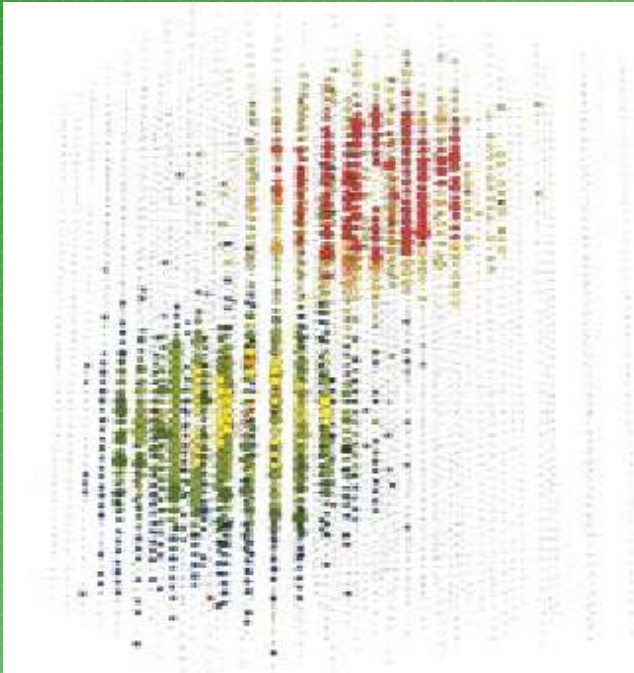


Astronomia neutrinowa wysokich energii

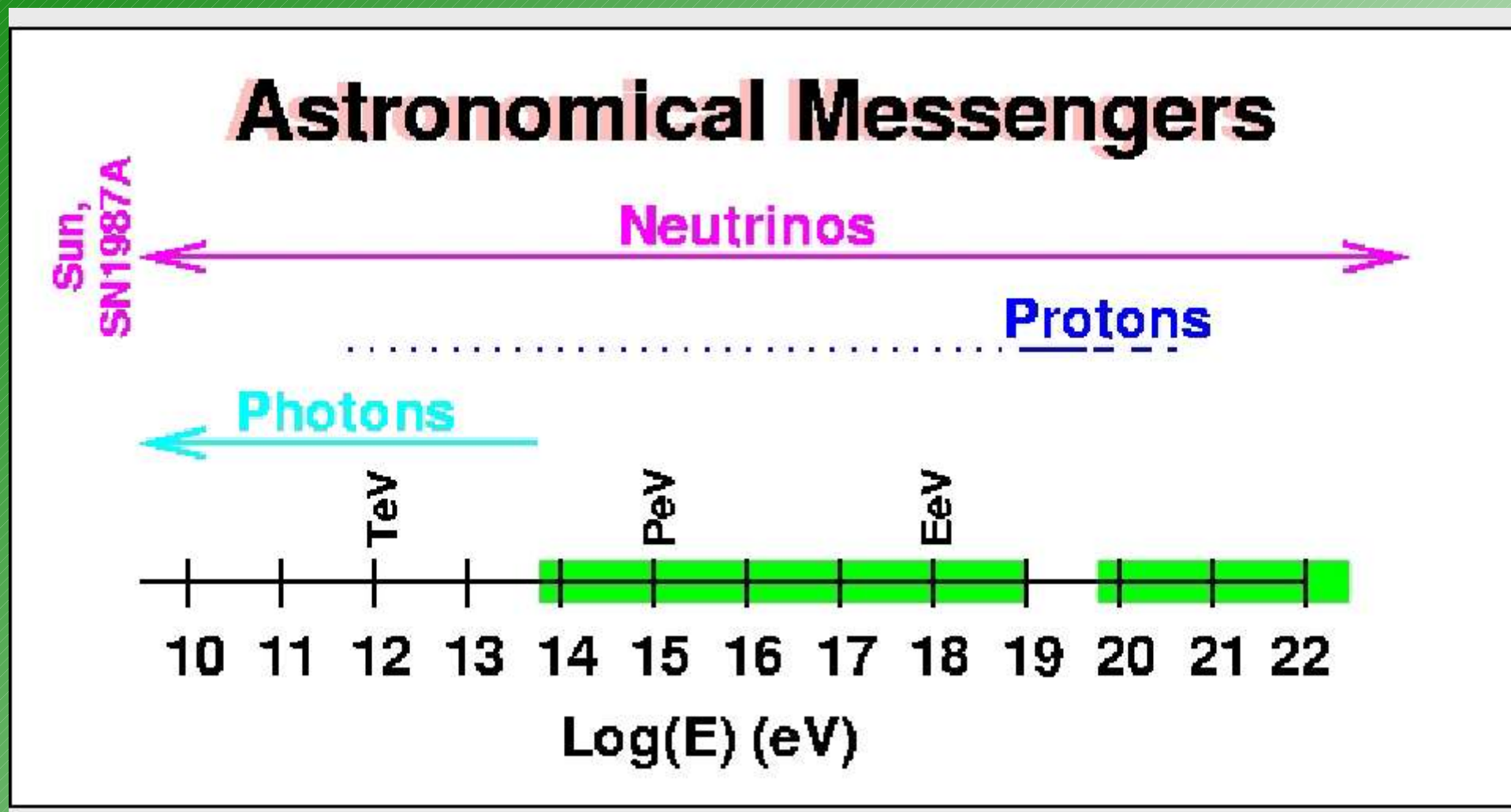


wykład 14

Plan:

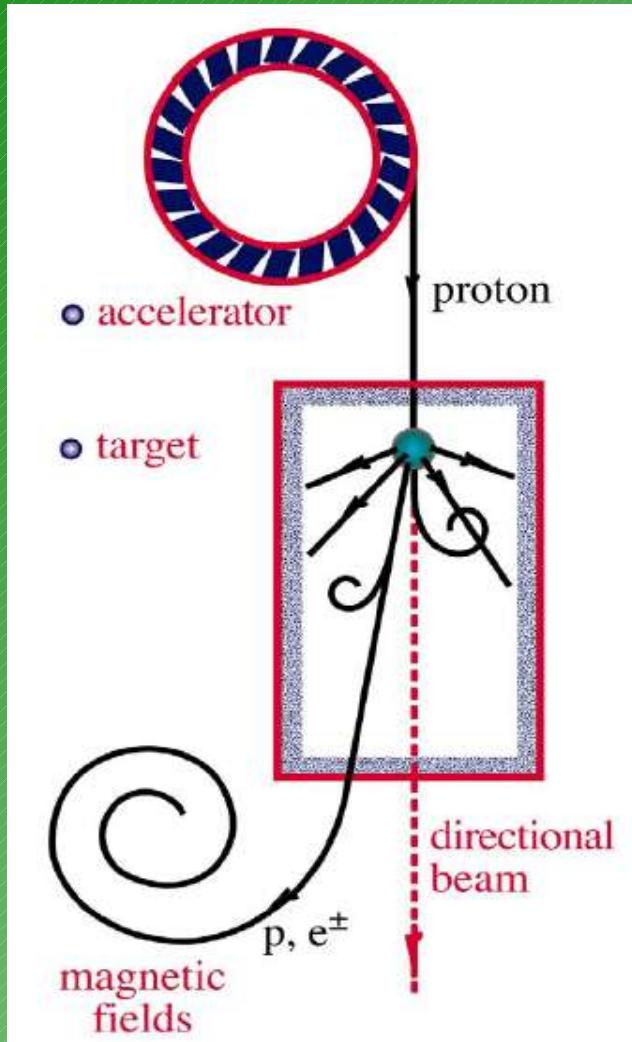
1. Skąd się biorą kosmiczne neutrina?
 - Czy można je "zobaczyć"?
 - "naturalne" detektory Czerenkowa.
2. Nestor i Antares - teleskopy wodne "w budowie"
- 3. AMANDA i Icecube - eksperymenty antarktyczne
- Szukanie źródeł punktowych

Dlaczego warto prowadzić obserwacje
neutrinowe:

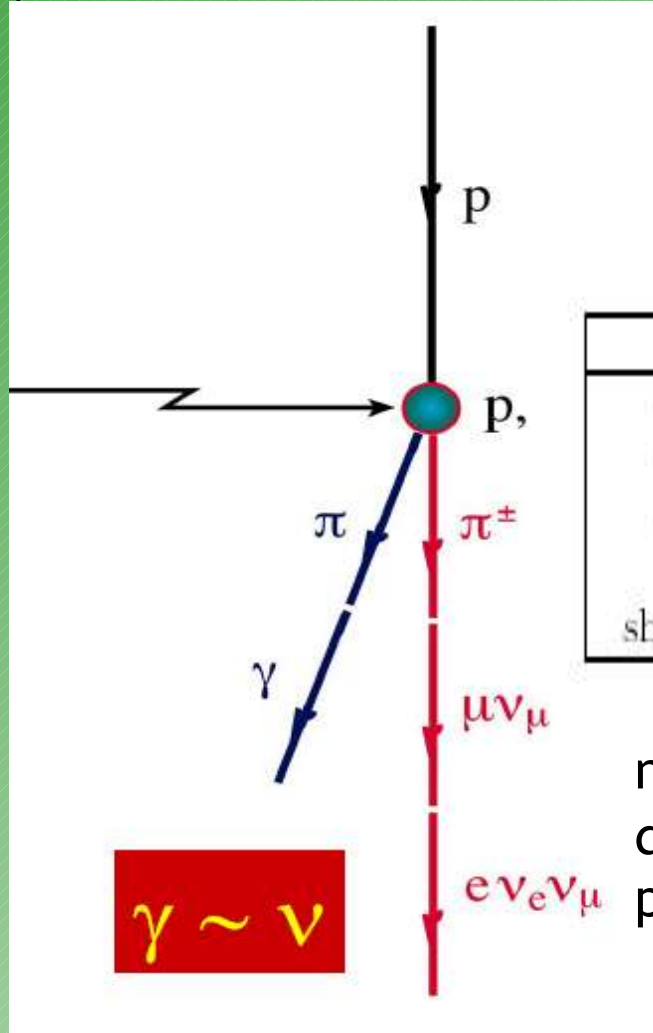


Skąd się biorą neutrino w kosmosie?

Na Ziemi:



W przestrzeni kosmicznej:



Przykłady "wiązek"

Beam	Target
cosmic rays	atmosphere
cosmic rays	galactic disk
cosmic rays	CMBR
AGN jets	ambient light, UV
shocked protons	GRB photons

na początku, $e:\mu:\tau = 1:2:0$
 dzięki oscylacjom,
 przechodzi w 1:1:1

Galaktyczne źródła neutrin

- Modele źródeł promieniowania kosmicznego zakładają: $E_\nu \approx E_\gamma$
-> oszacowanie strumienia ν niezależnie od źródła, na podstawie strumienia fotonów.
- Dla galaktycznych źródeł: $\Phi_{E_\nu} \ll \Phi_{E_{CR}}$
ponieważ cząstki naładowane możemy zobaczyć kilka razy ν - tylko raz.

Pozagalaktyczne źródła neutrin

· przyjmuje się, że akceleracja cząstek daje widmo $E^{-\alpha}$
gdzie wykładnik $\alpha \geq 2$ (zmierzony - ok. 3)

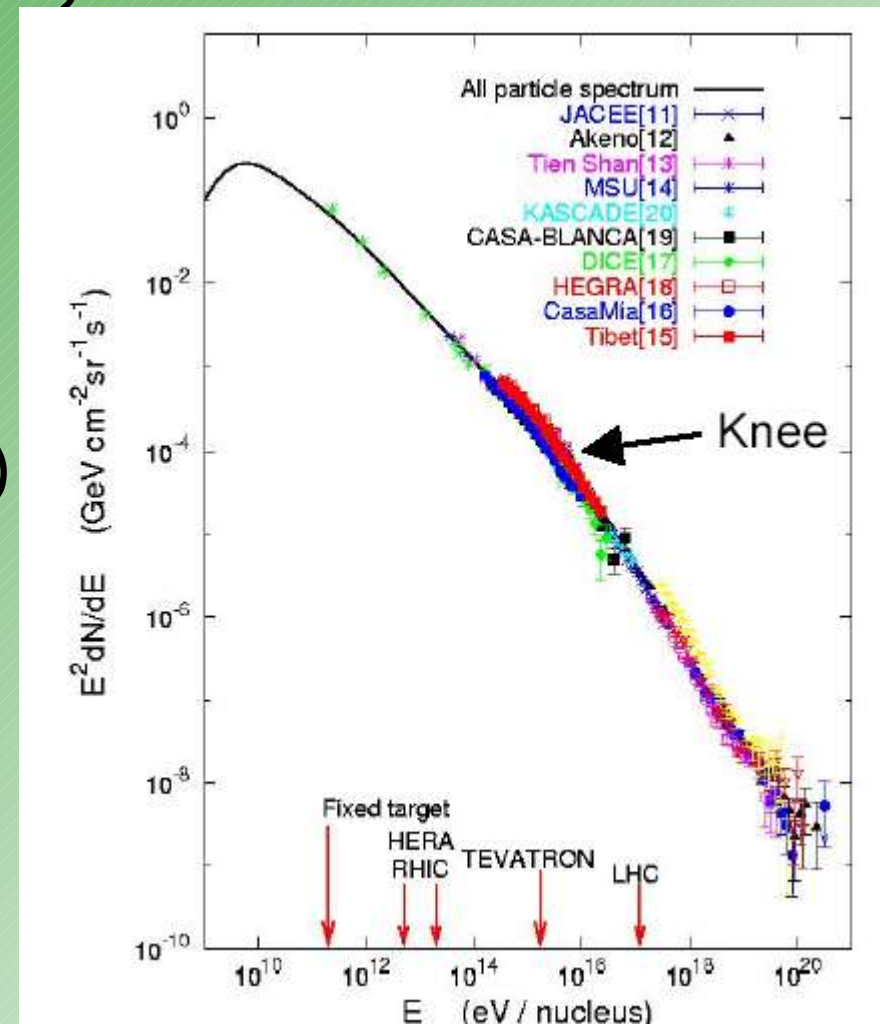
· Oszacowanie dla $\alpha=2$ daje
 $f \cdot 30$ przypadków/km²/yr
(f - wydajność produkcji ν)

· dla $f=0.3$ strumień na Ziemi to:

$$E_\nu^2 \frac{dN}{dE_\nu} \sim 10^{-8} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

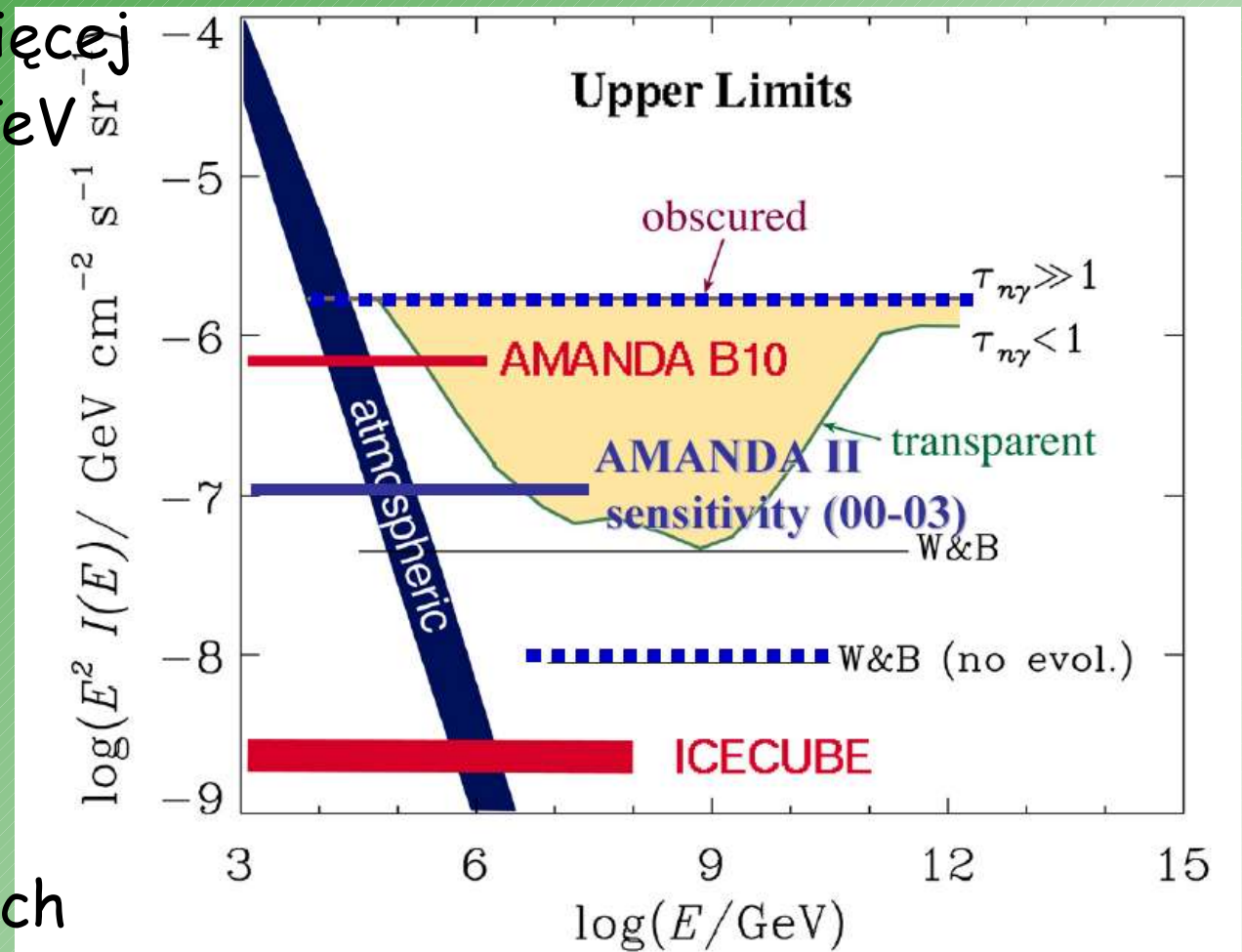
· Neutrino może być więcej...

Wykład 14, 1.06.2005



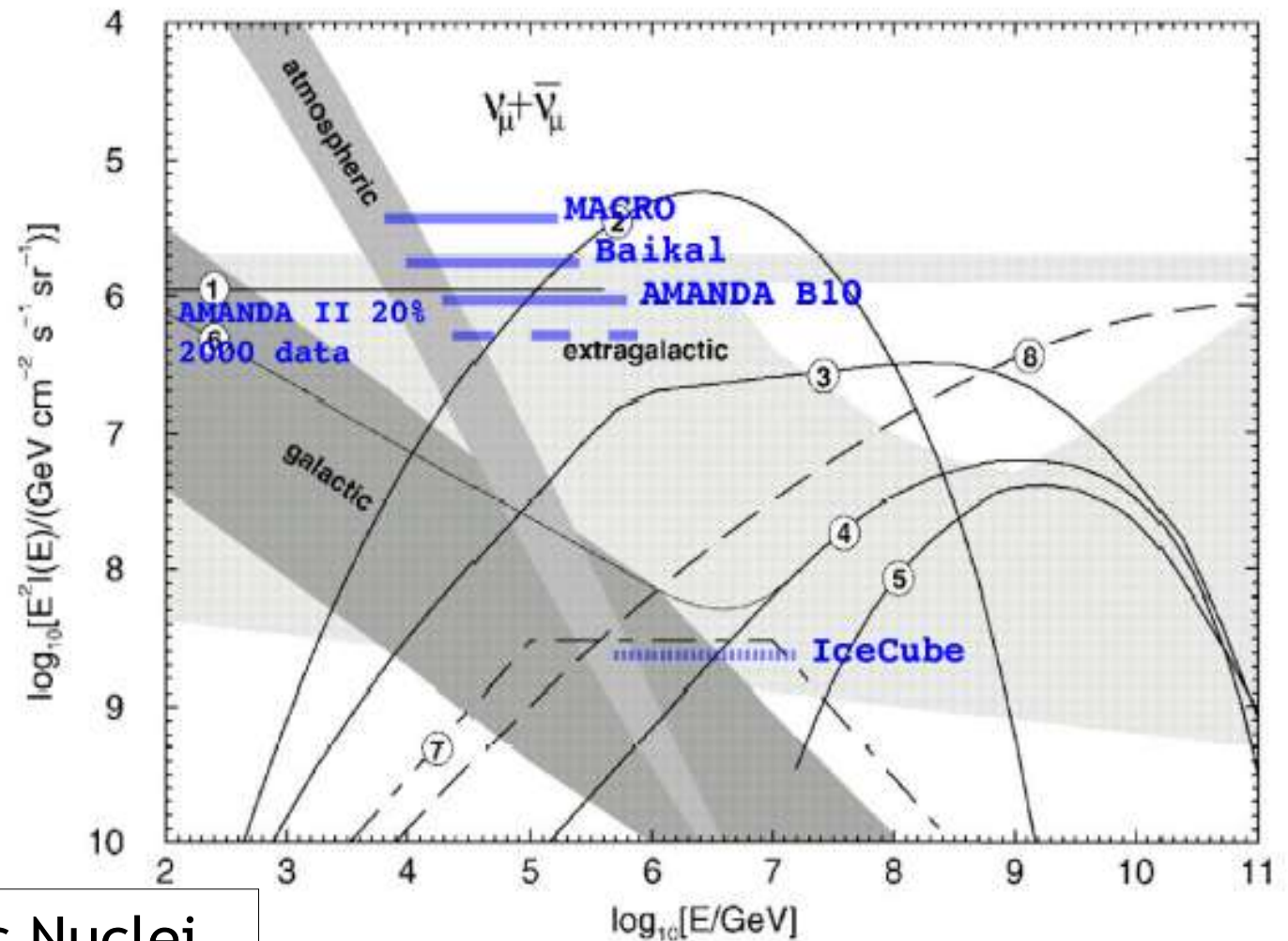
Neutrin będzie więcej jeśli:

- włączenie do modelu źródeł ich ewolucji kosmologicznej (protony zatrzymane przez fotoprodukcję) -> 5x więcej neutrin
- widmo z $\alpha > 2$ daje więcej neutrin z en. $\sim$ PeV i TeV
- jeśli źródła są nieprzezroczyste, CR (promieniowanie kosmiczne) może być częściowo absorbowane
- różne źródła dla promieniowania kosmicznego b. wysokich energii (UHE CR) i dla neutrin (UHE ν)



Fluxes of UHE Neutrinos

1. AGN core pp
2. AGN core p γ
3. Mannheim p γ
4. blazar p γ
5. p γ on CMBR
6. pp blazar on host galaxy
7. GRB
8. topological defects



AGN - Active Galactic Nuclei
(aktywne jądra galaktyk)
blazar - AGN ze strumieniem
materii w stronę Ziemi
GRB - Gamma Ray Bursts
(błyski gamma)

Mannheim & Learned, *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 2000:50

Jak zmierzyć wysokoenergetyczne neutrino?

można mierzyć miony, które
pochodzą z oddziaływań ν_μ
ze skałą obok detektora.

potrzebny duży detektor,
bo powstające miony
mają dużą energię.

tło od mionów z
promieniowania
kosmicznego

Można wykorzystać już istniejące
“skupiska materiałów detektorowych”
i patrzeć na miony idące z kierunku
środku Ziemi

Pierwsze projekty:
DUMAND i BAIKAL

Detektor Cerenkova woda czy lód?

Lód lub woda:

- są tanie i jest ich dużo
- mają dobre własności optyczne (lód na większych głębokościach jest dość przezroczysty)

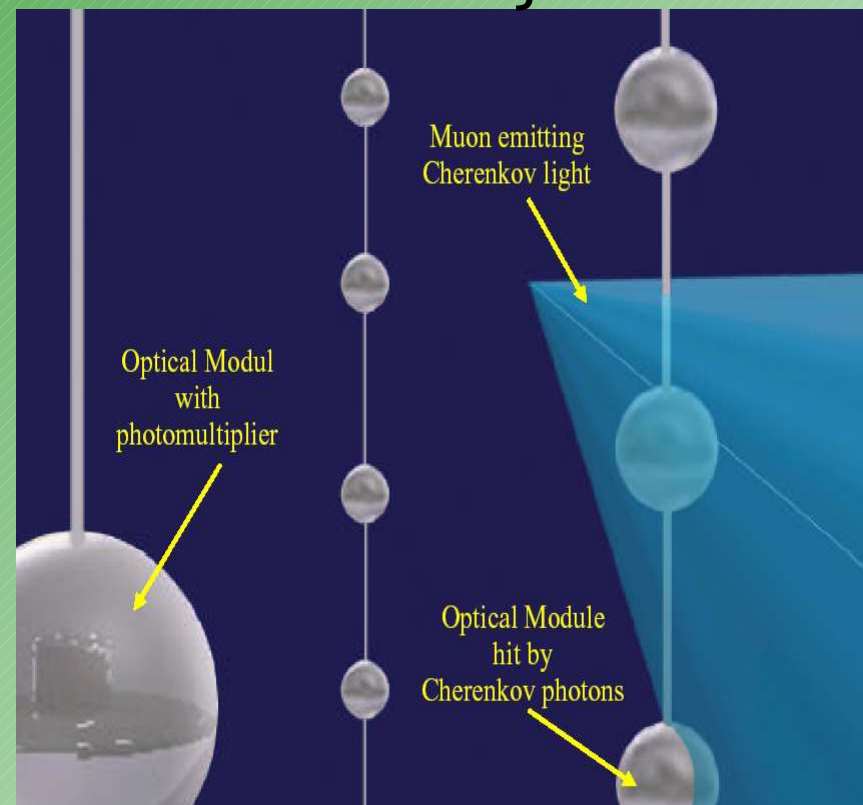
$\lambda = 385 \text{ nm}^*$	(1700 m) AMANDA	BAIKAL	OCEAN
attenuation	$\sim 30 \text{ m}^{**}$	$\sim 8 \text{ m}$	$25\text{--}30 \text{ m}^{***}$
absorption	$95 \pm 5 \text{ m}$	8 m	—
scattering length	$24 \pm 2 \text{ m}$	$150\text{--}300 \text{ m}$	—

* peak PMT efficiency
 ** same for bluer wavelengths
 *** smaller for bluer wavelengths

W lodzie lepszy pomiar energii, w wodzie lepszy pomiar kierunku.

Wykład 14, 1.06.2005

idea detekcji:



Problemy:

- lód - zamrożone pęcherzyki powietrza
- woda morska - radioaktywny ^{40}K
- bioluminescencja

A.Szelc

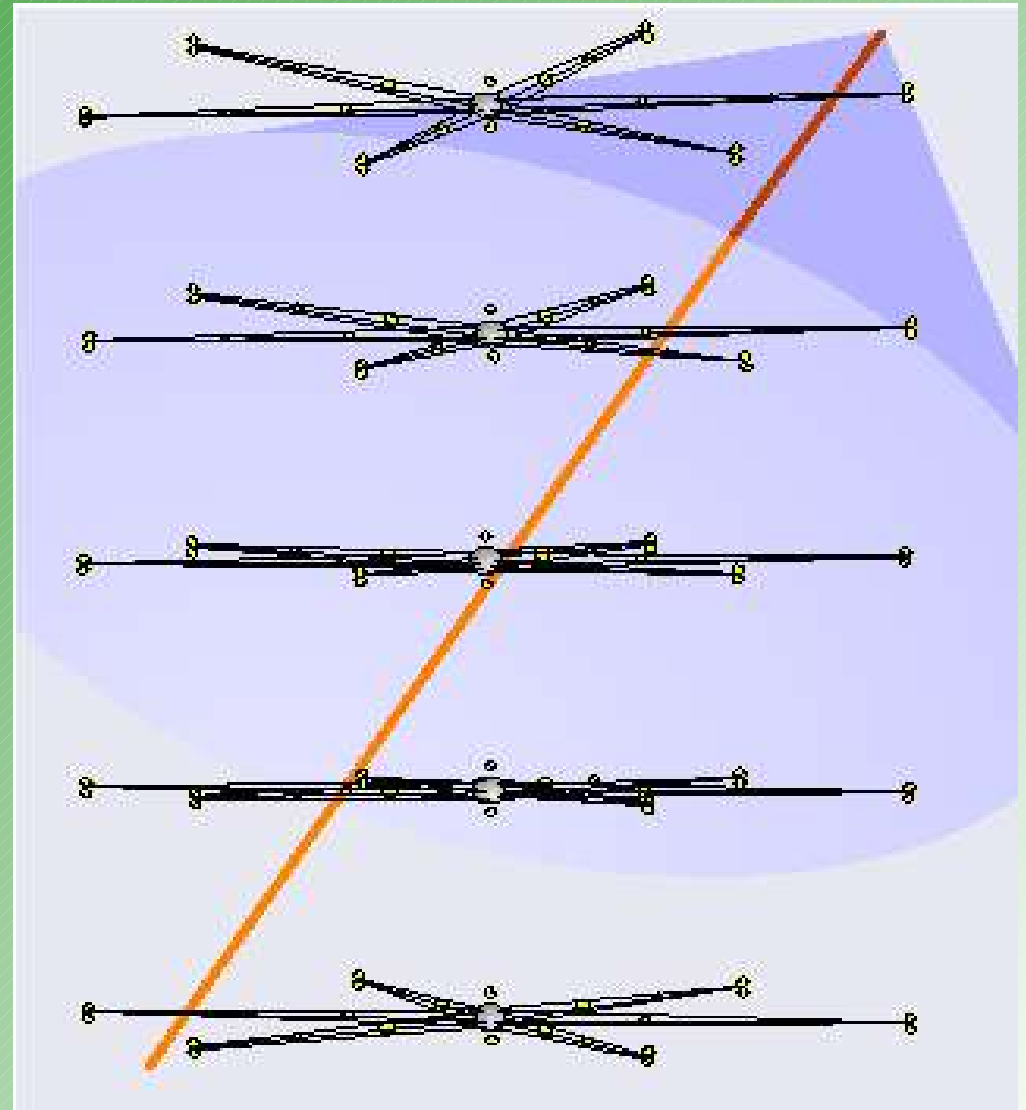
NESTOR - wybrzeża Grecji.

Neutrino Extended Submarine Telescope
with Oceanographic Research

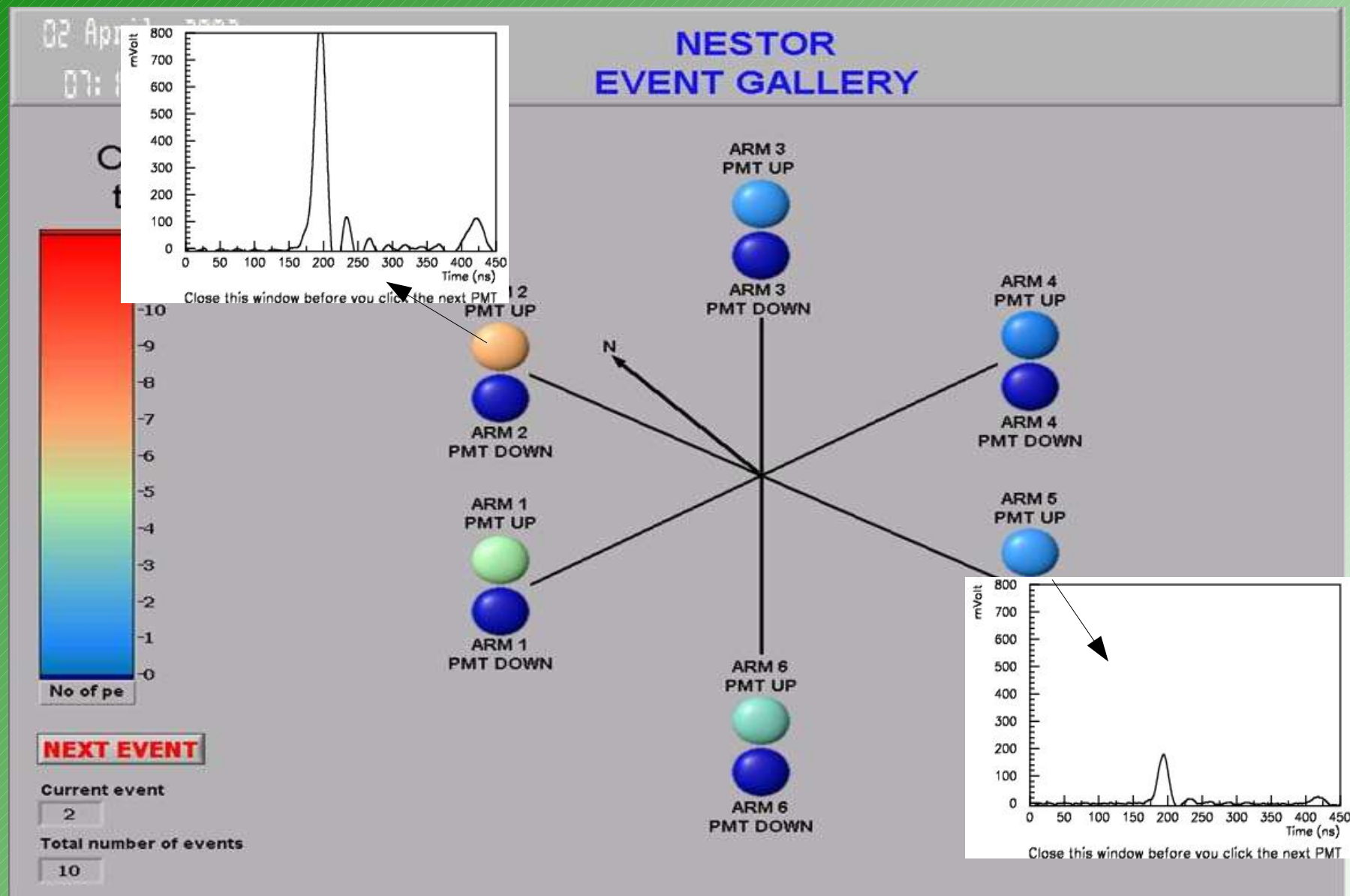
pierwsza
platforma (jedna)
zainstalowana,
początek
zbierania danych

12 km od wybrzeża
Grecji - 4000 m
głębokości.

Planowane jest 7 wież
z platformami.



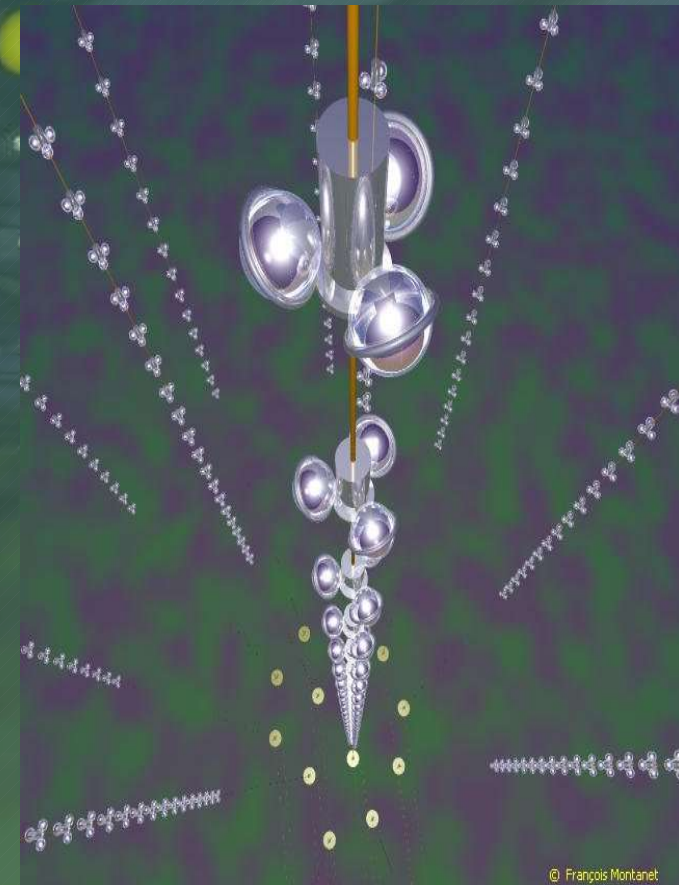
Jak wygląda przypadek w NESTOR:



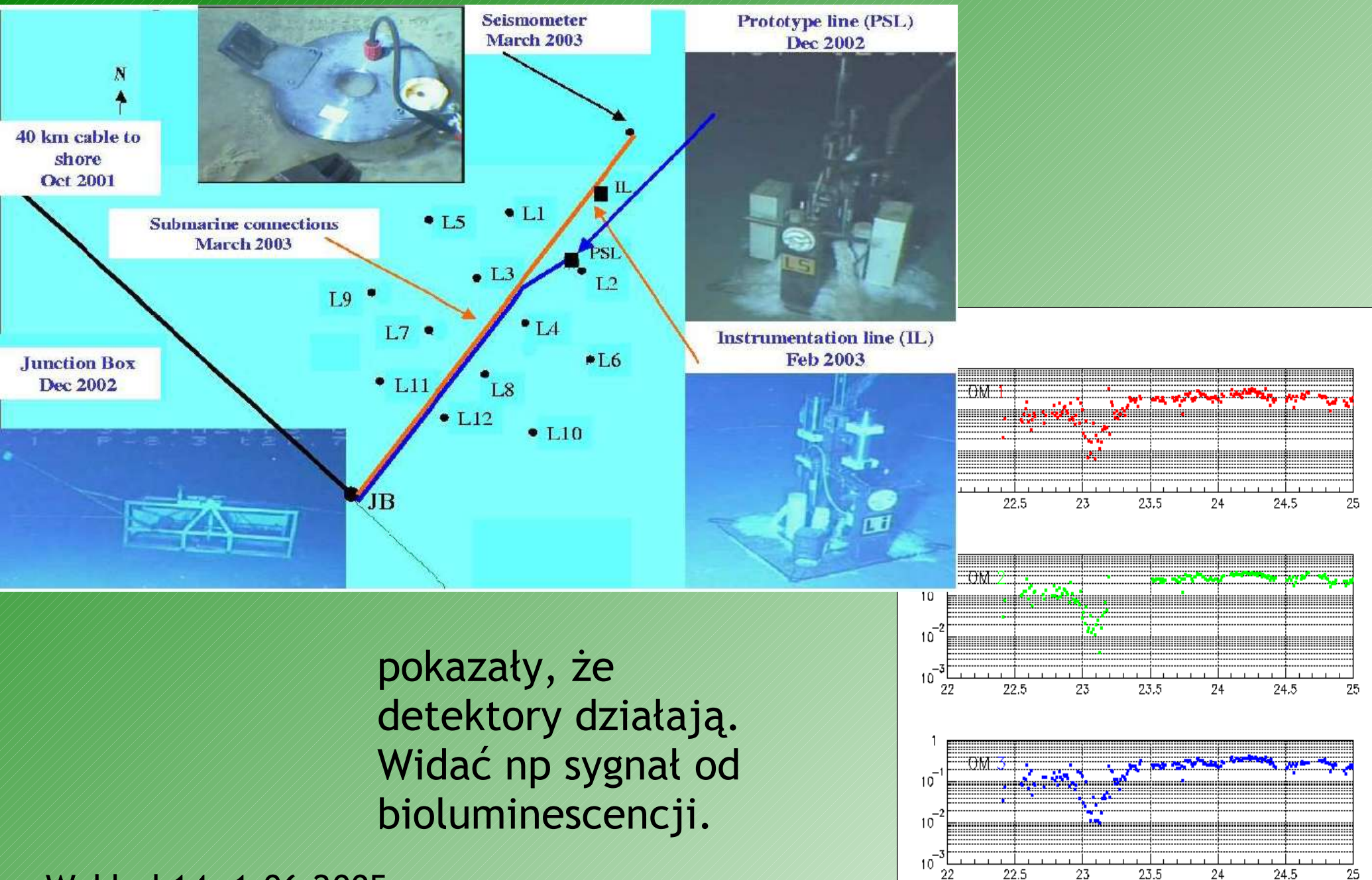
Antares – wybrzeża Francji

Astronomy with a Neutrino
Telescope and Abyss
environmental REsearch

40 km od wybrzeża
(Toulon).
głębokość 2350m.
Pierwszy drut
zainstalowany
w 2003 r



Wstępne wyniki ANTARES

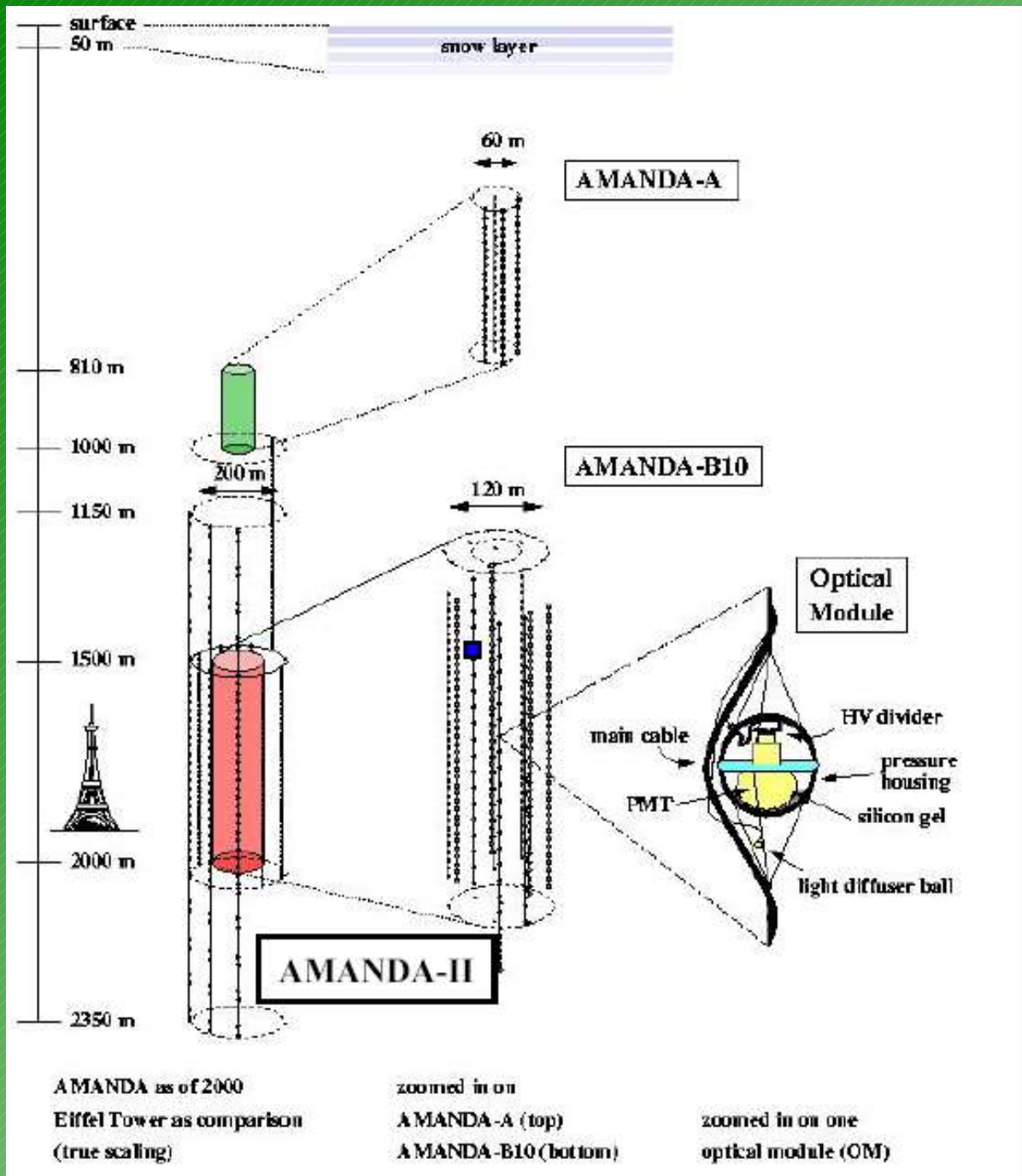


AMANDA i IceCube



AMANDA działa od 96 roku. IceCube będzie gotowy w 2010 roku. Dane zaczniesz zbierać wcześniej.

AMANDA - eksperyment działający



AMANDA II

- 19 sznurów
- 677 Modułów Optycznych (OM)
- ok. 200 m średnicy
- ok. 400m wysokości
- Budowa zakończona w 2000 r.

AMANDA B10

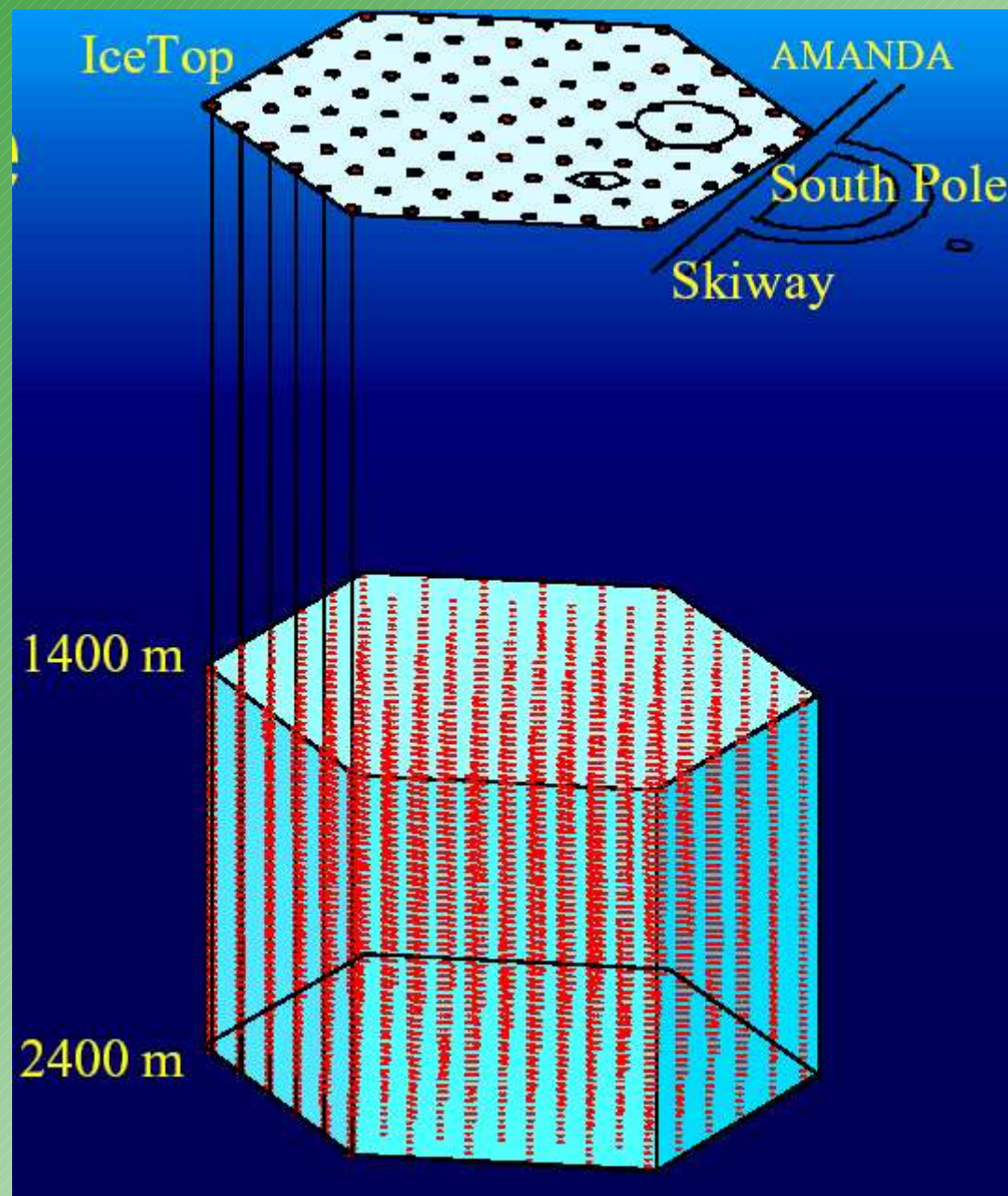
- 1997 rok
- 10 sznurów
- 300 OM

IceCube - eksperyment budowany

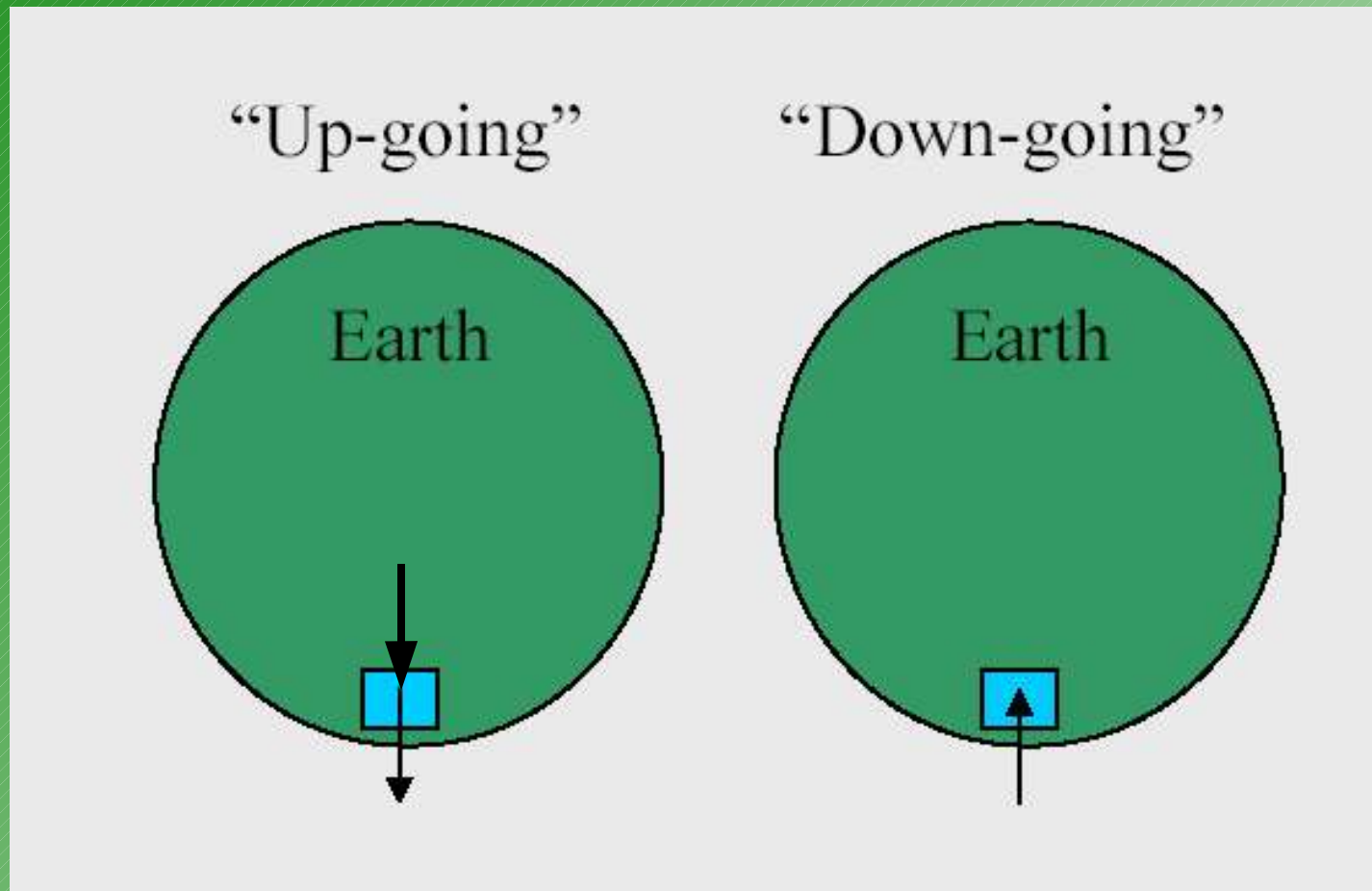
Szczegóły techniczne:

IceCube:

- 80 sznurów
- 125m pomiędzy sznurami
- 4800 fotopowielaczy
- Objętość 1km^3 (1Gtona)
- Będzie wykrywać neutrina wszystkich zapachów od 10^7 eV (zwiększony szum od SN) do 10^{20} eV
- IceTop jako veto dla mionów idących w dół



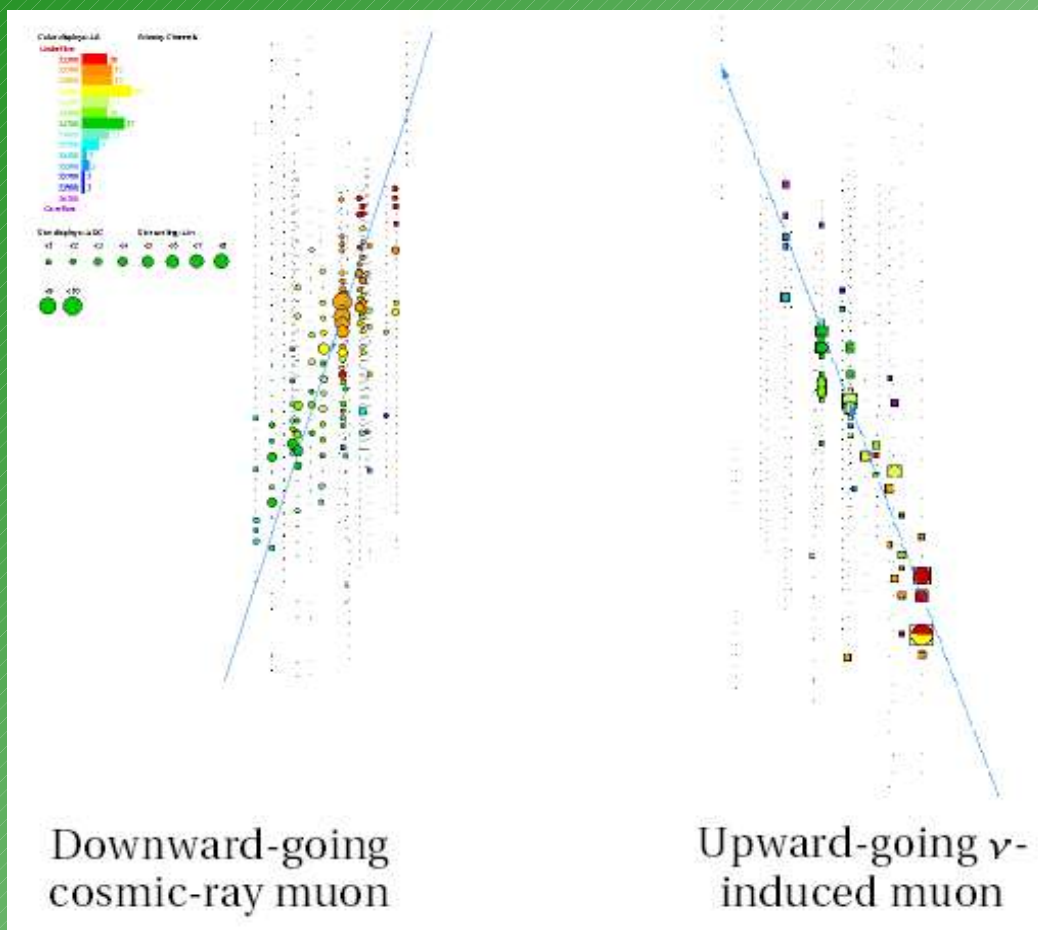
Konwencja, czyli trzeba przestawić się na drugą półkulę:



Jak wygląda "event":

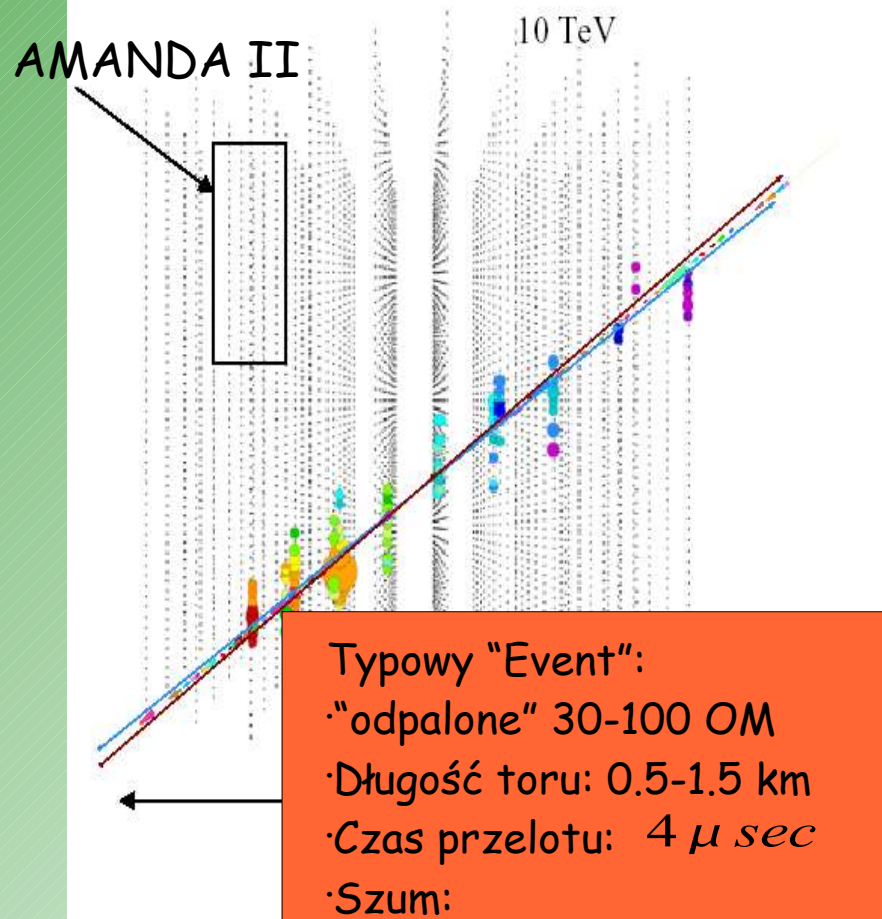
Kolejność zapalania się fotopowielaczy (kolor) pozwala na rekonstrukcję toru. Wielkość kropek oznacza depozyt energii.

AMANDA:



Wykład 14, 1.06.2005

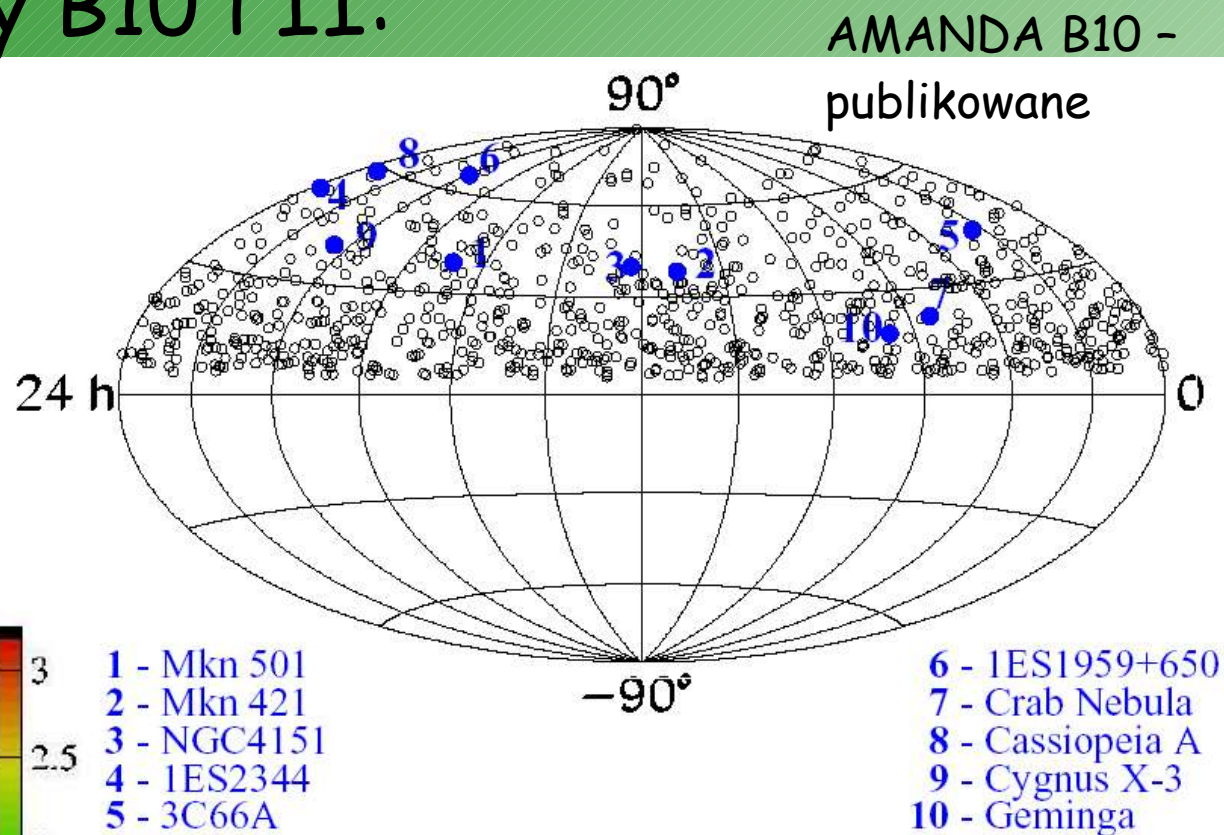
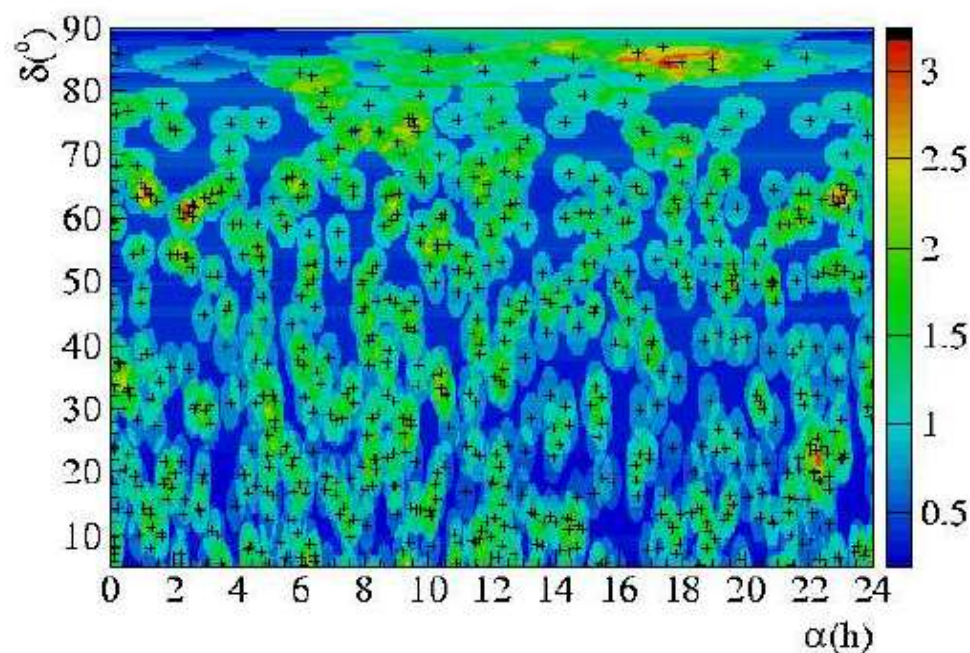
IceCube



Wyniki z AMANDA'y B10 i II:

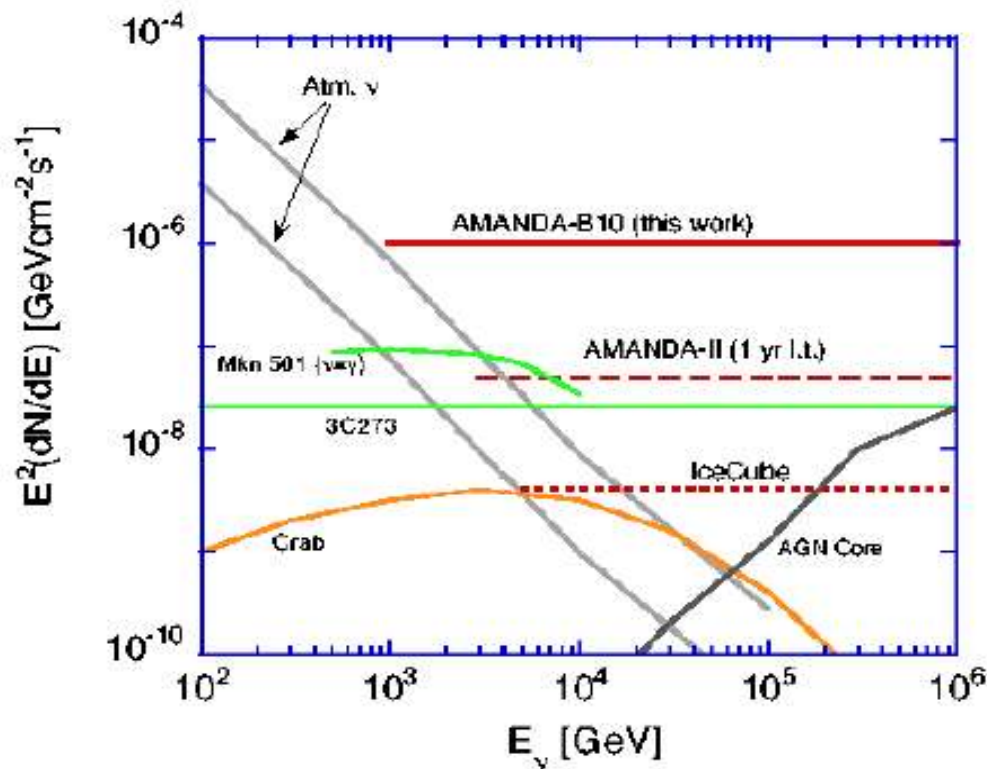
Poszukiwania źródeł
punktowych:
(Rozdzielczość
 $\sim 1.5^\circ - 2.5^\circ$)

AMANDA II - 2004



-Na razie nie znaleziono
"znaczących klastrów"
-ilość zliczeń na poziomie
szacowanego strumienia neutrin
atmosferycznych.

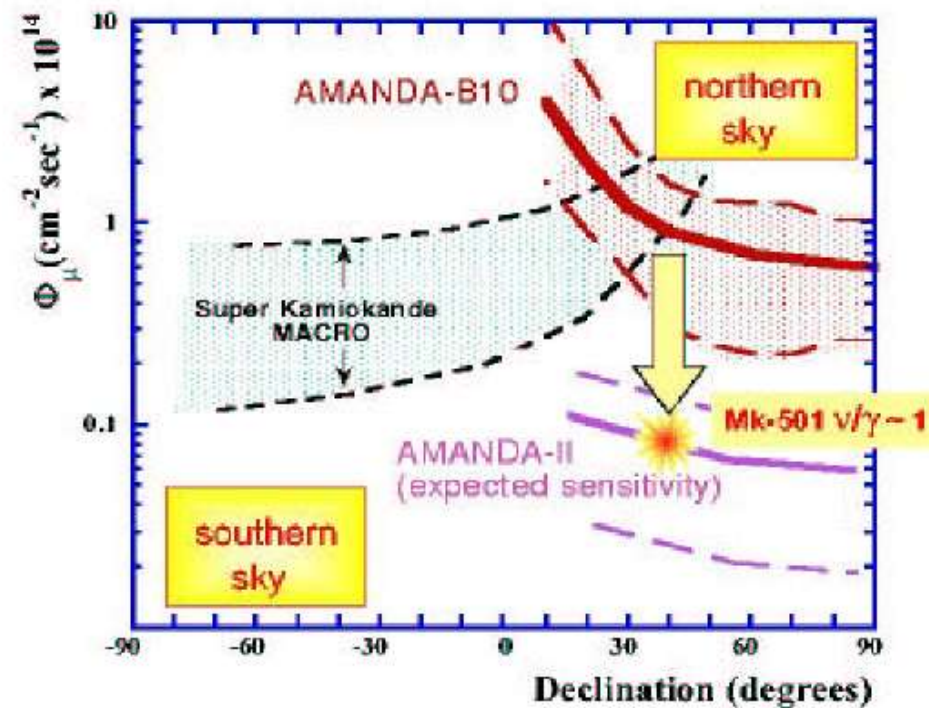
Czułość na źródła punktowe:



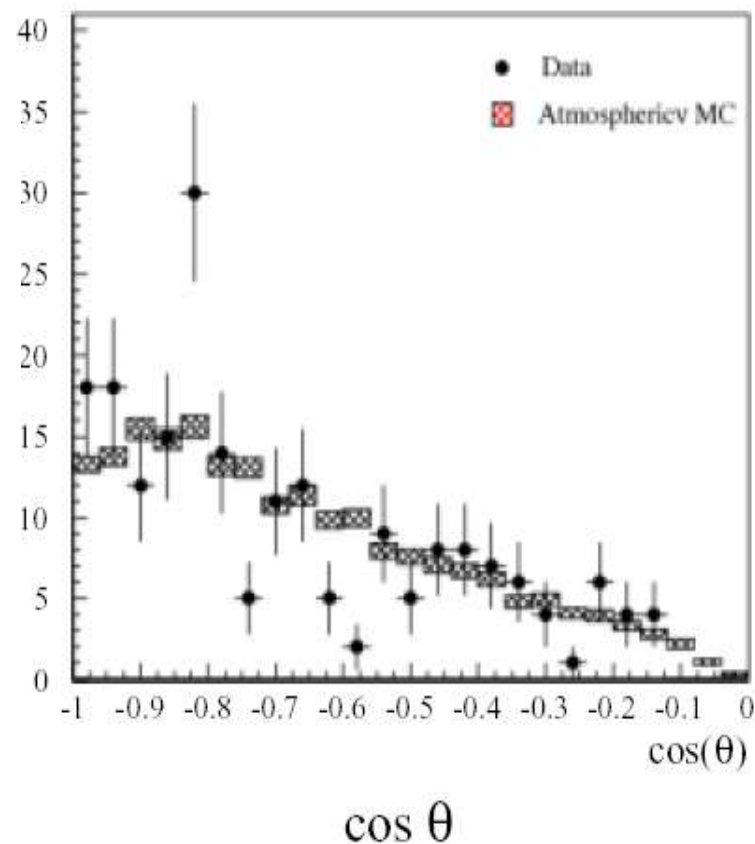
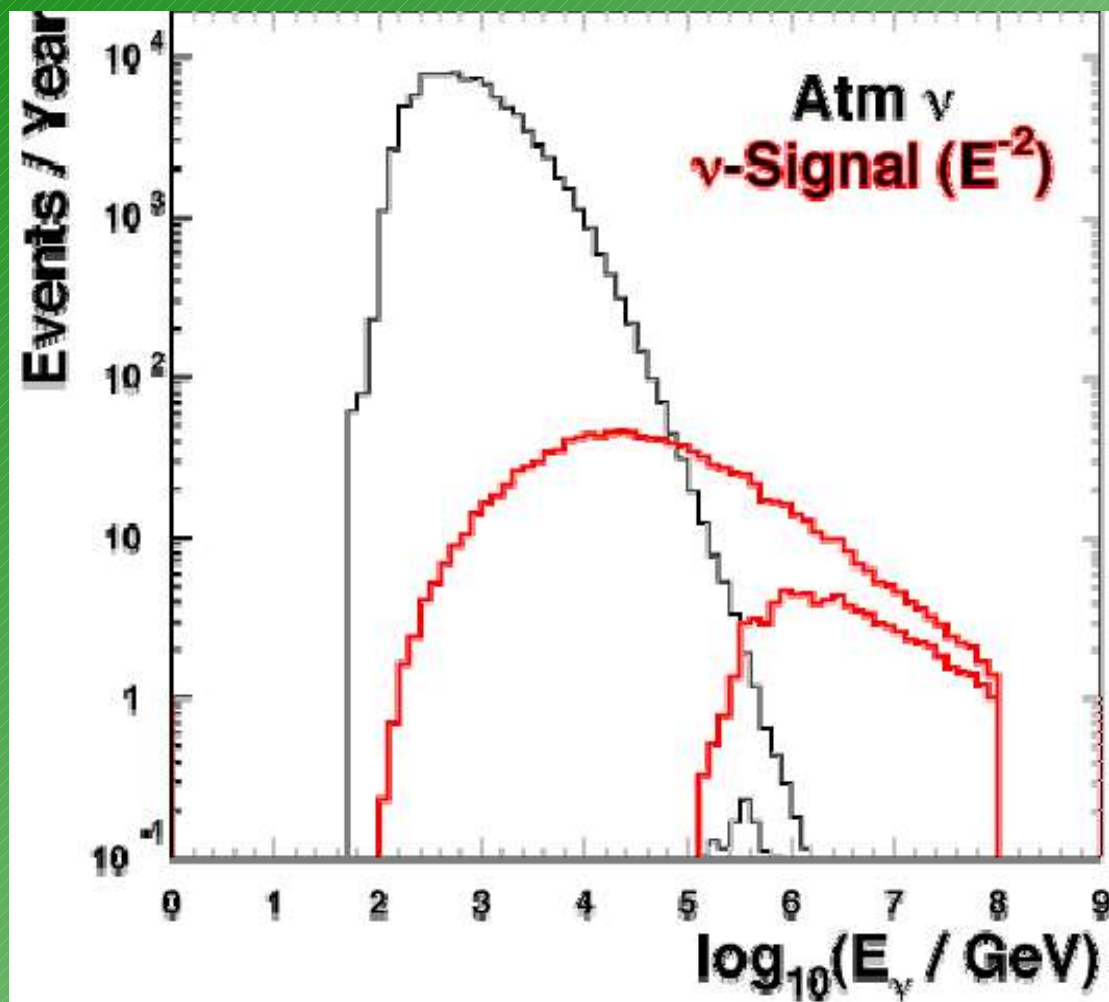
W zależności od energii

W obu przypadkach zakłada się widmo energii źródła: E^{-2}

W zależności od położenia na niebie:



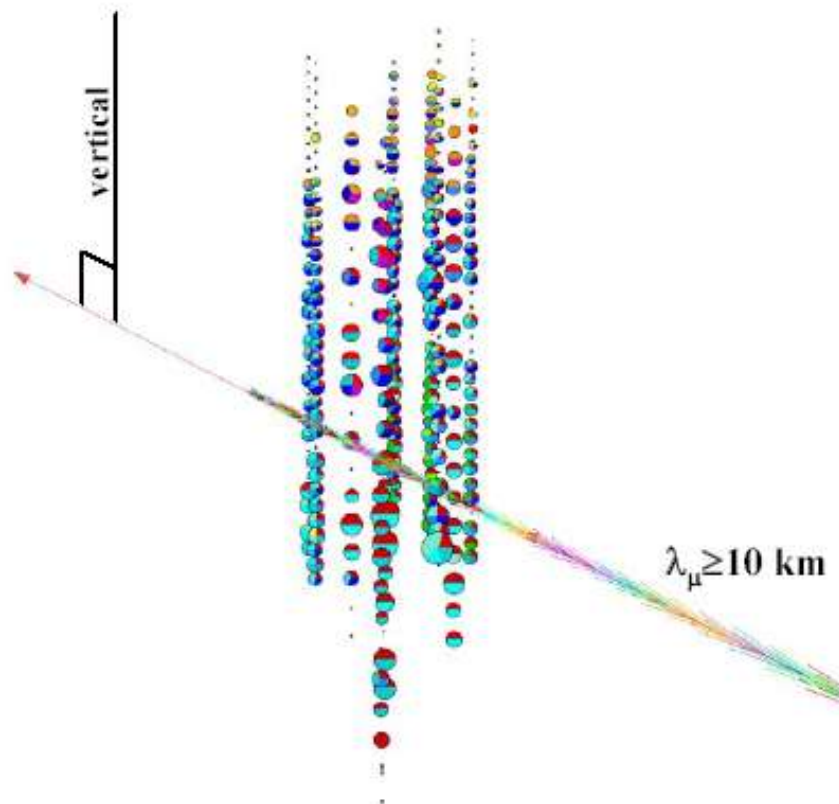
ν atmosferyczne - niskoenergetyczne
-> Obcięcie energetyczne na poziomie 100
TeV praktycznie likwiduje tło pochodzące od
neutrin atmosferycznych



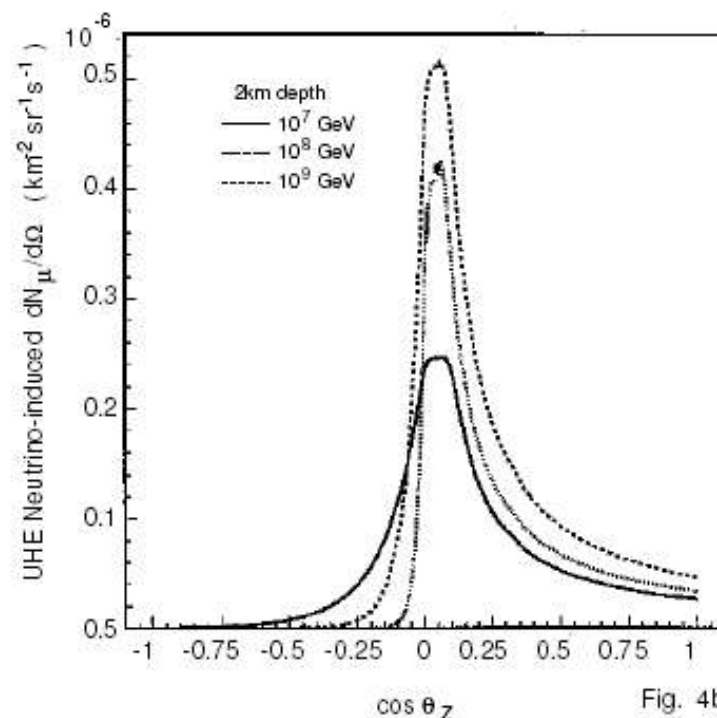
tło od neutrin
atmosferycznych
jest pod kontrolą

Neutrina skrajnie wysokich energii:(EHE ν)

Miony dla detektora na głębokości 2km:



Note: At EHE energies, expect only ~horizontal events*



- znaleziono 5 przypadków (spodziewane 2.8)
- na razie za mała czułość dla testowania modeli

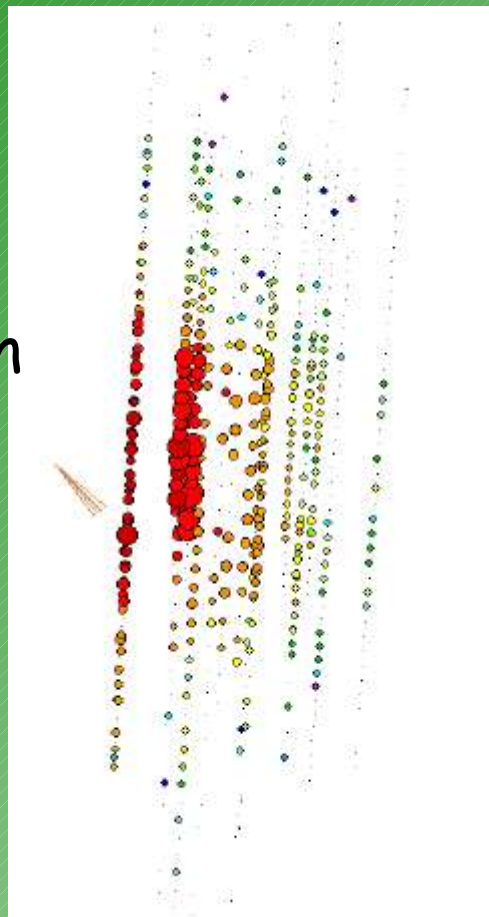
Detekcja kaskad EM:

- Oddziaływania CC dla neutrin elektronowego i taonowego:

$$\nu_{(e,\tau)} + N \rightarrow (e, \tau) + X$$

- Oddziaływania NC:

$$\nu_X + N \rightarrow \nu_X + X$$

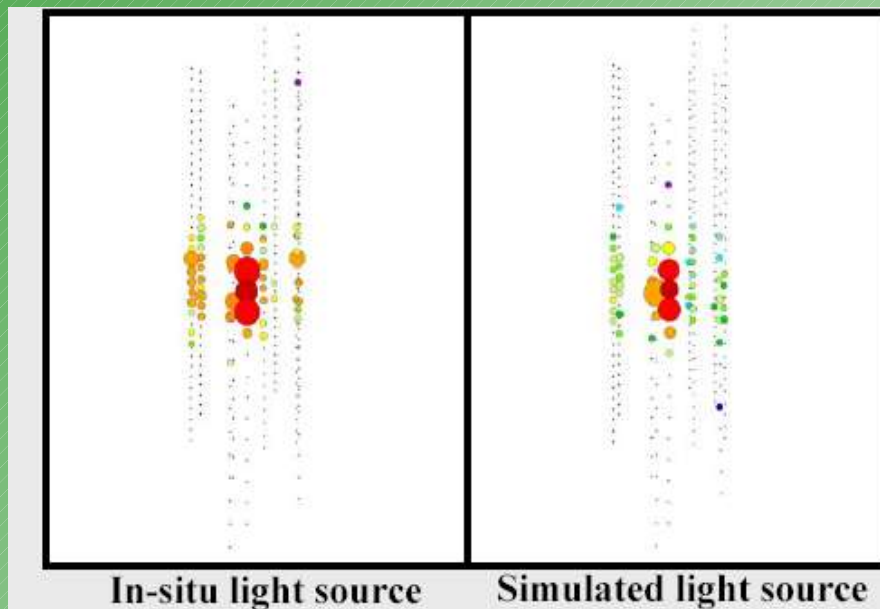


Motywacja:

- Oscylacje
- Lepszy pomiar energii
- Mniejsze tło CR
- Łatwiejsze do kalibracji
- Dla $E > 100$ TeV tylko ν_τ mogą przejść przez Ziemię

Testy z laserem
pokazały
możliwość
detekcji
kaskad

Wykład 14, 1



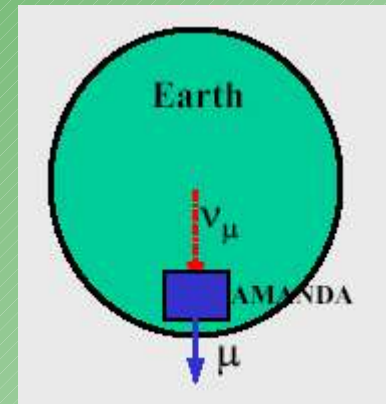
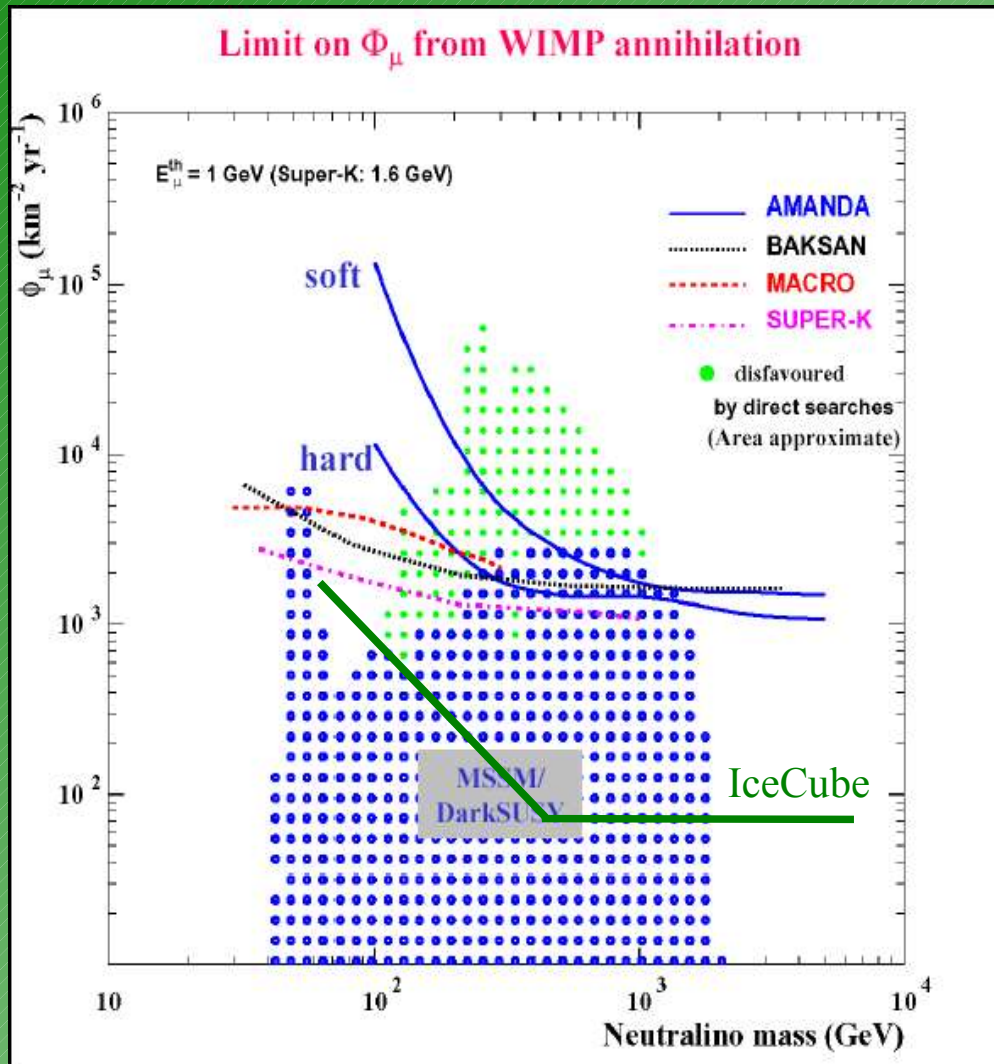
Minusy:

- Efektywna objętość mniejsza niż dla ν_μ
- Gorsza rozdzielczość kątowa

A.Szelc

Poszukiwanie Ciemnej Materii:

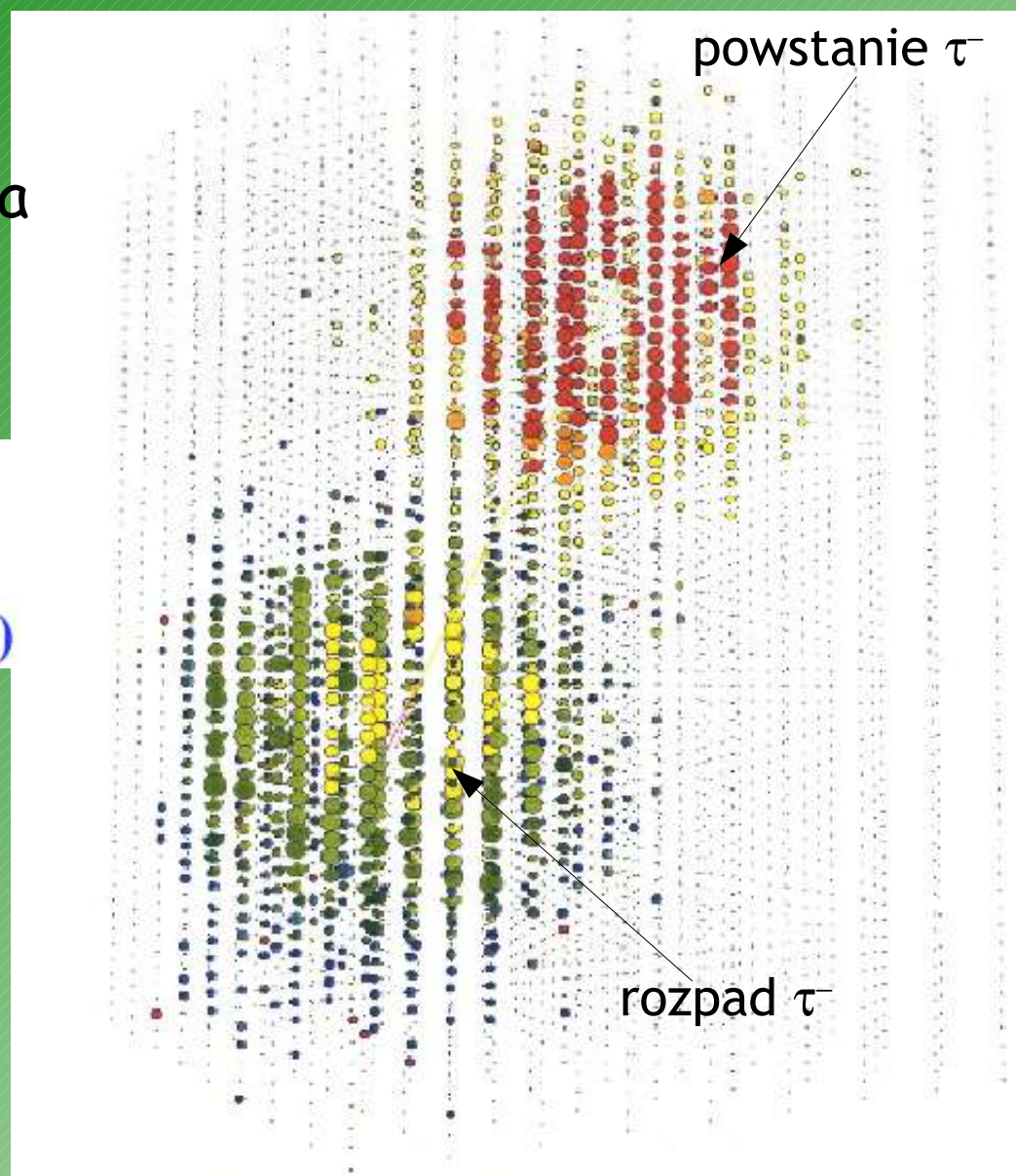
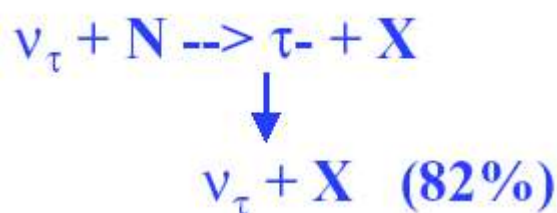
Detekcja neutron z anihilacji WIMP'ów we wnętrzu Ziemi



Największa dokładność dla masy neutralina
~ kilkaset GeV

Detekcja ν_τ - Double Bang i Lollipop

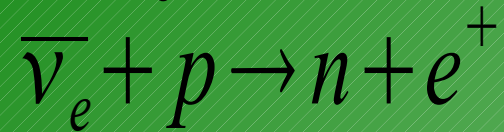
Efekt regeneracji powoduje, że Ziemia jest przezroczysta dla ν_τ



- $E \ll 1\text{PeV}$: 2 kaskady zlewają się w jedną
- $E \sim 1\text{PeV}$: Double Bang
- $E \gg 1\text{PeV}$: jedna kaskada oraz ślad τ w detektorze (Lollipop)

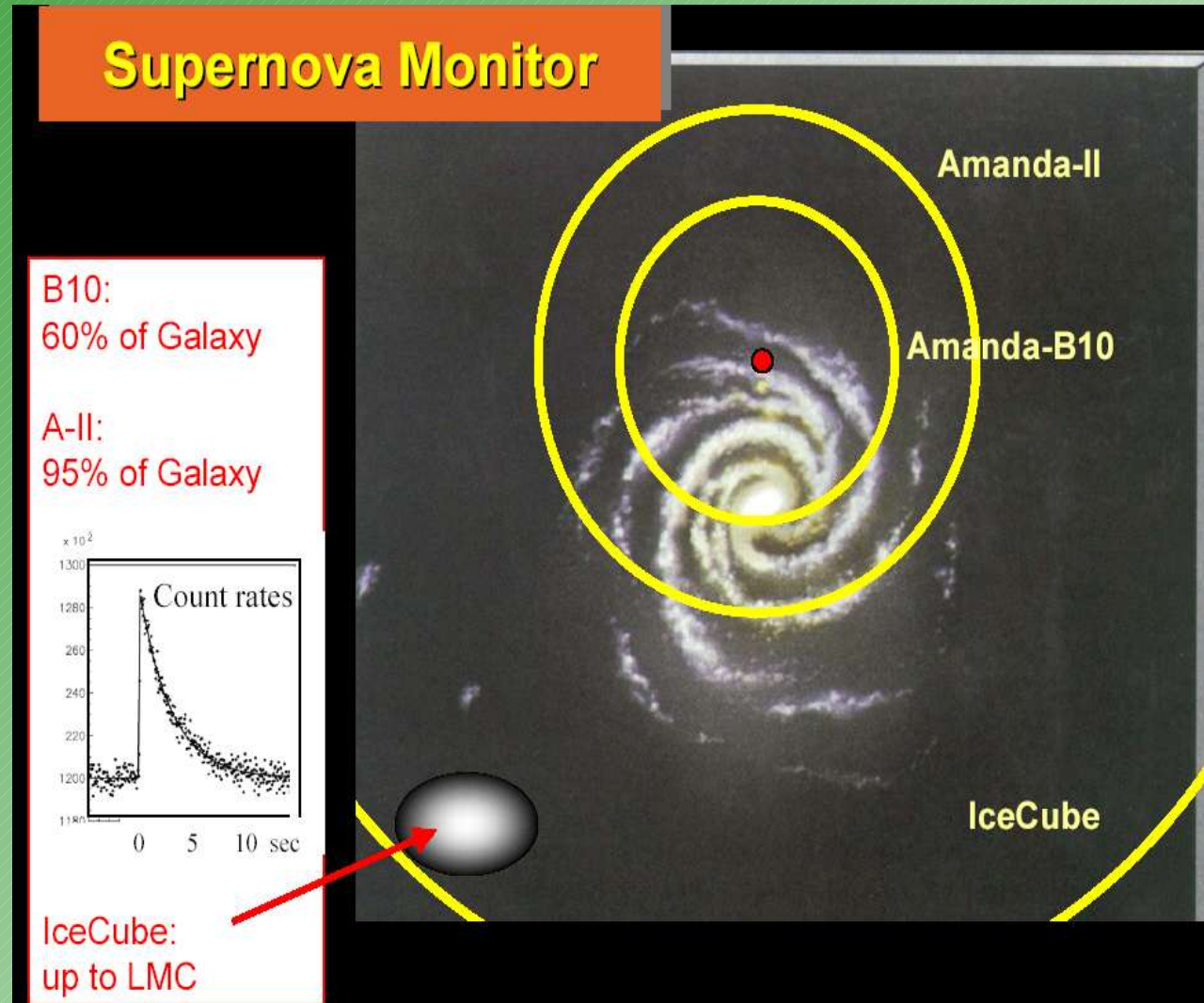
Supernowe:

Detekcja na podstawie reakcji:

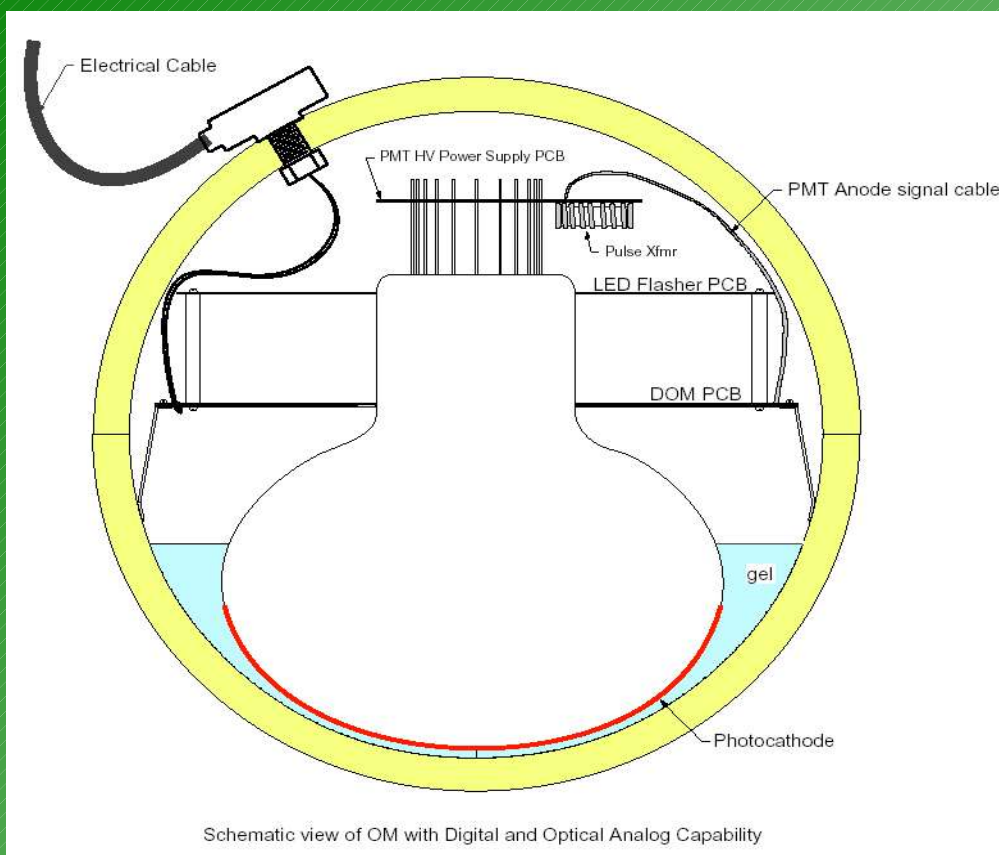


Notuje się ogólny wzrost szumu spowodowany przez pozytony

IceCube ma być podłączony do SNEWS



Budowa detektora w lodzie:



- 1 OM = 350 \$
- Można większe niż 33cm, ale wiercenie zbyt kosztowne
- Problem z izotopem ^{40}K
- Diody do lokalizacji

Wiercenie:

Dla potrzeb IceCube powstał EHWD - Enhanced Hotwater Drill:

- 5 MW mocy $\rightarrow$ 1.5 m/min.
- 2400m w 40h



Na jedną dziurę potrzebne ok. 27000l paliwa!

zelc

-> Transport:



Podsumowanie i przyszłość:

- NESTOR i ANTARES obecnie kończą fazę testów i zaczynają budować pełne detektory.
- AMANDA II działa od lutego 2000 i będzie zbierać dane przynajmniej do zakończenia budowy IceCube
 - Obecnie najlepsze dostępne pomiary dla $E_\nu > \text{TeV}$
 - ma być zintegrowana z IceCube. Początkowo AMANDA ma służyć jako źródło kalibracji.

Slajdy “nadprogramowe”

Bibliografia:

1. Search for Point Sources of High Energy Neutrinos with AMANDA, astro-ph/0208006
2. IceCube Preliminary Design Document
<http://icecube.wisc.edu/science/index.shtml>
3. LECTURES ON NEUTRINO ASTRONOMY:
THEORY AND EXPERIMENT, F. Halzen, astro-ph/9810368
4. High Energy Neutrino Astronomy: Towards Kilometer-Scale Detectors, F. Halzen, astro-ph/0103195
5. Prezentacje: Doug Cowen, Francis Halzen, Albrecht Karle, Stephan Hundertmark, Kael Hanson

AMANDA II -eksperyment działający



- Bartol Research Inst. – Univ of Delaware, Newark, DE
- Penn State University, University Park, PA
- University of Wisconsin – Madison, Madison, WI
- University of Wisconsin – River Falls, River Falls, WI
- Lawrence Berkeley Nat'l Laboratory, Berkeley, CA
- University of California, Irvine, Irvine, CA
- University of Kansas, Lawrence, KS



- ULB – IIHE, Brussels, Belgium
- University of Mons-Hainaut, Mons, Belgium



- BUGH Wuppertal, Germany
- DESY-Zeuthen, Zeuthen, Germany
- University of Mainz, Mainz, Germany



- Uppsala University, Uppsala, Sweden
- Stockholm University, Stockholm, Sweden



- Imperial College, London, UK



- Universidad Simon Bolivar, Caracas, Venezuela

IceCube - eksperyment "w planach"

**Institutions: 11 US and 10 European institutions and 1 Japanese university
(most of them are also AMANDA member institutions)**

- Bartol Research Institute, University of Delaware
- BUGH Wuppertal, Germany
- Universite Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium
- CTSPS, Clark-Atlanta University, Atlanta USA
- DESY-Zeuthen, Zeuthen, Germany
- Institute for Advanced Study, Princeton, USA
- Dept. of Technology, Kalmar University, Kalmar, Sweden
- Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA
- Department of Physics, Southern University and A&M College, Baton Rouge, LA, USA
- Dept. of Physics, UC Berkeley, USA
- Institute of Physics, University of Mainz, Mainz, Germany
- Dept. of Physics, University of Maryland, USA
- University of Mons-Hainaut, Mons, Belgium
- Dept. of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA
- **Dept. of Astronomy, Dept. of Physics, SSEC, PSL, University of Wisconsin, Madison, USA**
- Physics Department, University of Wisconsin, River Falls, USA
- Division of High Energy Physics, Uppsala University, Uppsala, Sweden
- Fysikum, Stockholm University, Stockholm, Sweden
- University of Alabama, Tuscaloosa, USA
- Vrije Universiteit Brussel, Brussel, Belgium
- Chiba University, Japan
- Imperial College London, UK

Lokalizacja:



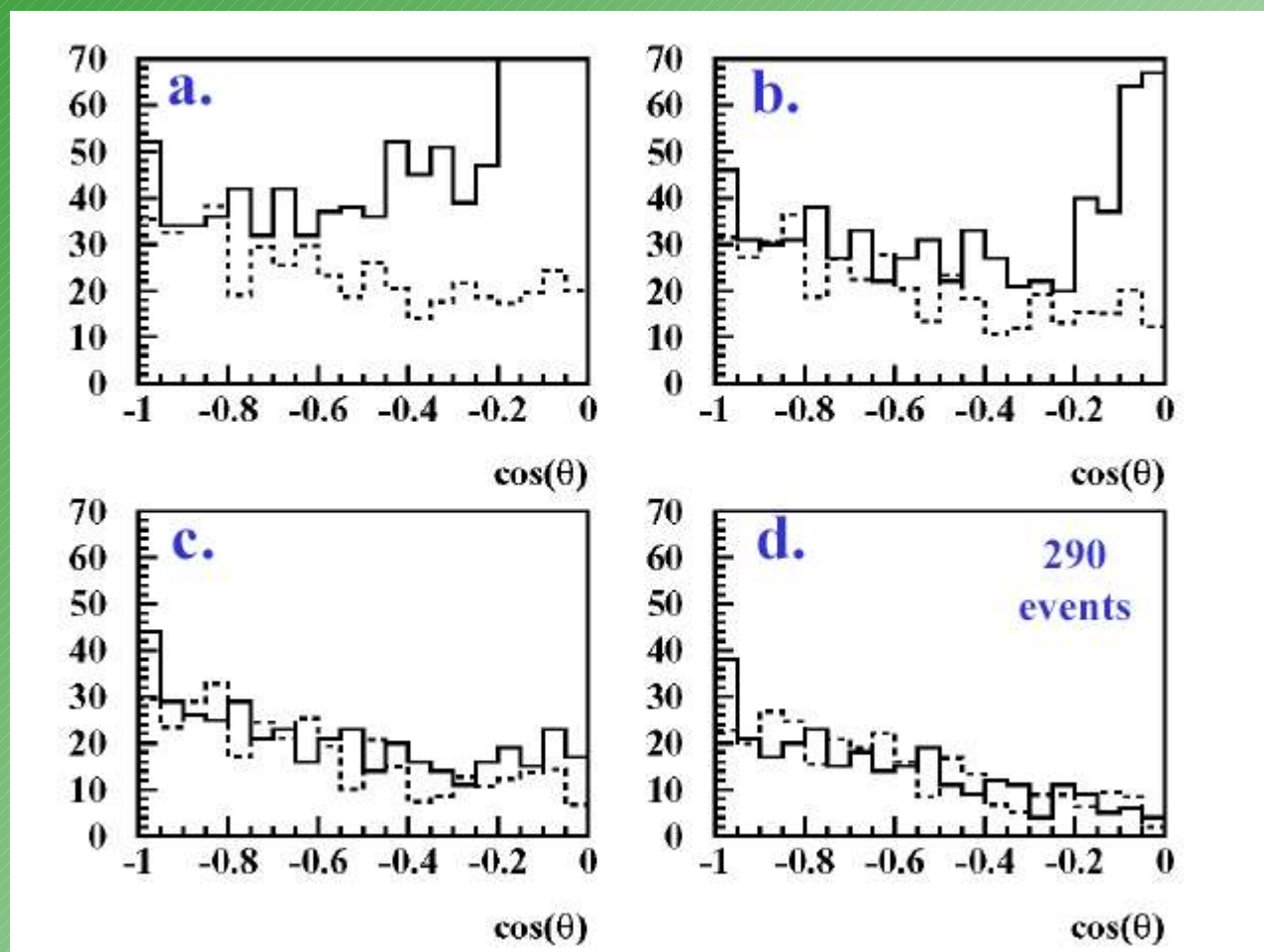
Neutrina atmosferyczne: kalibracja i tło

Ograniczenia na dane:

$$\cdot N_{\text{Hit}} < 50$$

$$\cdot \text{Kąt} > 110^\circ$$

· Dobra jakość fitu
→ bardzo dobra zgodność z MC!



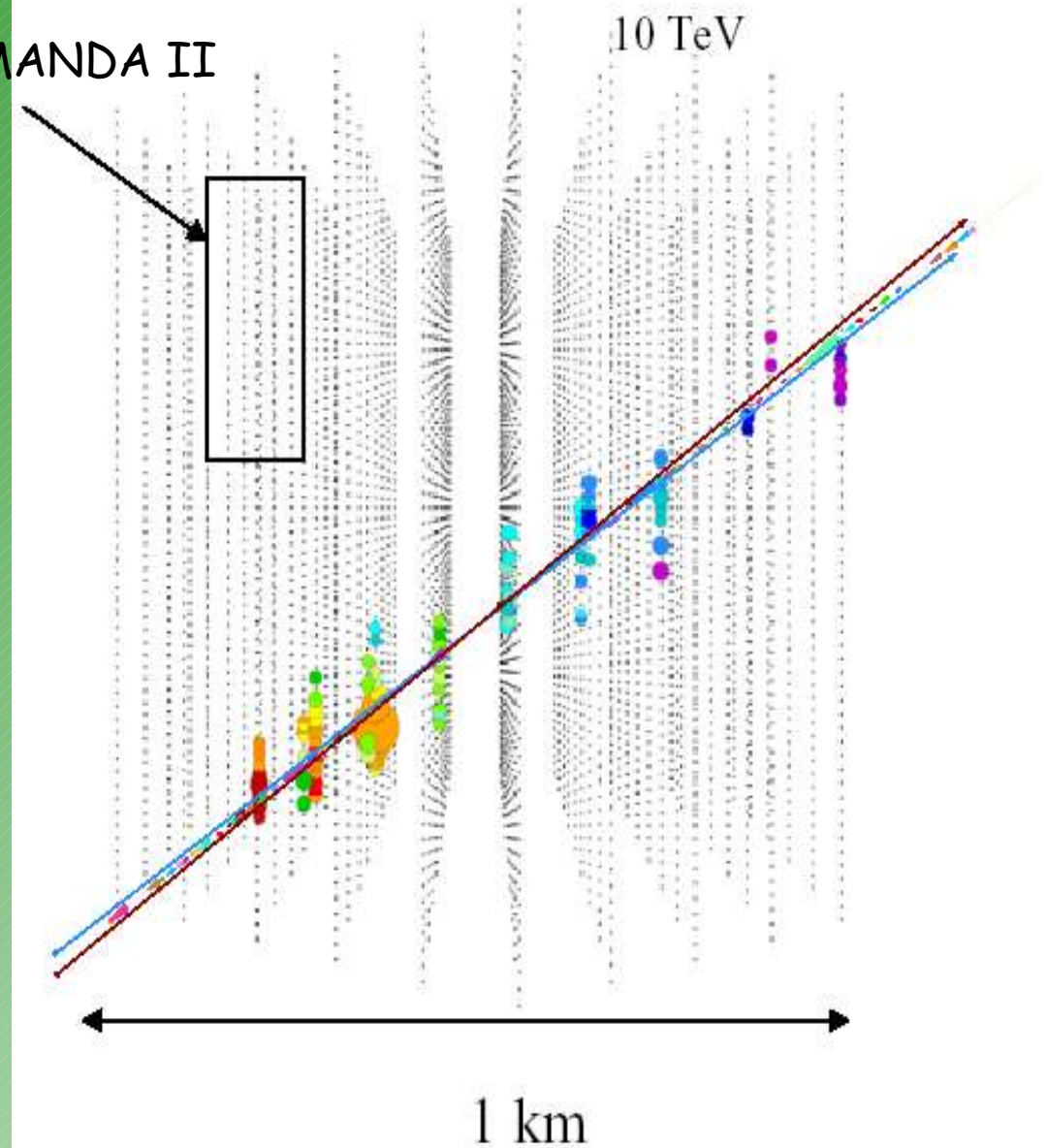
Jak będą wyglądać wyniki IceCube

Typowy "Event":

- "odpalone" 30-100 OM
- Długość toru: 0.5-1.5 km
- Czas przelotu: $4 \mu sec$
- Szum:
 $10 \text{ f.e. } / 5000 \text{ OM} / 4 \mu sec$

AMANDA II

10 TeV



Dlaczego teleskop o objętości 1km^3

- Detekcja źródeł krótkotrwałych: GRB, SuperNowe
- Obserwacja stałych źródeł: AGN, SuperNovae Remnants (SNR)
- Poszukiwania źródeł promieni kosmicznych
- WIMP'γ
- γ z rozpadu superciężkich cząstek związanych z defektami topologicznymi
- Magnetyczne monopole
- Poszukiwanie MeV γ z SN (działanie w ramach SNEWS)
- Nieoczekiwane