

Fizyka cząstek: detektory

prof. dr hab. A.F.Żarnecki

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych IFD

Wykład VI

Eksperymenty nieakceleratorowe

- Pomiar neutronów
- Pierre Auger
- Fermi
- Poszukiwanie ciemnej materii

Neutrino

Przekrój czynny

Przekrój czynny na oddziaływanie neutrin z materią jest **niewyobrażalnie mały**.

Dla neutrin o energii rzędu 1 MeV

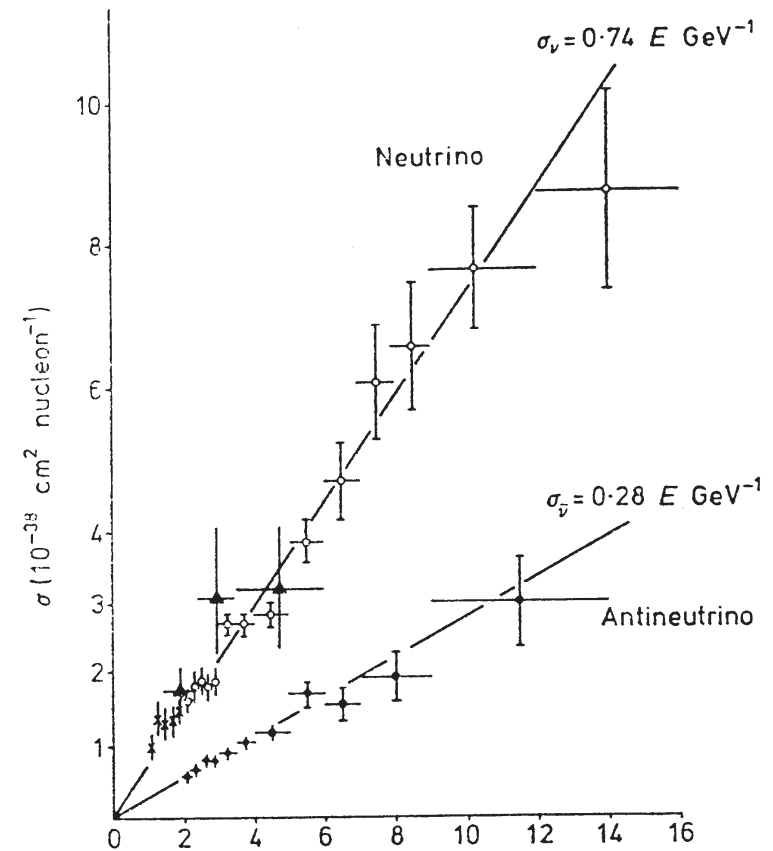
$$\sigma_{\nu N} \sim 10^{-43} \text{ cm}^2 = 10^{-19} \text{ b}$$

Odpowiada to średniej **drodze swobodnej** w materii rzędu **lat świetlnych !!!**

Przekrój czynny na oddziaływanie neutrin z materią **rośnie z energią**, ale tylko liniowo...

Badanie neutrin możliwe jest tylko w oparciu o **bardzo intensywnego źródła**...

Słońce, promieniowanie kosmiczne, reaktory jądrowe, oddziaływania cząstek...
oraz ogromne detektory...

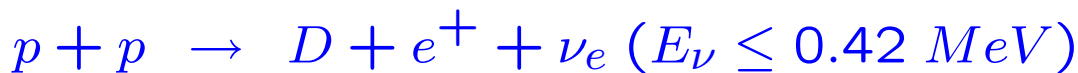


Neutrina słoneczne

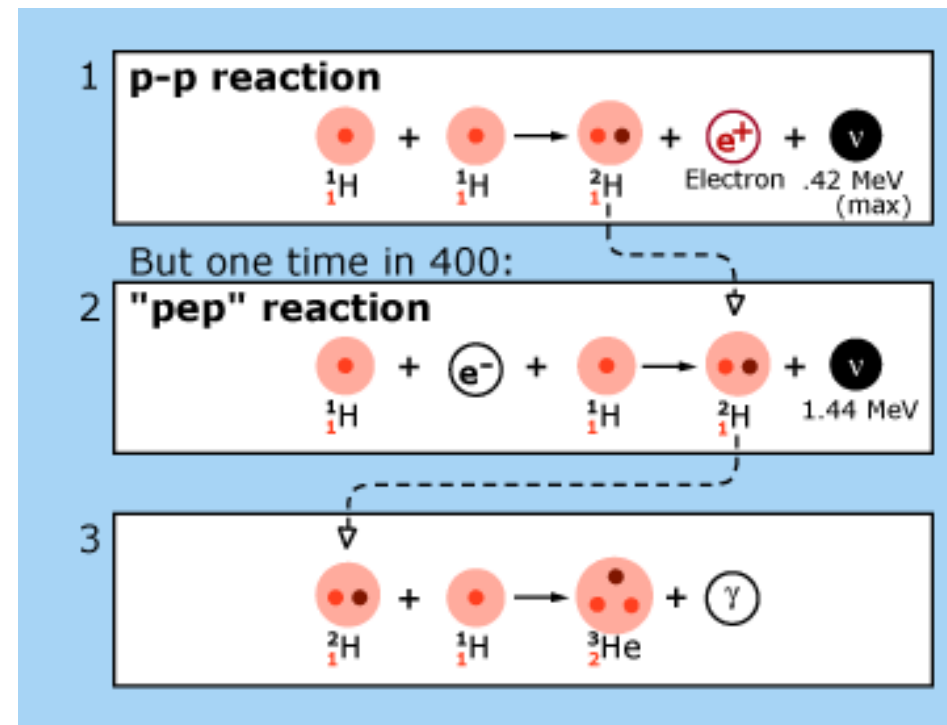
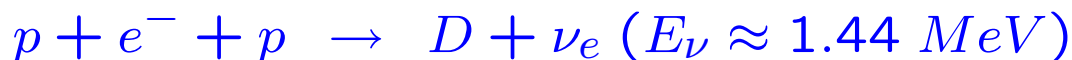
Produkcja neutrin

Słońce jest nie tylko źródłem promieniowania elektromagnetycznego, ale też niezwykle intensywnym źródłem neutrin elektronowych.

Ogromna **większość** neutrin pochodzi z reakcji **p-p**:



jednak **wyższe energie** uzyskują neutrina z reakcji **"pep"**:



Neutrina słoneczne

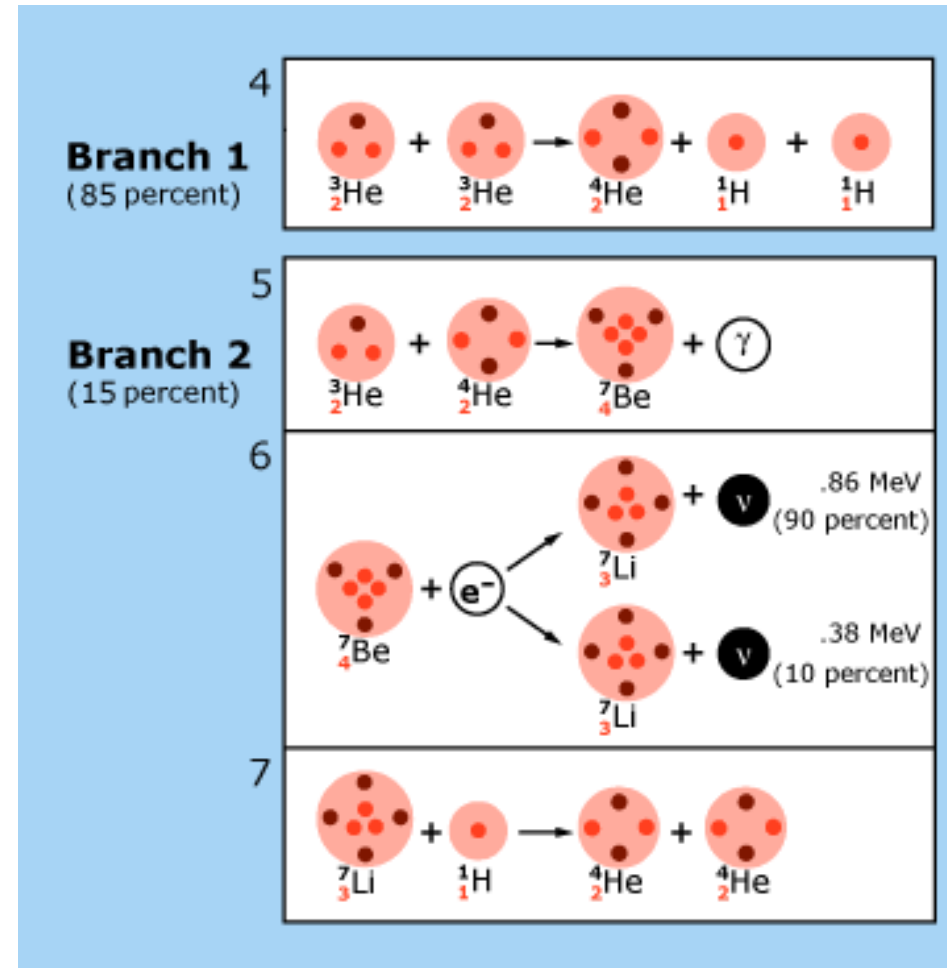
Produkcja neutrin

Dalsze reakcje syntezy ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^7\text{Be}$ i ${}^7\text{Li}$ prowadzą do emisji dodatkowych neutrin.

Neutrino z przemiany ${}^7\text{Be}$



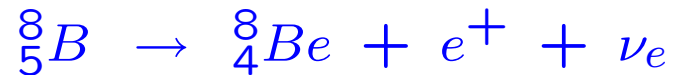
mają jednak energie **poniżej 1 MeV**



Neutrina słoneczne

Produkcja neutrin

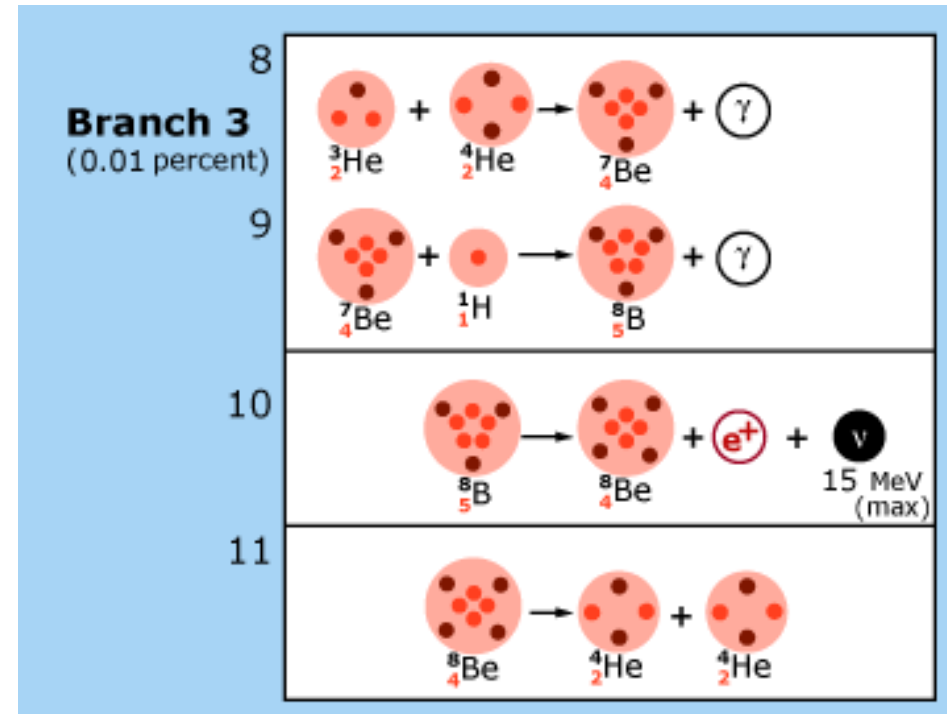
Źródłem wysokoenergetycznych neutrin jest przemiana 8B



w której energia emitowanych neutrin dochodzi do **15 MeV**

Tylko te neutrina mogą być mierzone w detektorach cząstek elementarnych.

Np. w Super-Kamiokande mierzymy neutrina o $E_\nu > 5-7 \text{ MeV}$...



Neutrina słoneczne

Widmo energii

Widmo energii **neutrino elektronowych** produkowanych w reakcjach jądrowych na słońcu ⇒

Strumień neutrino o energiach poniżej kilku MeV może być zmierzony **metodami radiochemicznymi**: mierzymy produkcję powstających **izotopów**:

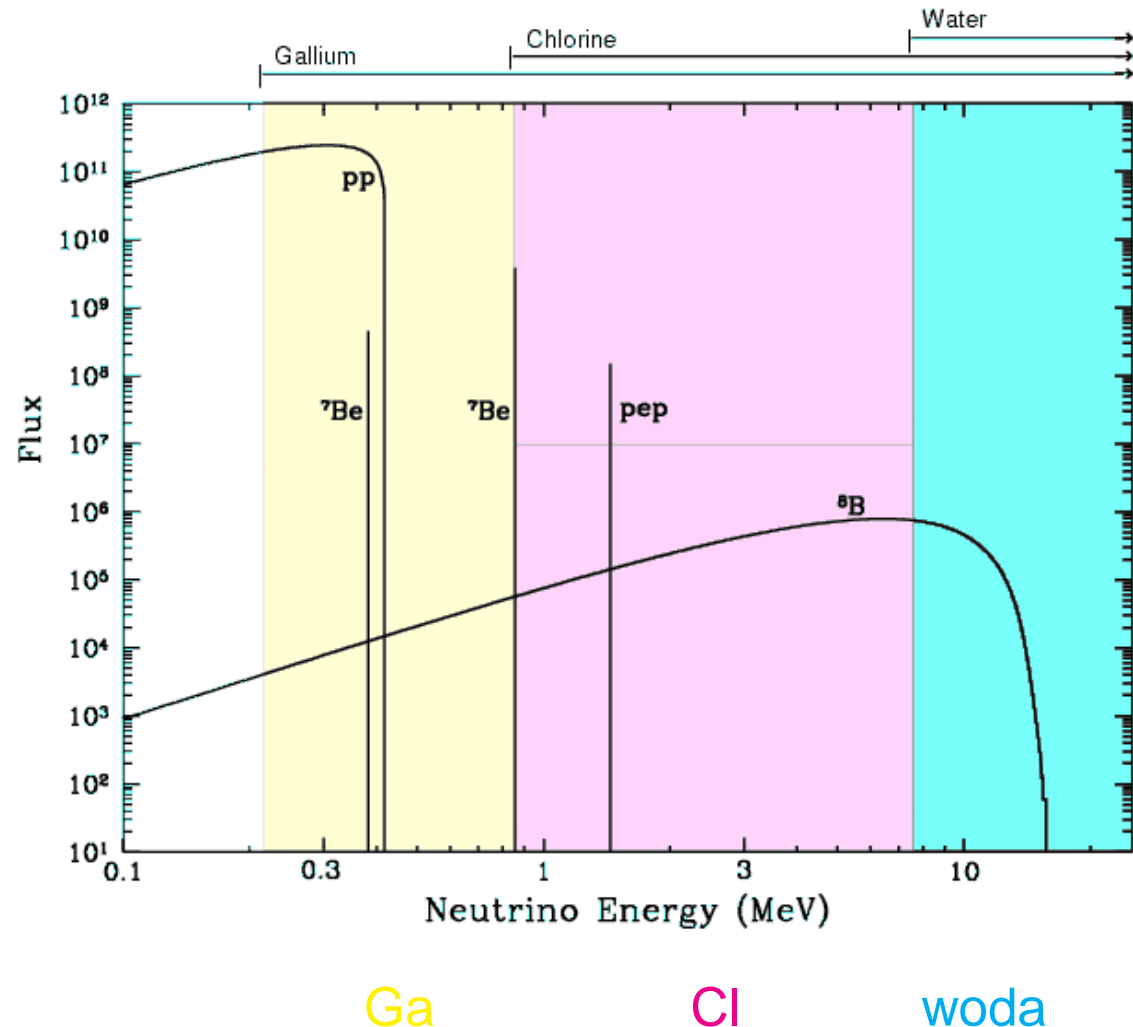


(eksperyment Homestake)



(SAGE, GALLEX, GNO)

Tylko neutrino elektronowe !



Neutrino

Eksperyment Super-Kamiokande

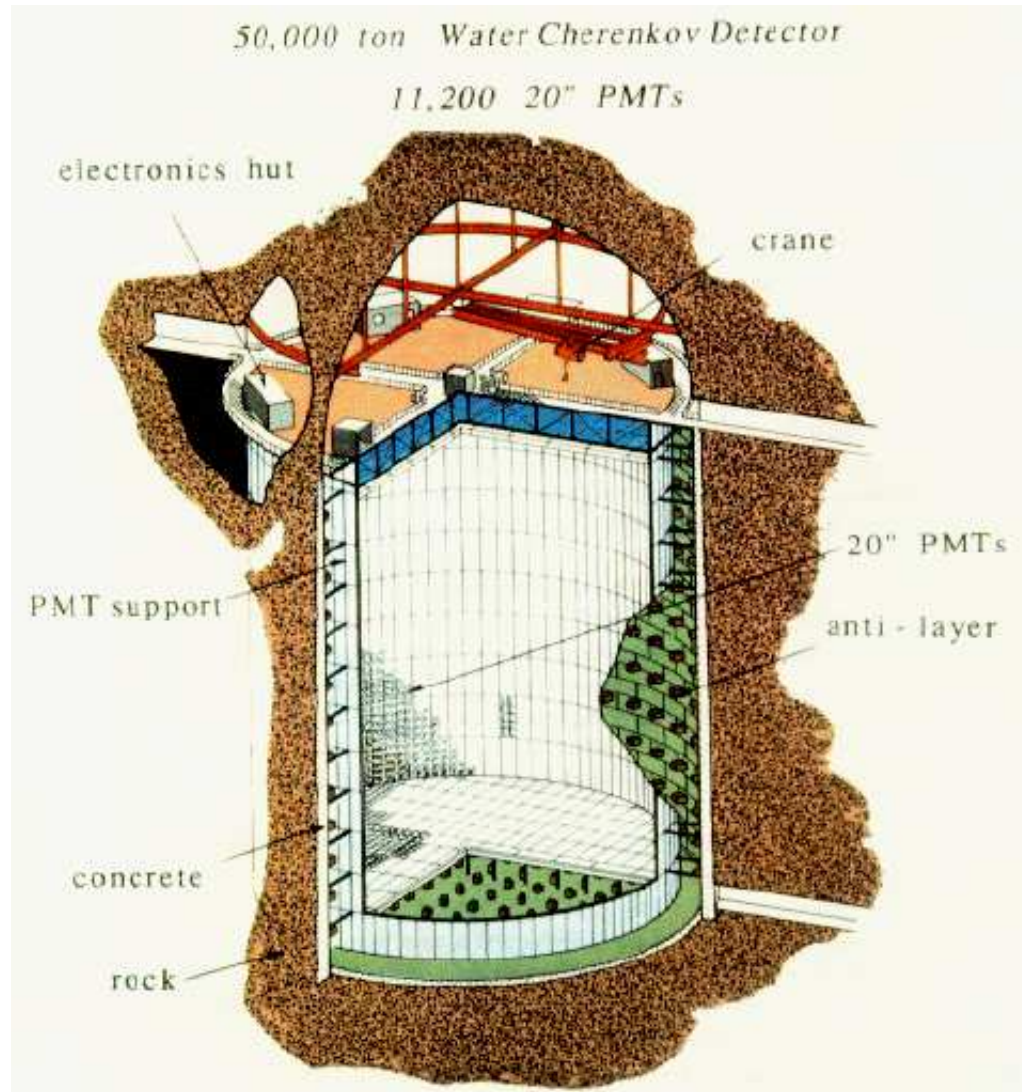
Japonia, w starej kopalni, 1 km pod górą Kamioka, komora o wysokości 40 m i średnicy 40 m, wypełniona **wodą**

11'000 fotopowielaczy (50 cm średnicy!) rejestruje przechodzące cząstki

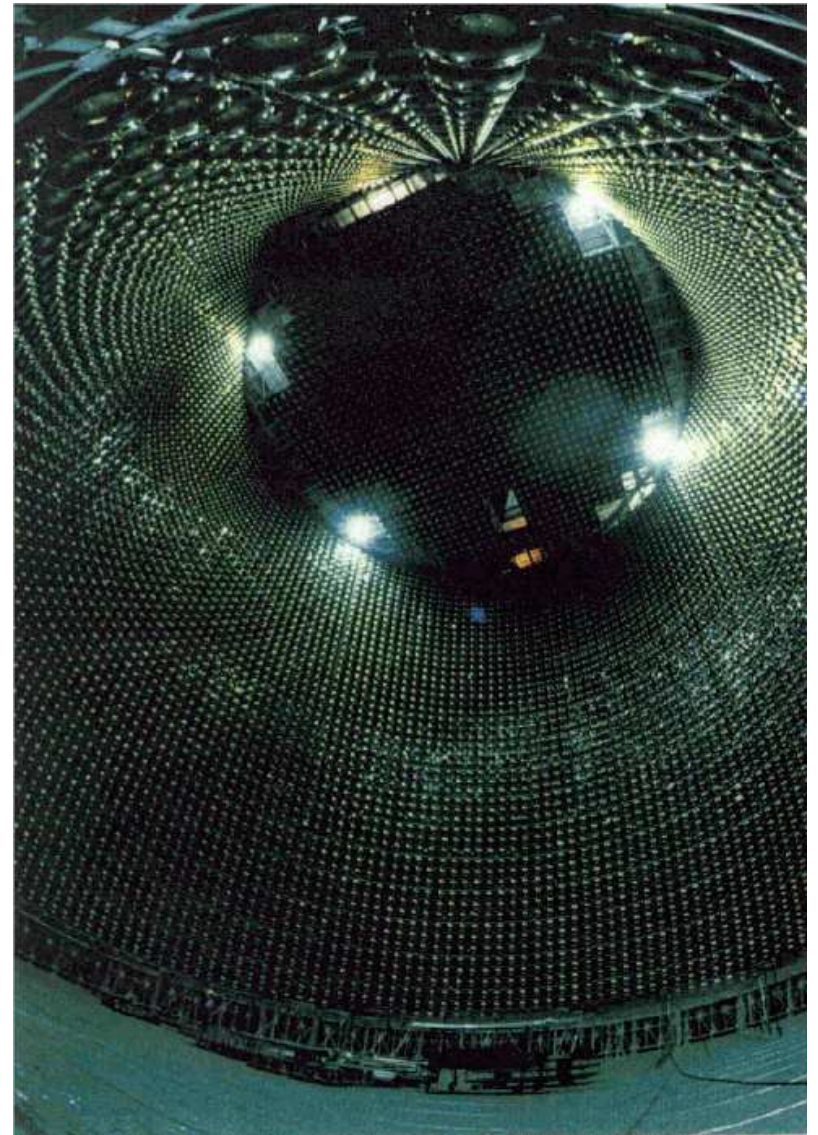
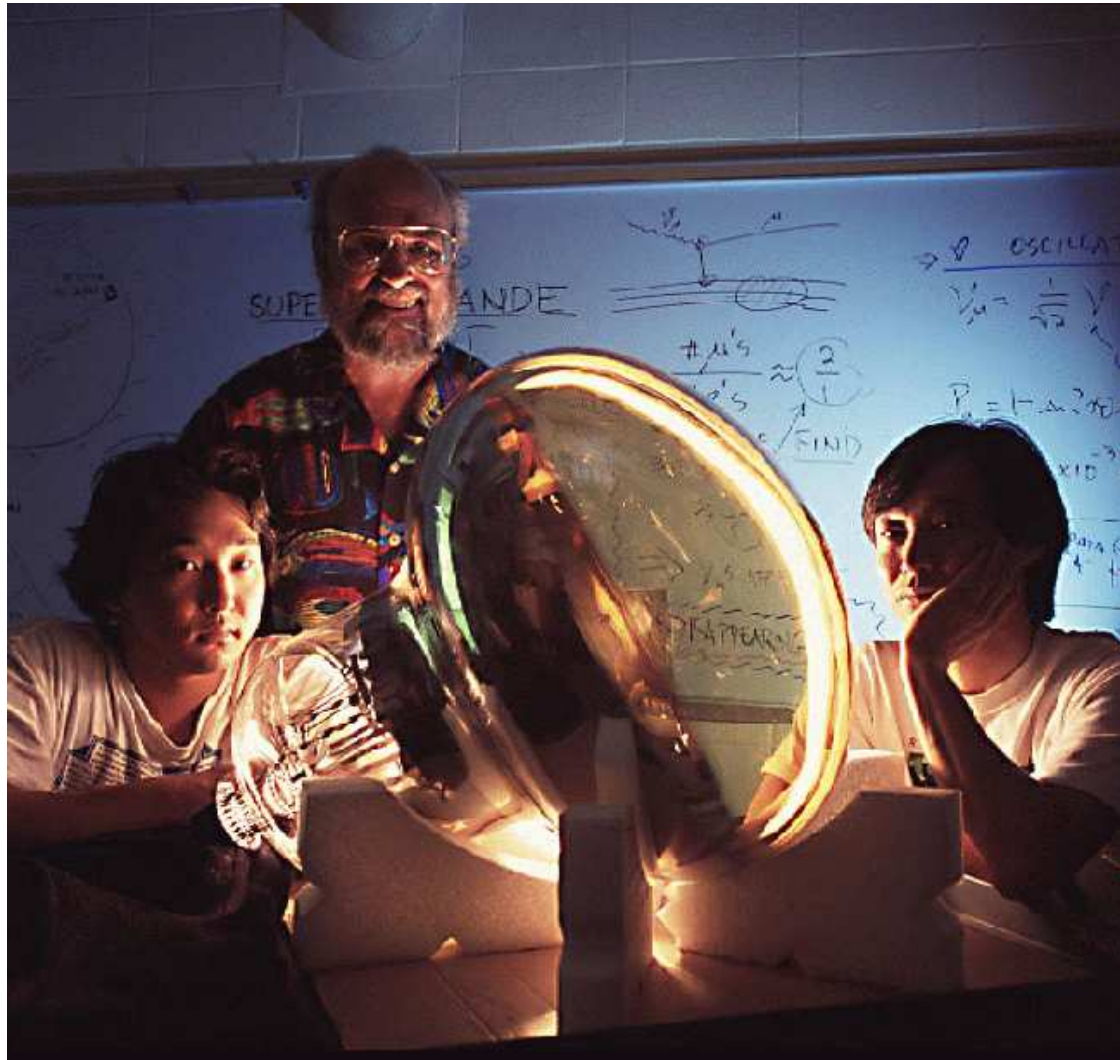
rejestrowane jest

promieniowanie Czerenkowa

Jak można mierzyć tak małe sygnały ($\sim 5MeV$) w tak ogromnym detektorze?



Super-Kamiokande



Napełnianie



Super-Kamiokande

Tło

Mimo ogromnej masy detektora oczekiwano jedyni około **30 przypadków** oddziaływań neutrin słonecznych **na dobę**.

Przypadki skrajnie niskich energii (rzędu 10 MeV) - konieczność **redukcji tła**.

Główne tło: **naturalna promieniotwórczość**.

Stężenie radonu w powietrzu w kopalni $\sim 3000 Bq/m^3$

- ⇒ hermetyczne drzwi, intensywna wentylacja powietrzem zewnętrznym
- ⇒ cała komora wyłożona specjalną plastikową osłoną zabezpieczającą przed przenikaniem radonu ze skał
- ⇒ hermetyczny zbiornik, dopełniony specjalnie oczyszczonym powietrzem ($3mBq/m^3$) pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego
- ⇒ intensywne filtrowanie wody (ok. 35 t/h, czyli cały detektor w ok. 2 miesiące)

Super-Kamiokande

Wyzwalanie

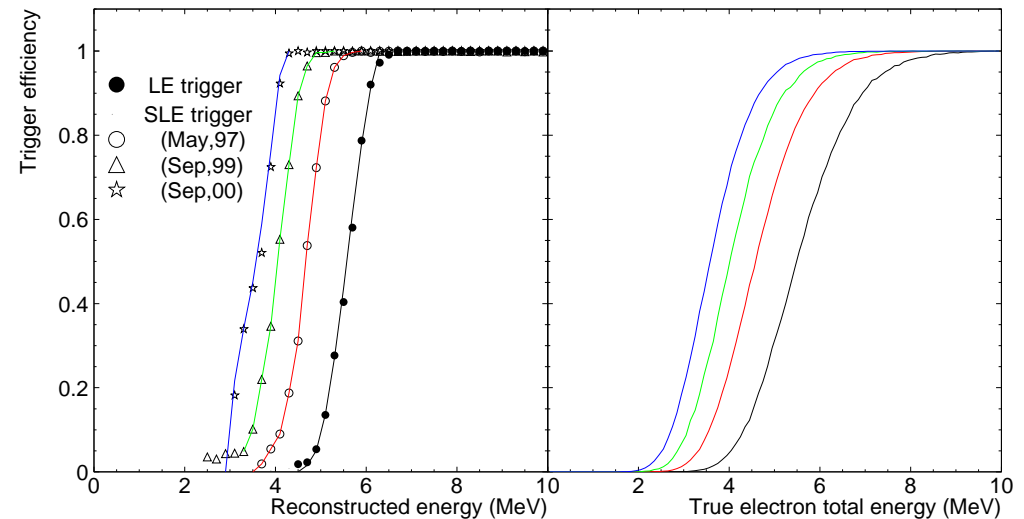
Średni poziom sygnału z pojedynczego fotopowielacza: 3.5 kHz.

Układ wyzwalania wymagał przyjęcia sygnału z wielu PMT w oknie czasowym 200 ns.

Średnia oczekiwana liczba zliczeń: ok. 8.

Różne progi wyzwalania:

- High Energy (HE) - 33 PMT
- Low Energy (LE) - 29 PMT
- Super Low Energy (SLE) - 24 PMT



Próg wyzwalania mógł być obniżany w miarę oczyszczania detektora.

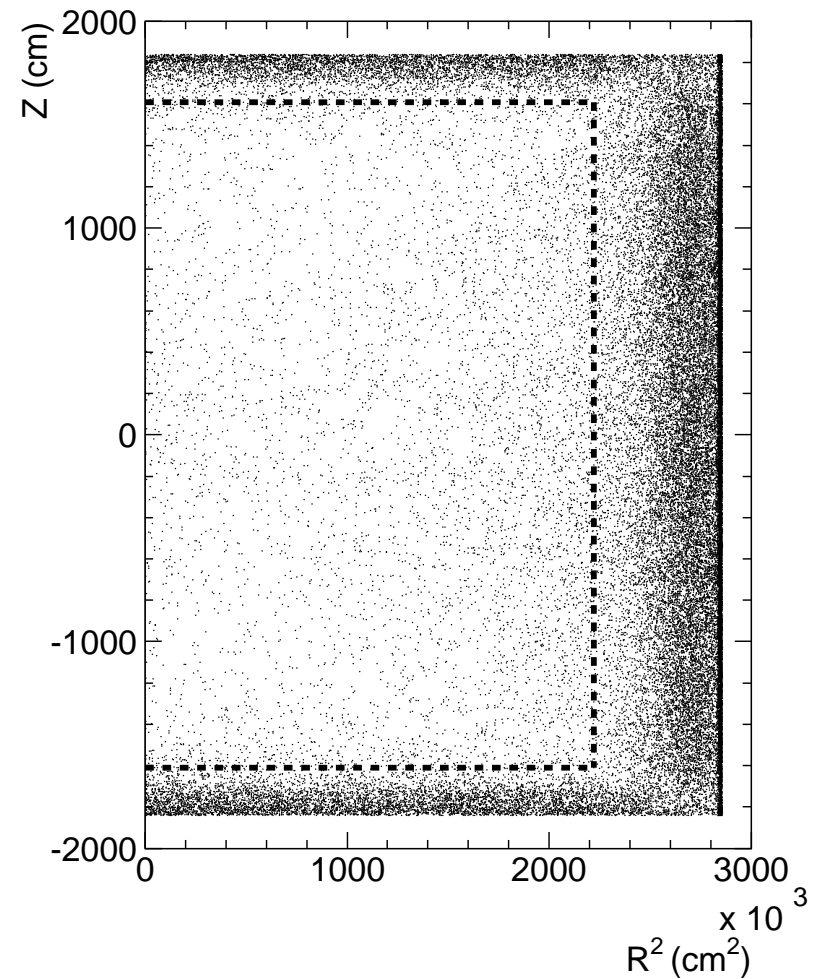
Super-Kamiokande

Wyzwalanie

Typowy rozkład rekonstruowanych wierzchołków po wstępnej selekcji przypadków niskiej energii (próg 5 MeV).

Wyraźny wkład **naturalnej promieniotwórczości** ścian komory.

Przerywana linia: “fiducial volume”
obszar z którego wybieramy przypadki do dalszej analizy.



Super-Kamiokande

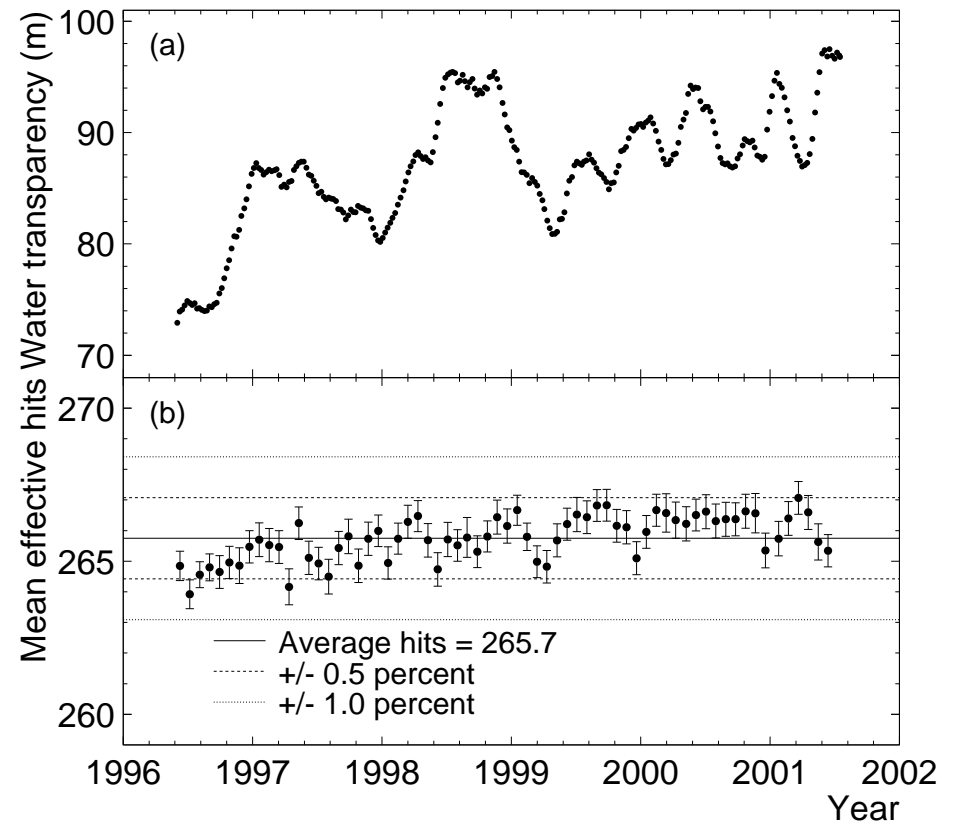
Kalibracja

Fotony przebiegają w wodzie do 60 m
- **atenuacja światła** musi być dokładnie znana i monitorowana.

Można ją wyznaczyć z obserwacji sygnału z **rozpadu zatrzymujących się mionów**.

Około 1500 “kalibracyjnych” rozpadów dziennie.

Wystarcza do bardzo dokładnego monitorowania zmian w **skali tygodni**.



Super-Kamiokande

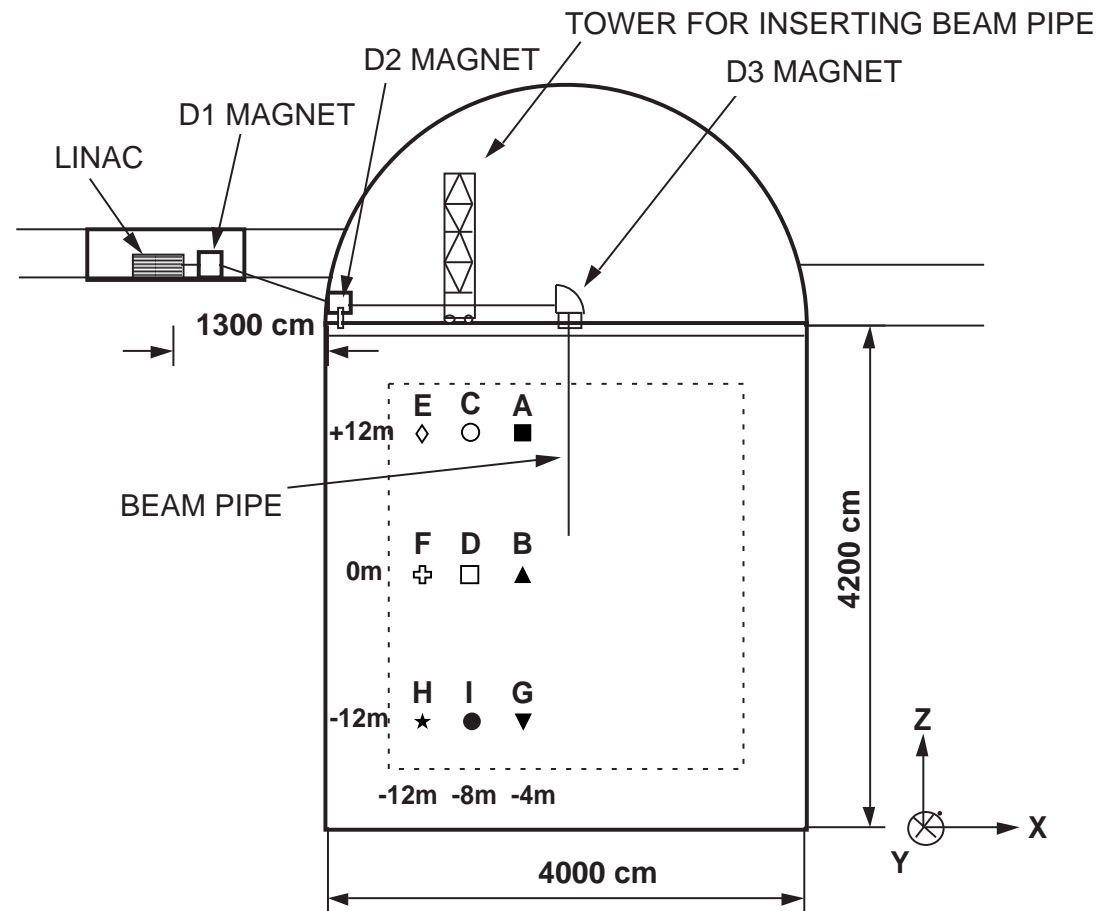
Kalibracja

Kalibracja energetyczna: kluczowa przy niskich energiach.

Główna metoda:

własny akcelerator (!) 5-16 MeV
(zakres energii mierzonych neutronów)

Wiązka wprowadzana pionowo w kilku wybranych punktach.



Super-Kamiokande

Kalibracja

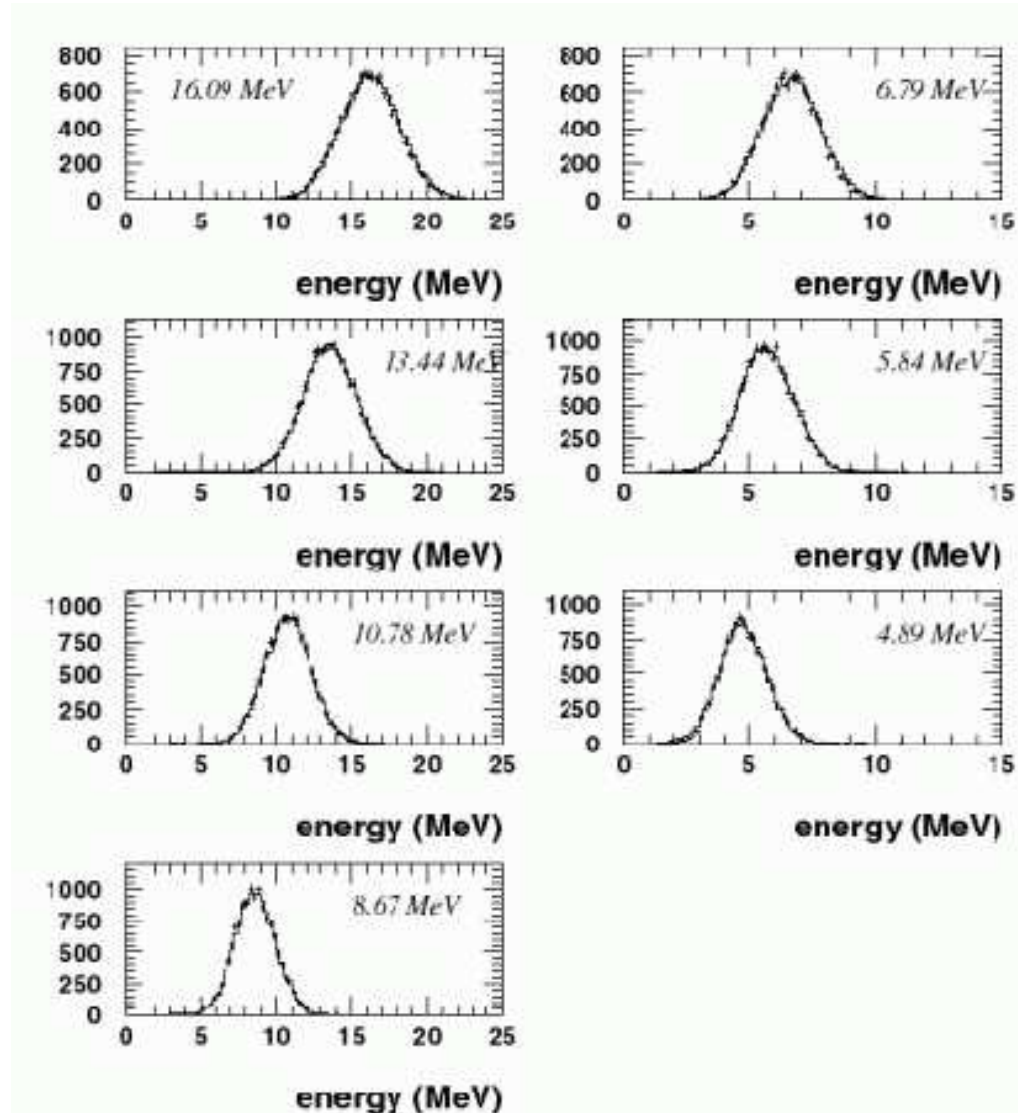
Wyniki kalibracji przy pomocy akceleratora

Rozdzielczość energetyczna

- 18.4% przy 5 MeV
- 14.2% przy 10 MeV
- 11.3% przy 20 MeV

Tłumacząc to na parametry kalorymetru

$$\frac{\sigma}{E} \approx \frac{1.2\%}{\sqrt{E[\text{GeV}]}} \oplus 7.6\%$$

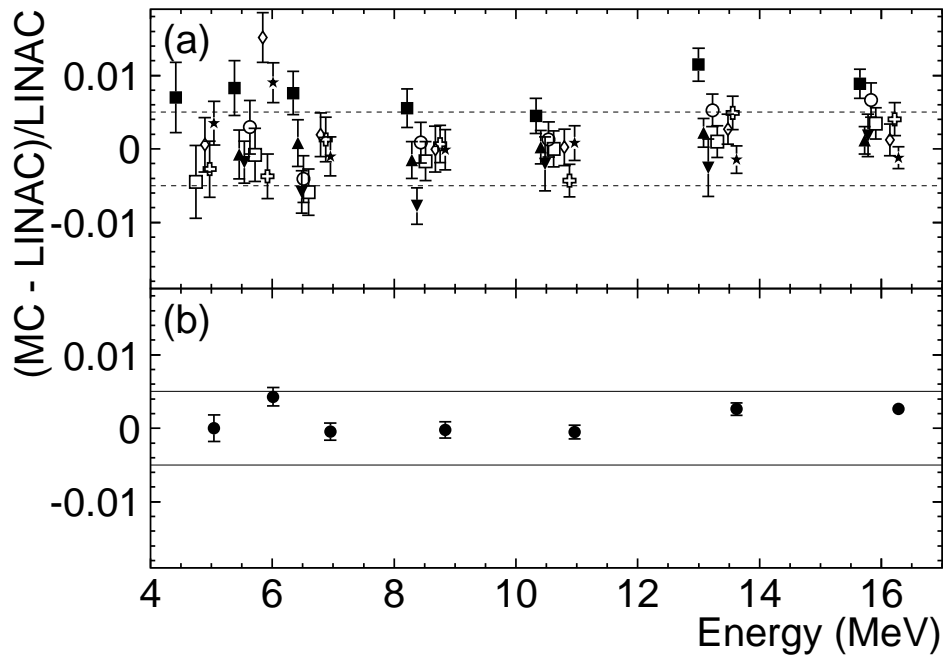


Super-Kamiokande

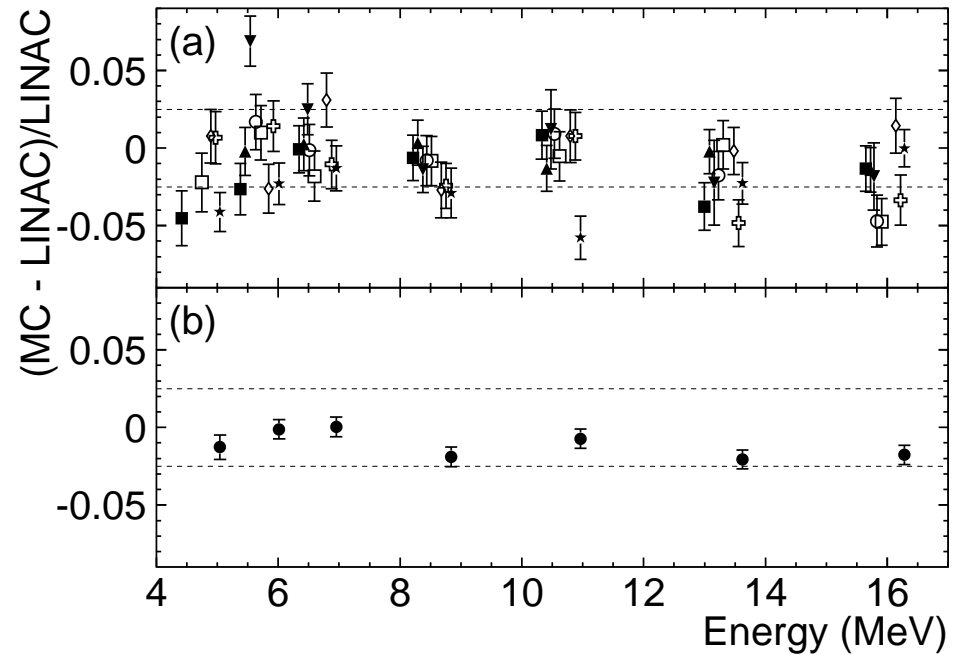
Kalibracja

Wyniki kalibracji przy pomocy akceleratora

Skala energii



Rozdzielczość

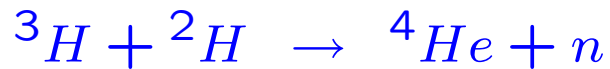


Super-Kamiokande

Kalibracja

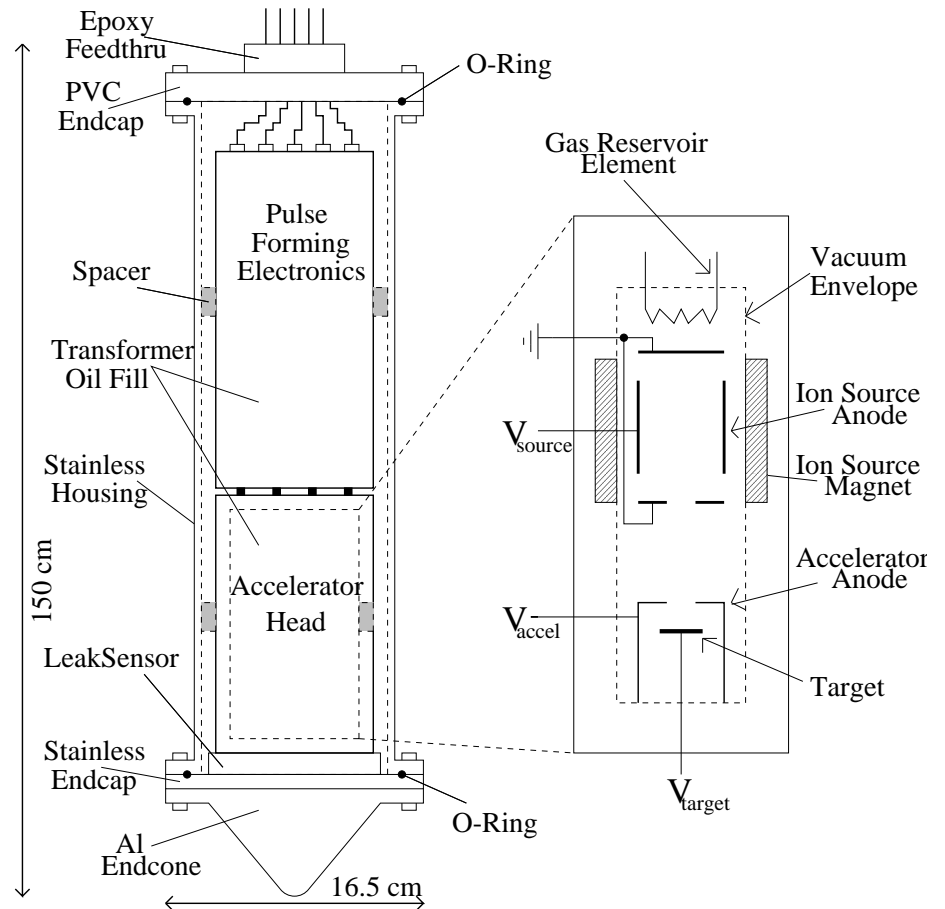
Wada akceleratora: tylko wybrane pozycje i jeden kierunek wiązki (pionowy).

Drugie narzędzie: "generator DT" - źródło neutronów.



Izotropowy strumień neutronów 14.2 MeV.

W oddziaływaniu z tlenem (w wodzie):

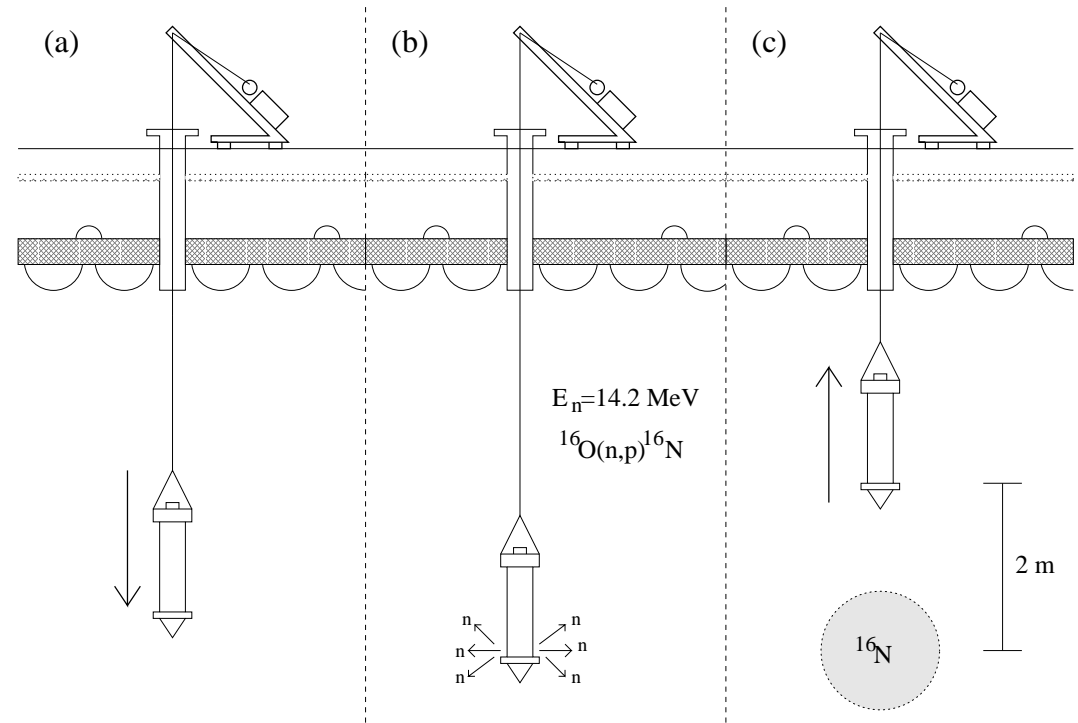
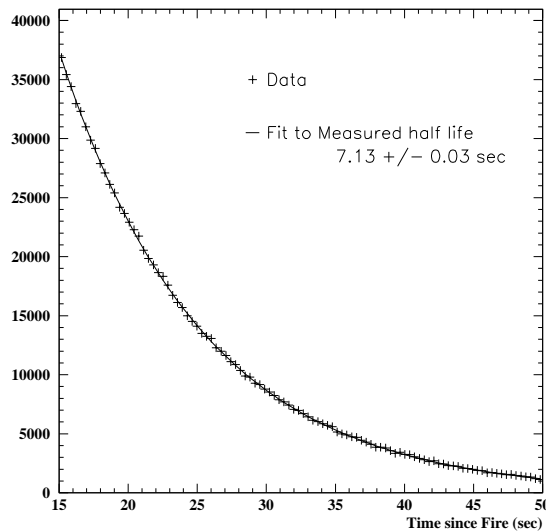


Super-Kamiokande

Kalibracja

Rozpady ^{16}N dokładnie znane:

- 66%: $6.129\text{MeV } \gamma + 4.29\text{MeV } \beta$
- 28%: $10.419\text{MeV } \beta$



Rozpady ^{16}N mierzone po wyciągnięciu “generatora”

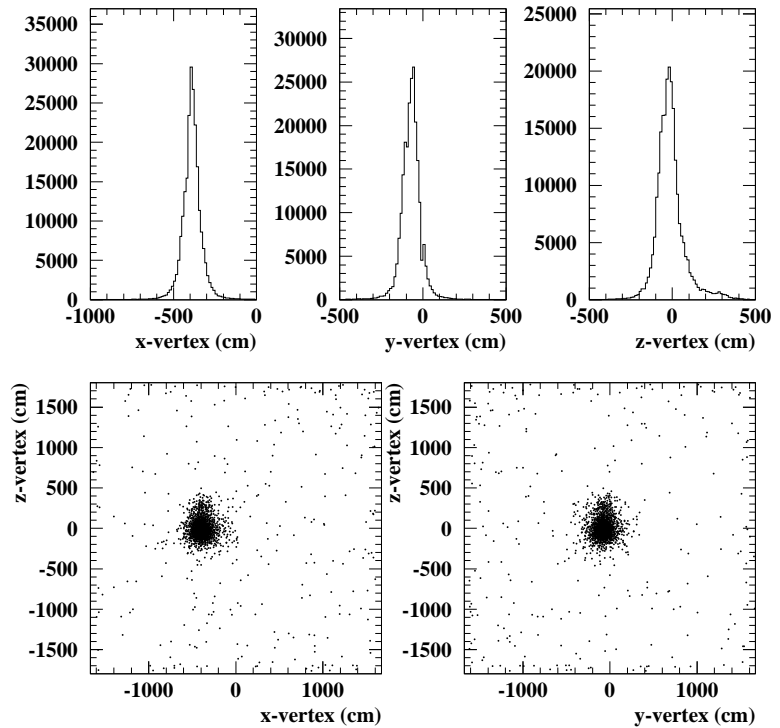
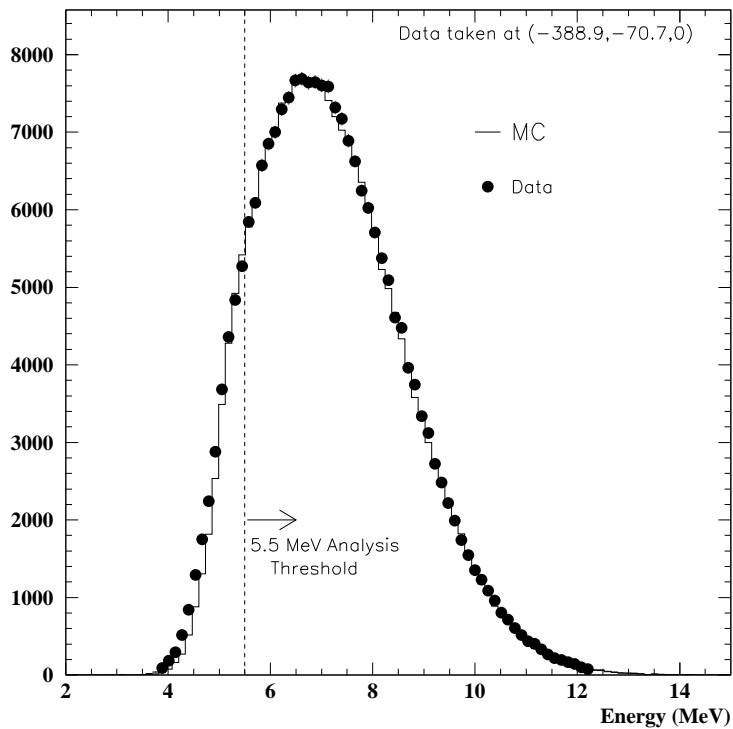
Super-Kamiokande

Kalibracja

Mierzone rozkłady dla przypadków kalibracyjnych ^{16}N :

Energii

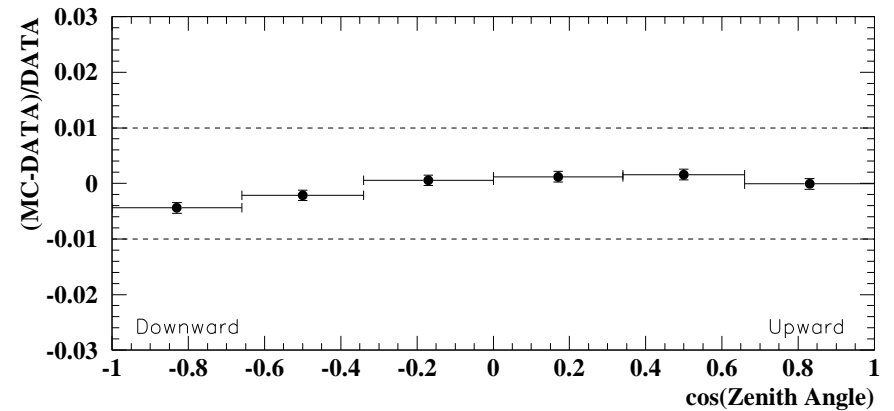
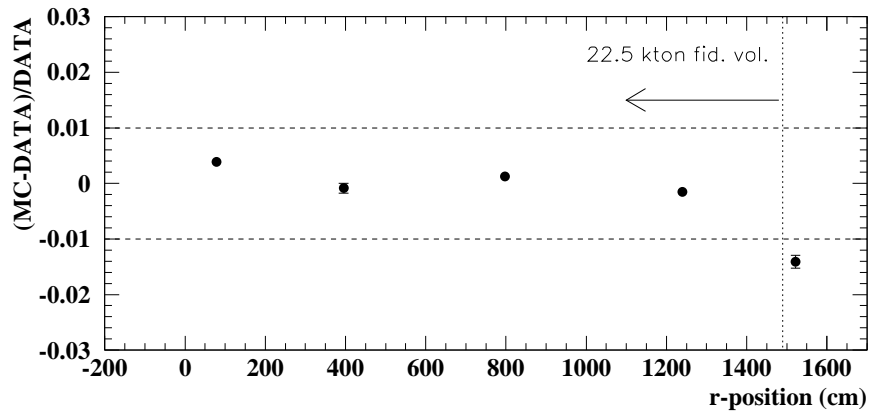
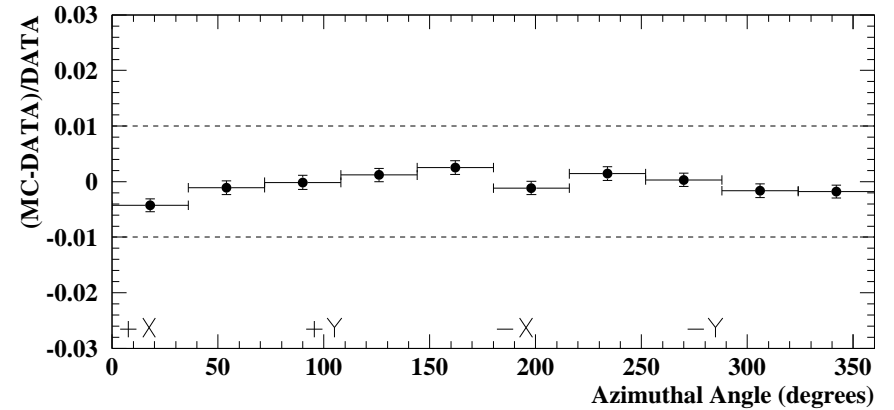
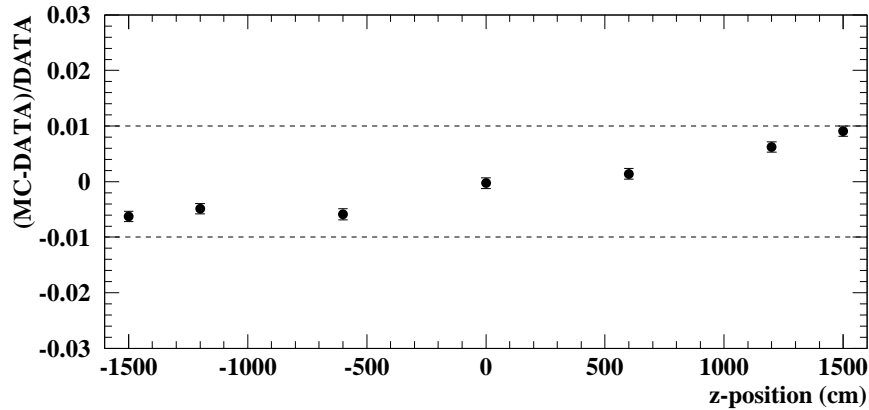
Położenia wierzchołka



Super-Kamiokande

Kalibracja

Skala energii nie zależna od pozycji i kąta emisji elektronu



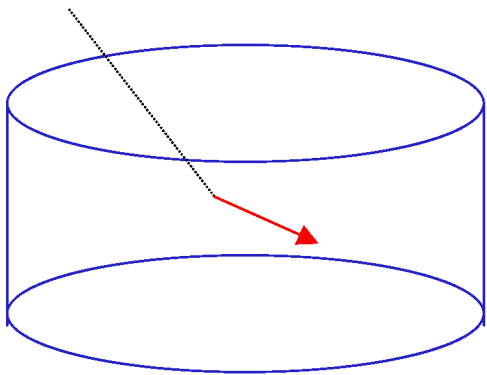
Super-Kamiokande

Klasyfikacja przypadków

Przypadki które rozpoznajemy jako **oddziaływania neutrin**:

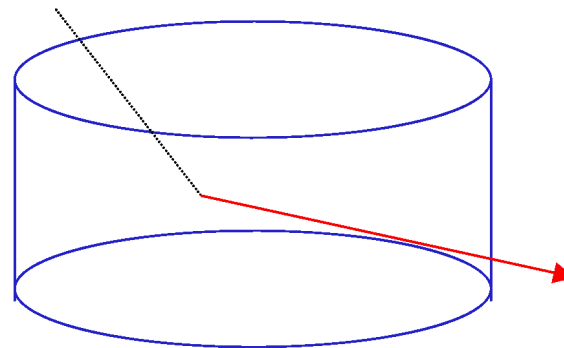
FC: Fully Contained

Elektron lub niskoenergetyczny mion **wyprodukowany** w detektorze **zatrzymuje się** w nim



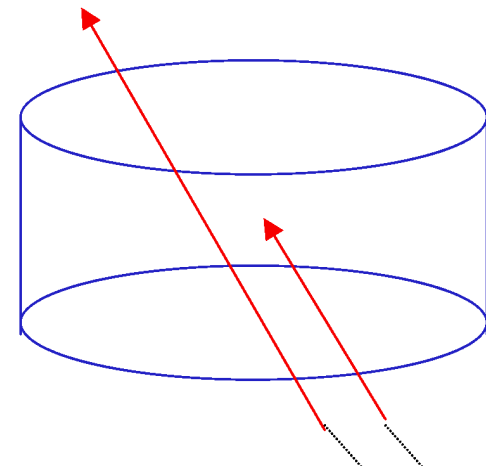
PC: Partially Contained

Wysokoenergetyczny mion **wyprodukowany** w środku **ucieka** z detektora



Upward

Miony **wpadające** do detektora **od dołu**

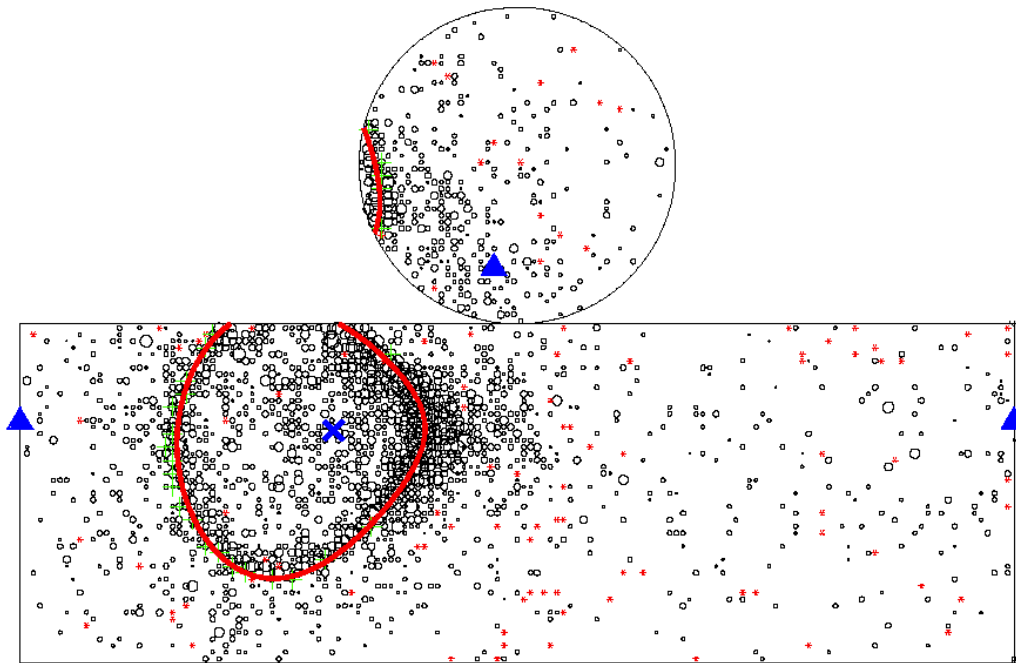


Super-Kamiokande

Neutrino elektronowe

Przypadek $\nu_e n \rightarrow e^- p$

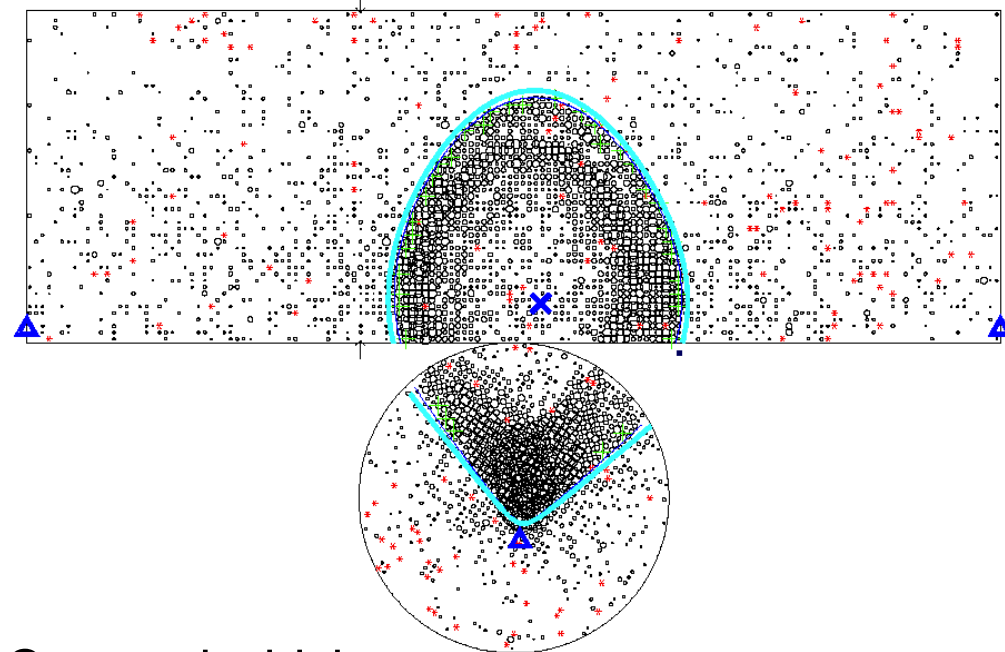
Krótki zasięg elektronu - “cienki” pierścień



Neutrino mionowe

Przypadek $\nu_\mu n \rightarrow \mu^- p$

Długa droga w wodzie - “gruby” pierścień.

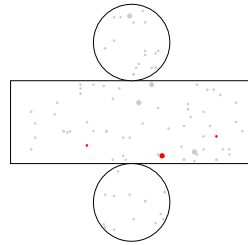
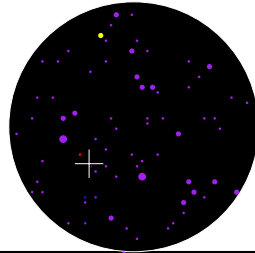


Czasami widzimy

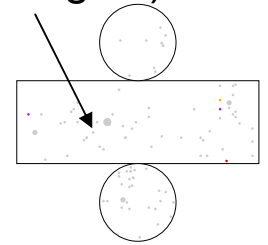
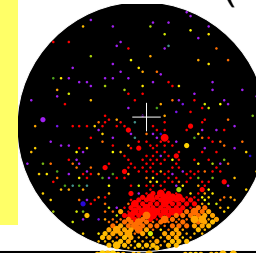
też opóźniony sygnał e^- z rozpadu μ^- .

Particle identification

Single Cherenkov ring
electron-like event

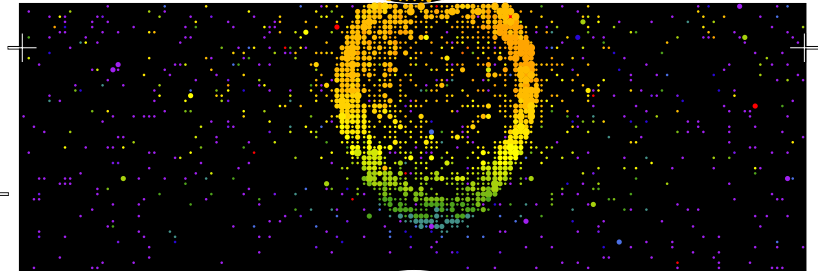
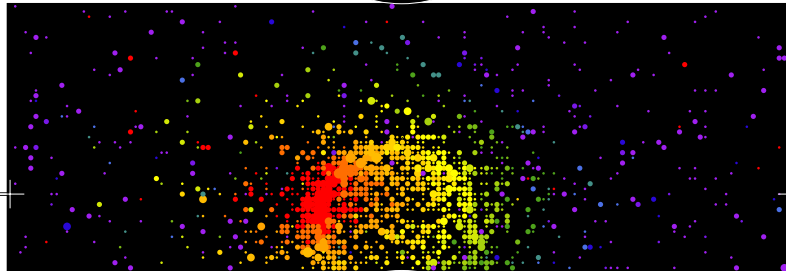


Single Cherenkov ring
muon-like event



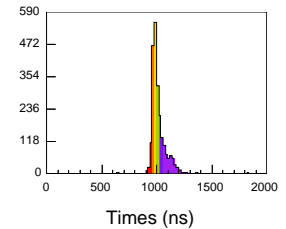
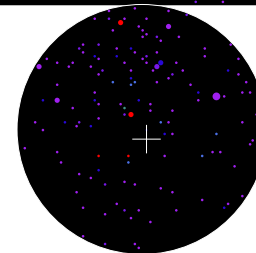
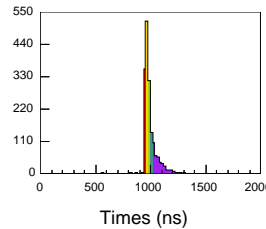
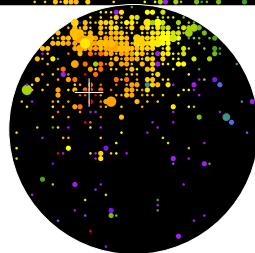
Time (ns)

- < 958
- 958- 963
- 963- 968
- 968- 973
- 973- 978
- 978- 983
- 983- 988
- 988- 993
- 993- 998
- 998-1003
- 1003-1008
- 1008-1013
- 1013-1018
- 1018-1023
- 1023-1028
- >1028



Color: timing

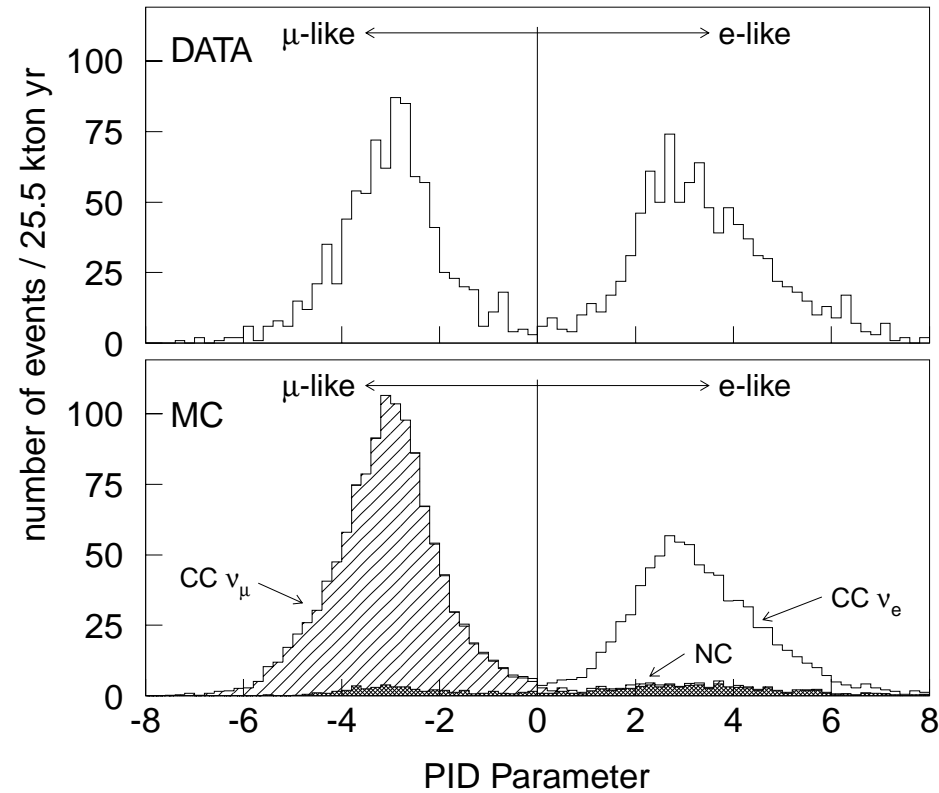
Size: pulse height



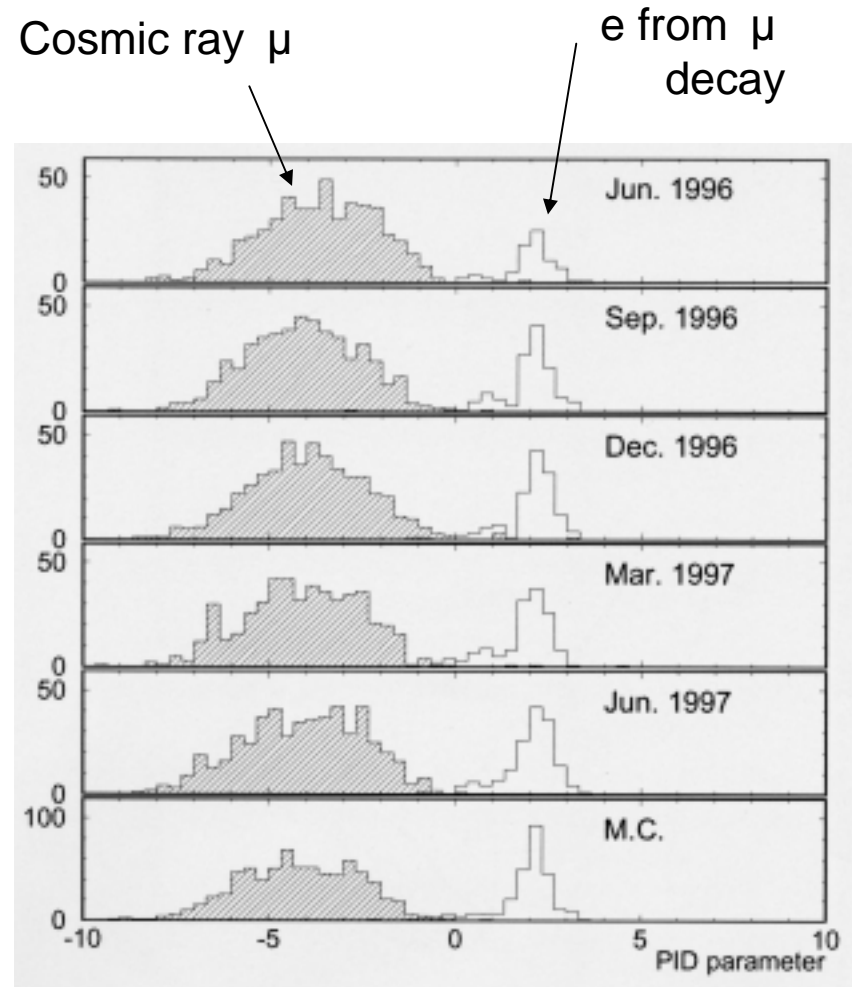
Particle ID

$$\log(L) = \sum_{\theta < 70 \text{deg}} \left(\frac{p.e.(obs'd) - p.e._{e \text{ or } \mu}(\text{expected})}{\sigma_{p.e.}} \right)^2$$

Particle ID results



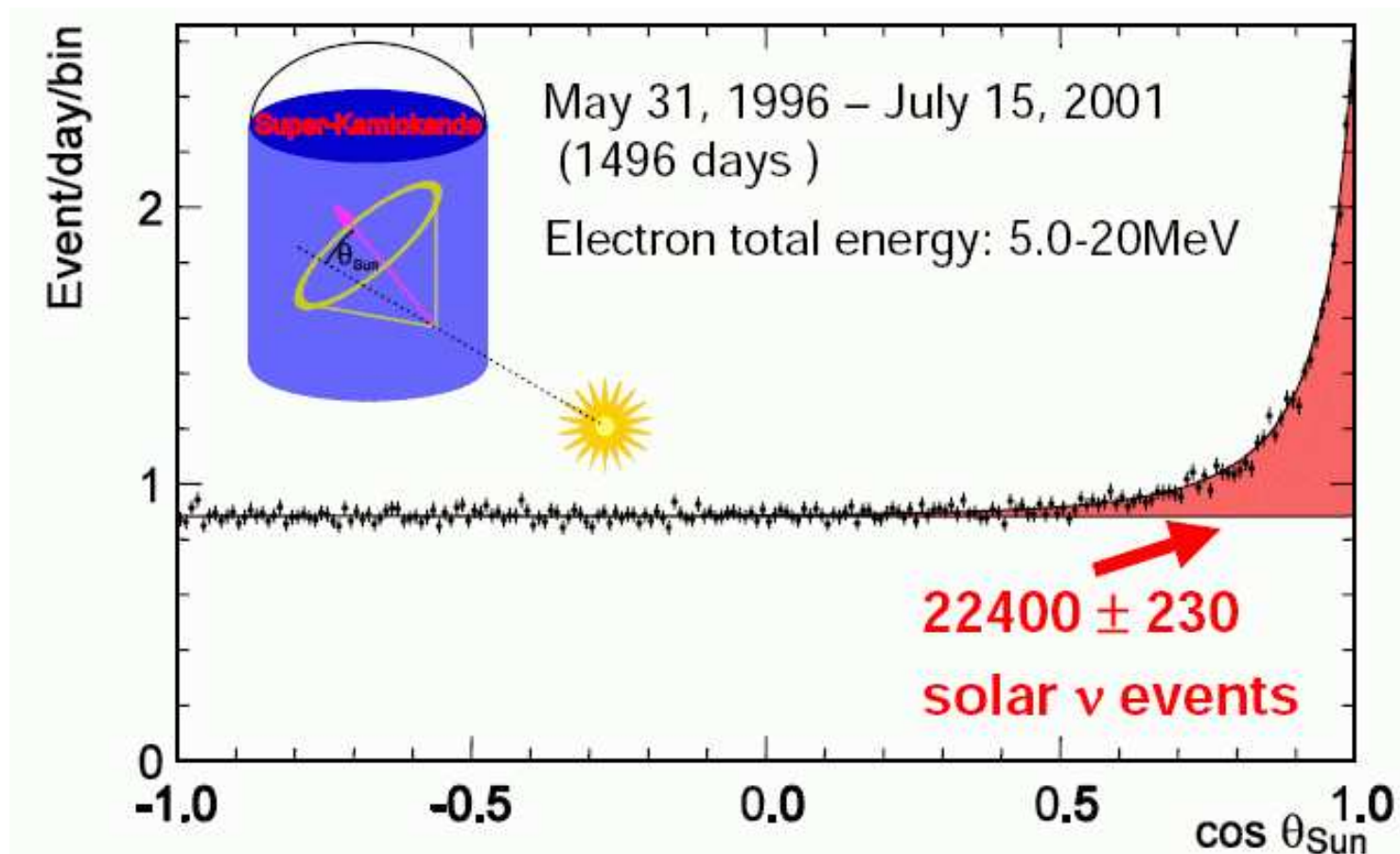
=99%



Super-Kamiokande

Obserwacja neutrin słonecznych

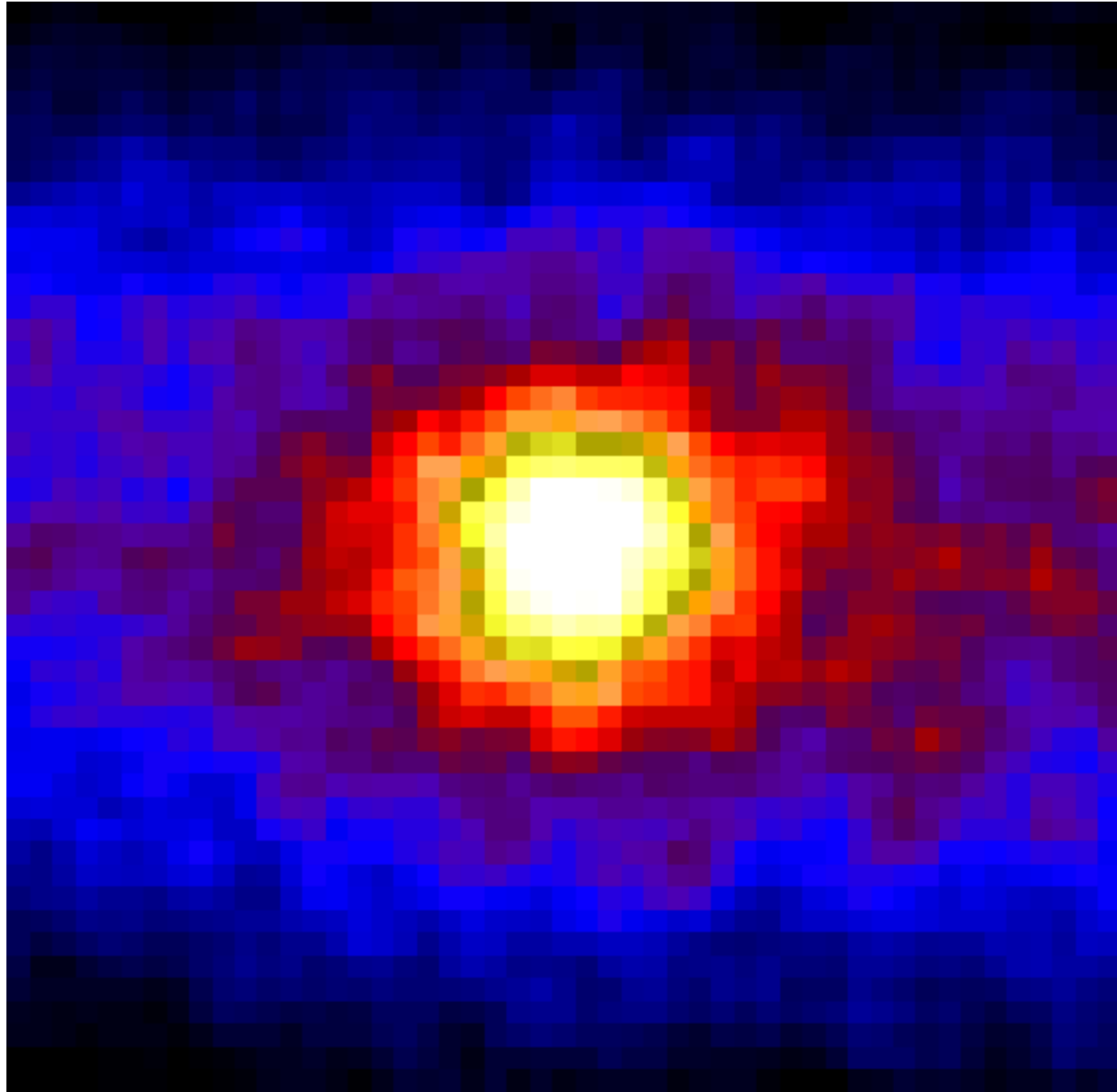
Oddziaływania **neutrin słonecznych** możemy odróżnić od oddziaływań neutrin atmosferycznych mierząc **kąt rozproszenia** elektronu względem **kierunku od słońca**:



Super-Kamiokande

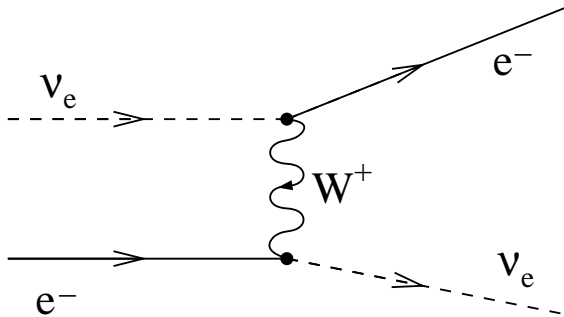
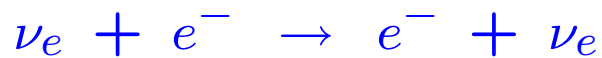
“Zdjęcie” Słońca
w “świele” neutrin

rzeczywisty rozmiar
Słońca $\sim \frac{1}{2}$ pixla

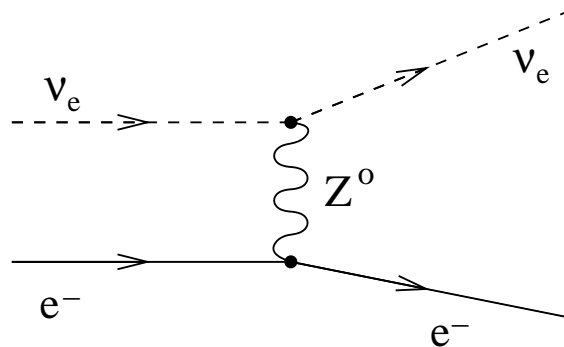
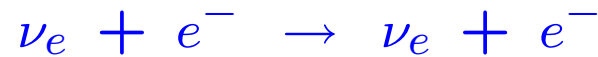


Super-Kamiokande

Neutrina słoneczne obserwowane w SK pochodzą głównie z reakcji typu **CC**

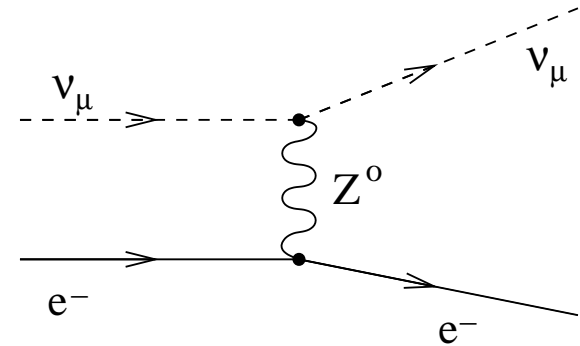
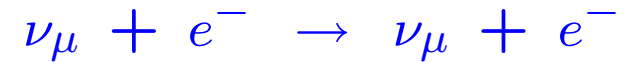


Możliwa jest też detekcja ν_e poprzez proces typu **NC**:



przekrój czynny ~ 5 razy mniejszy...

Ale proces typu **NC** możliwy jest też dla innych neutrin, np:



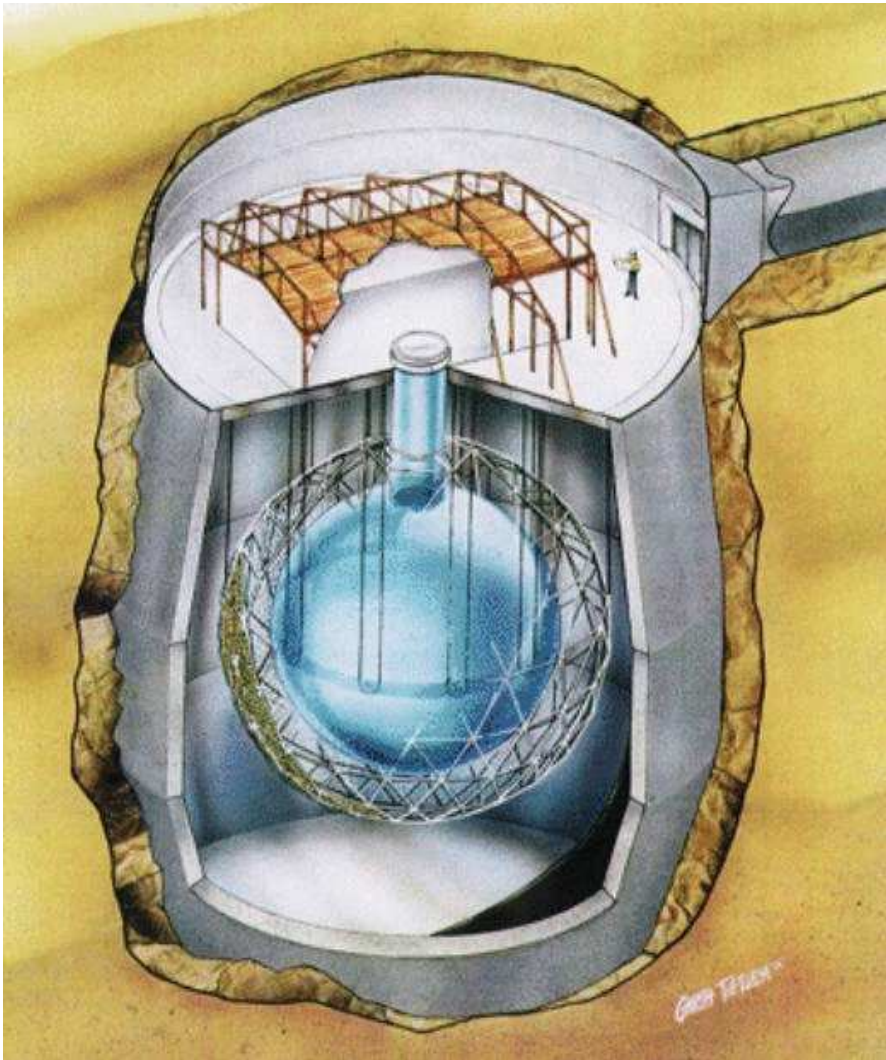
(także dla ν_τ)

Pomiar Super-Kamiokande:

$$\Phi^{SK} \approx \Phi_{\nu_e} + 0.154 \cdot (\Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau})$$

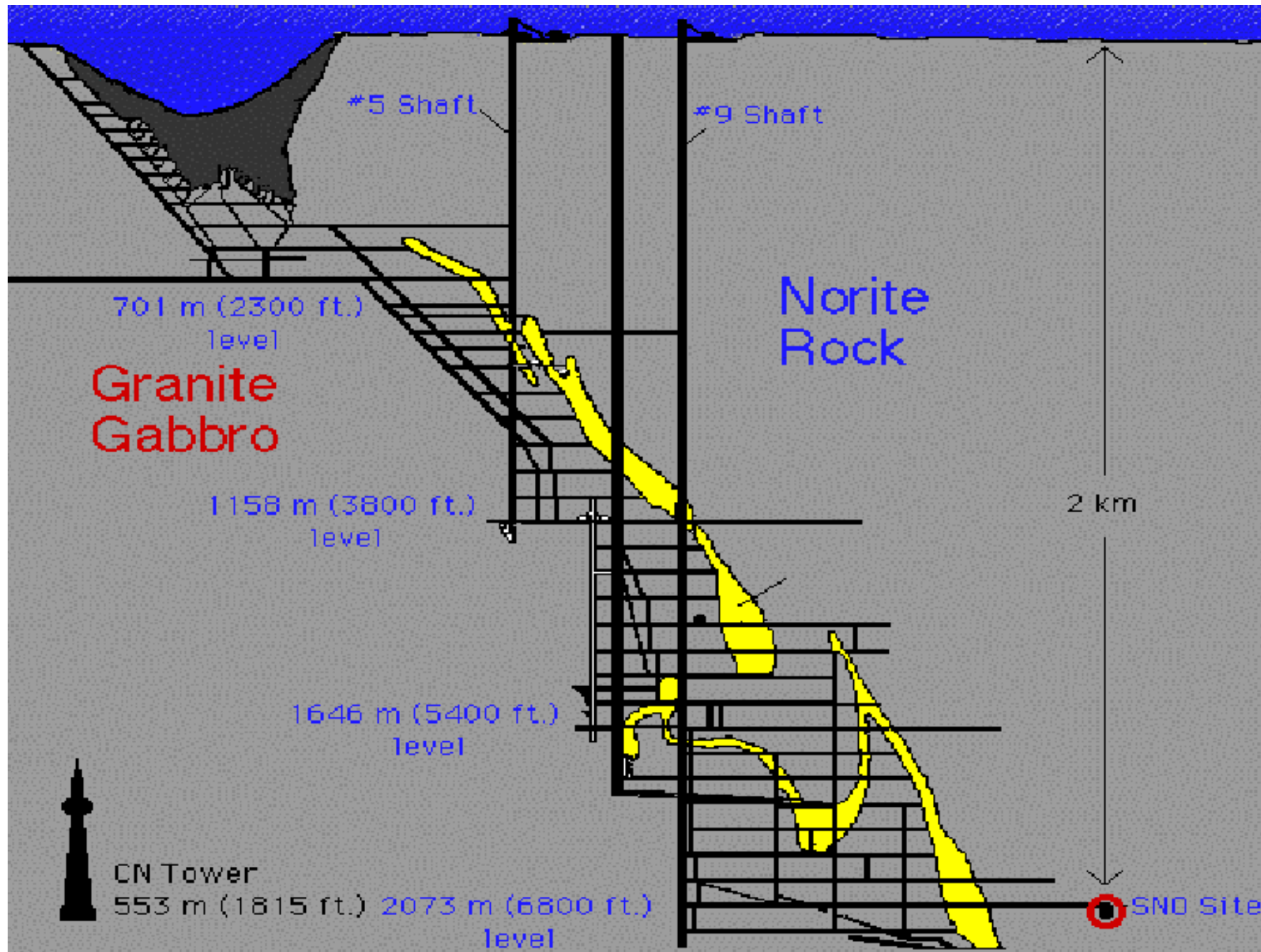
SNO

Eksperyment SNO (Sudbury Neutrino Observatory)



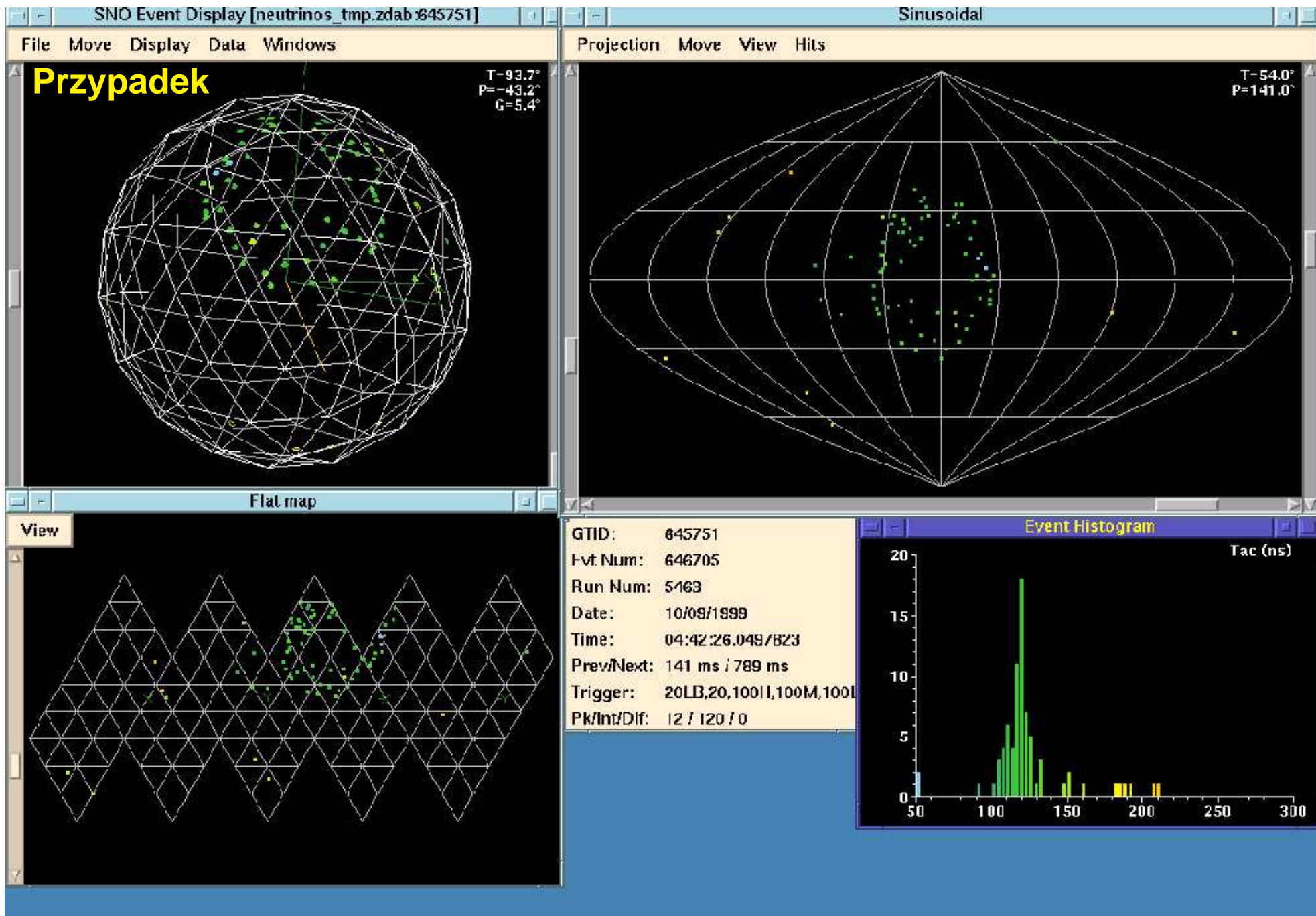
- ogromny zbiornik wypełniony 7000 t wody (H_2O)
- w środku kula wypełniona 1000 t **ciężkiej wody** (D_2O)
- promieniowanie Czerenkowa mierzone przez ok. 9500 fotopowielaczy.
- całość umieszczona na głębokości ponad 2000 m

SNO



Fotopowielacze





SNO

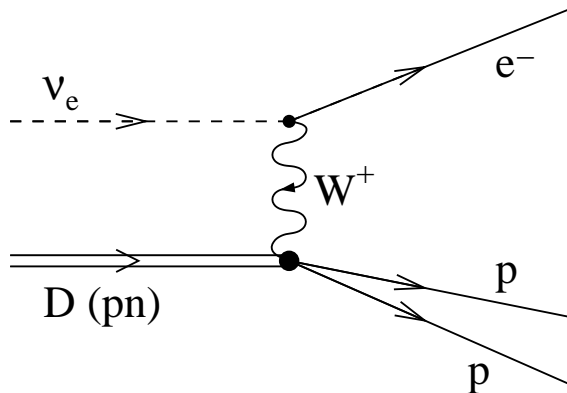
Detekcja neutrin

Jak w SK możemy zmierzyć sygnał pochodzący z rozpraszania neutrin na elektronach:

$$\nu_X + e^- \rightarrow \nu_X + e^- \quad (ES)$$

$$\sim \Phi_{\nu_e} + 0.154 \cdot (\Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau}) \Rightarrow \text{informacja o wszystkich typach neutrin}$$

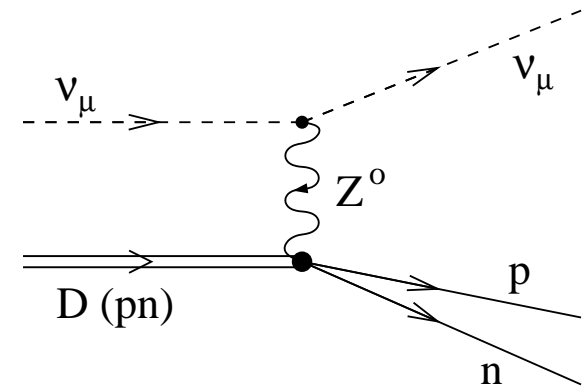
Zastosowanie ciężkiej wody umożliwia dodatkowo pomiar rozpraszania na deuterze:



$$\nu_e + D \rightarrow p + p + e^- \quad (CC)$$

$$\sim \Phi_{\nu_e}$$

\Rightarrow informacja o **neutrinach elektronowych**



$$\nu_X + D \rightarrow p + n + \nu_X \quad (NC)$$

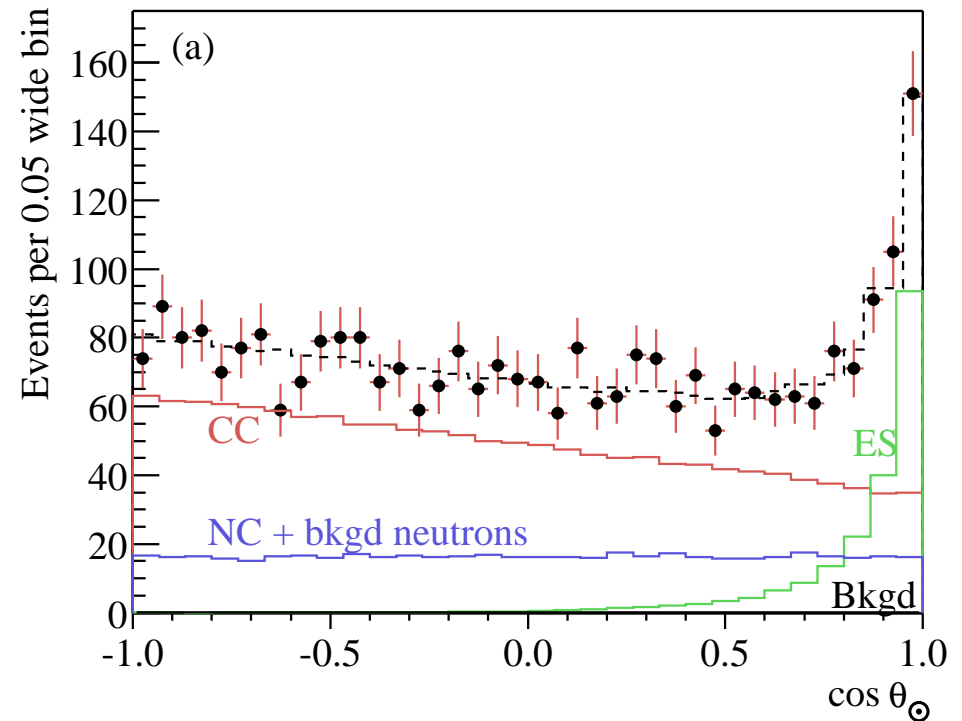
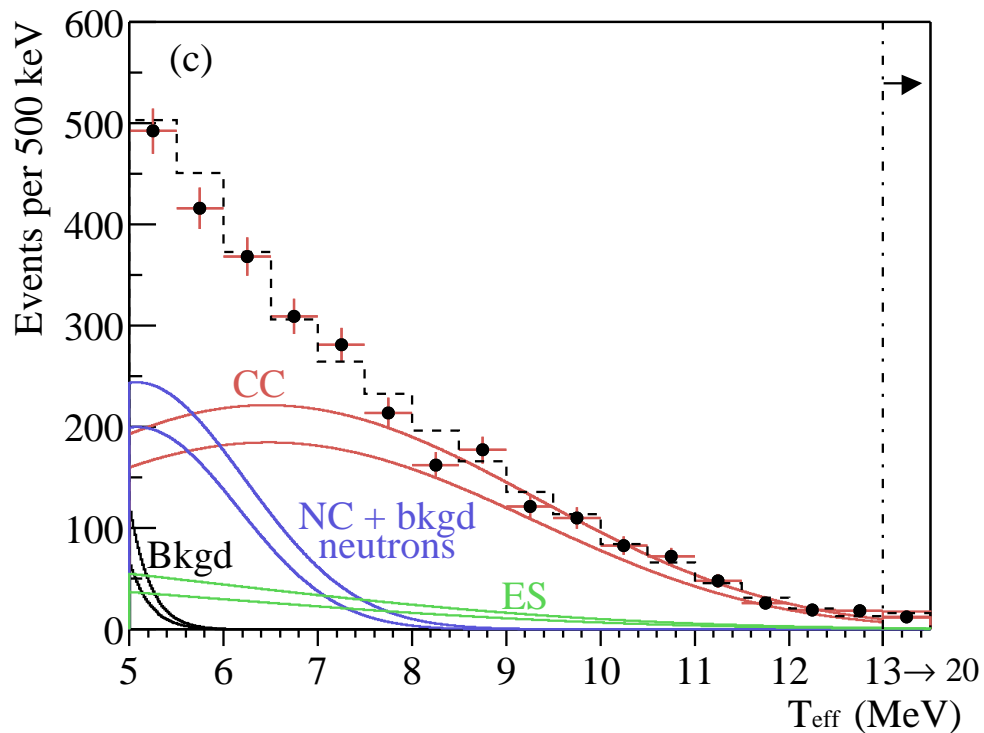
$$\sim \Phi_{\nu_e} + \Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau}$$

\Rightarrow informacja o **wszystkich neutrinach**

SNO

Wyniki

Wkłady od poszczególnych procesów można rozdzielić na podstawie mierzonych rozkładów **energii** i **kąta rozproszenia**:



SNO

Wyniki (“Phase I” - D_2O)

Z dopasowania uzyskujemy
(w jednostkach $10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$):

$$\Phi_{CC} = 1.76 \pm 0.05 \pm 0.09 = \Phi_{\nu_e}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{ES} &= 2.39 \pm 0.24 \pm 0.12 \\ &= \Phi_{\nu_e} + \varepsilon(\Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau}) \\ &\quad (\text{SK} : 2.32 \pm 0.09) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{NC} &= 5.09 \pm 0.44 \pm 0.46 \\ &= \Phi_{\nu_e} + \Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau} \end{aligned}$$

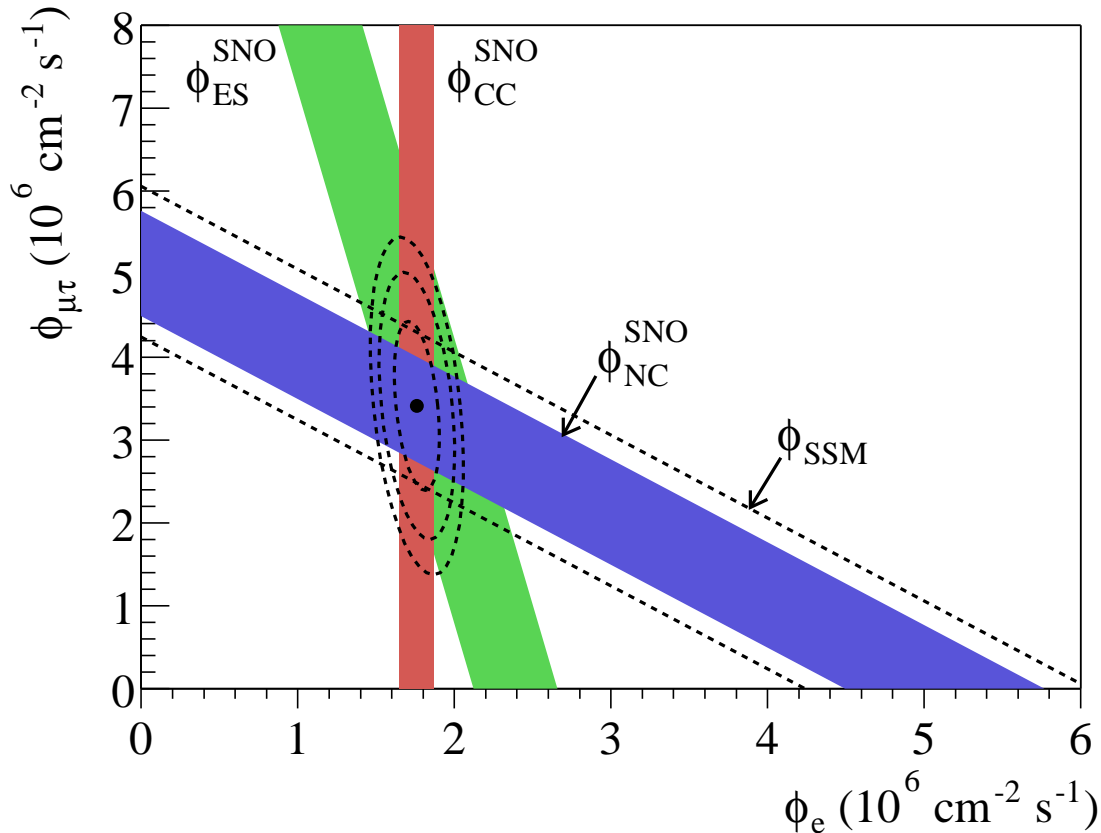
Przewidywania SSM

$$\Phi^{SSM}(\nu_e) = 5.15 \pm 0.95$$

Dobra zgodność dla całkowitego strumienia neutrin.

W miejsce “brakujących” ν_e obserwujemy ν_μ i ν_τ

$$\Phi(\nu_\mu + \nu_\tau) = 3.41 \pm 0.45 \pm 0.48 \approx 2 \times \Phi_{\nu_e} \quad (\text{po równo})$$

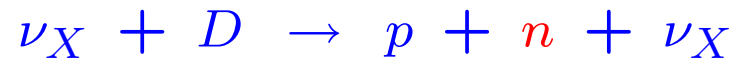


SNO

Pomiar procesów NC

Największy błąd statystyczny ma pomiar strumienia w procesie NC.

Identyfikacja tych przypadków wymaga pomiaru niskoenergetycznych neutronów:

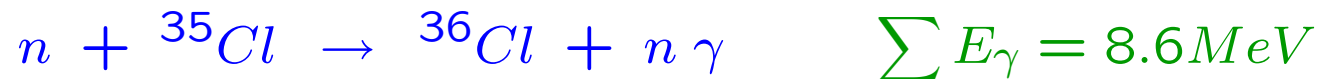


Eksperyment SNO próbował to zrobić na 3 sposoby:

- Phase I (1999-2001): pomiar oddziaływań neutronów z D_2O



- Phase II (2001-2002): pomiar oddziaływań neutronów z jądrami chloru



- Phase III (2004-2006): pomiar przy użyciu dedykowanych liczników

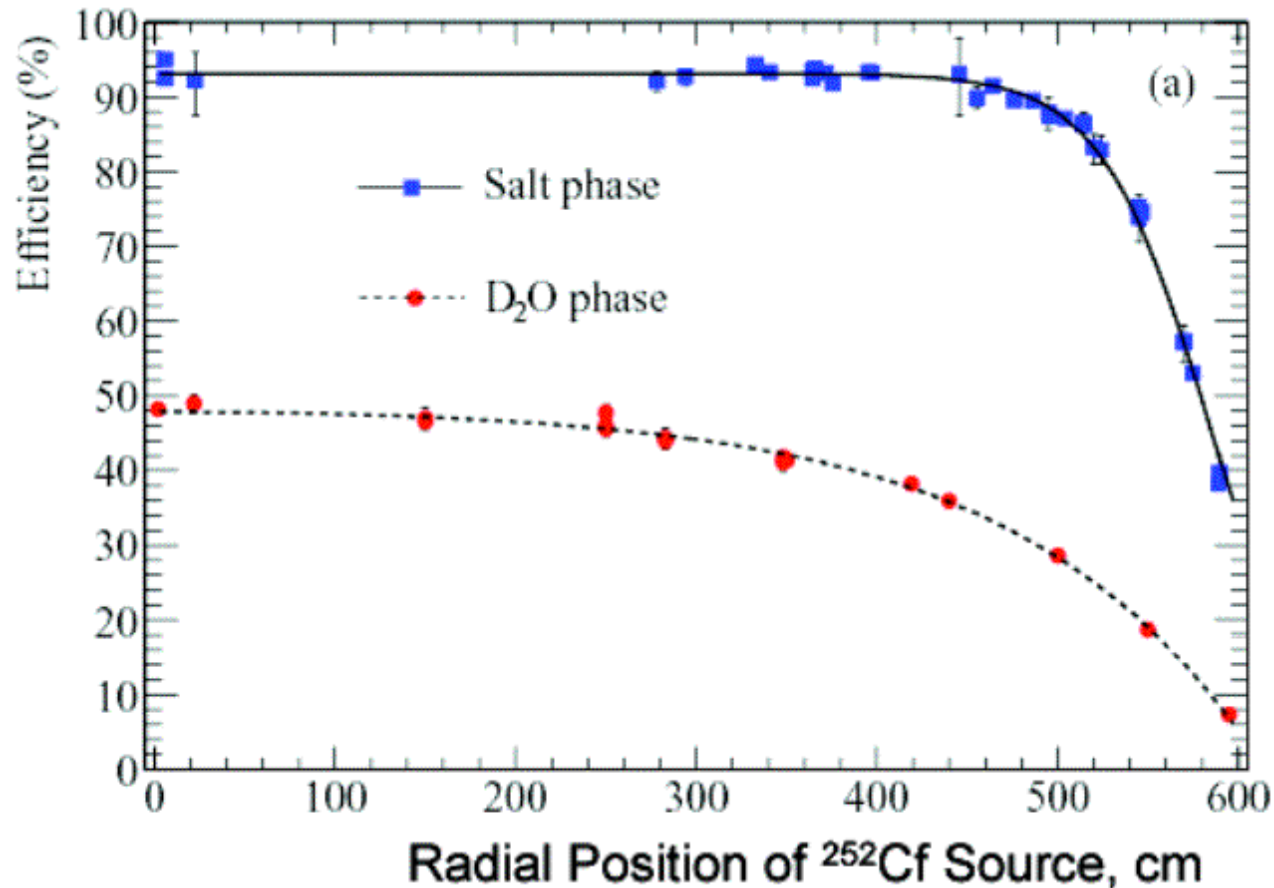
SNO

Phase II

Oddziaływanie z jądrami chloru stało się możliwe gdy w roku 2001 w dektorze SNO do wody... **dosypano soli.**

Jądra chloru mają dużo większy przekrój czynny na wychwytywanie neutronu - ponad dwukrotnie podniosła się efektywność rejestracji przypadków typu NC.

⇒ mniejszy **błąd statystyczny** w pomiarze całkowitego strumienia neutronów



SNO

Wyniki (Phase I + Phase II)

Z łącznego dopasowania
(w jednostkach $10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$):

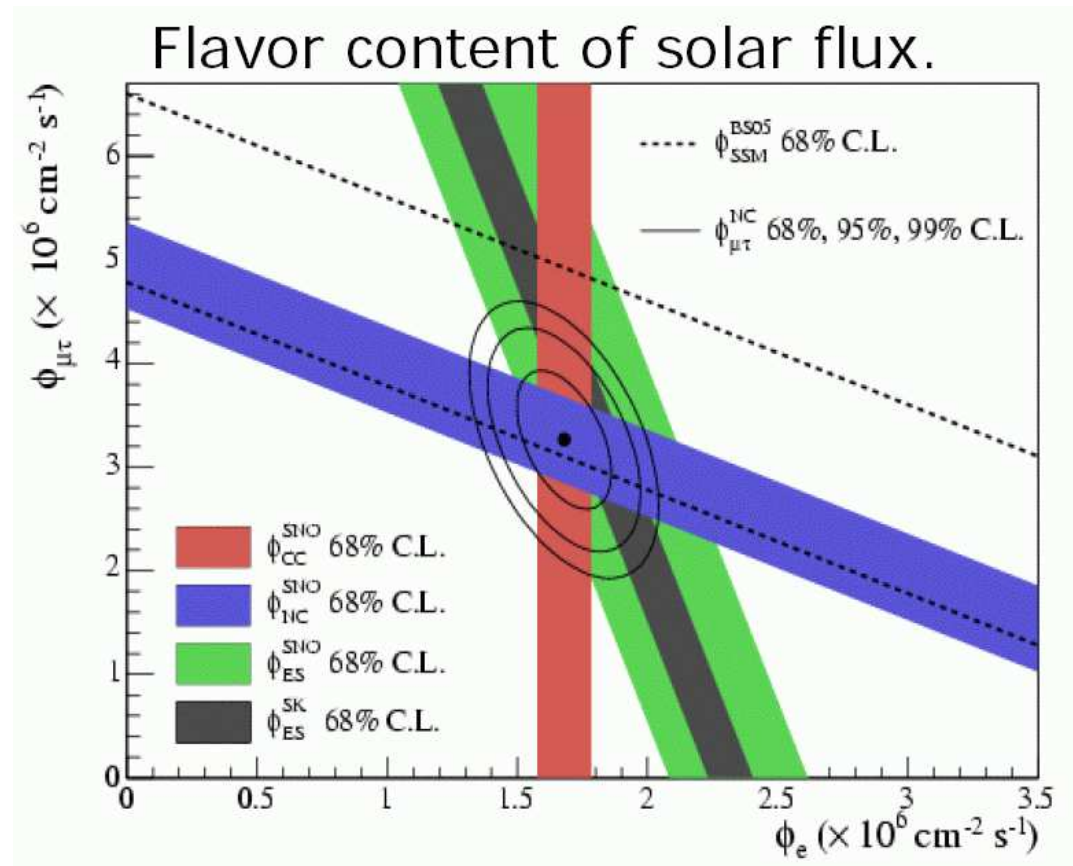
$$\Phi_{CC} = 1.68 \pm 0.06 \pm 0.09 = \Phi_{\nu_e}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{ES} &= 2.35 \pm 0.22 \pm 0.15 \\ &= \Phi_{\nu_e} + \varepsilon(\Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau}) \\ &\quad (SK : 2.32 \pm 0.09) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{NC} &= 4.94 \pm 0.21 \pm 0.36 \\ &= \Phi_{\nu_e} + \Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau} \end{aligned}$$

Przewidywania SSM (nowe)

$$\Phi^{SSM}(\nu_e) = 5.82 \pm 1.34$$



SNO

Phase III

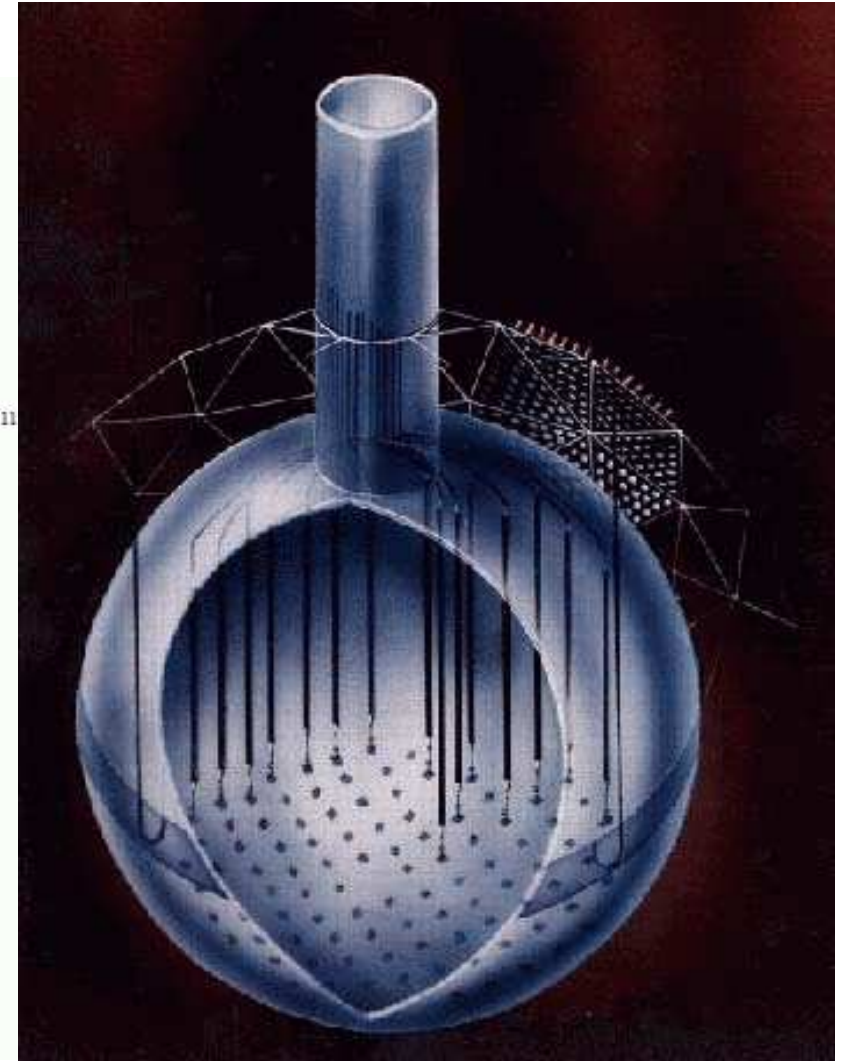
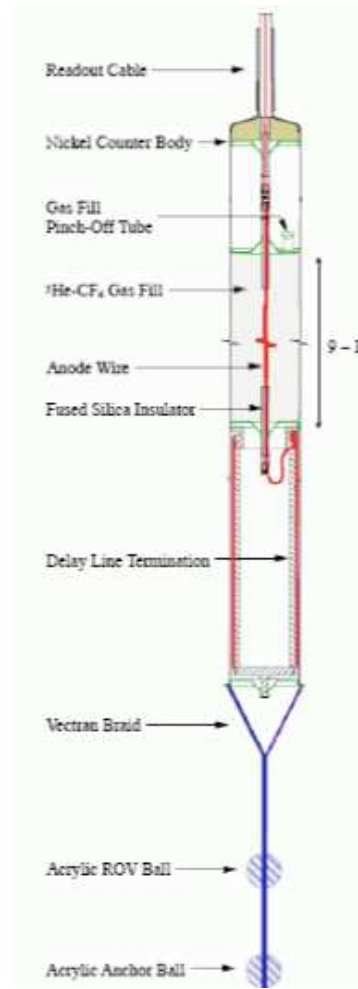
Pomiar neutronów przy pomocy dedykowanych liczników.

Liczniki gazowe:
mieszanka ${}^3\text{He} : \text{CF}_4$.



Pojedynczy licznik: 2-3 m.

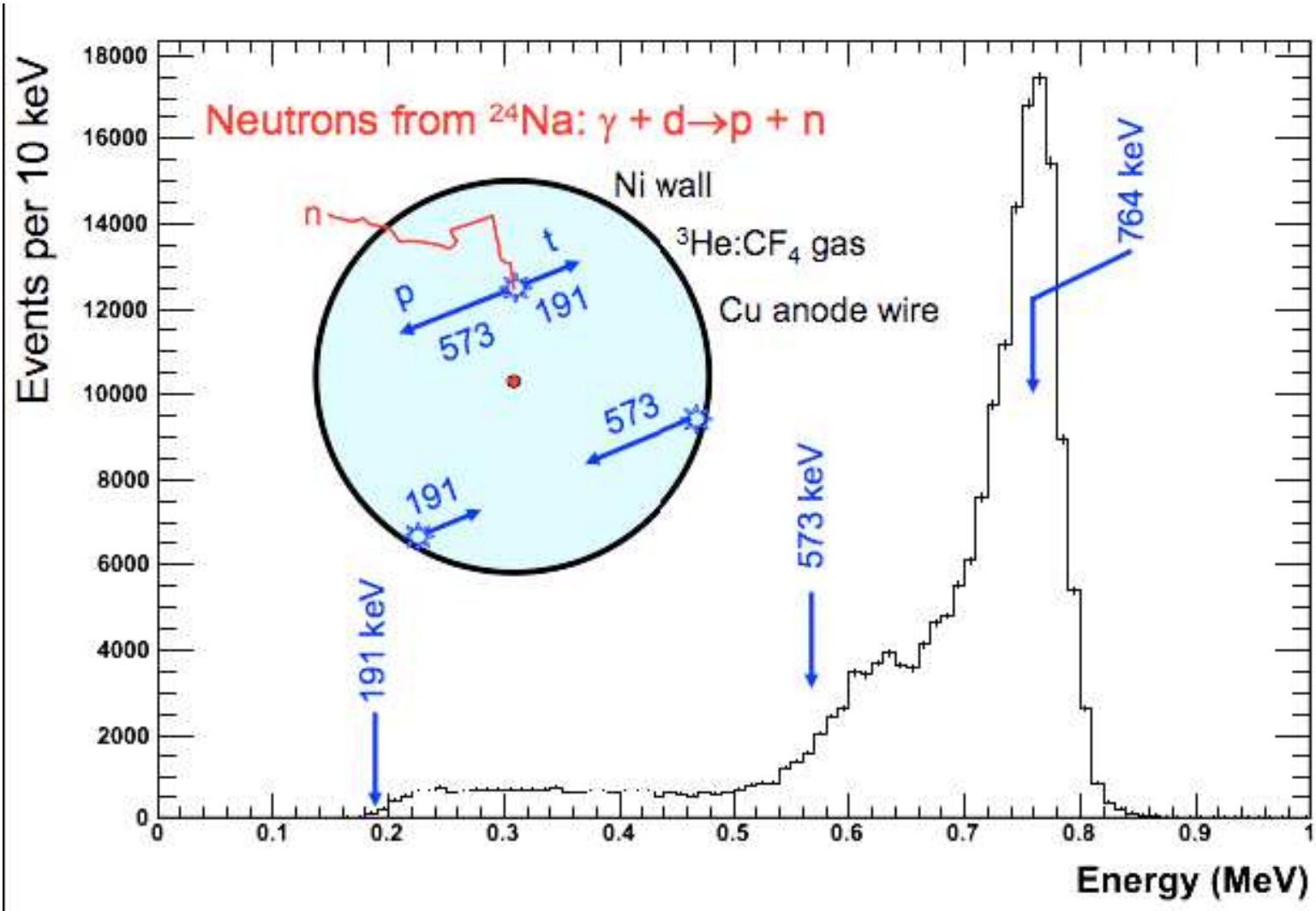
36 strun z licznikami rozmieszczonych na siatce $1 \times 1\text{m}^2$



SNO

Phase III

Wyniki kalibracji



SNO

Wyniki (Phase III)

Wyniki dopasowania

(w jednostkach $10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$):

$$\Phi_{CC} = 1.67 \pm 0.09 = \Phi_{\nu_e}$$

$$\Phi_{ES} = 1.77 \pm 0.26$$

$$= \Phi_{\nu_e} + \varepsilon(\Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau})$$

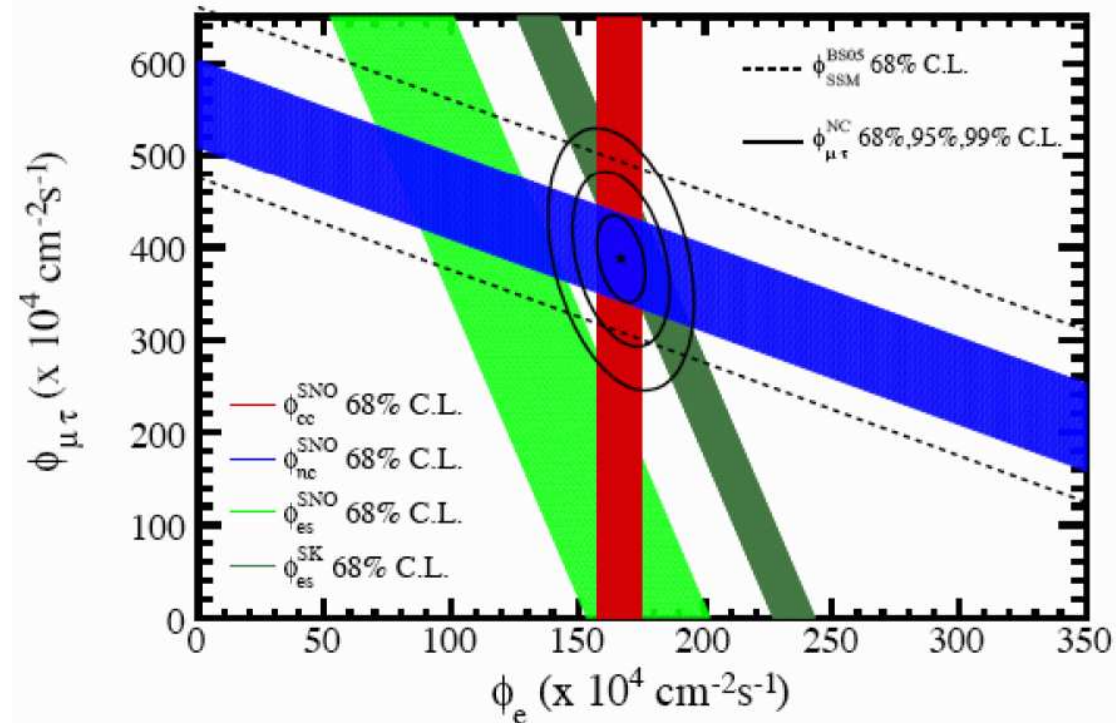
(SK : 2.32 ± 0.09)

$$\Phi_{NC} = 5.54 \pm 0.48$$

$$= \Phi_{\nu_e} + \Phi_{\nu_\mu} + \Phi_{\nu_\tau}$$

Przewidywania SSM (nowe)

$$\Phi^{SSM}(\nu_e) = 5.69 \pm 0.91$$





Pierre Auger Cosmic Ray Observatory

Obserwatorium Pierre Auger

Badanie promieni kosmicznych w zakresie najwyższych obserwowanych energii, $E > 10 \text{ EeV}$ ($>10^{19} \text{ eV}$):

skład

lekkie czy ciężkie jądra, fotony, neutrino, ??

widmo energii

kształt widma w zakresie efektu GZK

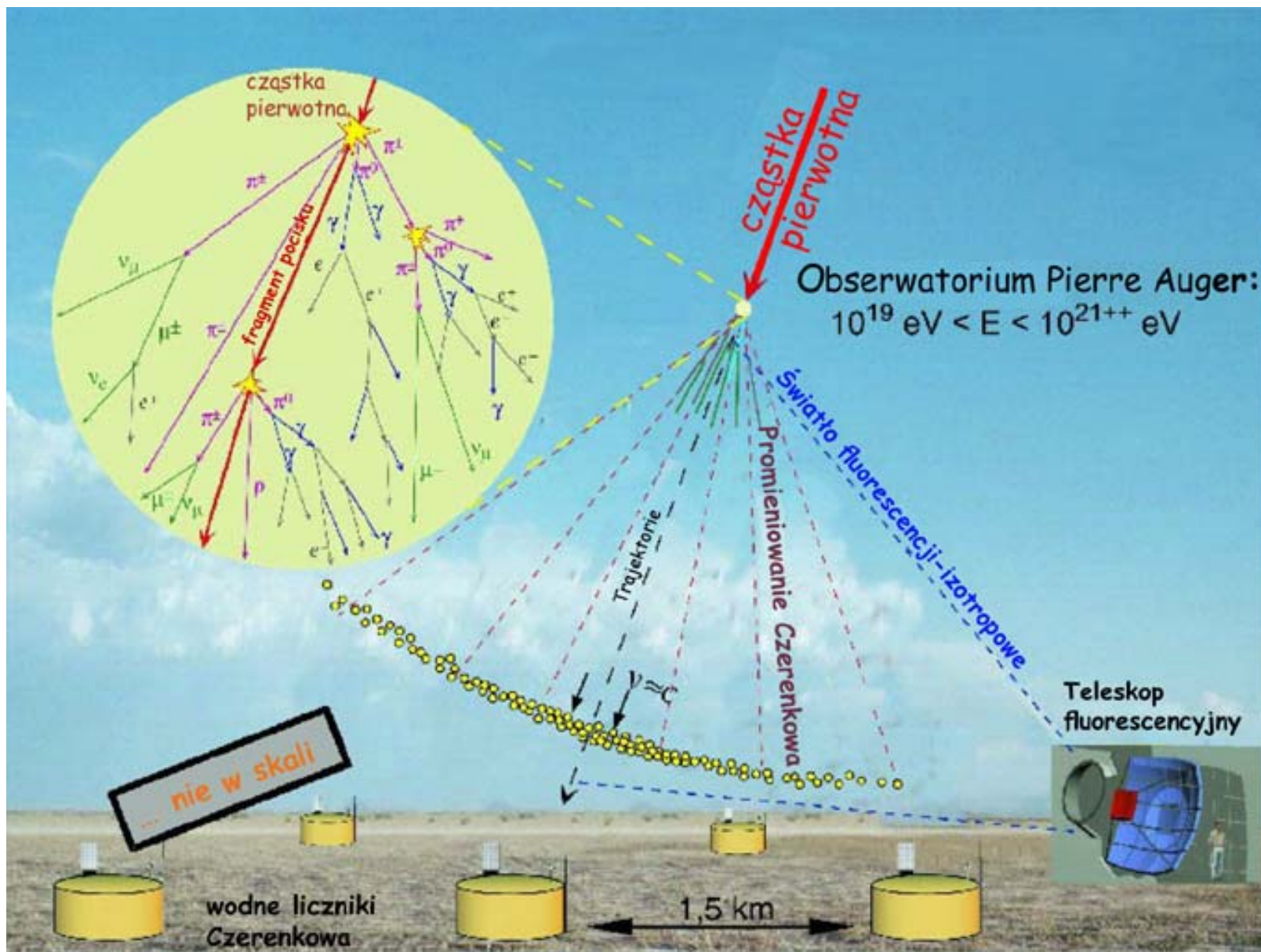
rozkład kierunkowy

anizotropia, źródła punktowe

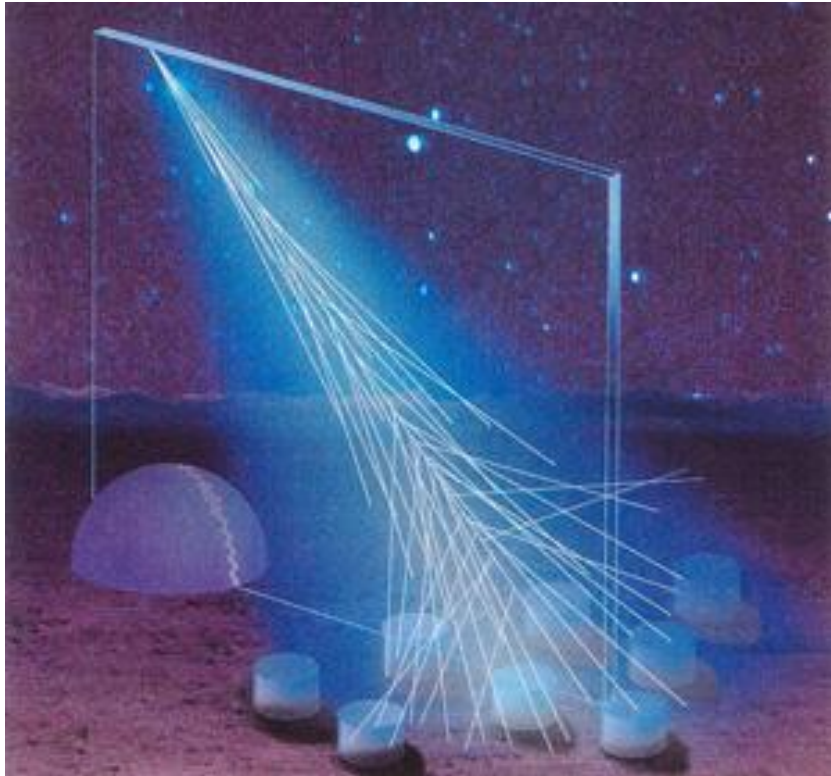
→ wyjaśnienie ich pochodzenia ???

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

Wielki pęk atmosferyczny



Pierre Auger Cosmic Ray Observatory



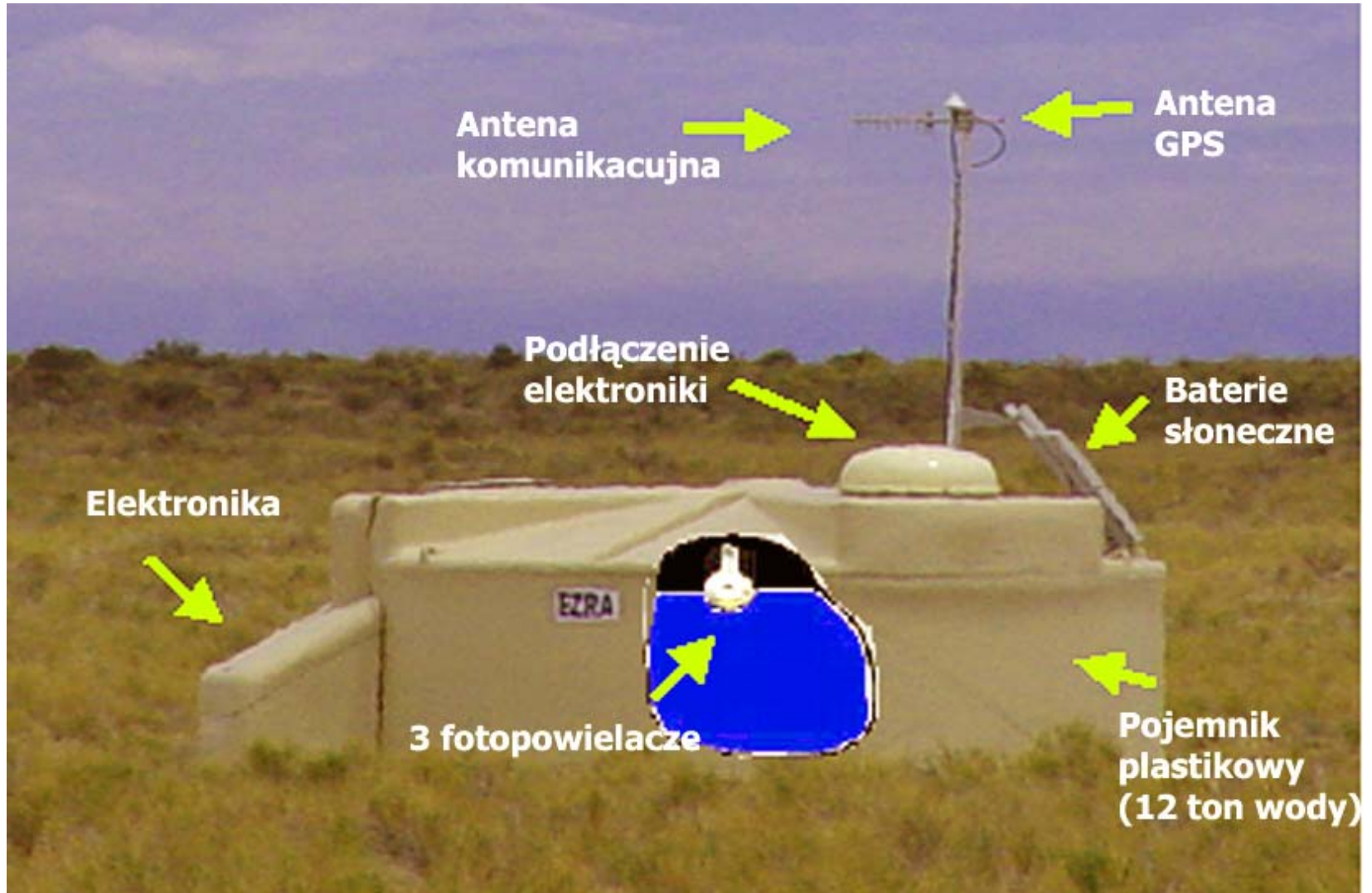
Use earth's atmosphere as a calorimeter. 1600 water Cherenkov detectors with 1.5km distance.

Placed in the Pampa Amarilla in western Argentina.

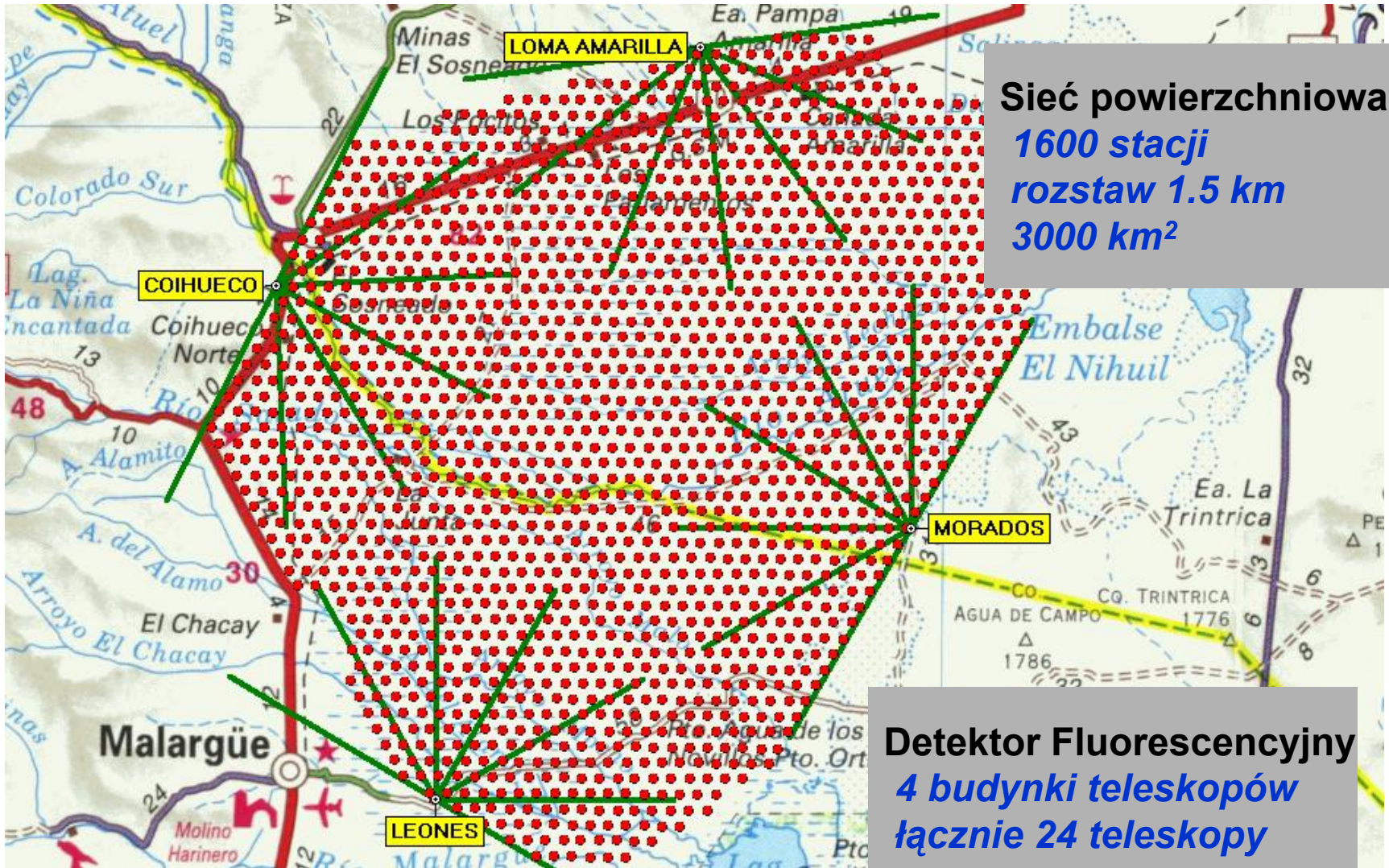




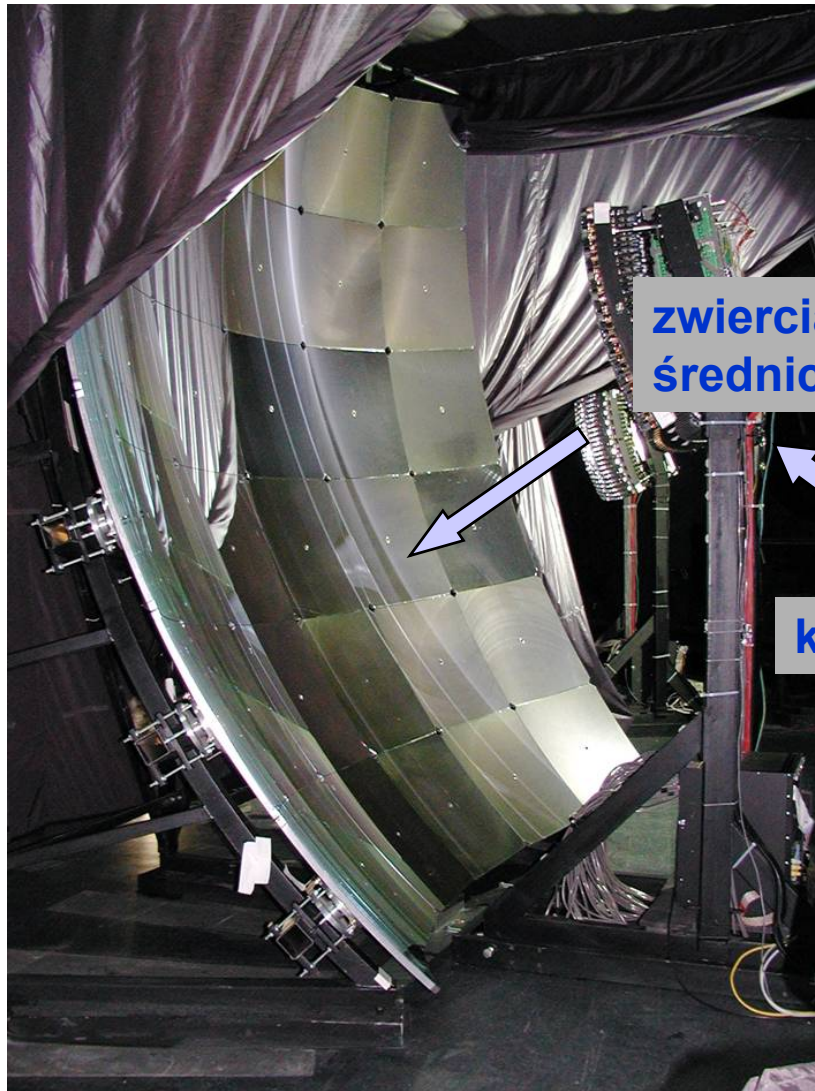
Detektor naziemny



Obserwatorium Pierre Auger

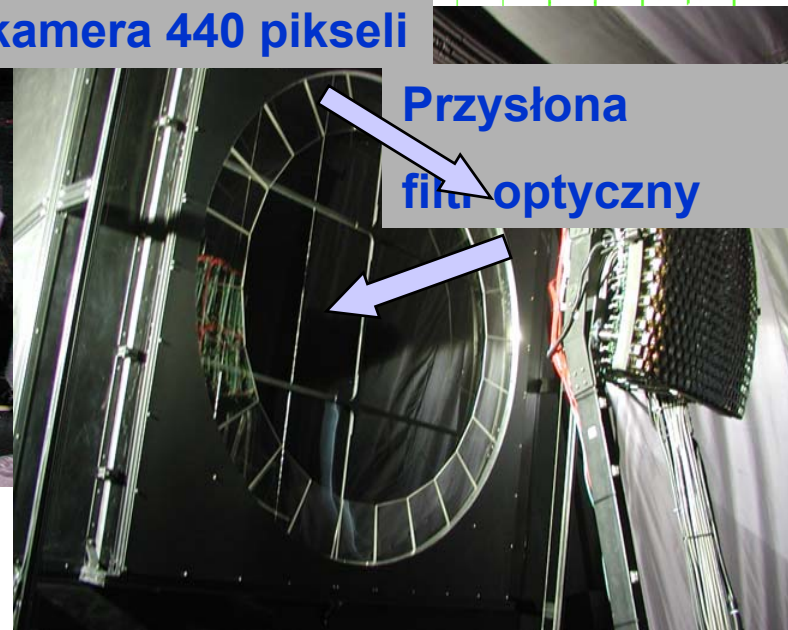


Detektor Fluorescencyjny

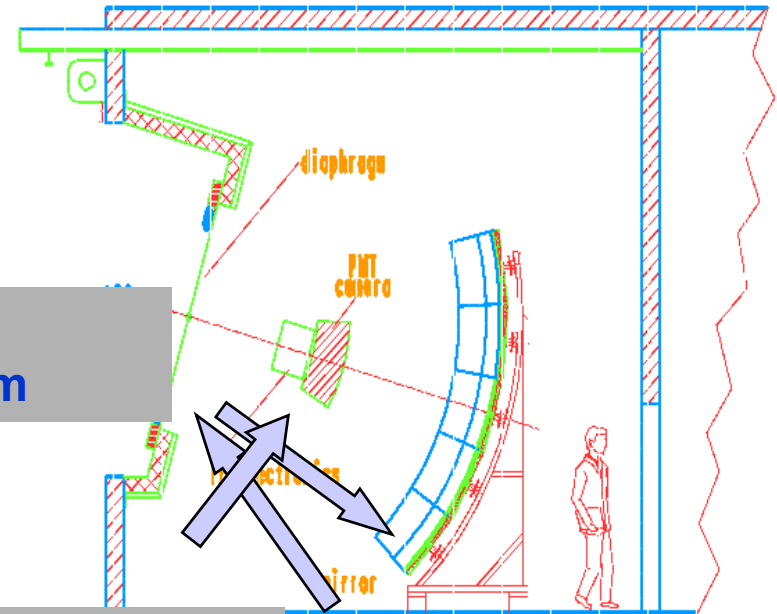


zwierciadło
średnicy 3.4 m

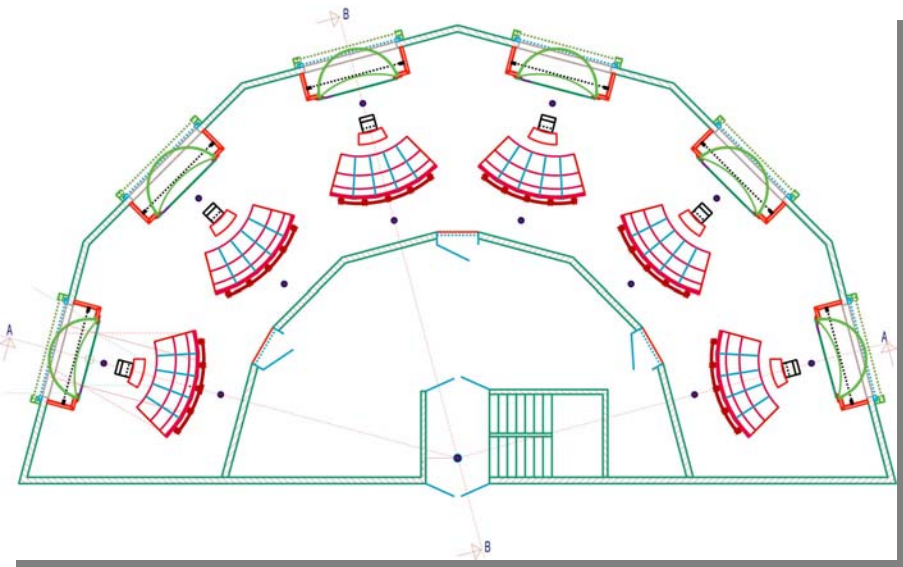
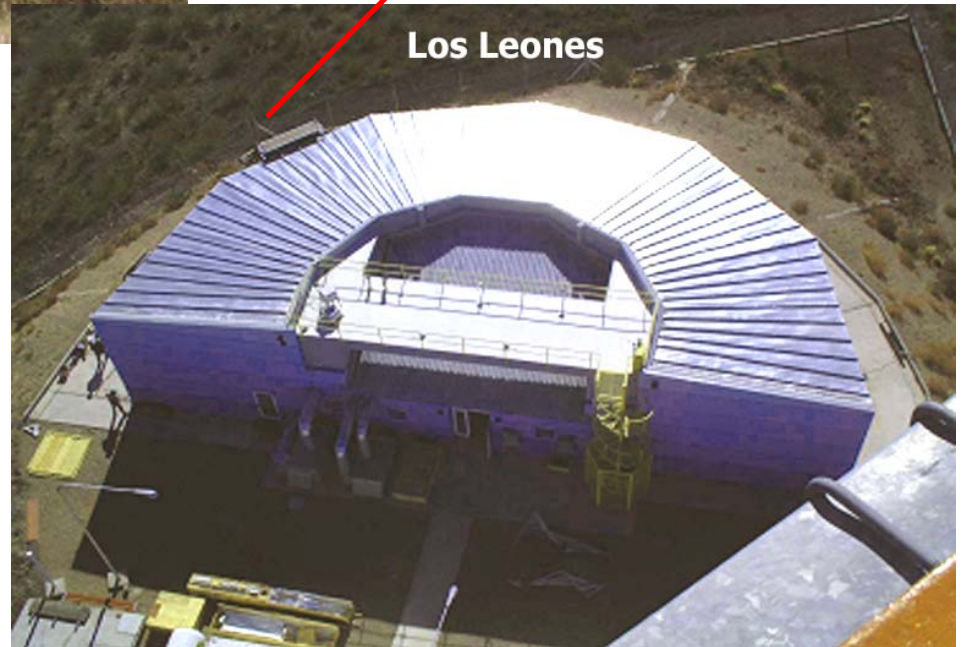
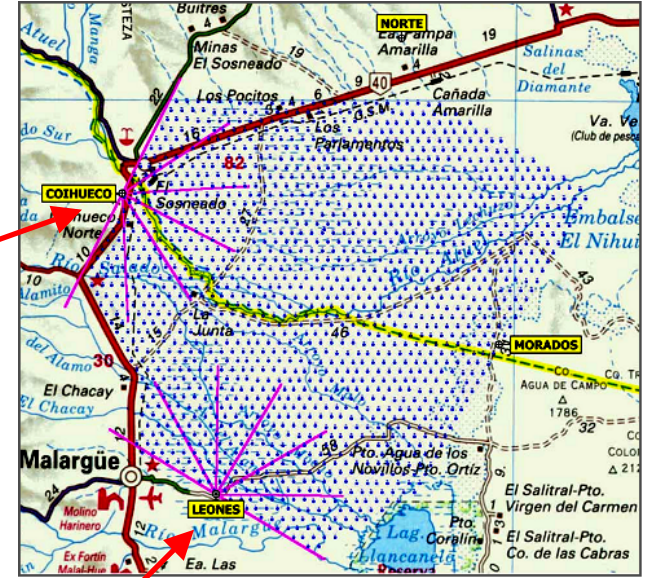
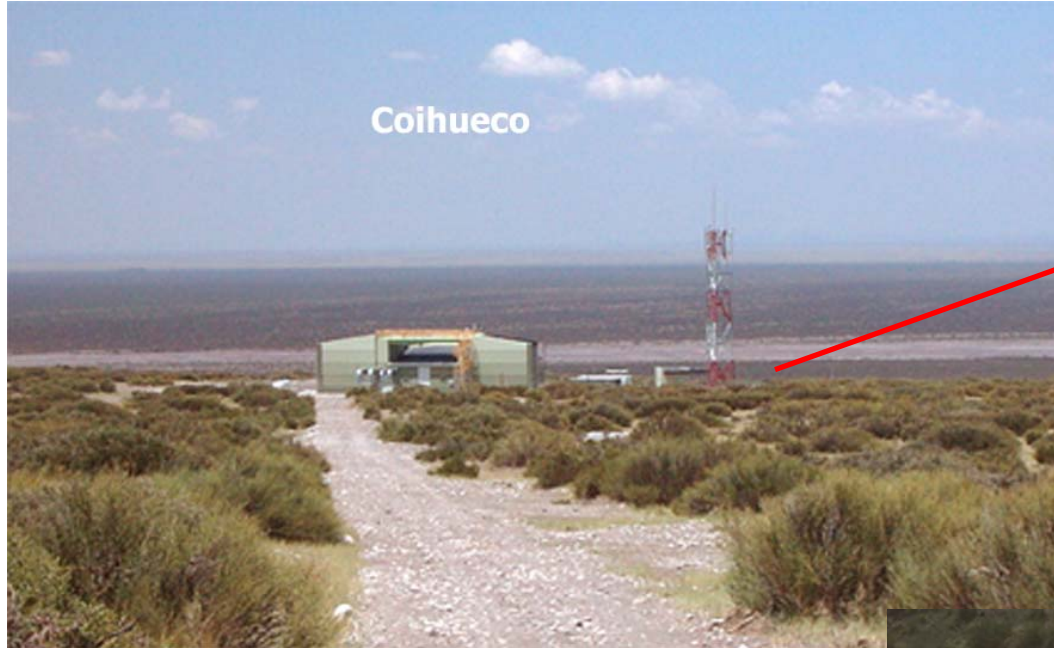
kamera 440 pikseli



Przysłona
filtr optyczny



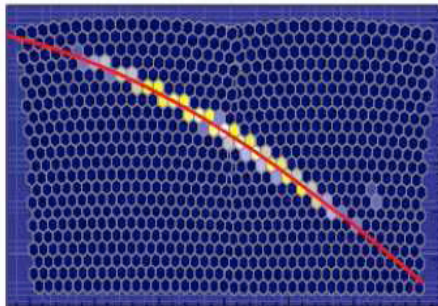
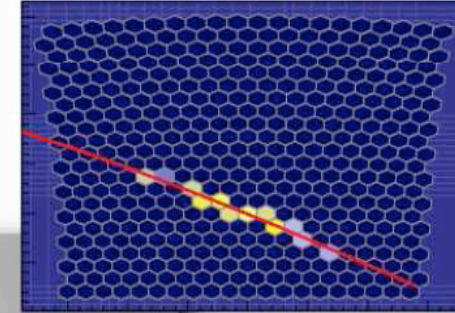
Detektorji fluorescencyjne



Przykład rzeczywistego pęku

Event: 1364365

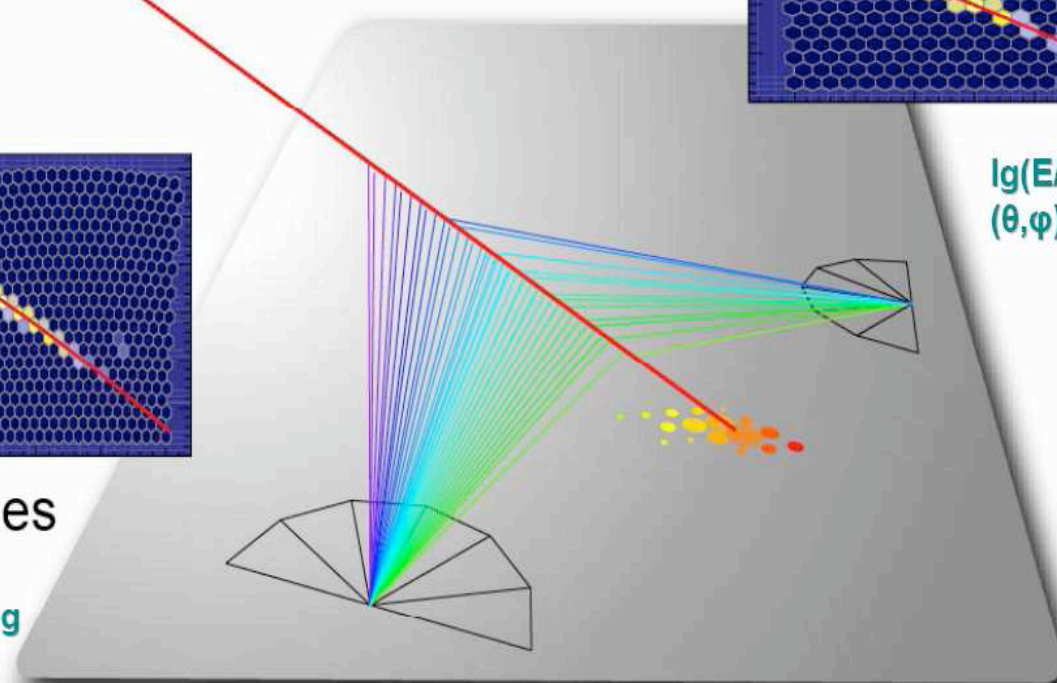
Los Morados



Los Leones

$\lg(E/eV) \sim 19.3$
 $(\theta, \varphi) = (63.7, 148.3)$ deg

$\lg(E/eV) \sim 19.2$
 $(\theta, \varphi) = (63.7, 148.4)$ deg



SD array: $\lg(E/eV) \sim 19.1$
 $(\theta, \varphi) = (63.3, 148.9)$ deg

Goals of the Observatory

Detection with high statistics of cosmic rays with energies $>10^{19}$ eV.



Spectrum

→ Requires a good energy determination $\approx 20 - 30 \%$



Arrival directions

→ Angular resolution $\approx 1^\circ$



Composition

→ Fast electronics to measure details of the shower front (SD)

→ Field of view to observe shower development (FD)

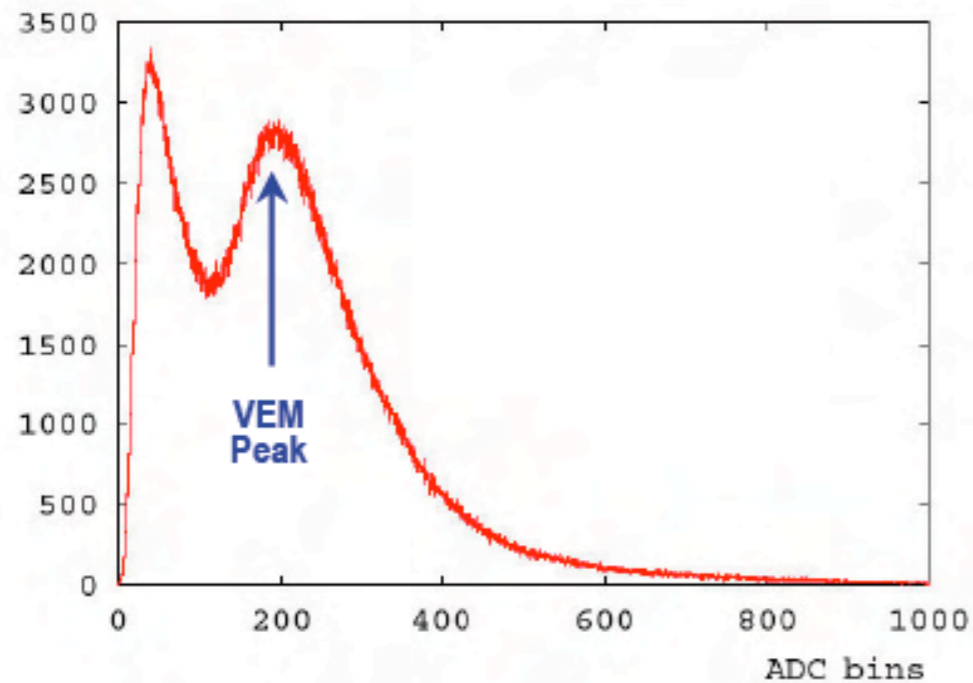
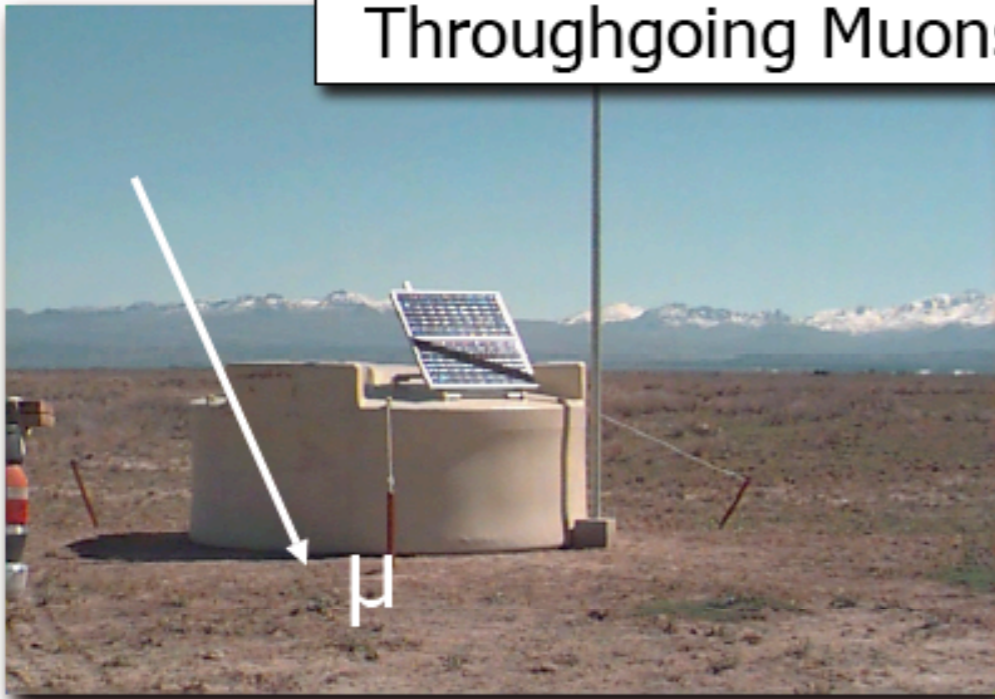


Science results

Detector Calibration

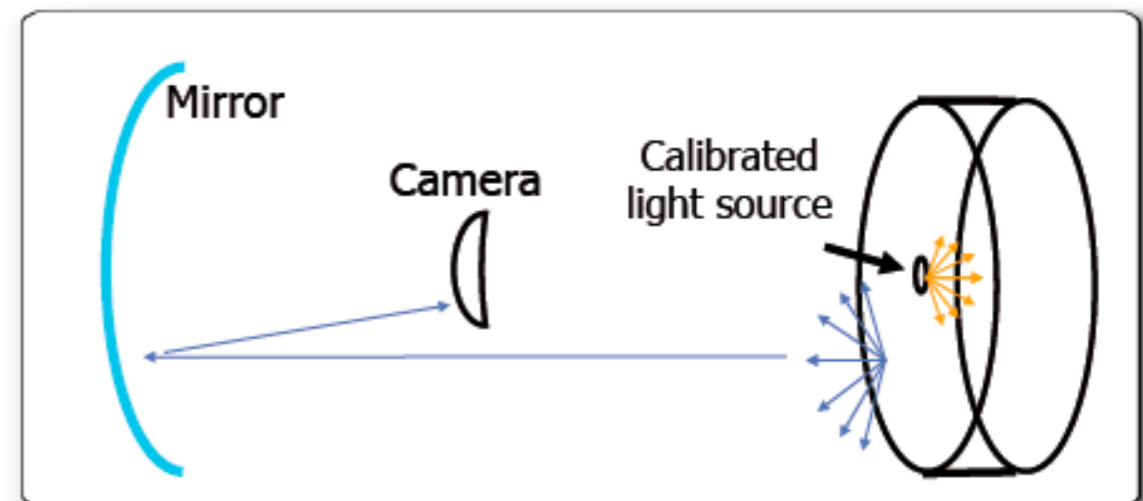
Ground-Array

Throughgoing Muons



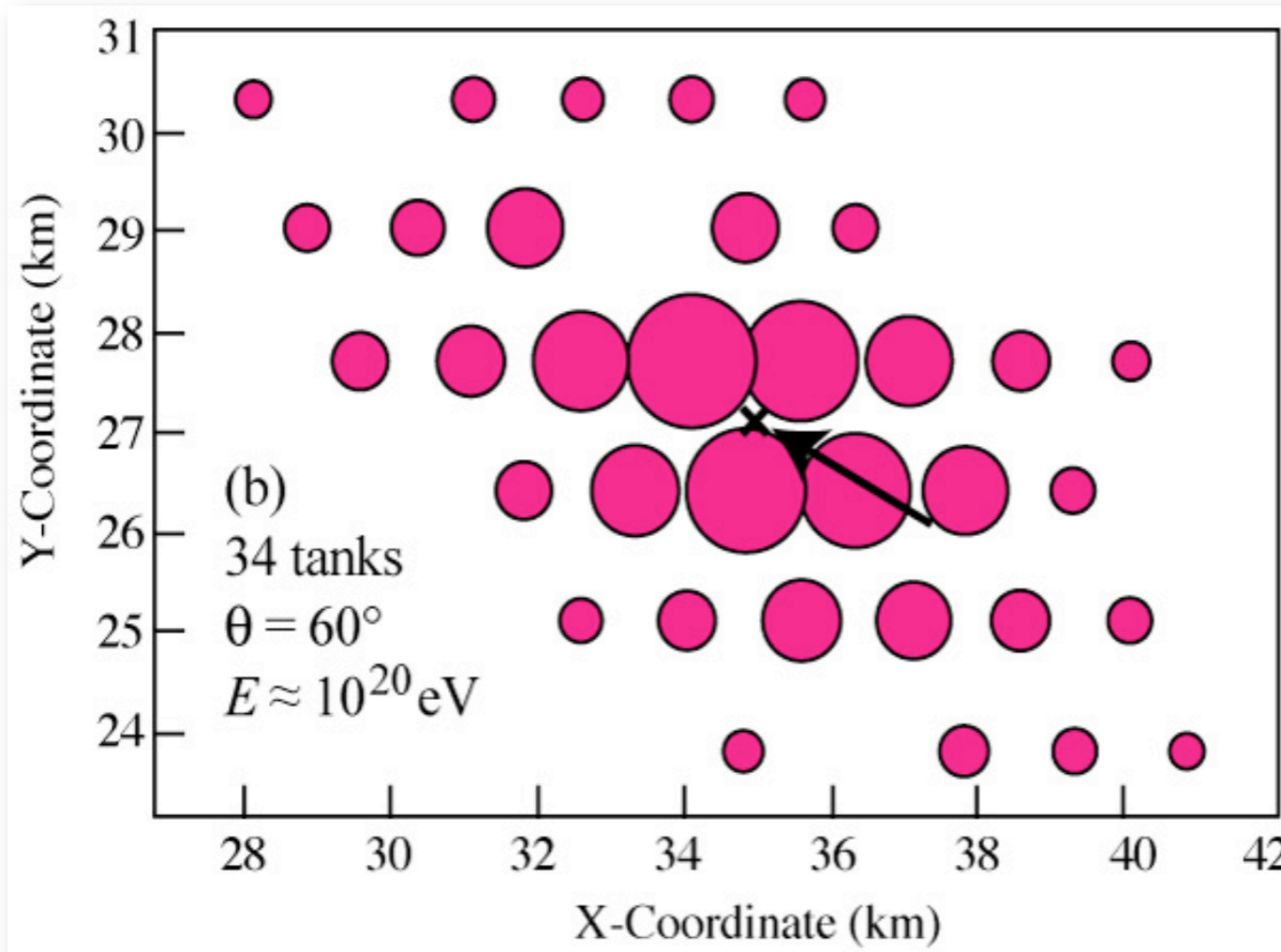
Fluorescence Telescopes

Diffuse Lightsource

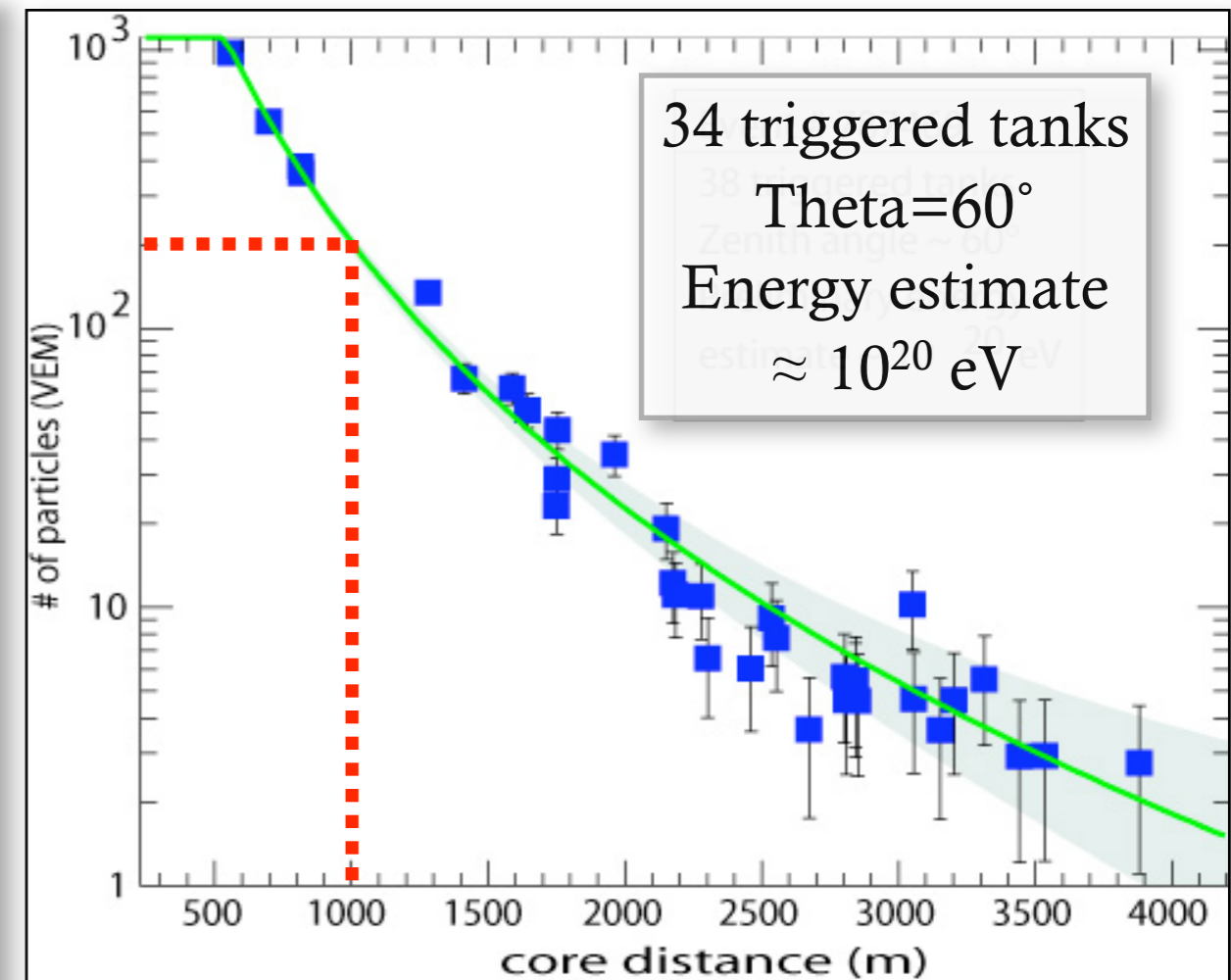


Primary energy determination: SD

SD measures the lateral structure of the shower at ground



One event seen by SD

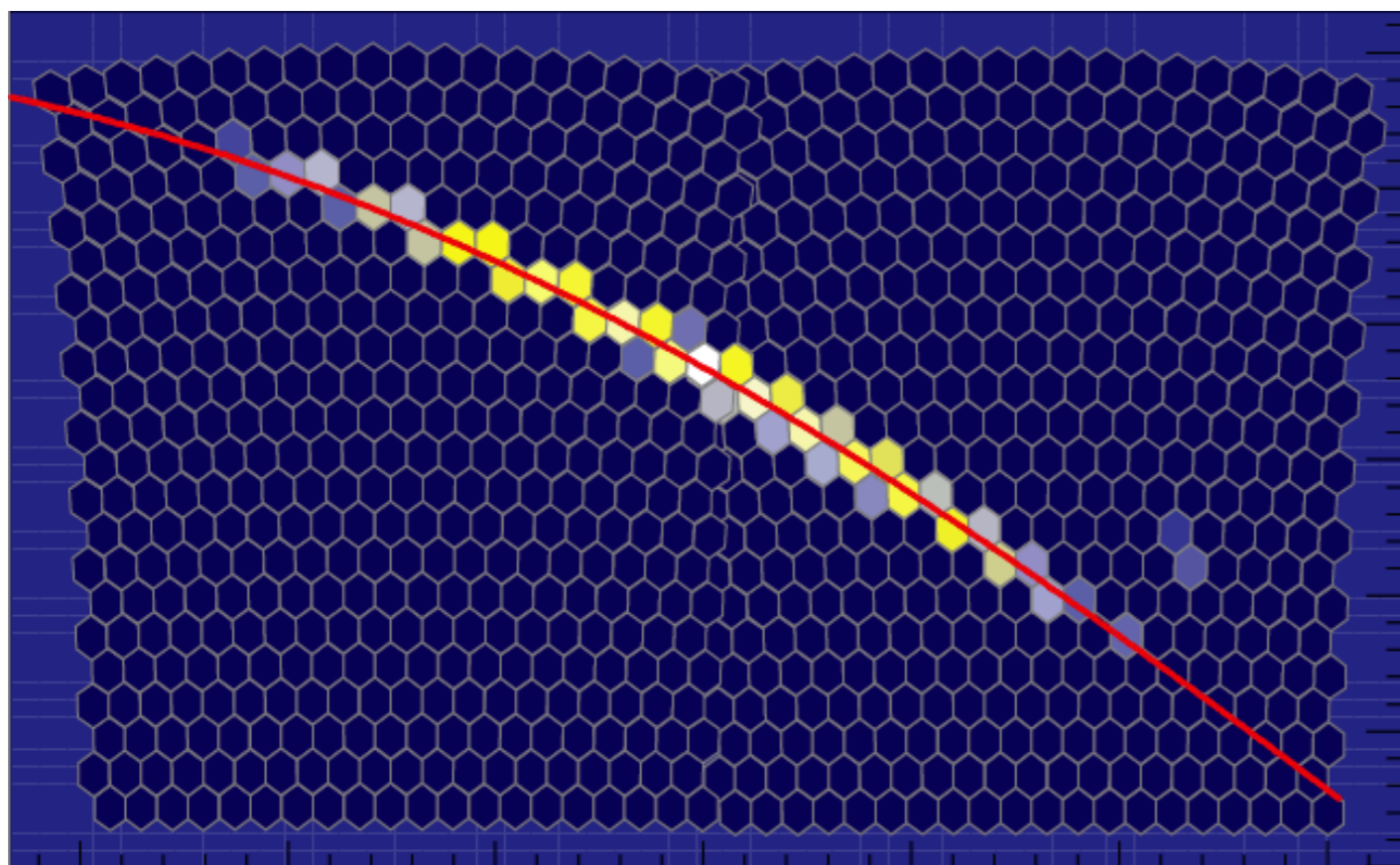


Particle lateral distribution

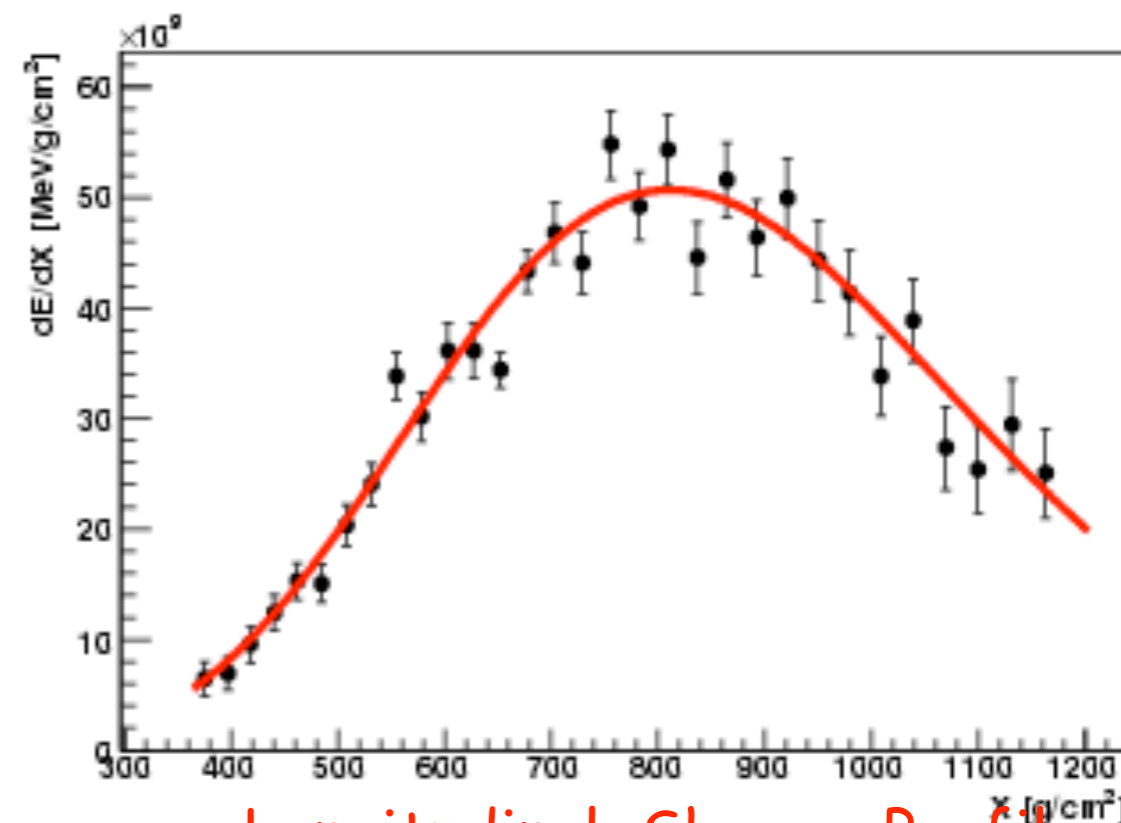
- ◆ Reconstruct geometry (arrival direction & impact point)
- ◆ Fit particle lateral distribution (LDF)
- ◆ **S(1000)** [signal at 1000 m] is the **Auger energy estimator**
(“ideal” distance depends on detectors spacing)

Primary energy determination: FD

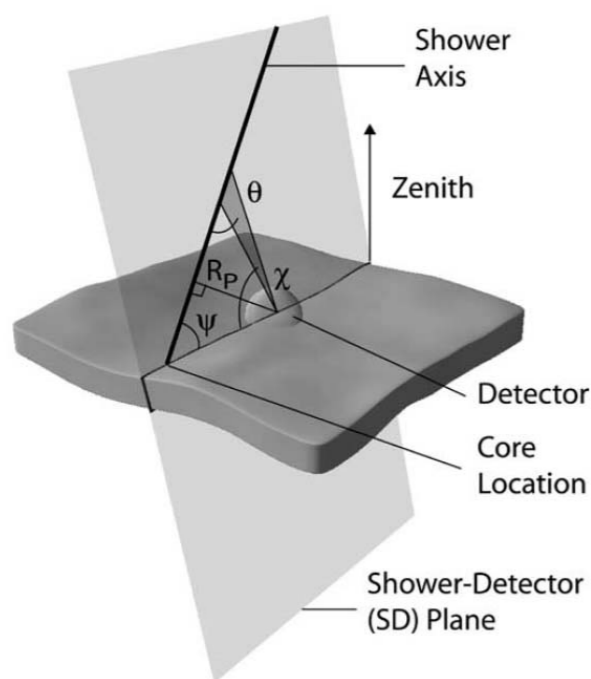
FD records the longitudinal profile of the shower during its development in atmosphere



One event seen by FD



Longitudinal Shower Profile

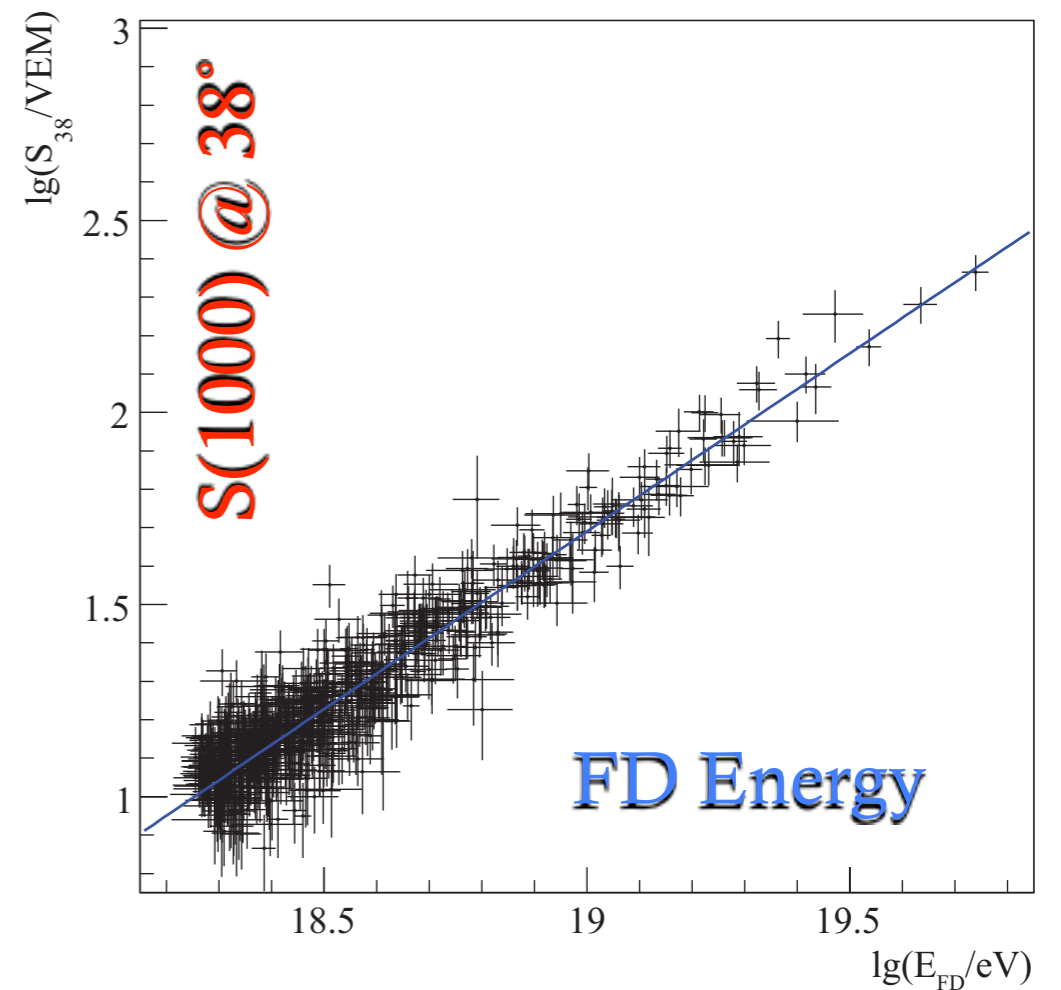
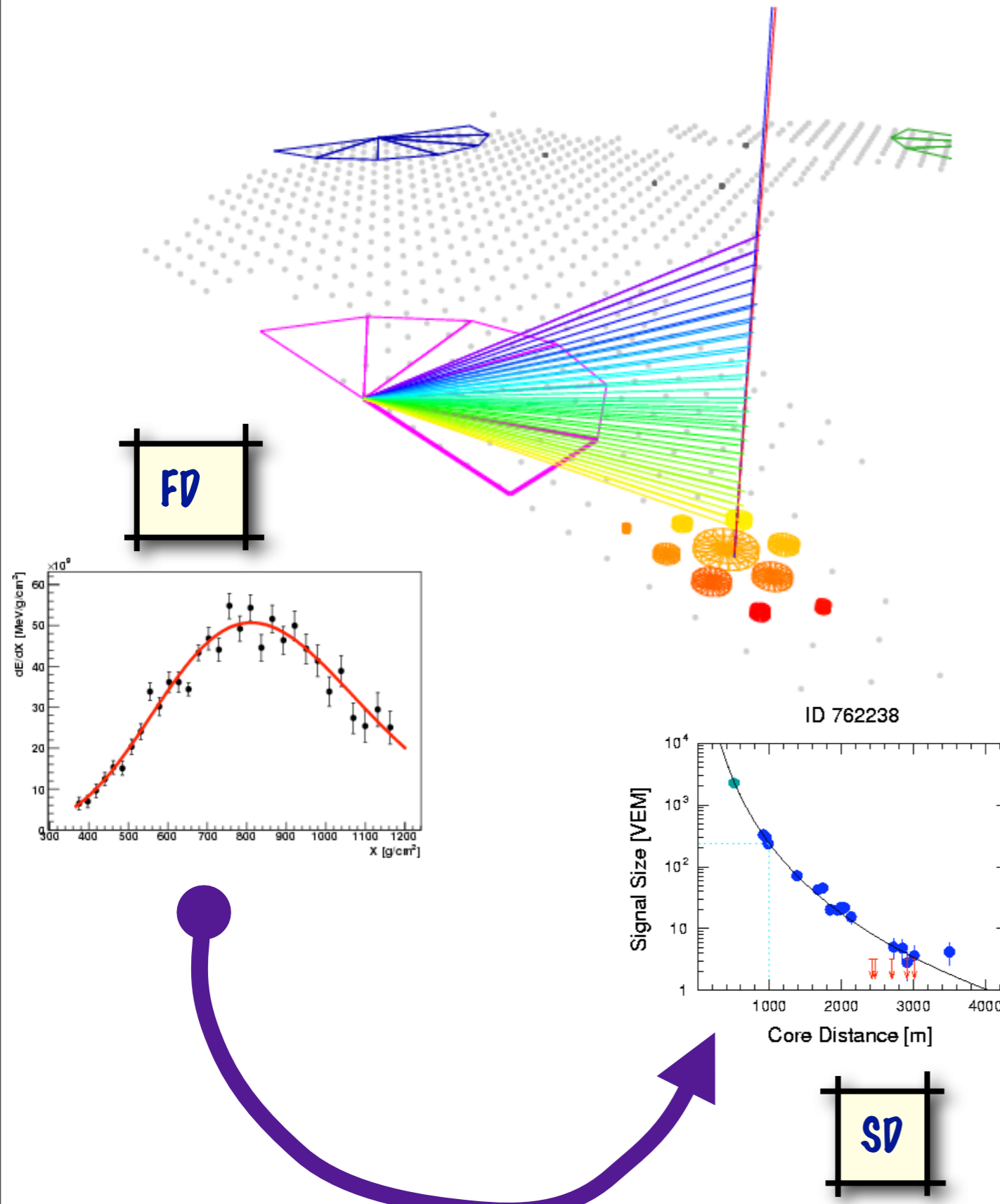


- ♦ Reconstruct geometry (shower detector plane, SDP, and shower axis in SDP)
- ♦ Fit longitudinal shower profile
- ♦ $E \propto$ area under the curve
- ♦ Calorimetric measurement

$$\int \frac{dE}{dX} dX \sim E$$

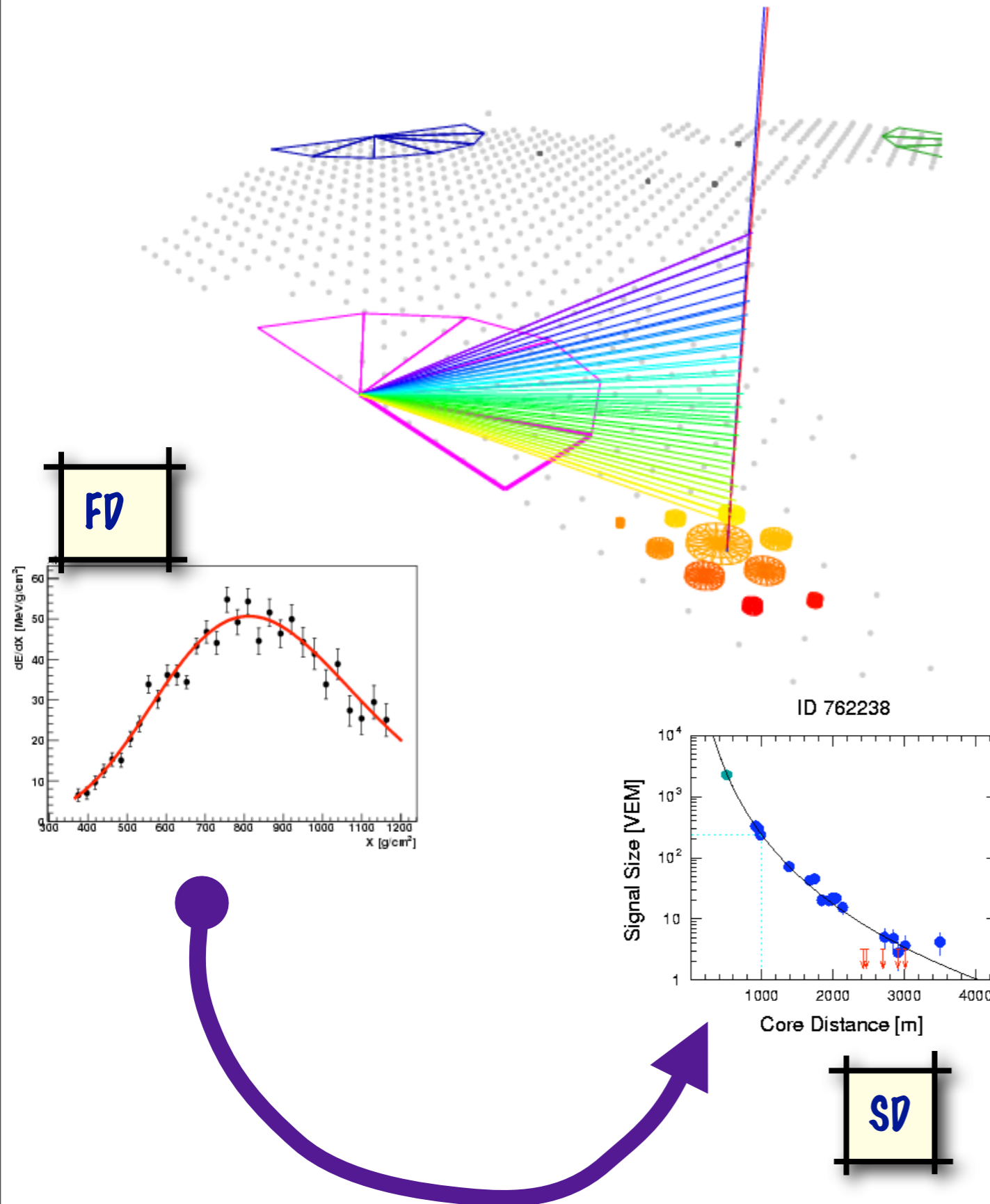
Primary energy determination: SD+FD

Hybrid Events are used to calibrate the SD energy estimator, $S(1000)$ (converted to the median zenith angle, S_{38}) from the FD calorimetric energy



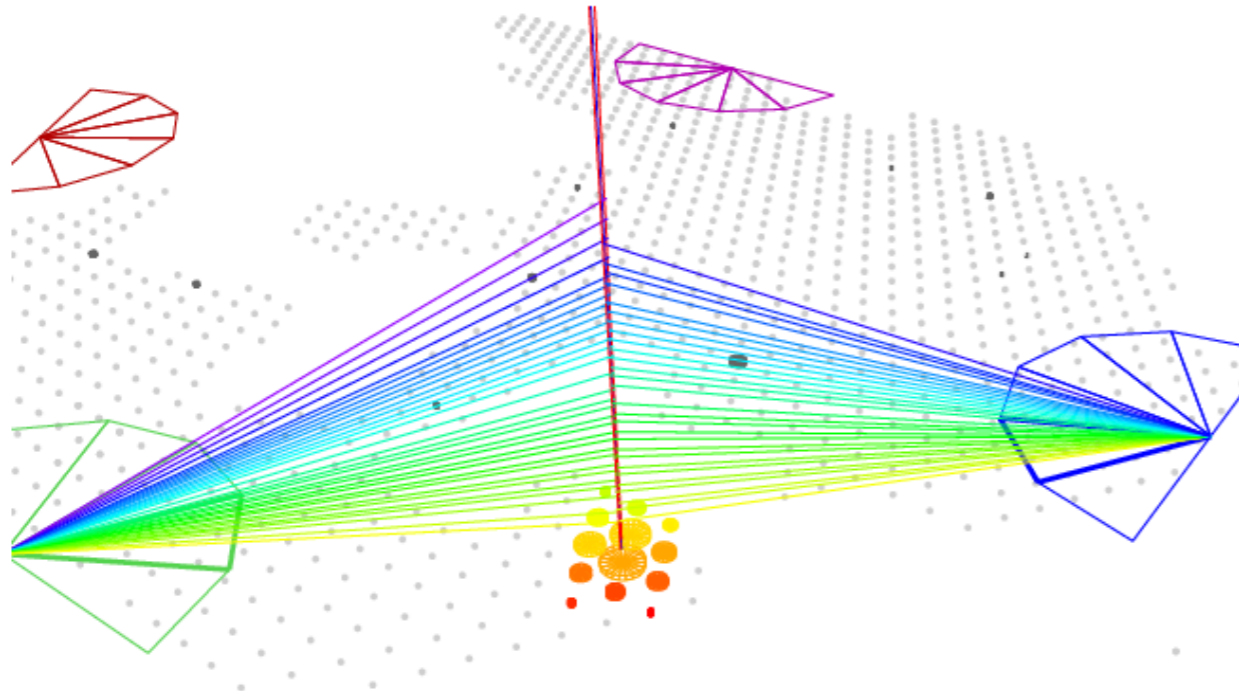
Primary energy determination: SD+FD

Hybrid Events are used to calibrate the SD energy estimator, $S(1000)$ (converted to the median zenith angle, $S38$) from the FD calorimetric energy



Energy resolution:
statistical $\approx 19\%$

FD Energy systematic uncertainty

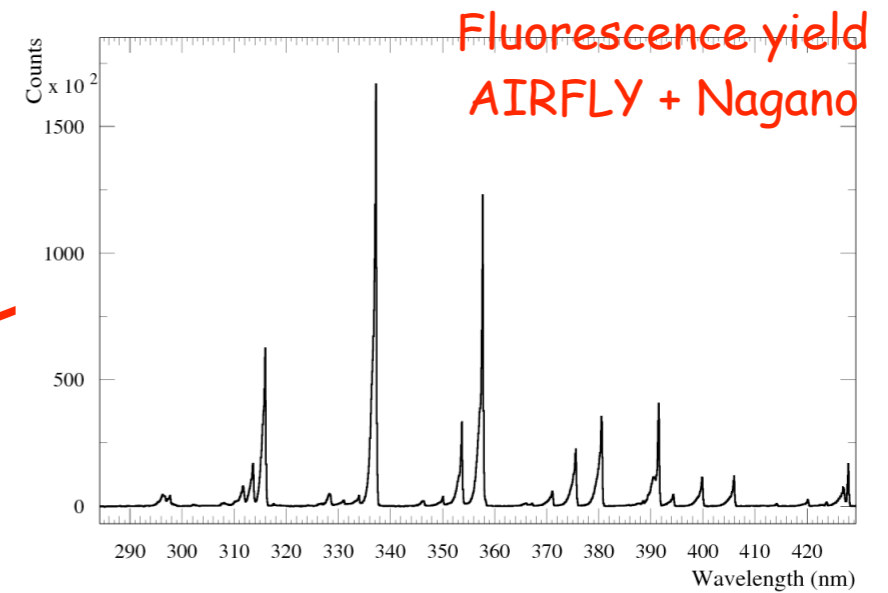


Stereo events

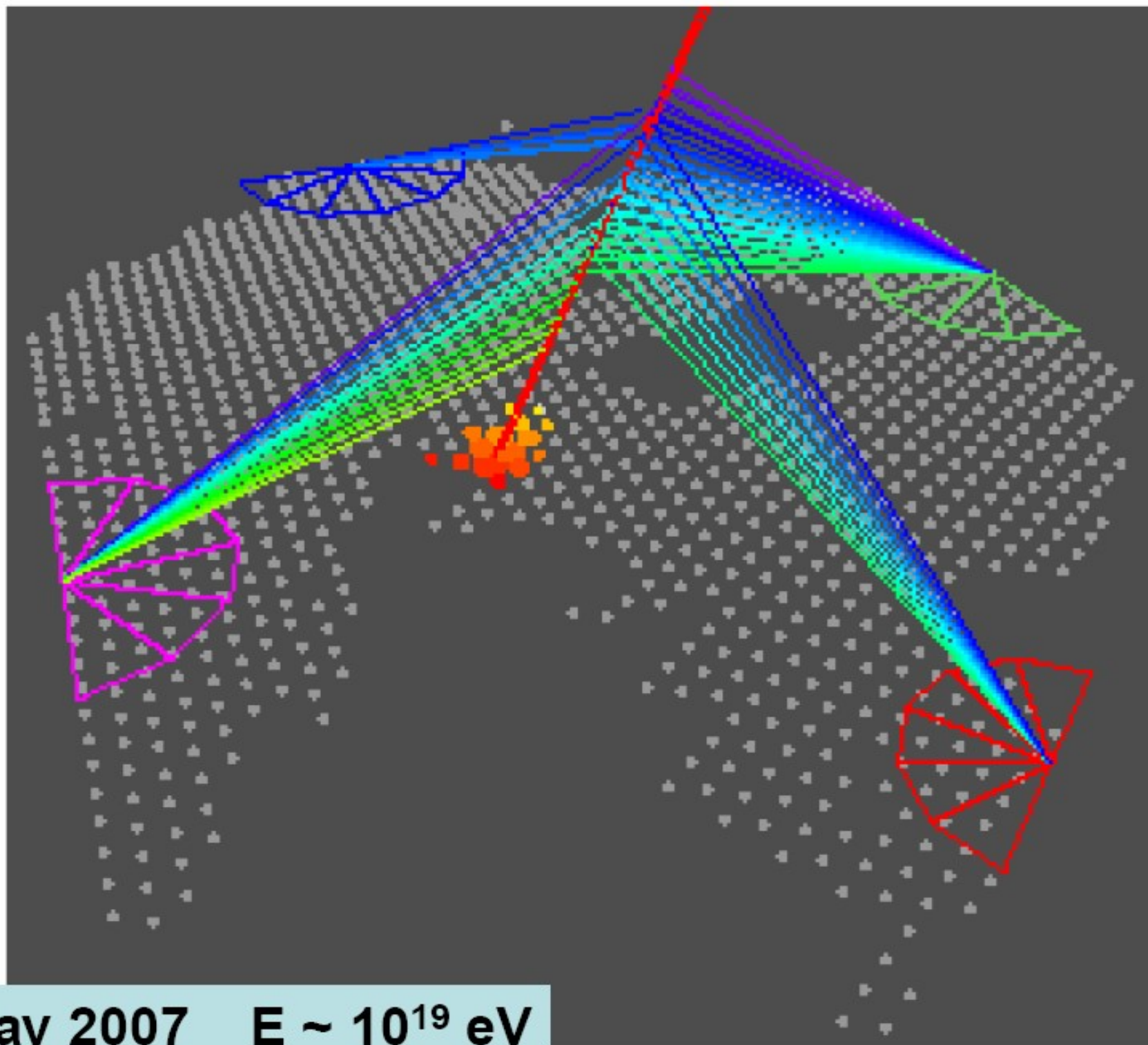
⇒ reconstruction uncertainty

▶ 10%, consistent with MC

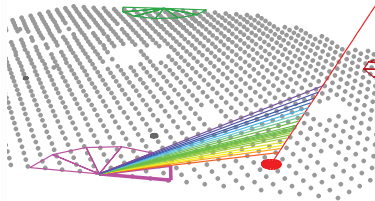
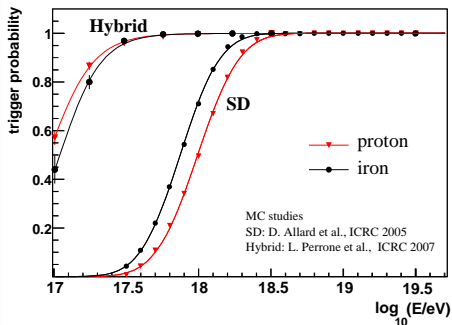
Source	Systematic uncertainty
Fluorescence yield	14%
P,T and humidity effects on yield	7%
Calibration	9.5%
Atmosphere	4%
Reconstruction	10%
Invisible energy	4%
TOTAL	22%



Total FD E uncertainty: 22%

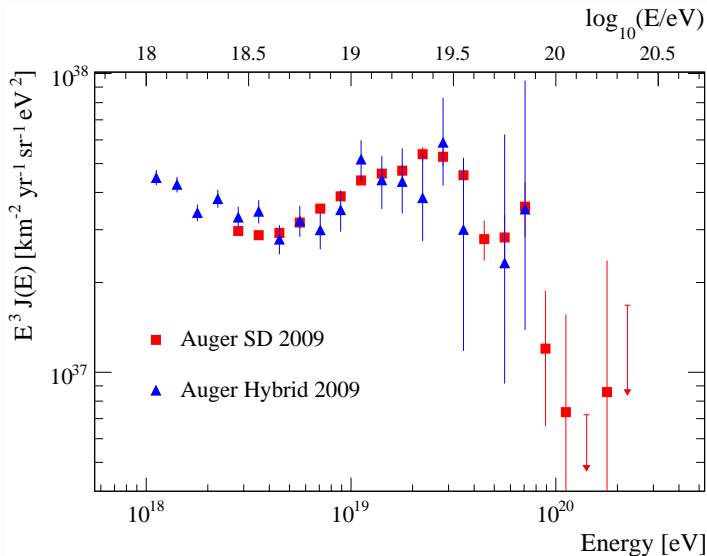


Extending the energy range with hybrid events



- ▶ energy threshold 10^{18} eV covering the ankle region
- ▶ good energy resolution $\sigma(E)/E < 10\%$
- ▶ calorimetric energy measurement

Energy spectrum from hybrid data



FERMI: A NEW VIEW OF THE HIGH ENERGY UNIVERSE

LARGE AREA TELESCOPE: INTRODUCTION AND SCIENCE HIGHLIGHTS

Peter F. Michelson
Stanford University

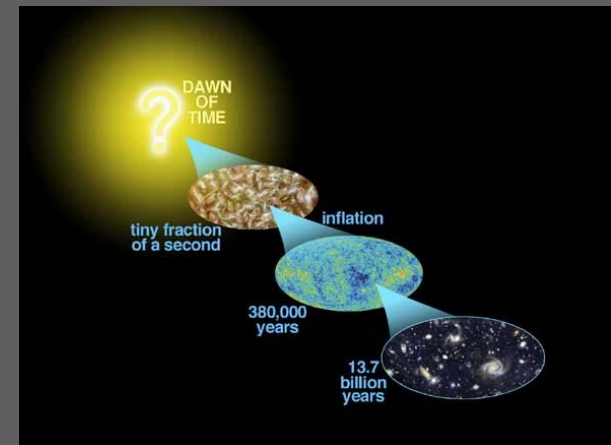
Principal Investigator, Large Area
Telescope Collaboration

on behalf of the Fermi LAT Collaboration
and the Fermi mission



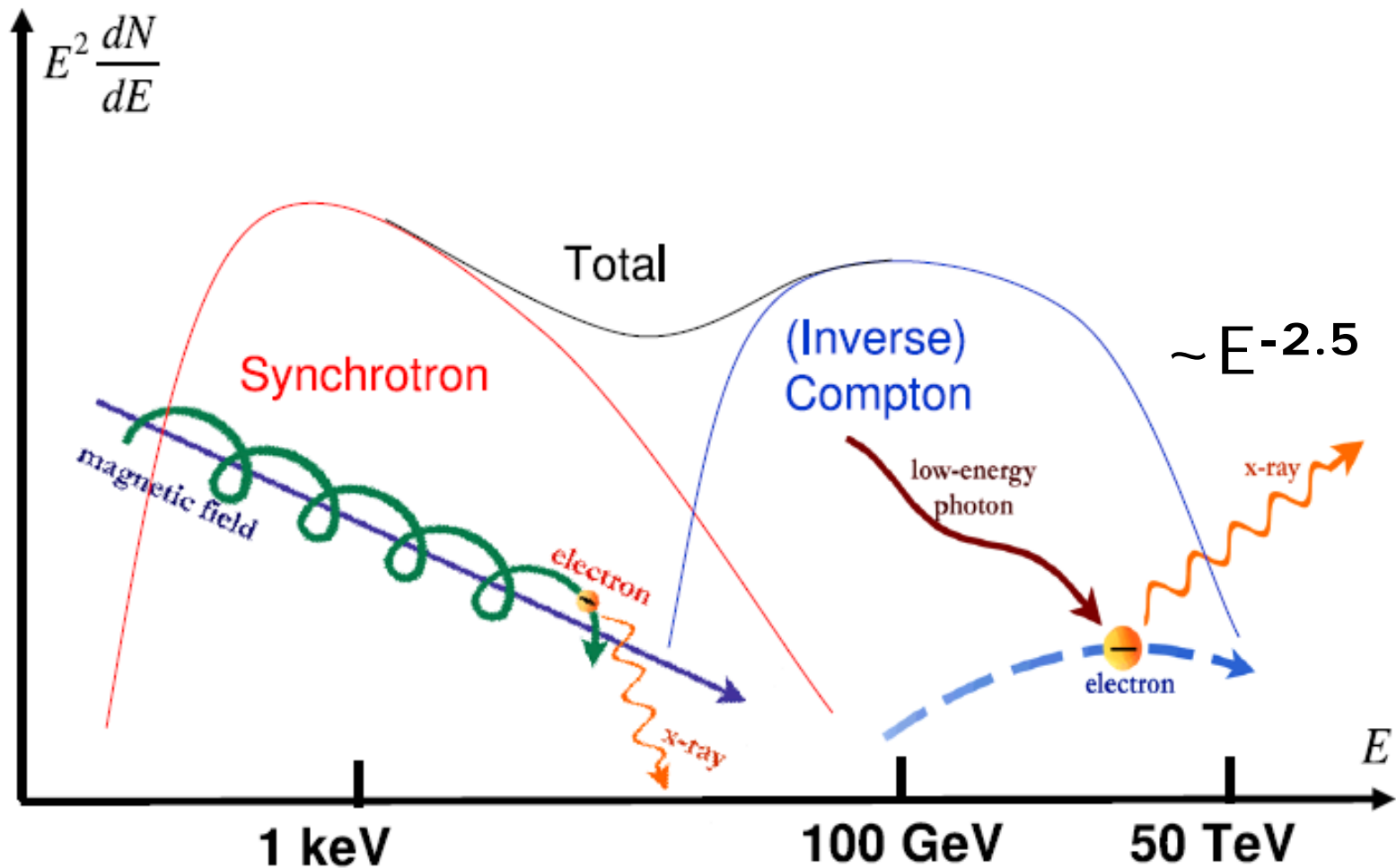
Characteristics of γ rays

- ◆ Most violent processes in the Universe
 - Extreme conditions in Nature
- ◆ Non thermal emission
 - Acceleration on several distance and time scales
- ◆ Direct information from the source
 - Neutral particles
- ◆ Universe is transparent to gamma rays
 - Opacity is energy dependent



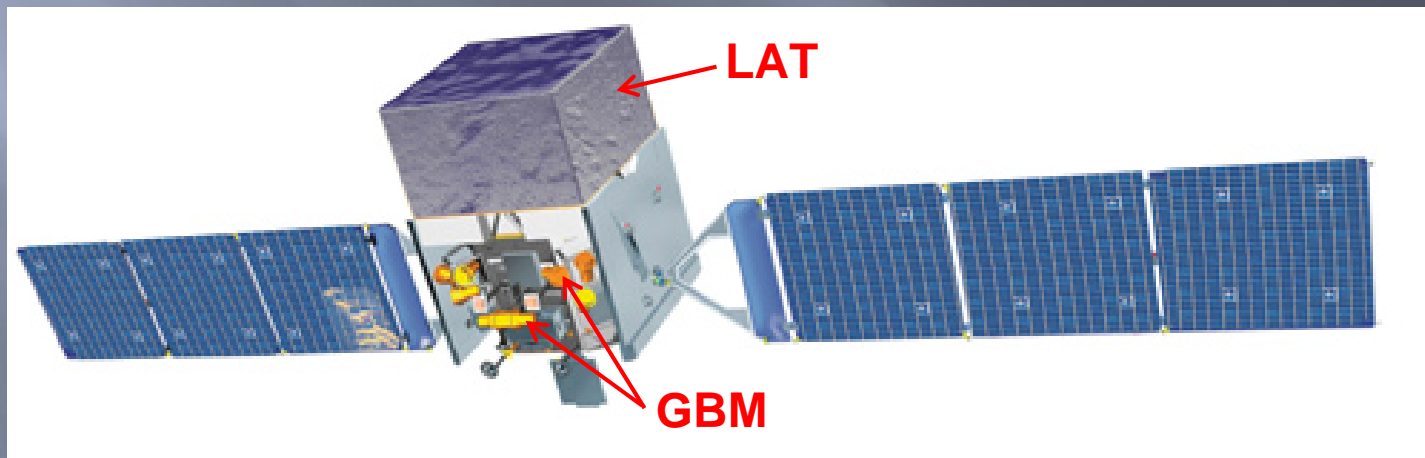
SSC: a (minimal) standard model

SSC explains most observations, not necessarily the most interesting...



Exploring the High-Energy Universe

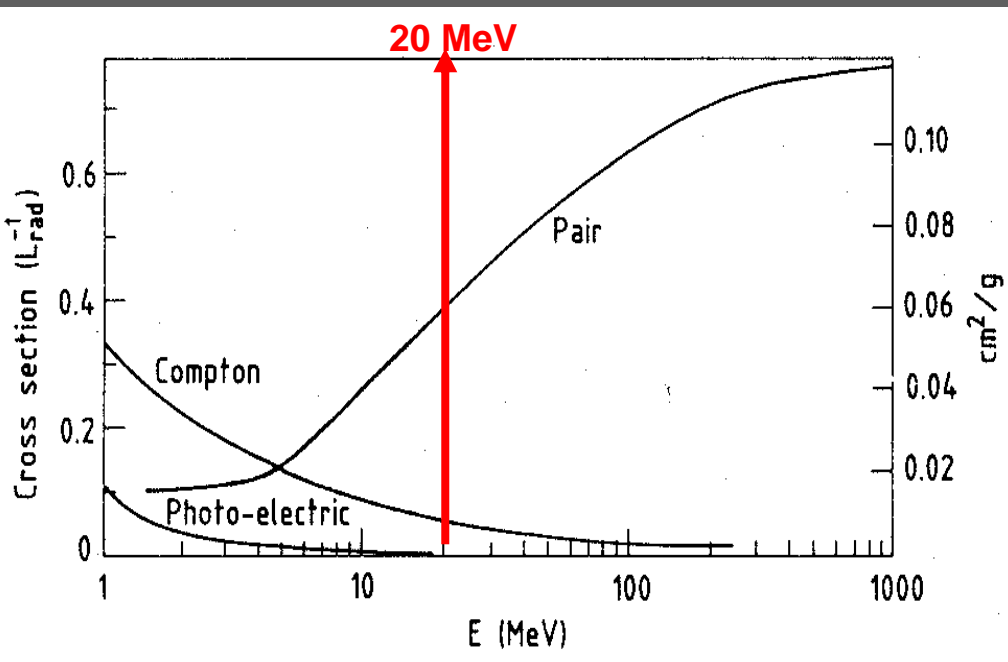
- gamma rays provide a direct view into Nature's largest accelerators (neutron stars, black holes)
- gamma rays probe cosmological distances (e.g., $\gamma + \gamma_{\text{EBL}} \rightarrow e^+ + e^-$)
- huge leap in key capabilities, including a largely unexplored energy range; great potential for discovery: e.g. dark matter



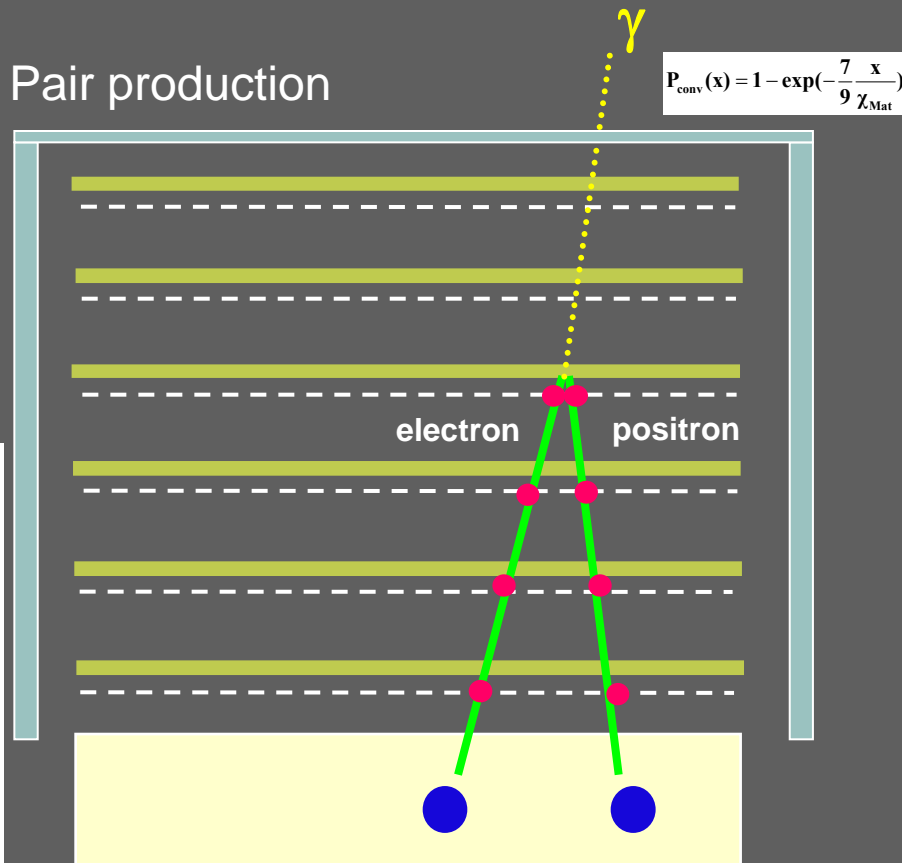
Two instruments: Large Area Telescope (LAT), 20 MeV - >300 GeV
Gamma-ray Burst Monitor (GBM), 10 keV - 25 MeV

Gamma Ray Space Telescopes

- ◆ Short wavelength
 - Radiation cannot be focused
- ◆ Cross section increases ~ 20 MeV
 - Pair production dominates



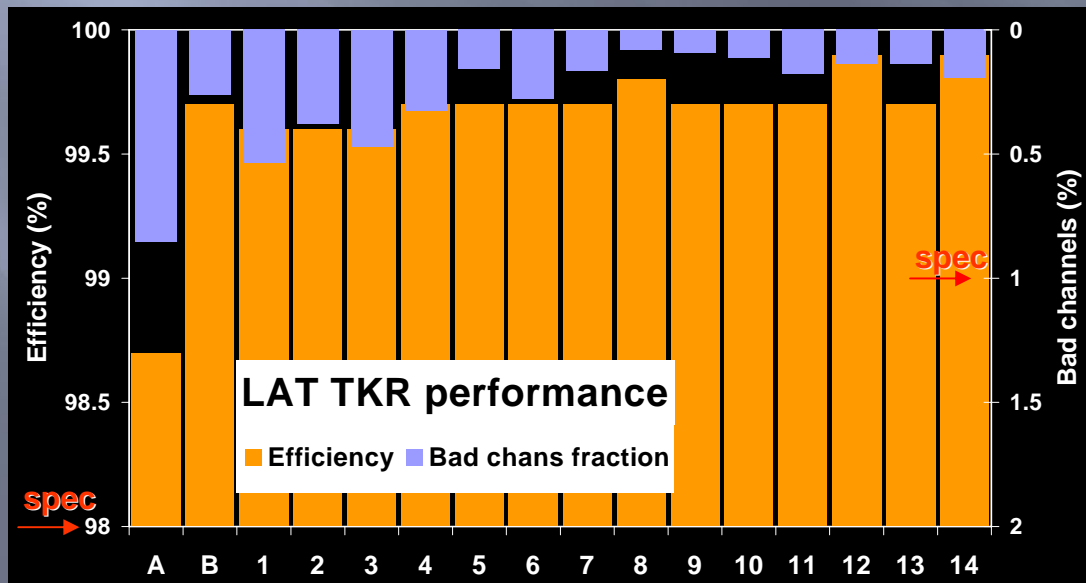
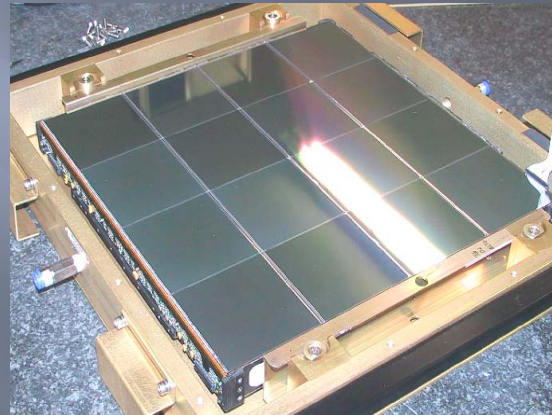
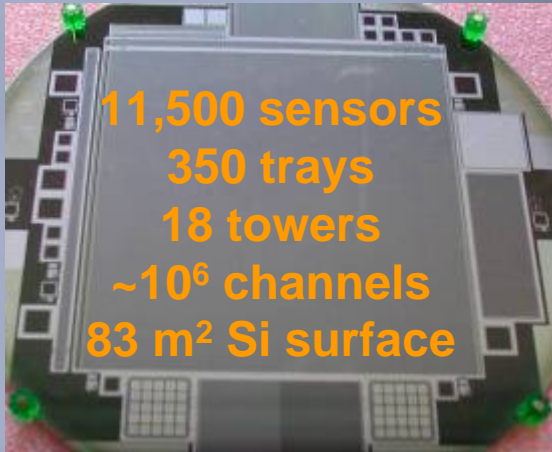
Pair production



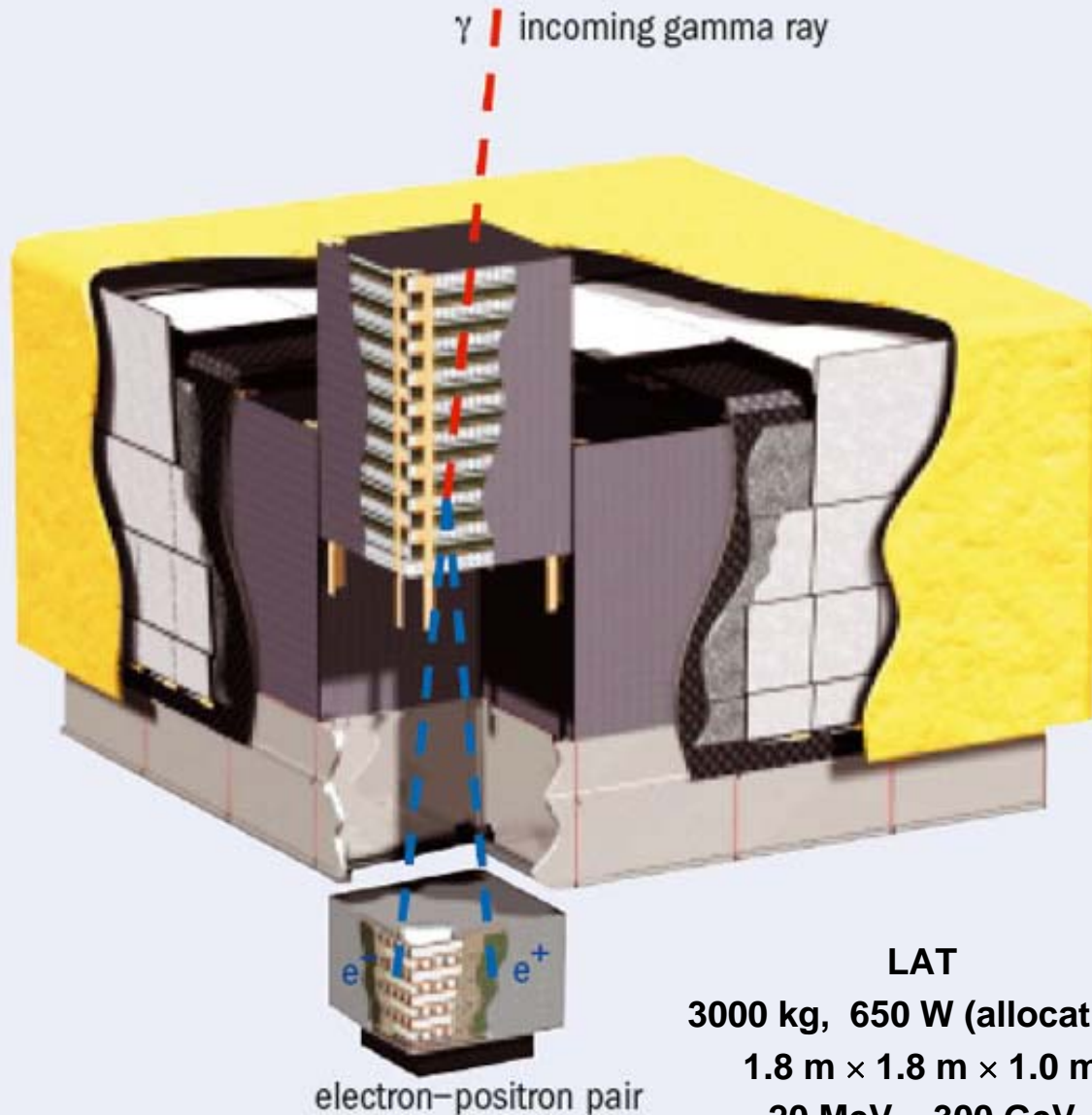
$$A_{\text{eff}} \cong A_{\text{Geo}} \cdot P_{\text{conv}} \cdot \varepsilon_{\text{Ana}}$$

LAT Silicon Tracker

Silicon strip detectors from Hamamatsu Photonics and Japan GLAST Collaboration are a key part of LAT's success



Large Area Telescope



Tracker

γ direction and identification

Calorimeter

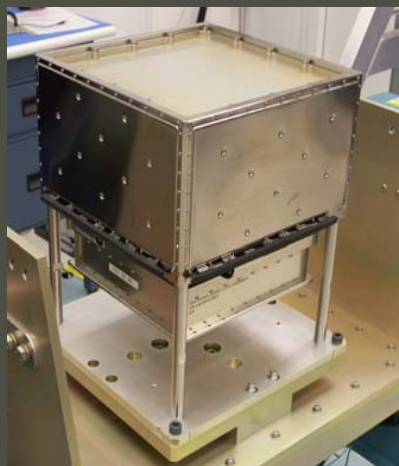
γ energy
image particle showers

Anti-coincidence detector

Background rejection

segmentation reduces self-veto at high energies

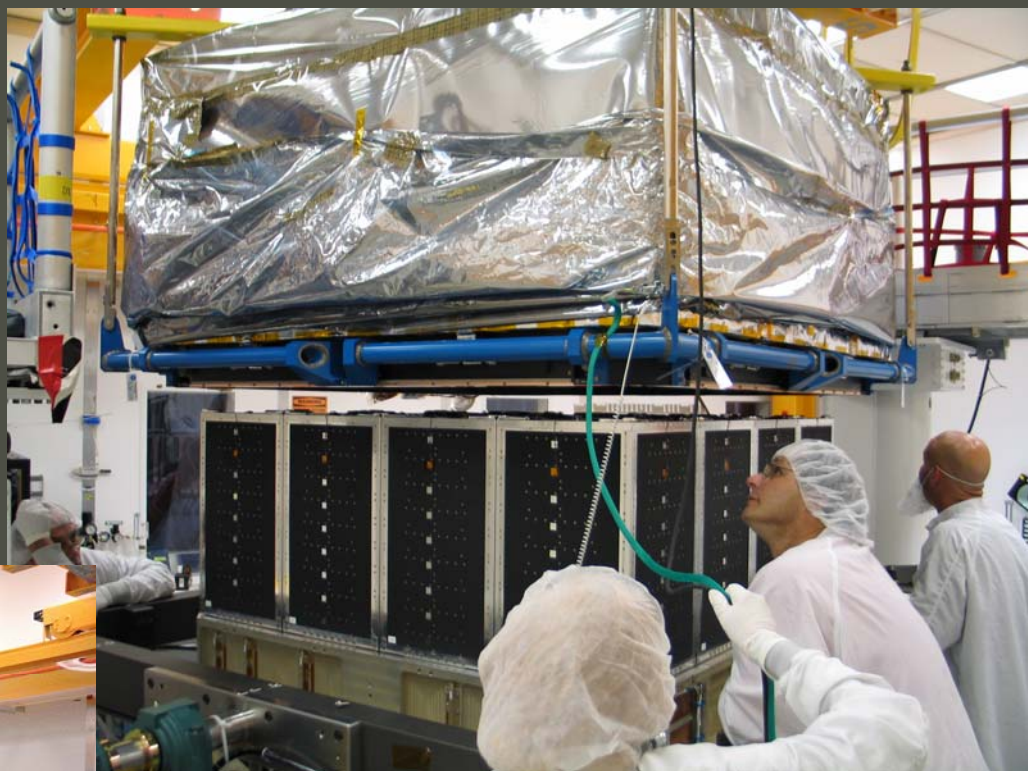
LAT Integration and Tests at SLAC



Calorimeter



Tracker

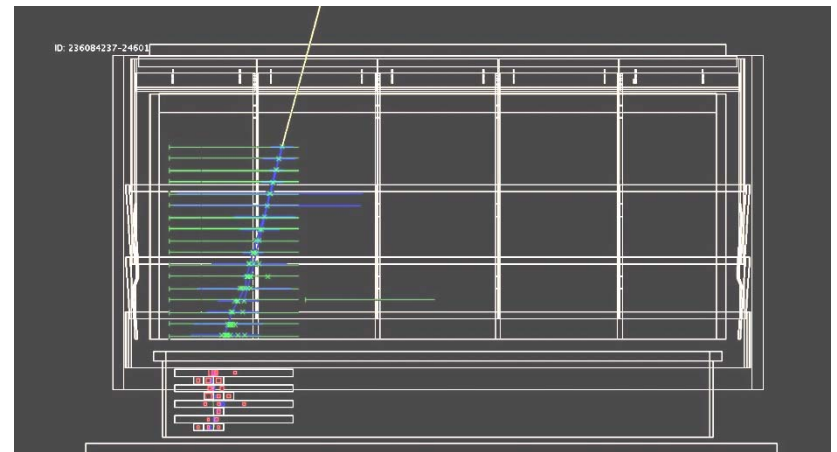
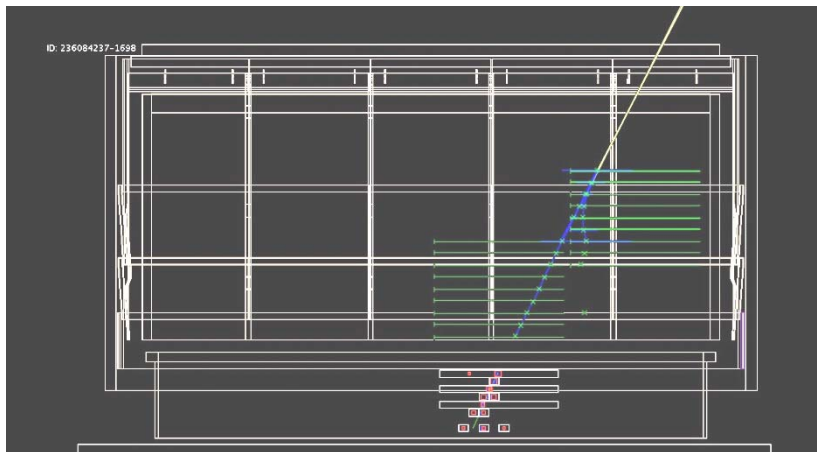
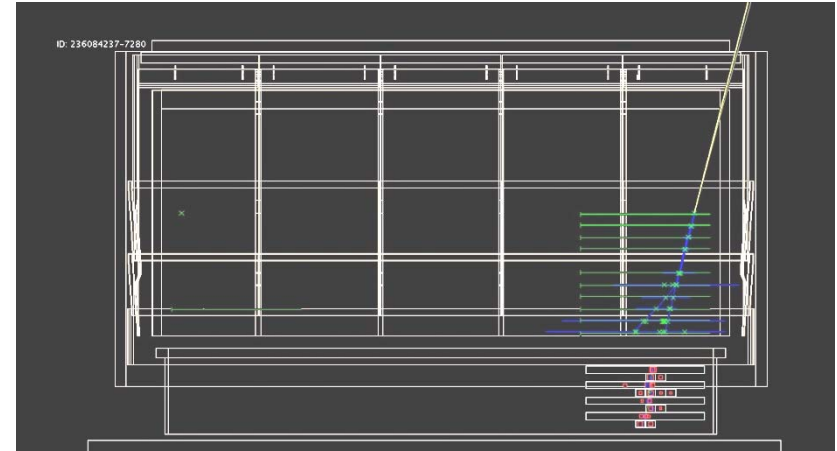
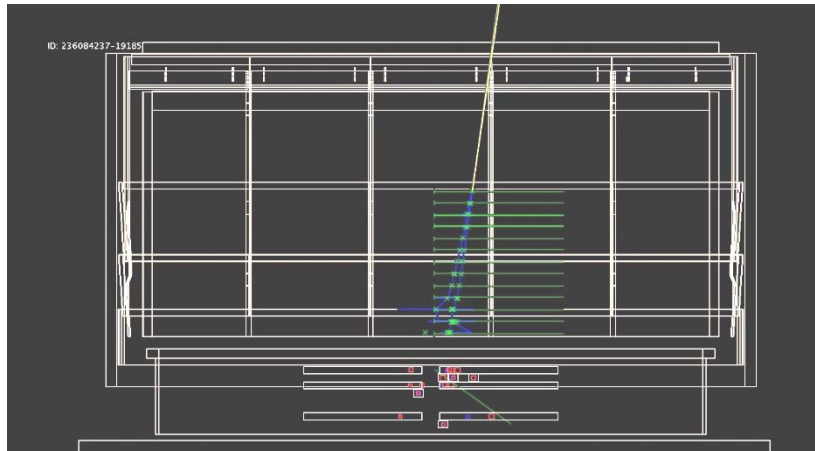


Integration of anti-coincidence detector with 16 towers

LAT Integration & Test Team



LAT Gamma Candidate Events

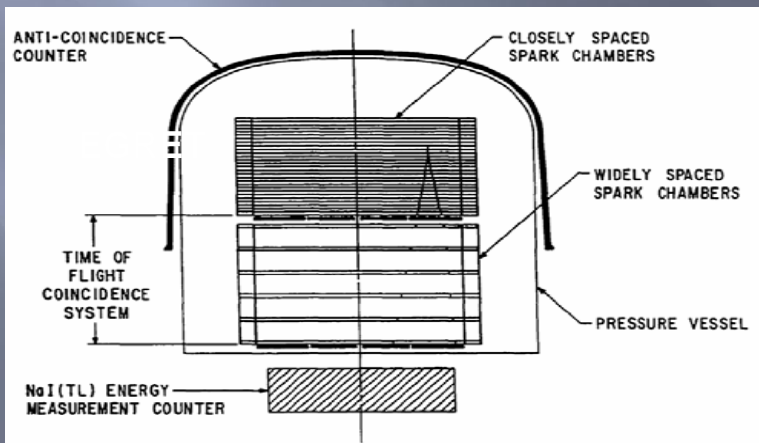


The green crosses show the detected positions of the charged particles, the blue lines show the reconstructed track trajectories, and the yellow line shows the candidate gamma-ray estimated direction. The red crosses show the detected energy depositions in the calorimeter.

LAT as a Telescope

	Years	Ang. Res. (100 MeV)	Ang. Res. (10 GeV)	Eng. Rng. (GeV)	$A_{eff} \Omega$ (cm ² sr)	# γ -rays
EGRET	1991–00	5.8°	0.5°	0.03–10	750	$1.4 \times 10^6/\text{yr}$
AGILE	2007–	4.7°	0.2°	0.03–50	1,500	$4 \times 10^6/\text{yr}$
Fermi LAT	2008–	3.5°	0.1°	0.02–300	25,000	$1 \times 10^8/\text{yr}$

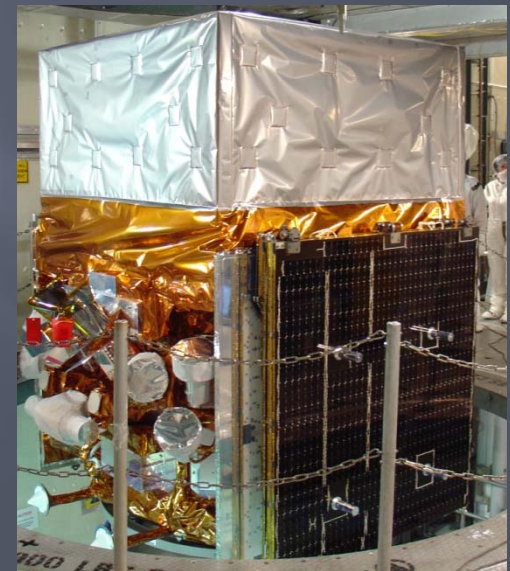
- LAT has **already** surpassed EGRET and AGILE celestial gamma-ray totals
- Unlike EGRET and AGILE, LAT is an effective **All-Sky Monitor** whole sky every ~3 hours



CGRO EGRET



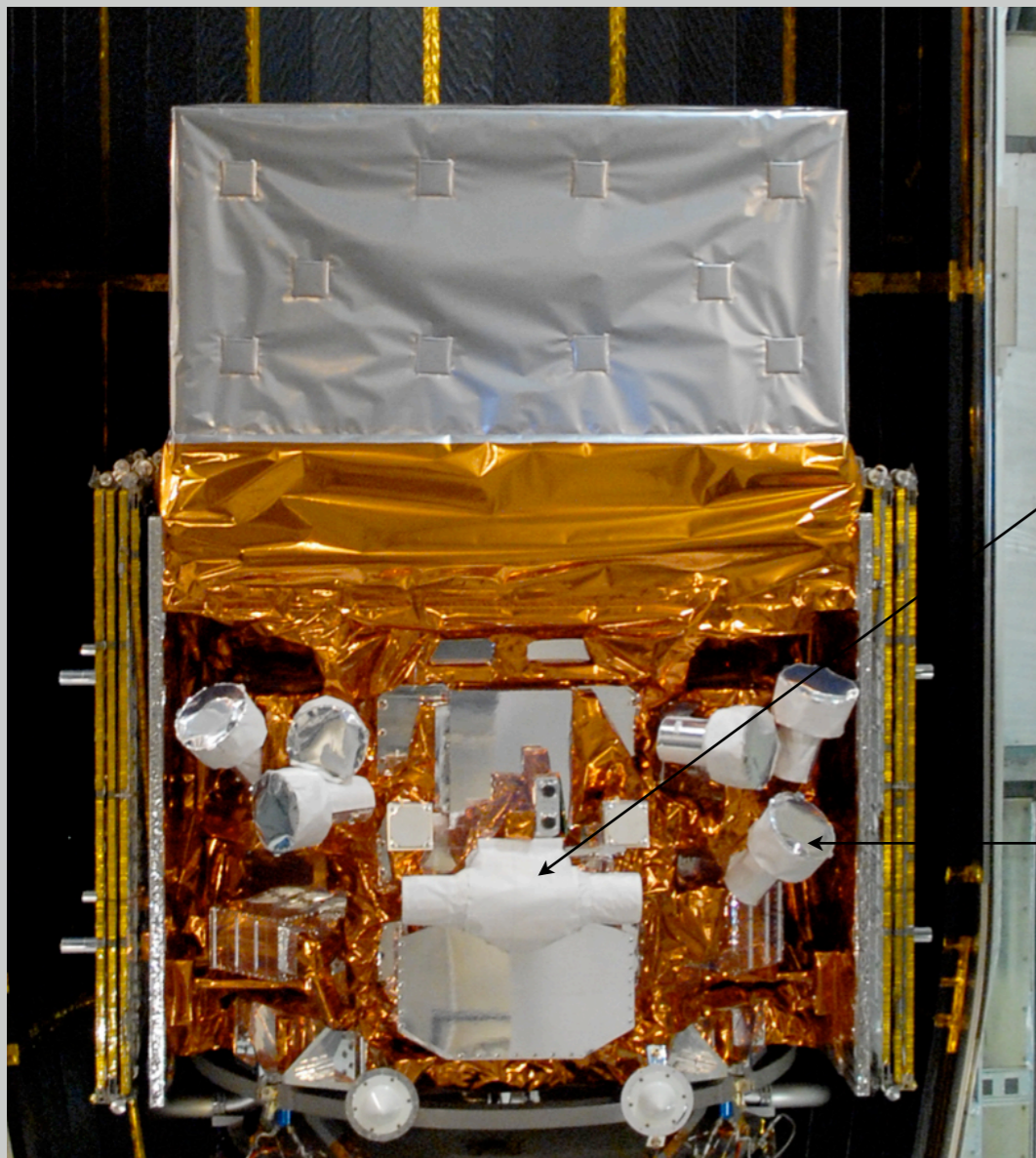
AGILE (ASI)



Fermi / LAT

GBM Detectors

- * Placement of detectors to view entire sky while maximizing sensitivity to events seen in common with the LAT.
- * 4 x 3 NaI Detectors with different orientations.
- * 2 x 1 BGO Detector either side of spacecraft.

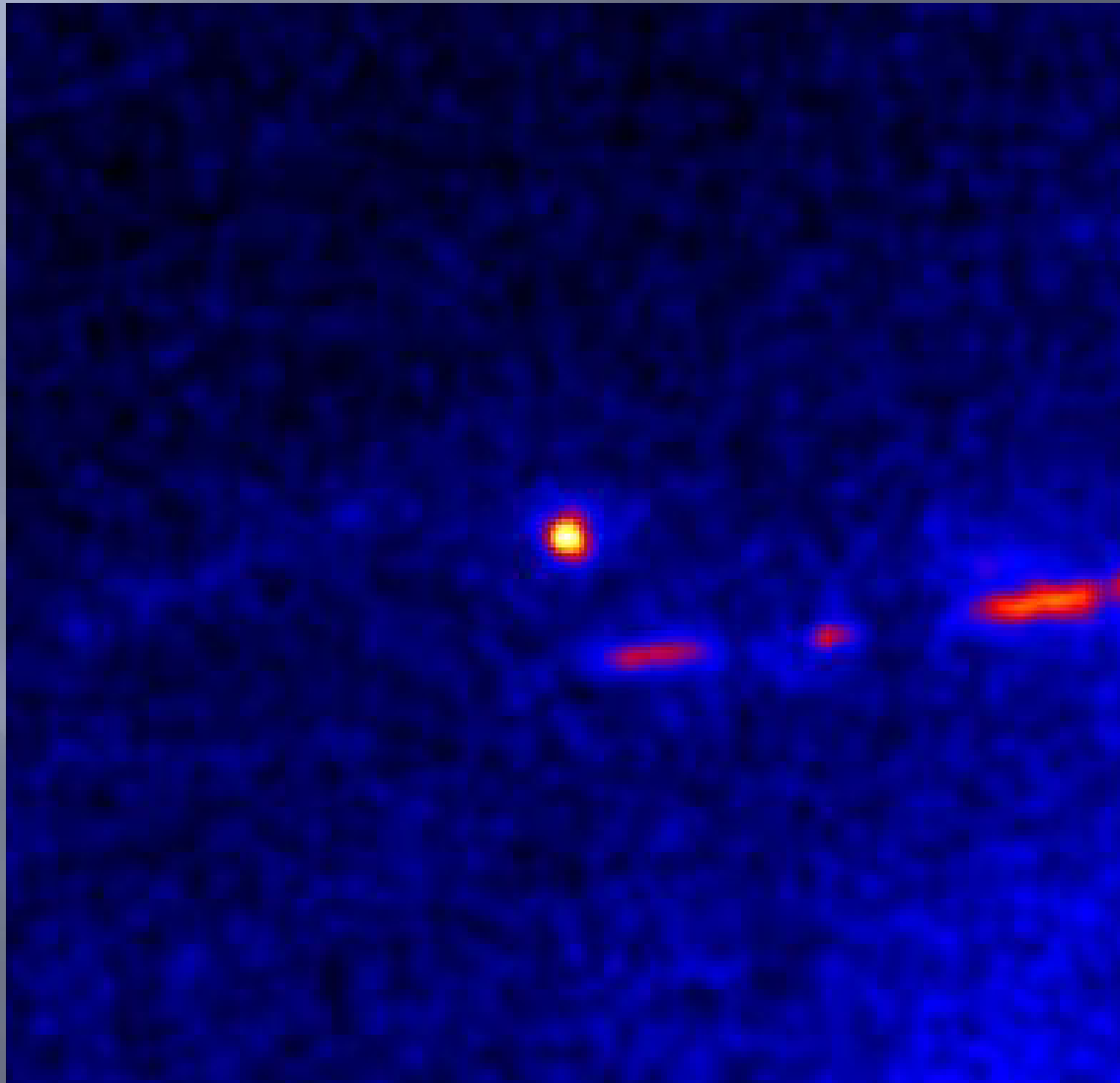


BGO detector.
200 keV -- 40 MeV
Spectroscopy
Bridges gap between NaI and LAT.

NaI detector.
8 keV -- 1000 keV.
Triggering, localization,
spectroscopy.

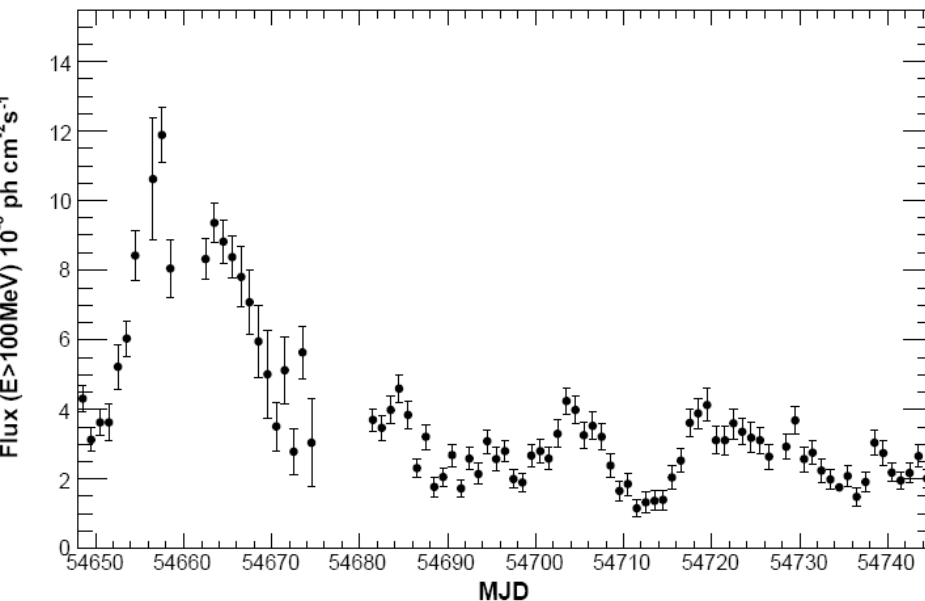
Fermi detects the Sun

July 1 – Sept 24, 2008



3C454.3

Supermassive black hole
8 billion light-years from us



GLAST-LAT detection of extraordinary gamma-ray activity in 3C 454.3

ATel #1628; *G. Tosti (Univ/INFN-Perugia), J. Chiang (SLAC), B. Lott (CENBG/Bordeaux), E. do Couto e Silva (SLAC), J. E. Grove (NRL/Washington), J. G. Thayer (SLAC) on behalf of the GLAST Large Area Telescope Collaboration*
on 24 Jul 2008; 14:25 UT
Password Certification: Gino Tosti (tosti@pg.infn.it)

Subjects: Gamma Ray, >GeV, AGN, Quasars

The Large Area Telescope (LAT), one of two instruments on the Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST) (launched June 11, 2008), which is still in its post-launch commissioning and checkout phase has been monitoring extraordinarily high flux from the gamma-ray blazar 3C 454.3 since June 28, 2008. This confirms the bright state of the source reported by AGILE (see ATel #1592) and by the optical-to-radio observers of the GASP-WEBT Project (ATel #1625).

3C 454.3 has been detected on time scales of hours with high significance (> 5 sigma) by the LAT Automatic Science Processing (ASP) pipeline and the daily light curve ($E > 100$ MeV) indicates that the source flux has increased from the initial measurements on June 28. Although in-flight calibration is still ongoing, preliminary analysis indicates that in the period July 10-21, 2008 the source has been in a very high state with a flux ($E > 100$ MeV) that is well above all previously published values reported by both EGRET (Hartman et al. 1999, ApJS, 123,79) and AGILE (see e.g. ATel #1592 and Vercellone et al. 2008, ApJ, 676, L13).

Because GLAST will continue with calibration activities, regular monitoring of this source cannot be pursued. Monitoring by the LAT is expected to resume in early August. In consideration of the ongoing activity of this source we strongly encourage multiwavelength observations of 3C 454.3.

The GLAST LAT is a pair conversion telescope designed to cover the energy band from 20 MeV to greater than 300 GeV. It is the product of an international collaboration between NASA and DOE in the U.S. and many scientific institutions across France, Italy, Japan and Sweden.



❖ Similar features

- ❖ Apparent delay of high-energy emissions
- ❖ Highest energy is very late (GRB080825C)
 - No detectable low energy emissions

