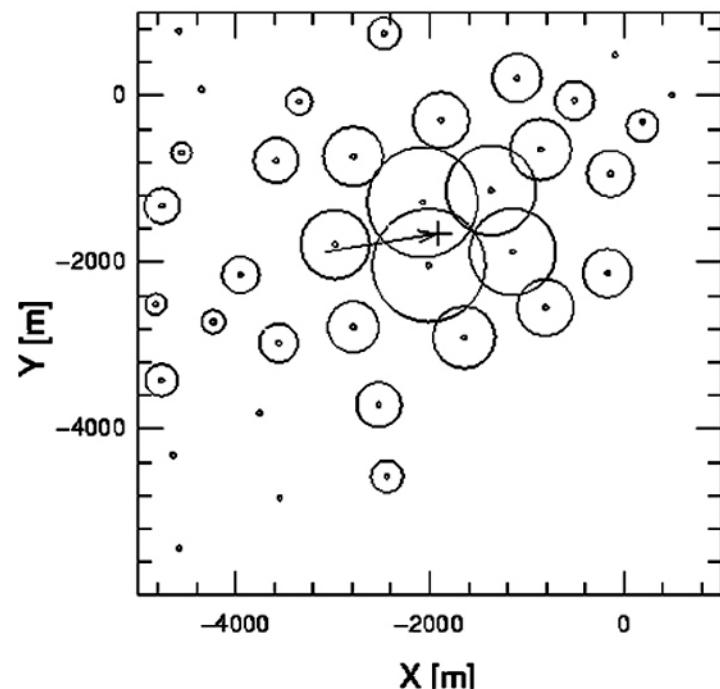
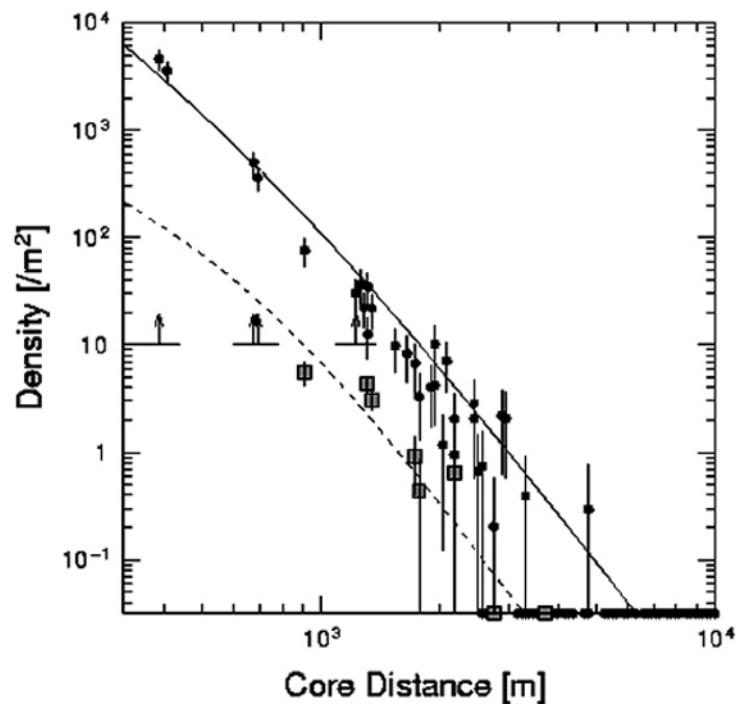
Rekonstrukcja pęku w sieci naziemnej

wyznaczamy poprzeczny rozkład częstek w wielkim pęku

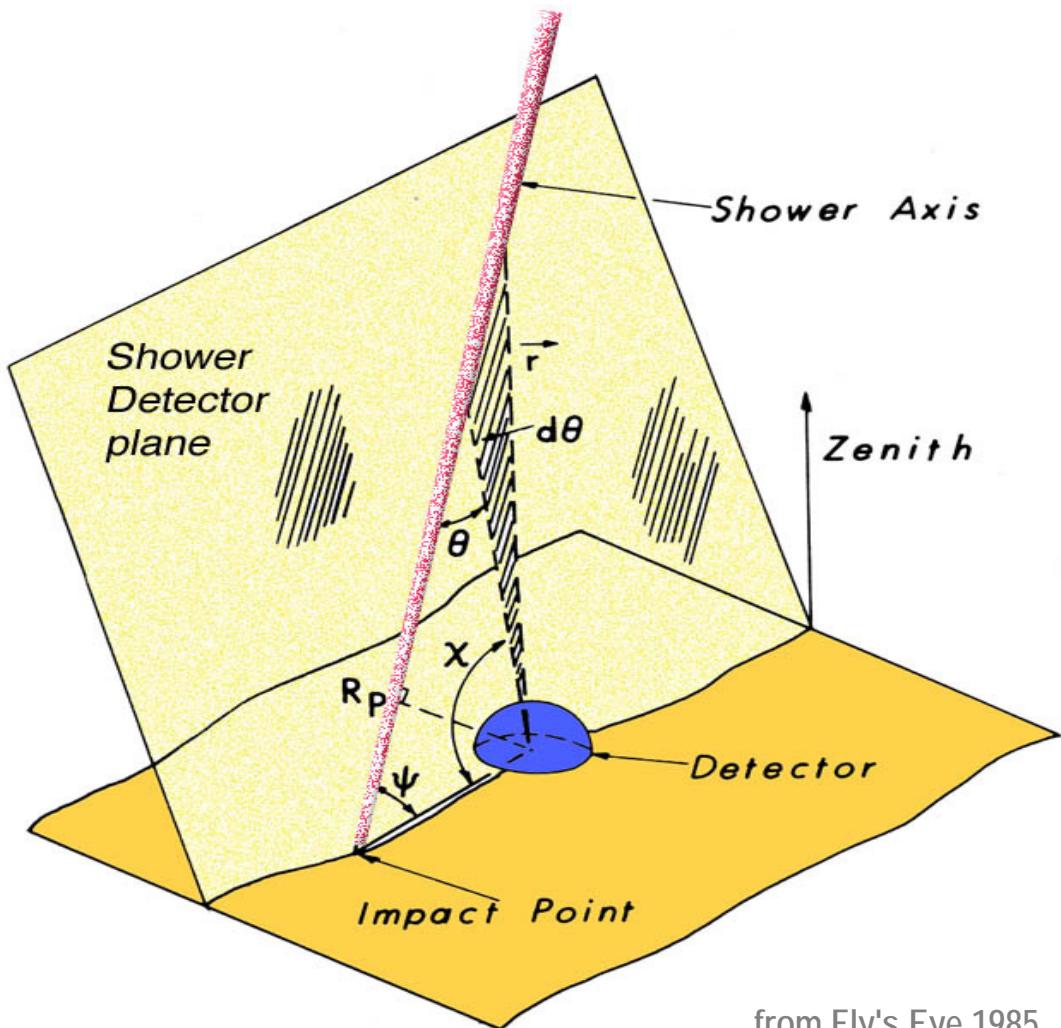
$$\rho(r) \propto k r^{-(\eta+f(r))}$$

$$E_0 = a \rho_{600}^b$$

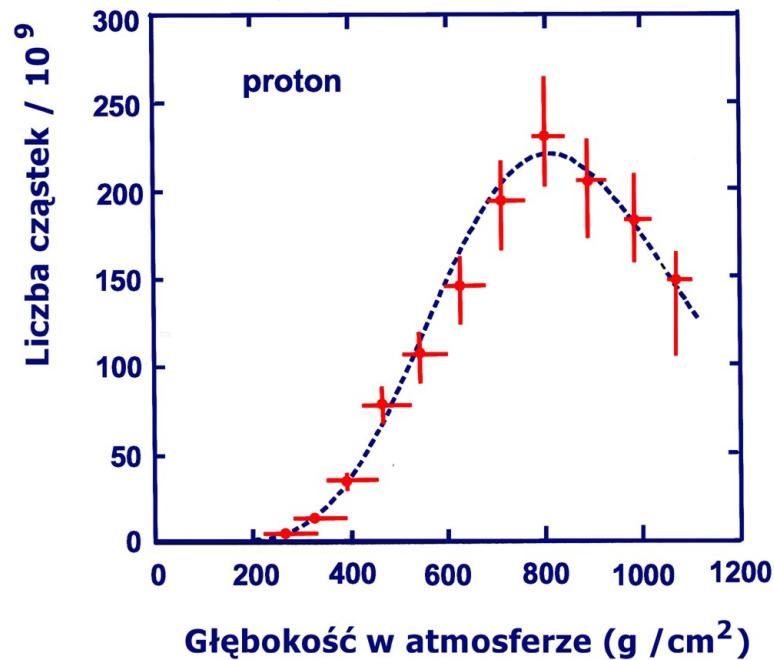
Przypadek najwyższej energii z detektora AGASA ($E \sim 2.5 \times 10^{20}$ eV)



Detekcja metodą fluoresencyjną



from Fly's Eye 1985



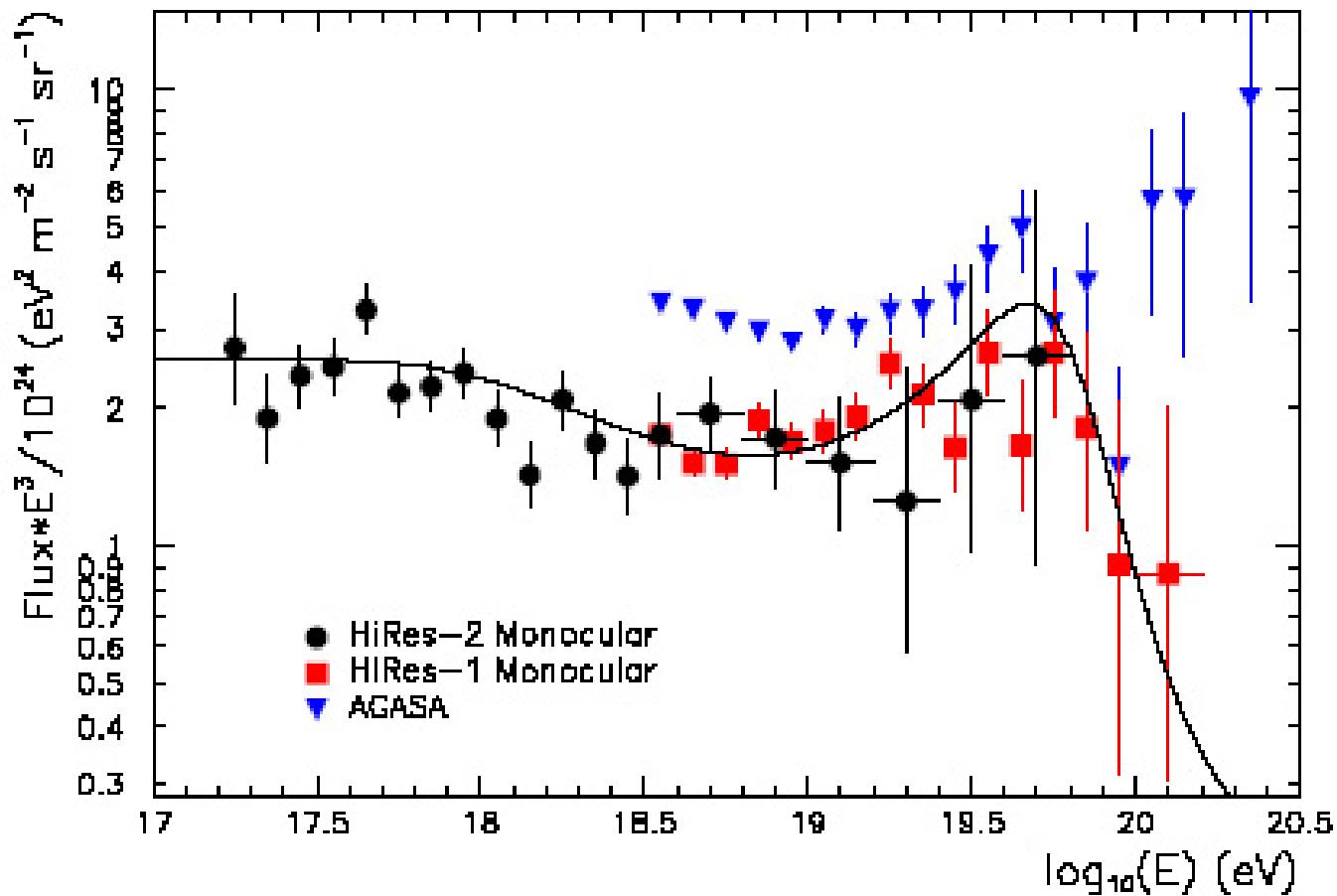
Detektor „Oko Muchy”



HiRes



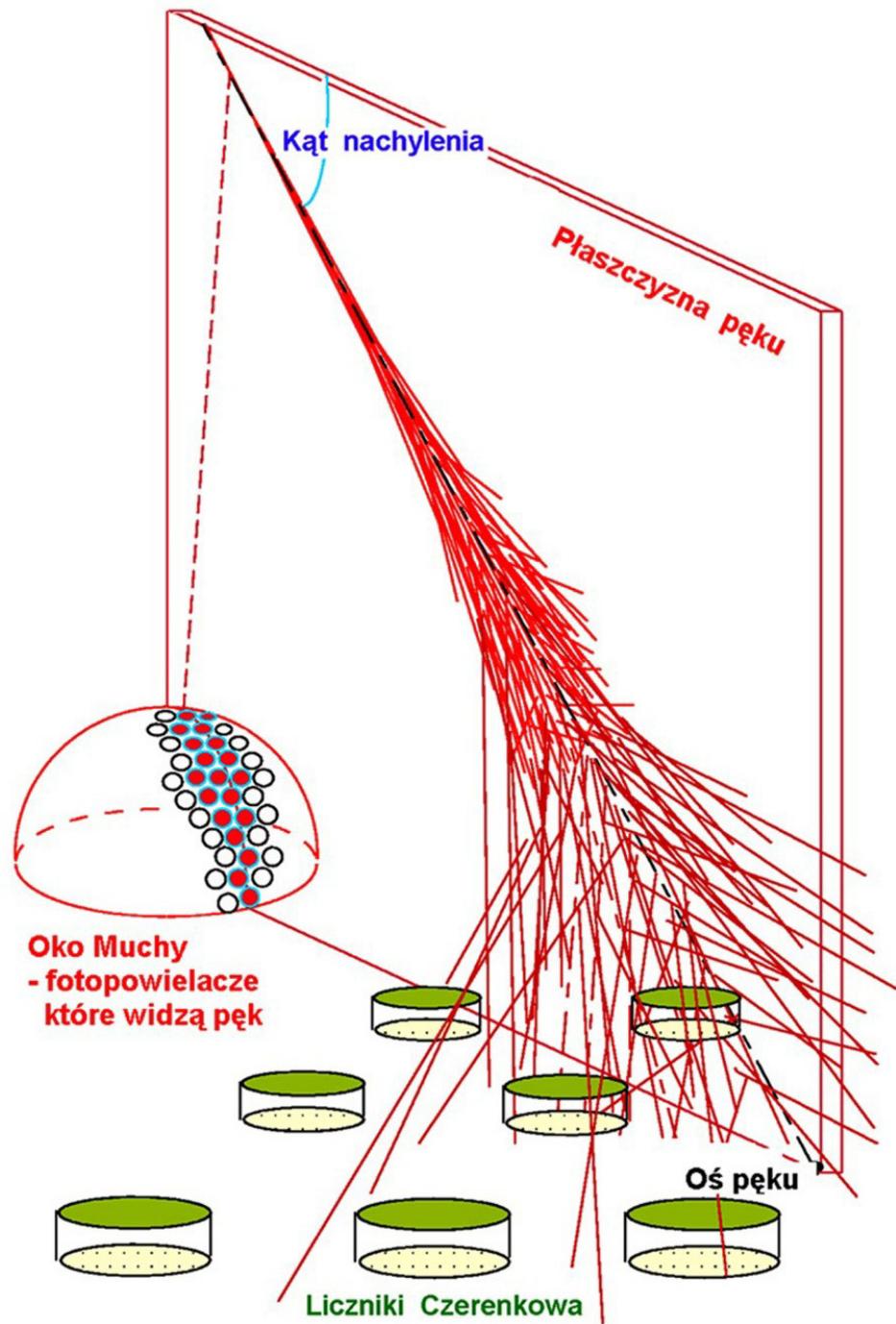
Widmo AGASA i HiRes



niezgodność widm wynikiem użycia różnych technik detekcji?

Szansa na poprawę danych

Hybrydowa detekcja wielkich pęków (Projekt Pierre Auger)



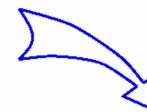
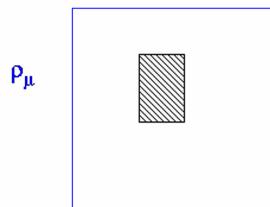
Wzajemna kalibracja obu typów detektorów

Oba detektory mierzą
ten sam pęk używając
różnych obserwabli

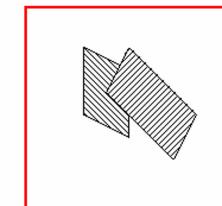
IDENTYFIKACJA CZĄSTEK PIERWOTNYCH

- Detektor powierzchniowy : gęstość mionów i elektronów
- Detektor fluoresencyjny : profil kaskady (X_{\max})

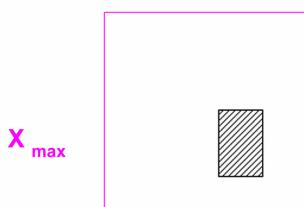
Detektor powierzchniowy



Detekcja hybrydowa



Detektor fluoresencyjny



E_{em}

Obserwatorium Pierre Auger

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

skład

lekkie czy ciężkie jądra, fotony, neutrino, ??

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
- $2 * 3000 \text{ km}^2 \rightarrow$ duża statystyka danych
- hybrydowa detekcja wielkich pęków: dwa układy detektorów

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 NIHIUIL, MENDOZA
ARGENTYNA
80 km (S-W) od San Rafael

Wysokość npm : 1300 m
Szerokość geogr : 35,2 S
Długość geogr : 69,2 W

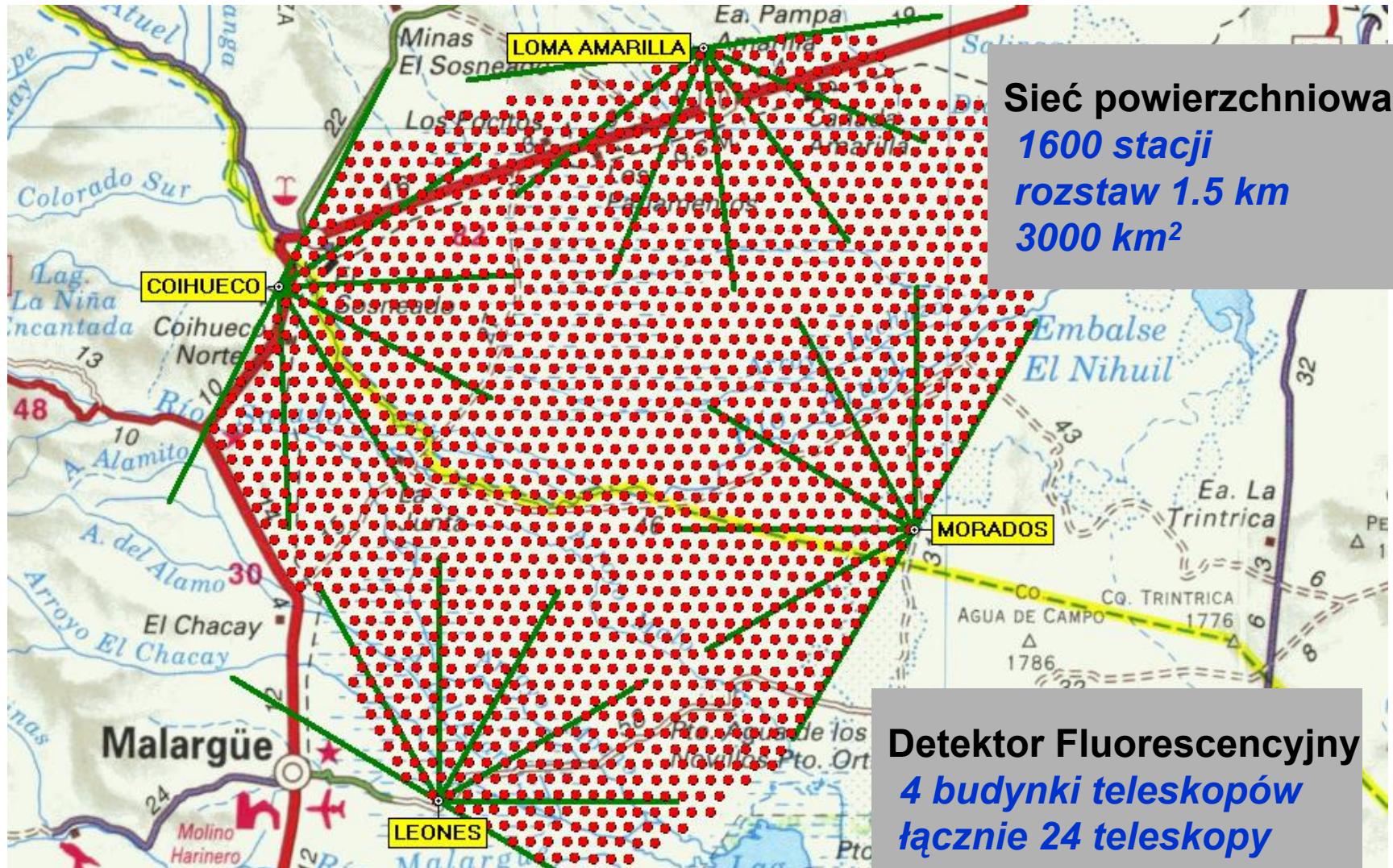
Kampus południowego Obserwatorium Pierre Auger



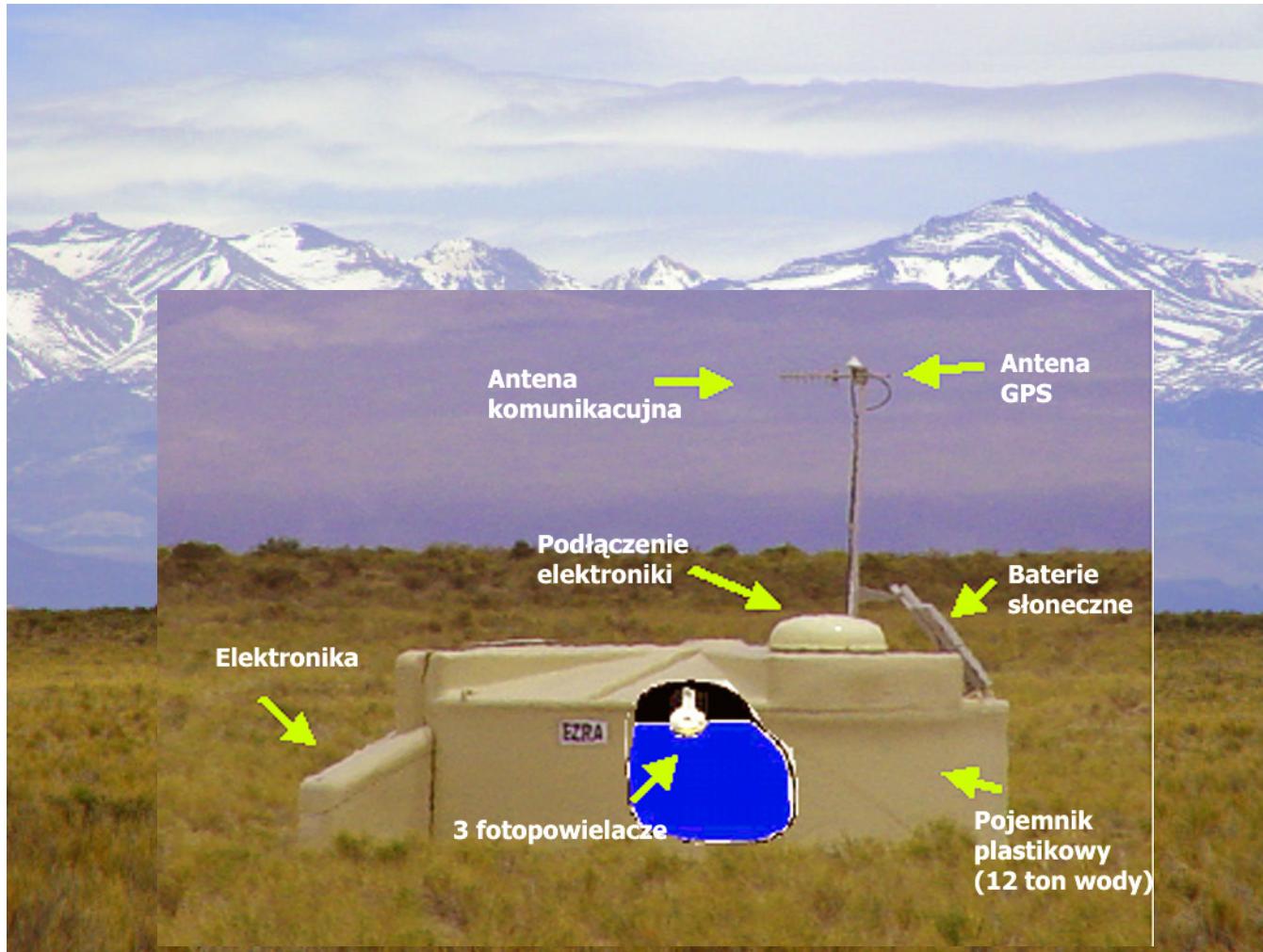
<http://auger.ifj.edu.pl>

www.auger.org

Obserwatorium Pierre Auger



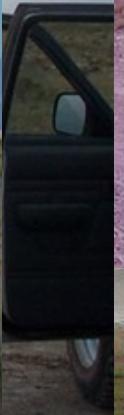
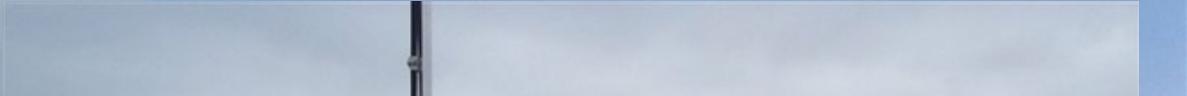
Detektor naziemny



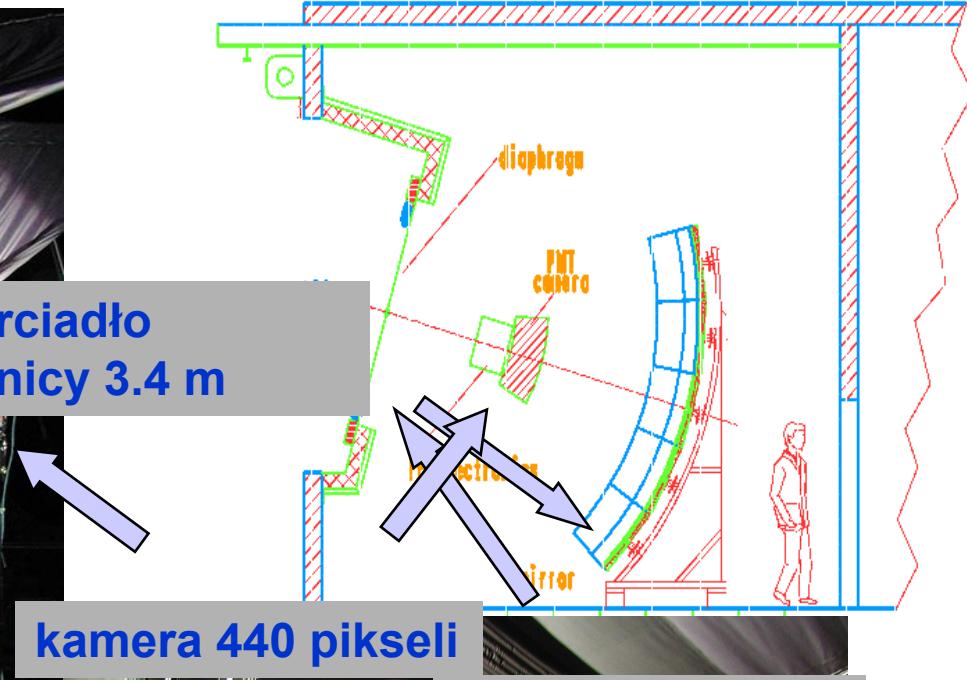
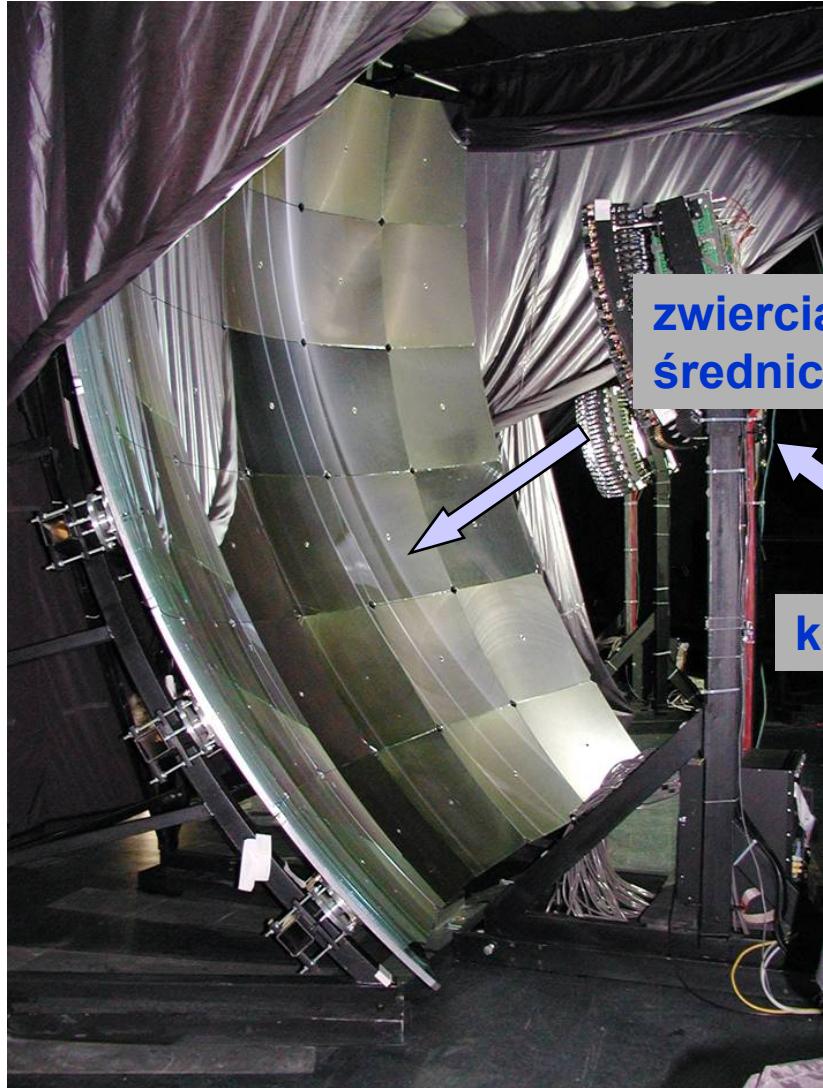
Nowa dostawa detektorów z fabryki



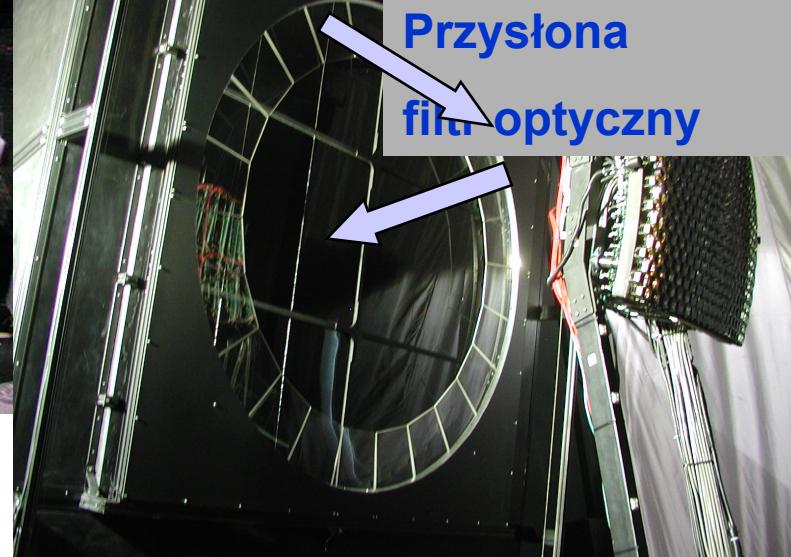
Rozmieszczanie detektorów powierzchniowych



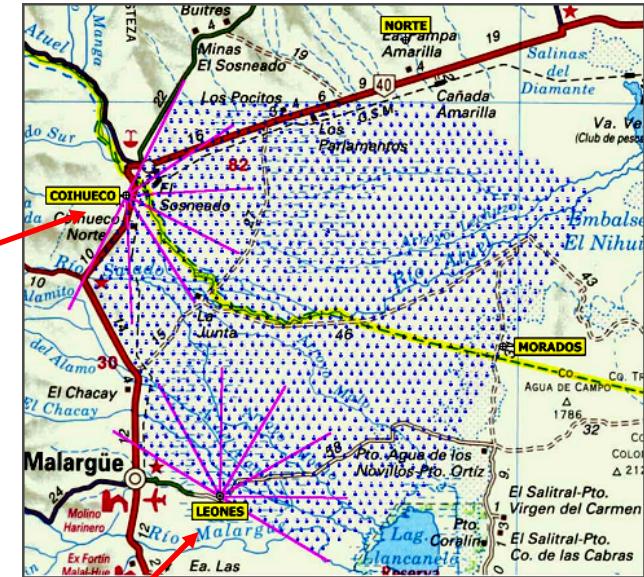
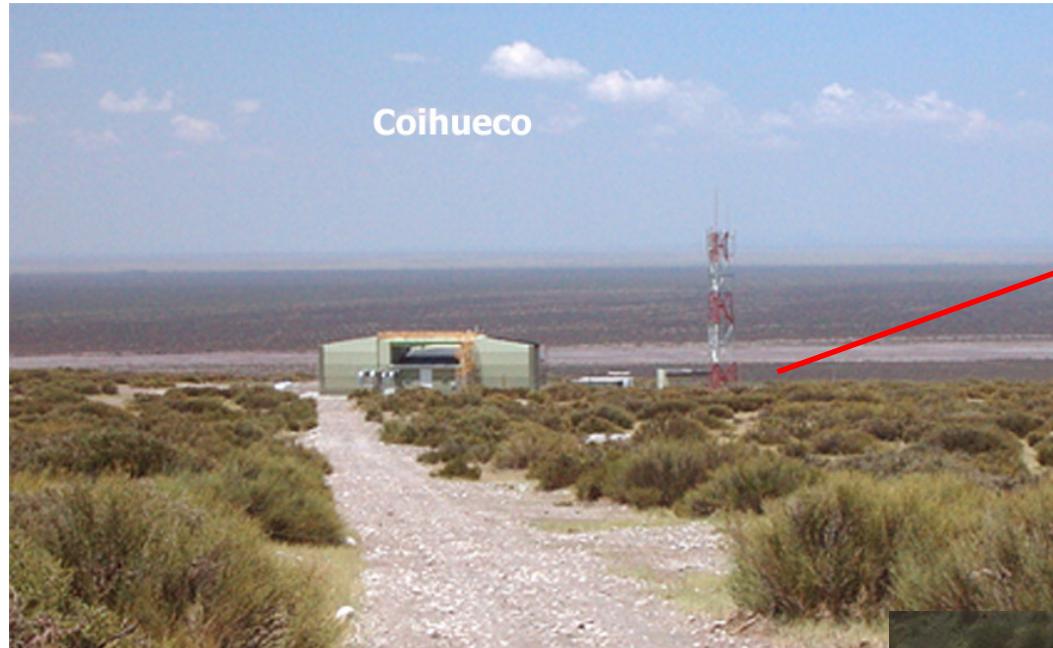
Detektor Fluorescencyjny



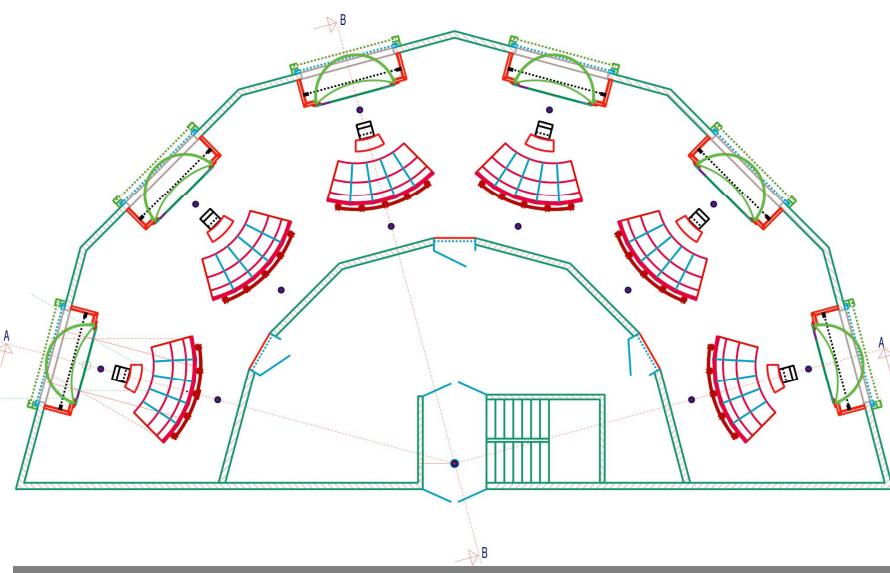
kamera 440 pikseli



Detektory fluorescencyjne

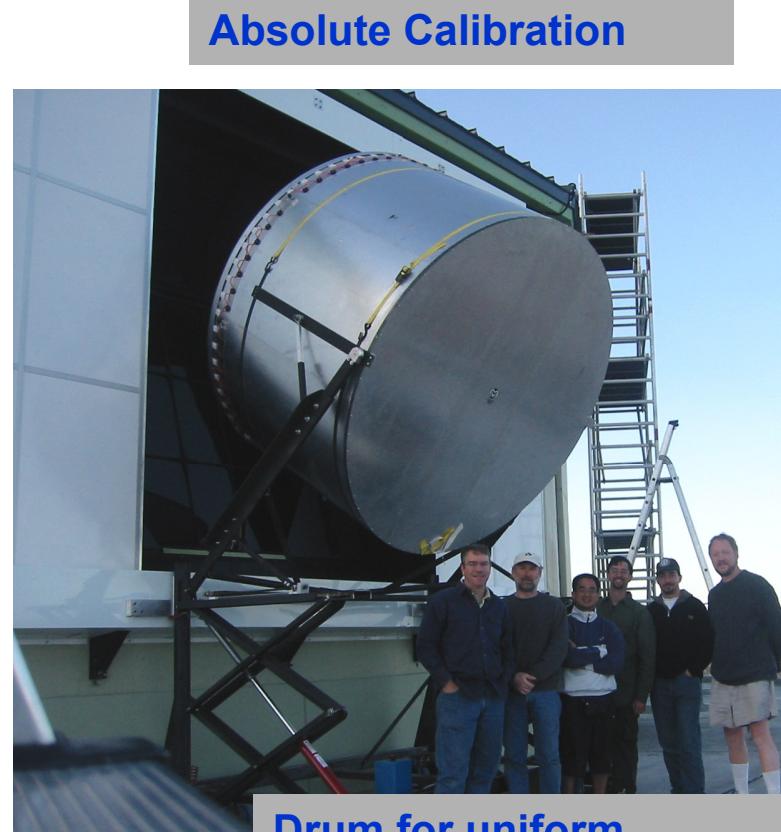


Los Leones



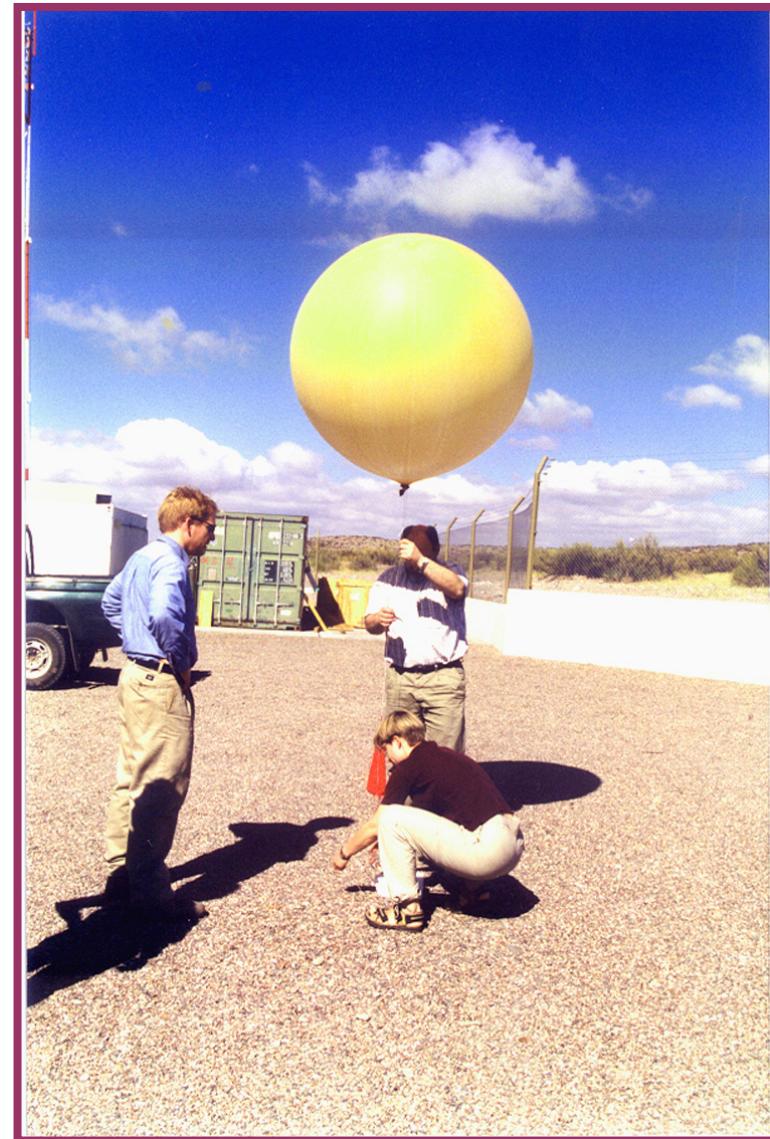
Monitorowanie atmosfery i kalibracja

Atmospheric Monitoring



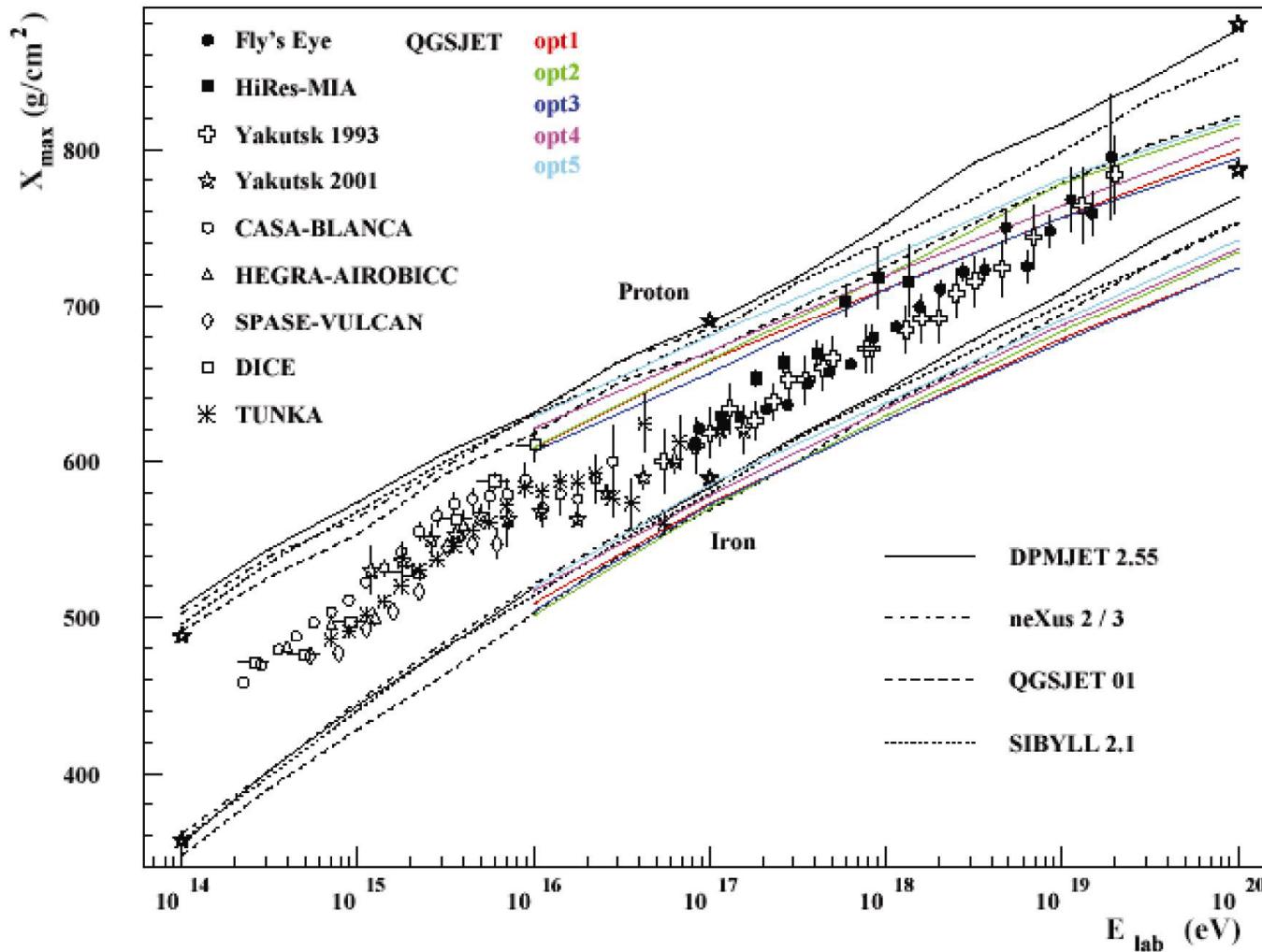
Drum for uniform camera illumination – end to end calibration .

Radiosondaże atmosfery na terenie Obserwatorium Pierre Auger w Argentynie

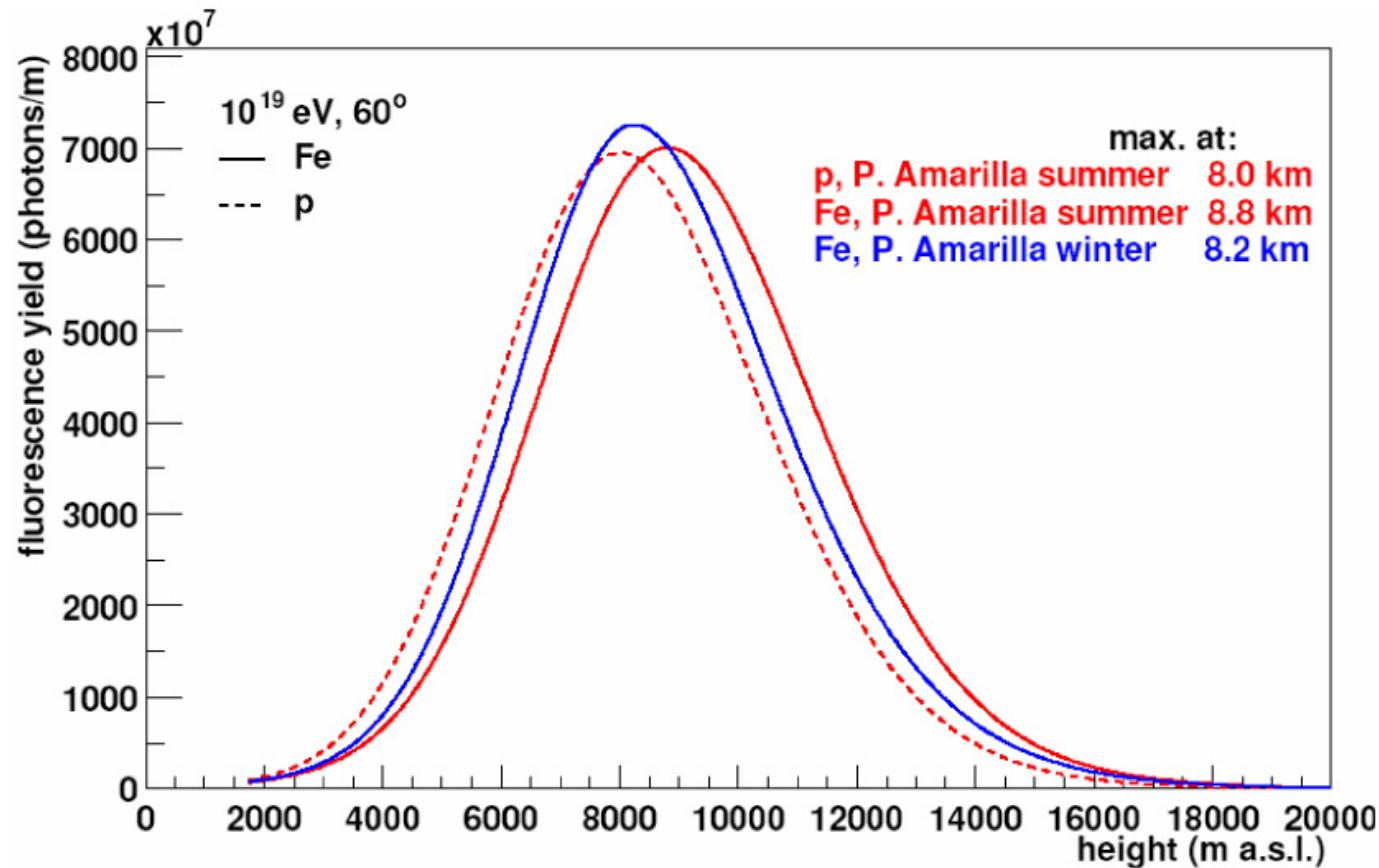


Identyfikacja cząstki pierwotnej pęku

Niezbędny pomiar energii i X_{\max}

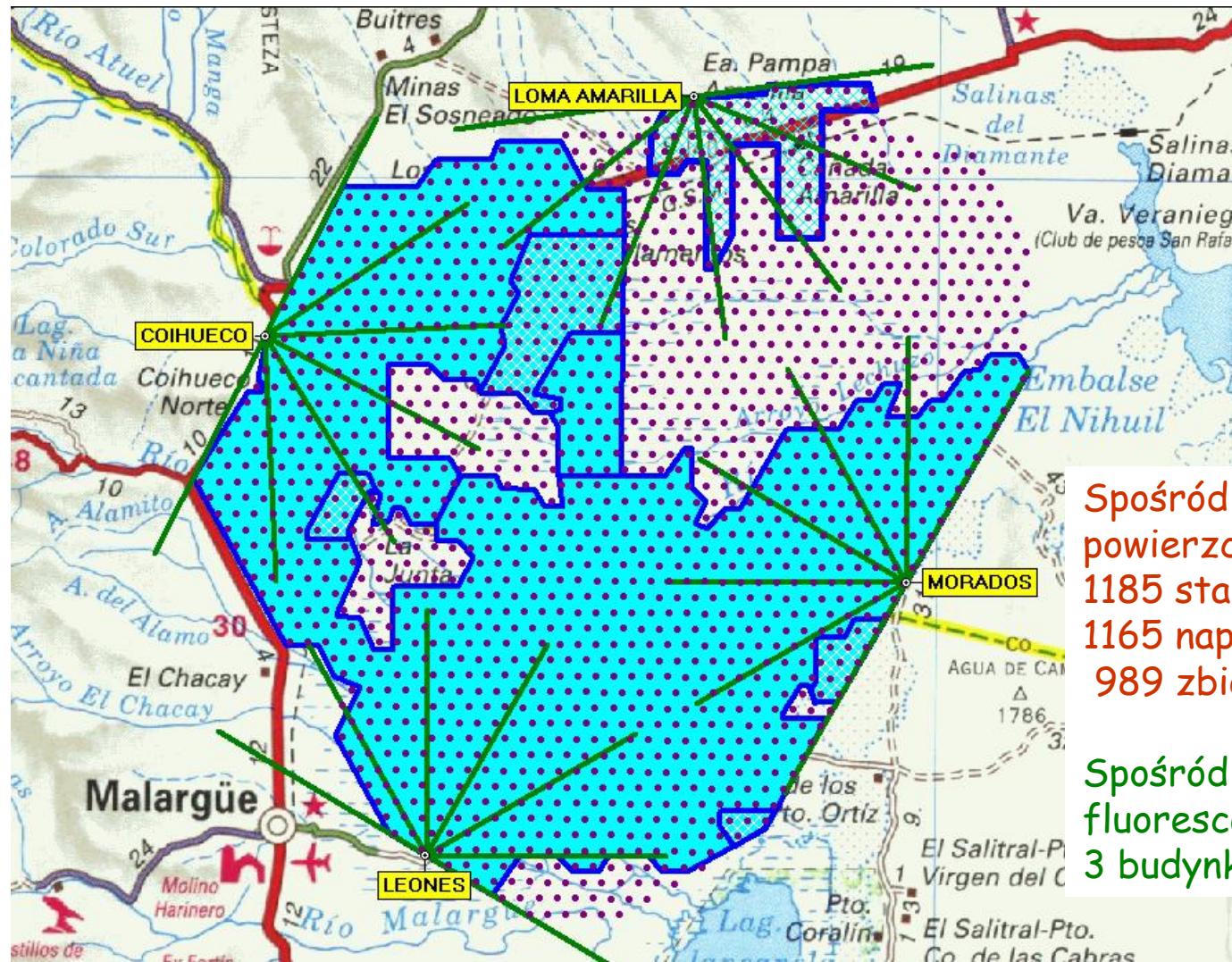


Wyznaczanie maksimum pęku



Rekonstrukcja (geometryczna) w funkcji wysokości
- potrzebna znajomość głębokości atmosferycznej $X(h)$

Stan budowy we wrześniu 2006



Spośród 1600 stacji detektora powierzchniowego
1185 stacji rozmieszczonych
1165 napолнione wodą
989 zbiera dane

Spośród 4 budynków detektora fluoresencyjnego
3 budynki ukończone