

Badania neutrin nie tylko w IFJ

Agnieszka Zalewska

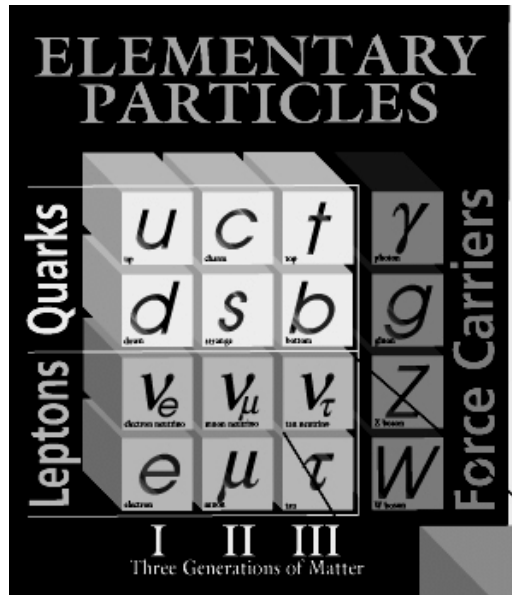
Seminarium IFJ PAN, 28.04.2005

Oscylacje neutrin: solidnie ugruntowany fakt doświadczalny w oparciu o pomiary z eksperymentów SuperKamiokande, K2K, SNO i KamLAND - lata 1998-2005

Przyszłość: precyzyjne (!!!) pomiary parametrów oscylacji i masy neutrin, rozstrzygnięcie czy neutrino jest cząstką Diraca czy Majorany, badania wysokoenergetycznych neutrin

Co się robi/będzie robić w IFJ PAN? Udział w eksperymencie ICARUS, LoI dla argonowego detektora w eksperymencie T2K, ciekłowodny detektor dla poszukiwań ciemnej materii, studium fabryki neutrin w ramach FP7 (???), polskie laboratorium podziemne w Sieroszowicach (???)

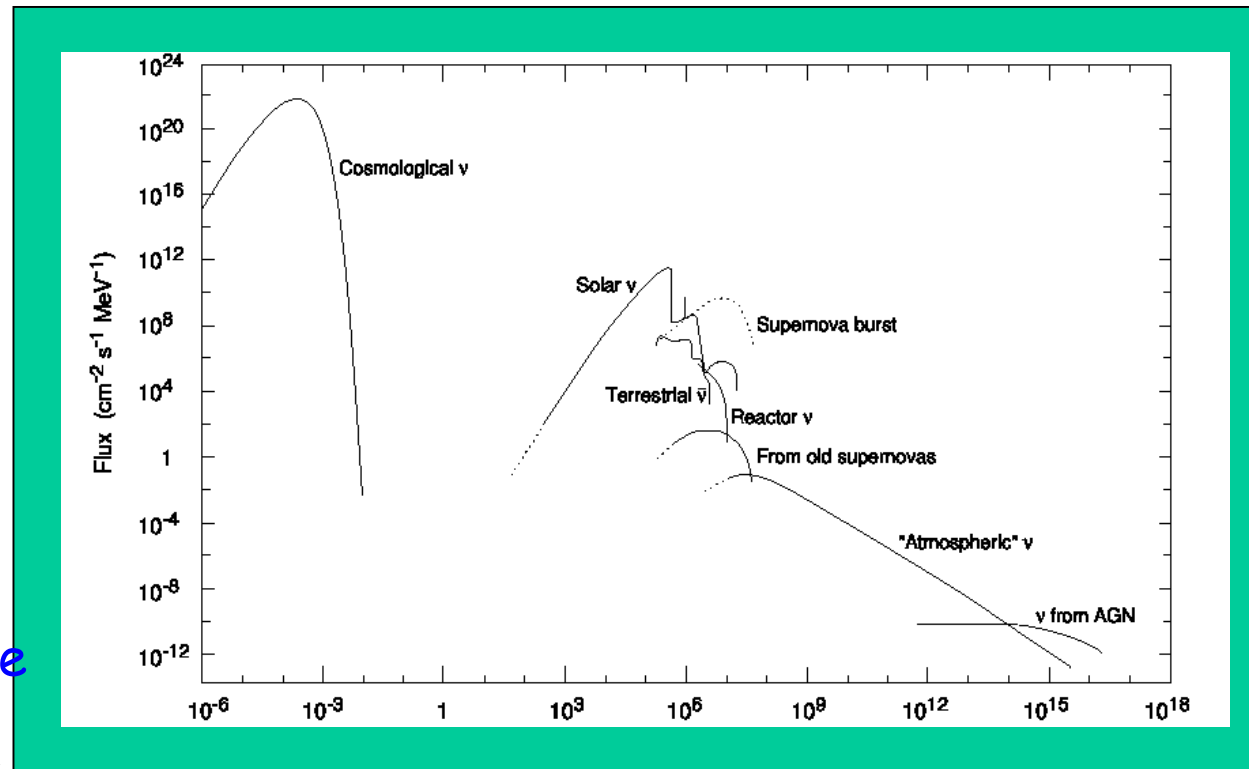
Podstawowe informacje



Istnieją 3 lekkie, aktywne neutrina (pomiar z LEP-u) inne neutrina musiałyby być sterylne czyli w ogóle nie oddziaływać

A.Zalewska, seminarium IFJ,
28.05.2005

Strumienie neutrin z różnych źródeł
Eksperymenty oscylacyjne badają neutrina atmosferyczne, akceleratorowe, słoneczne i reaktorowe



Oscylacje neutrin

Przy założeniu dwu stanów zapachowych α i β oraz dwu stanów masowych 1 i 2, prawdopodobieństwo przejścia α w β w próżni:

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(1.27 \Delta m^2 \frac{L}{E} \right)$$

Eksperymenty poszukujące sygnału β w wiązce α :

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) \geq 0$$

Eksperymenty mierzące osłabienie wiązki α :

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\alpha) \leq 1$$

Wpływ materii: wzory na prawdopodobieństwa takie same jak dla oscylacji w próżni, ale efektywne masy i efektywne kąty mieszania

Mieszanie neutrin dla 3 zapachów

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

neutrino atmosferyczne

faza łamiąca CP

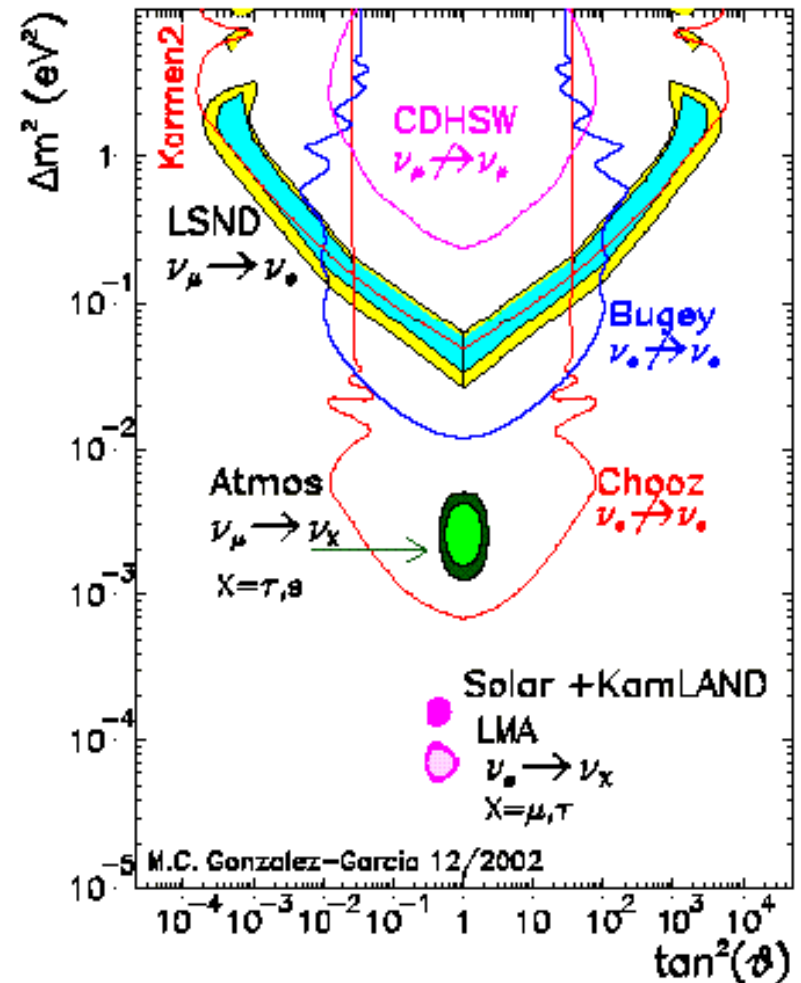
neutrino słoneczne

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

wiąże sektor atmosferyczny i słoneczny

Oscylacje neutrin - co już wiadomo

- Dane z eksperymentu Superkamiokande dla neutrin atmosferycznych i dane z eksperymentu K2K dla neutrin akceleratorowych wskazują na oscylacje $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$
- Dane z eksperymentu SNO dla neutrin słonecznych i z eksperymentu KamLAND dla antyneutrin reaktorowych wskazują na oscylacje $\nu_e \leftrightarrow \nu_{\mu,\tau}$
- Dane z eksperymentu LSND wskazują na oscylacje $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ - pomiar uchodzi za niepewny i jest sprawdzany w eksperymencie MiniBOON



Mieszanie neutrin dla 3 zapachów

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Czego uczą nas obecne eksperymenty oscylacyjne o macierzy mieszania dla trzech stanów zapachowych i masowych neutrin?

neutrino atmosferyczne

faza łamiąca CP

neutrino słoneczne

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

wiąże sektor atmosferyczny i słoneczny

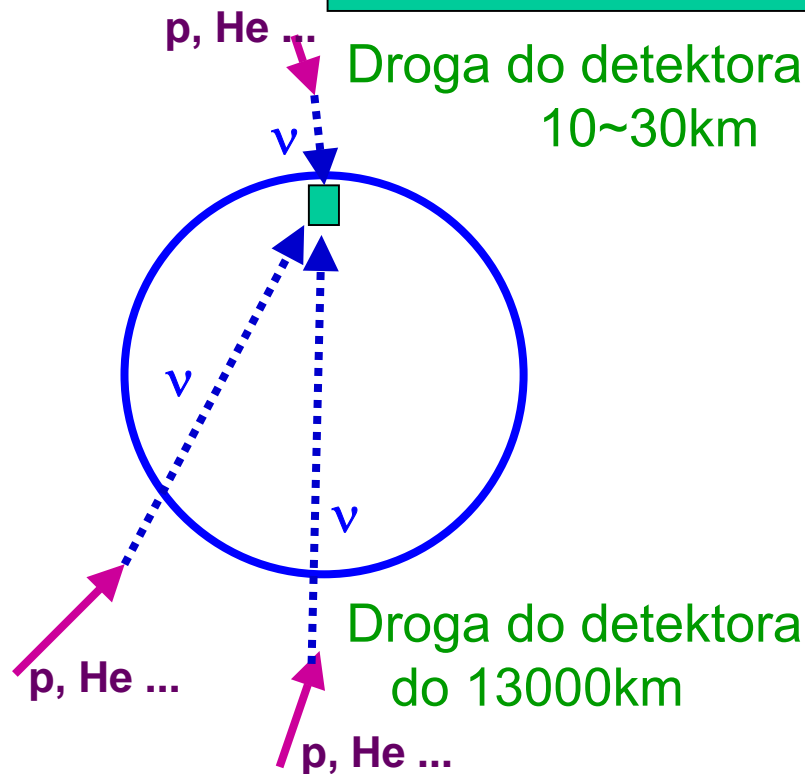
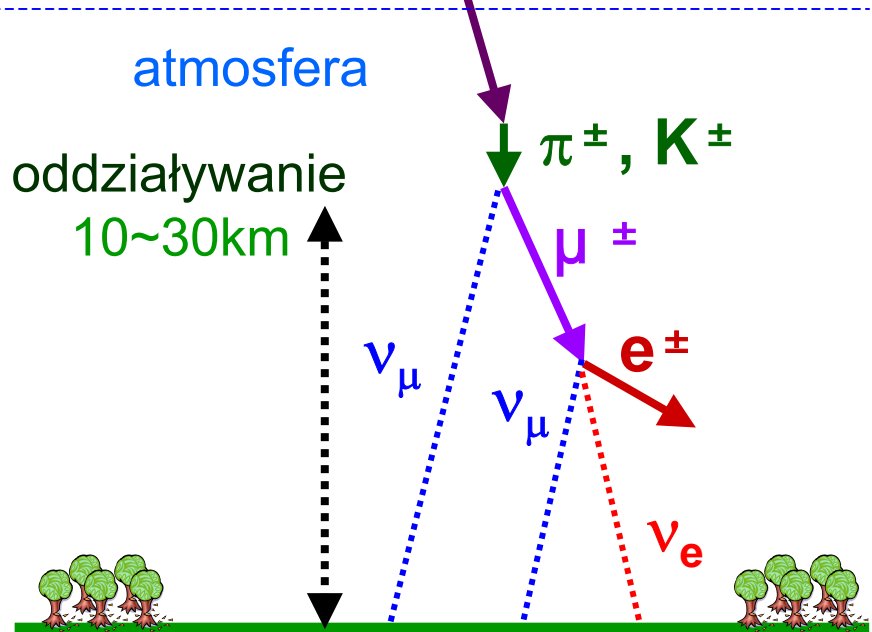
Kąt θ_{23} jest być może maksymalny (czy na pewno?), kąt θ_{12} duży, a kąt θ_{13} jest mały (jak mały?)

Jeśli $\delta \neq 0, \pi, 2\pi \dots$ to słabe oddziaływania łamią symetrię CP w sektorze leptonowym (jak w przypadku kwarków). To, czy uda się zmierzyć łamanie CP dla neutrin, zależy od wartości kąta θ_{13}

Neutrina atmosferyczne - podstawowe informacje

z Hayato at EPS2003

Pierwotne promienie kosmiczne p, He ...



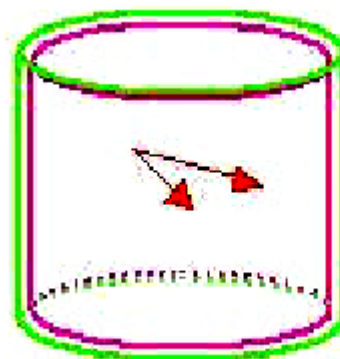
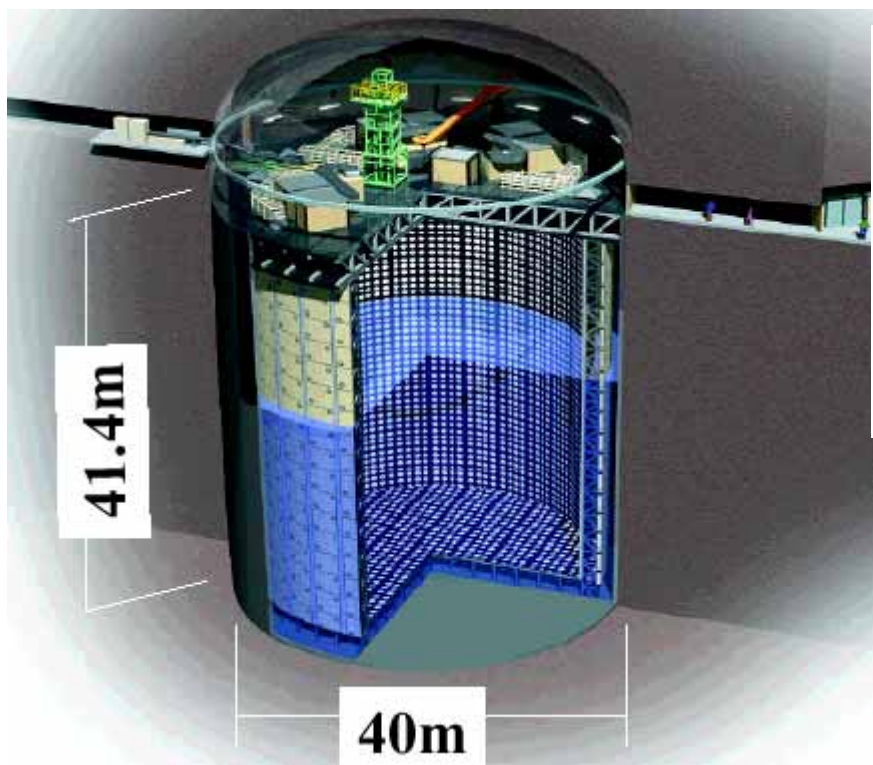
$$\frac{\phi(\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu)}{\phi(\nu_e + \bar{\nu}_e)} \begin{cases} \sim 2 \text{ (dla } E_\nu < 1 \text{ GeV)} \\ > 2 \text{ (dla } E_\nu > 1 \text{ GeV)} \end{cases}$$

A.Zalewska, seminarium IFJ, 28.05.2005

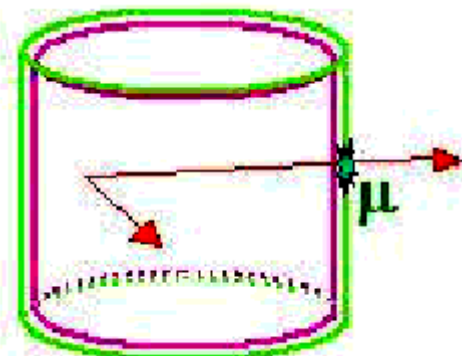
dla $E_\nu >$ kilka GeV,
(strumień $\mu\uparrow$ /strumień $\mu\downarrow$) ~ 1

Niepewność pomiaru tych stosunków jest rzędu kilku%

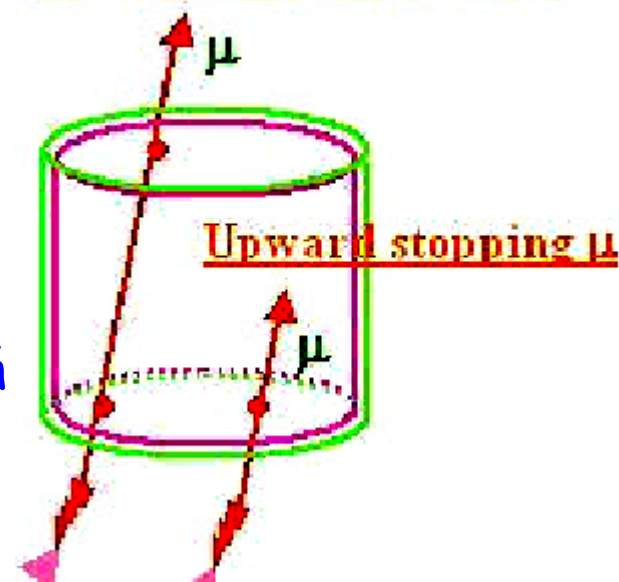
SuperKamiokande - oscylacje $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$



e/μ



Upward through-going μ



Upward stopping μ

Pomiar energii oraz kierunku μ i e dla reakcji $\nu_\mu N \rightarrow \mu N'$ i $\nu_e N \rightarrow e N'$, łącznie ponad 15000 zdarzeń

pierwsza obserwacja w 1998 roku

Detektor SuperKamiokande

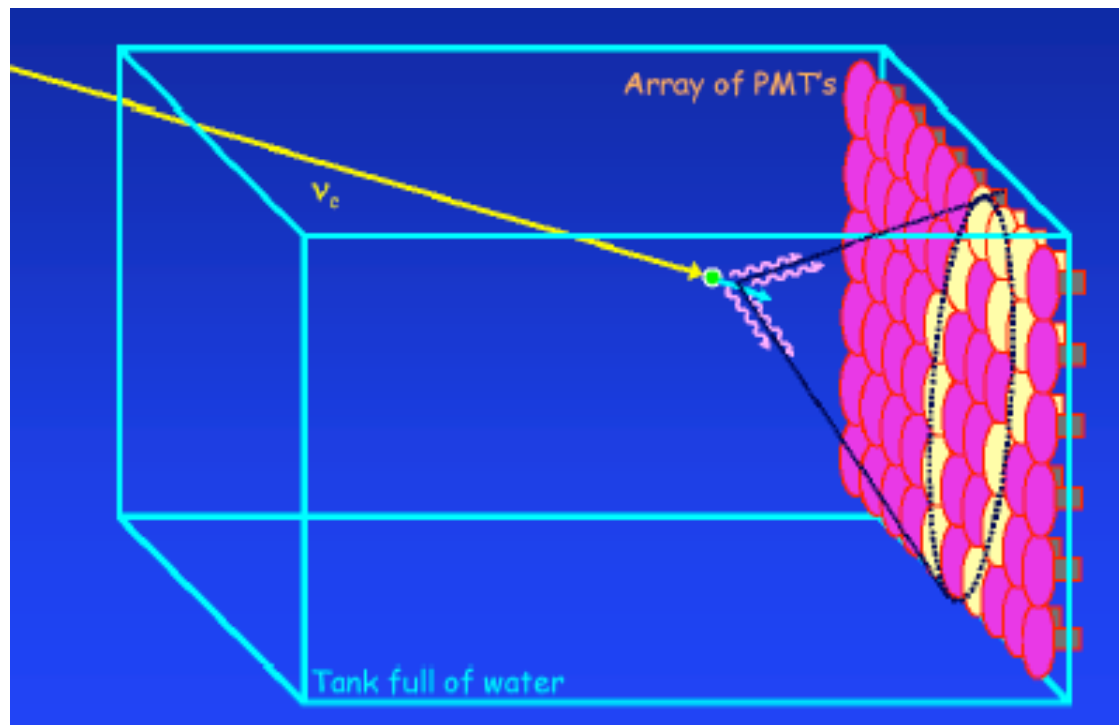


A.Zalewska, seminarium IFJ,
28.05.2005

Zdjęcia sprzed wypadku w 2001 roku

Zasada działania wodnego detektora Czerenkowa

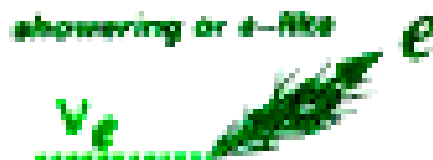
Zbiornik z bardzo czystą wodą, - jeśli naładowane cząstki powstałe w oddziaływaniach neutrin poruszają się w wodzie szybciej niż światło, to wzdłuż ich torów emitowane jest promieniowanie Czerenkowa (niebieskawe światło z widzialnej części widma).



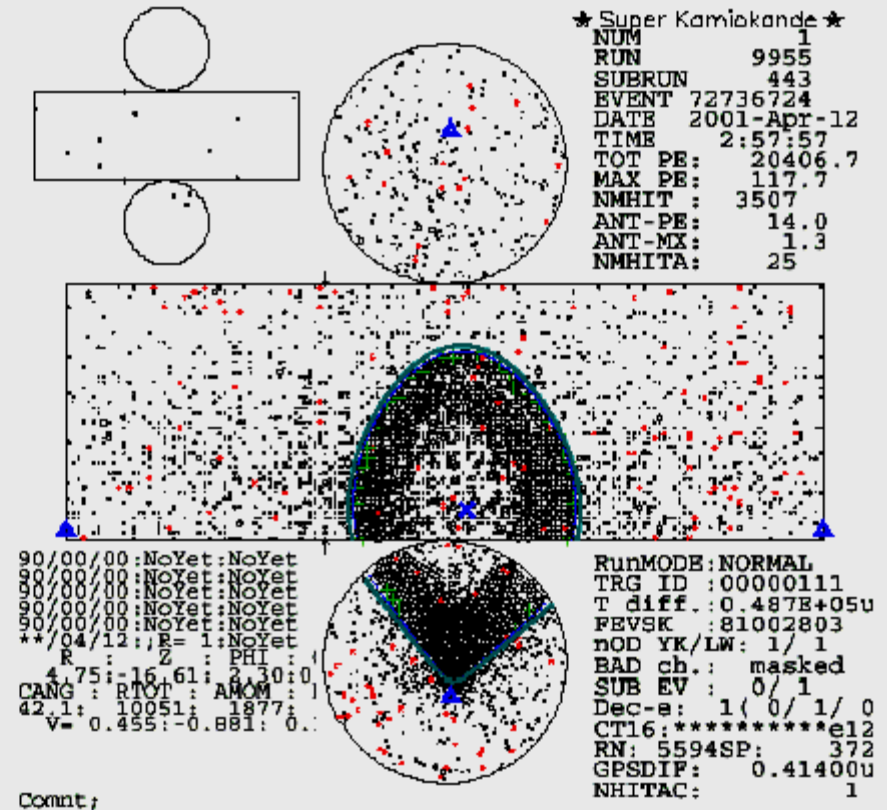
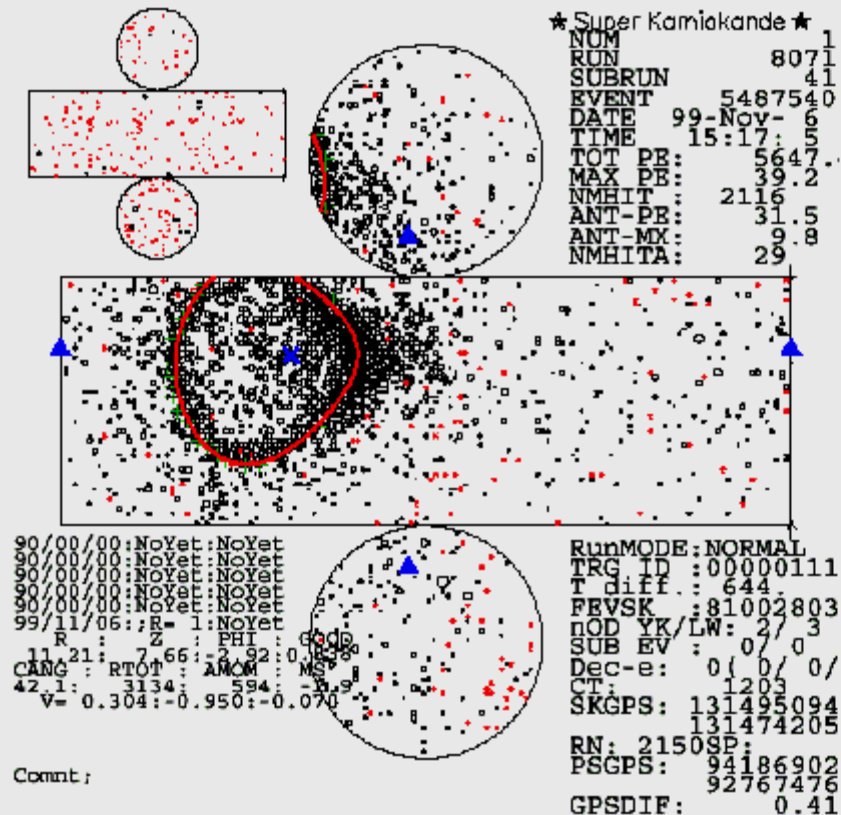
Światło, w postaci pierścienia, rejestruje się przy pomocy fotopowielaczy

- rozkład i czas powstania sygnału służą do wyznaczenia kierunku naładowanej cząstki (-> kierunku neutrina),

- wielkość sygnału, kąt rozwarcia stożka oraz identyfikacja cząstki naładowanej pozwalają wyznaczyć jej energię (-> energię i rodzaj neutrina)



SuperK - rejestracja e i μ .



SuperK-1 - rozkłady kąta zenitalnego

Niedobór neutrin mionowych
 - tym większy im dłuższa droga L
 i mniejsza energia E_ν

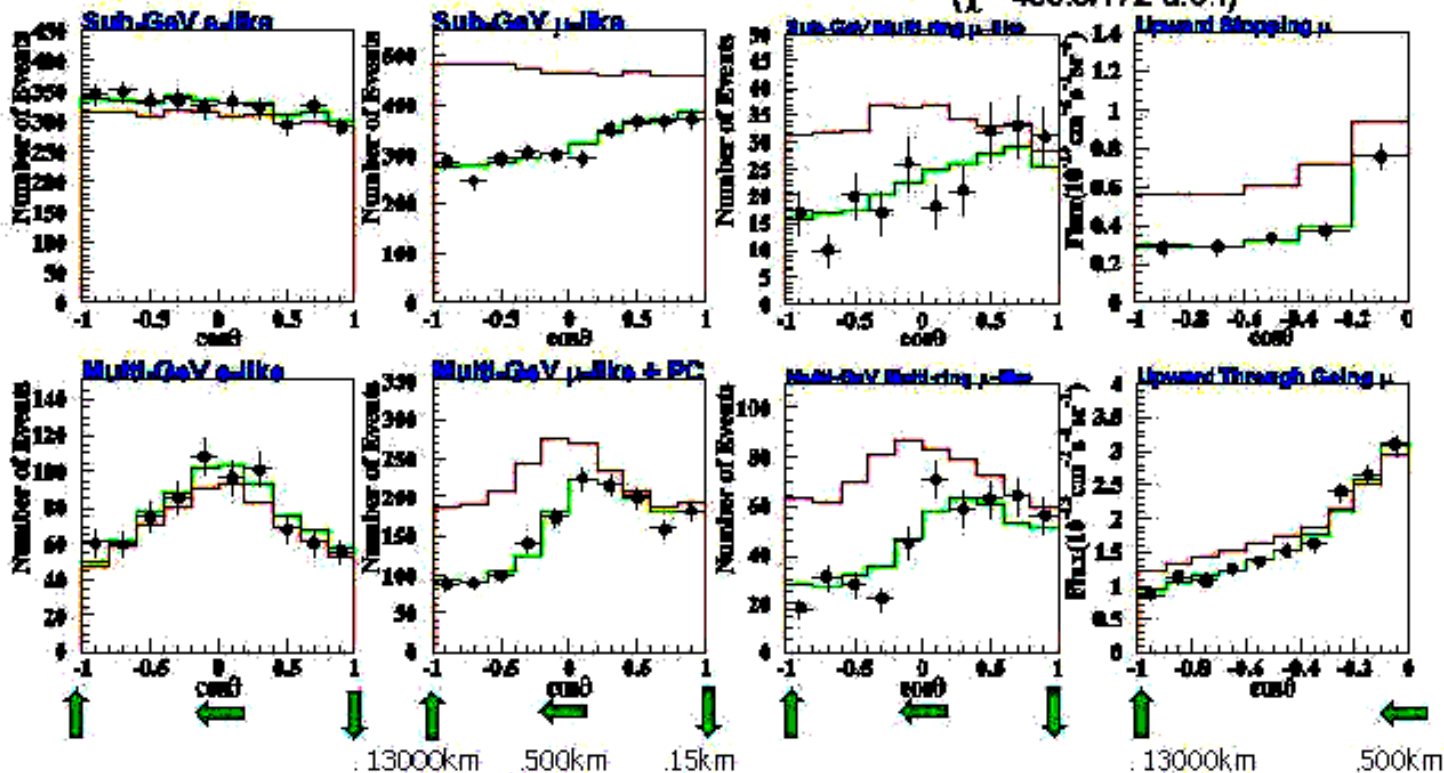
(FC+PC+ $\bar{\nu}_\mu$ - μ)

Interpretacja:

$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$
2-flavor oscillations

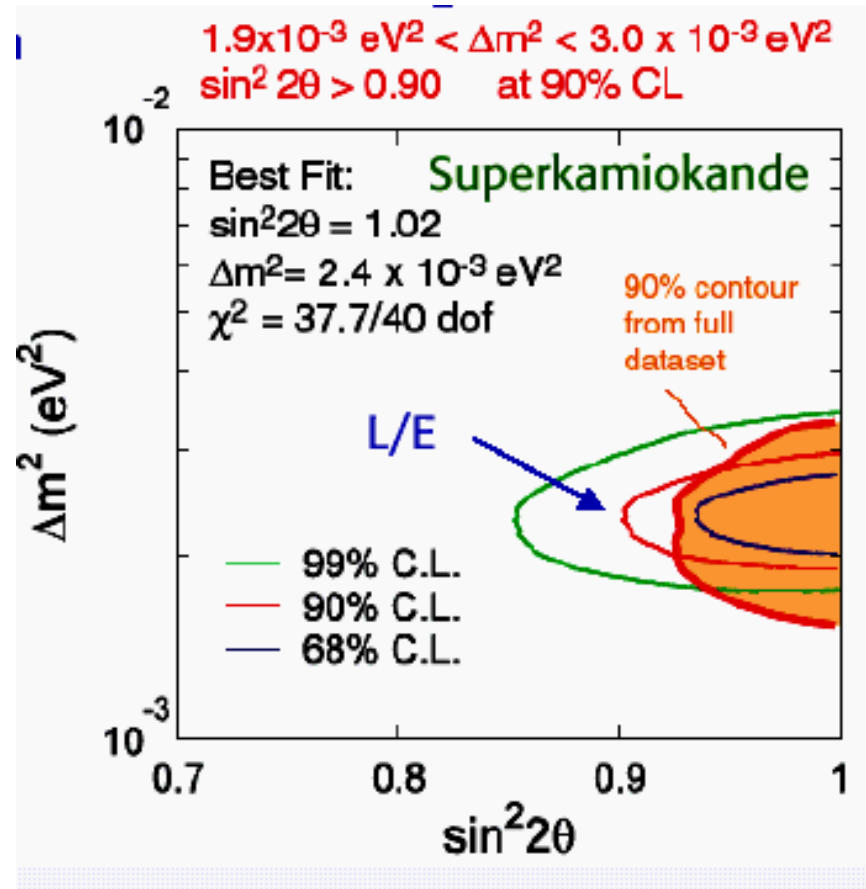
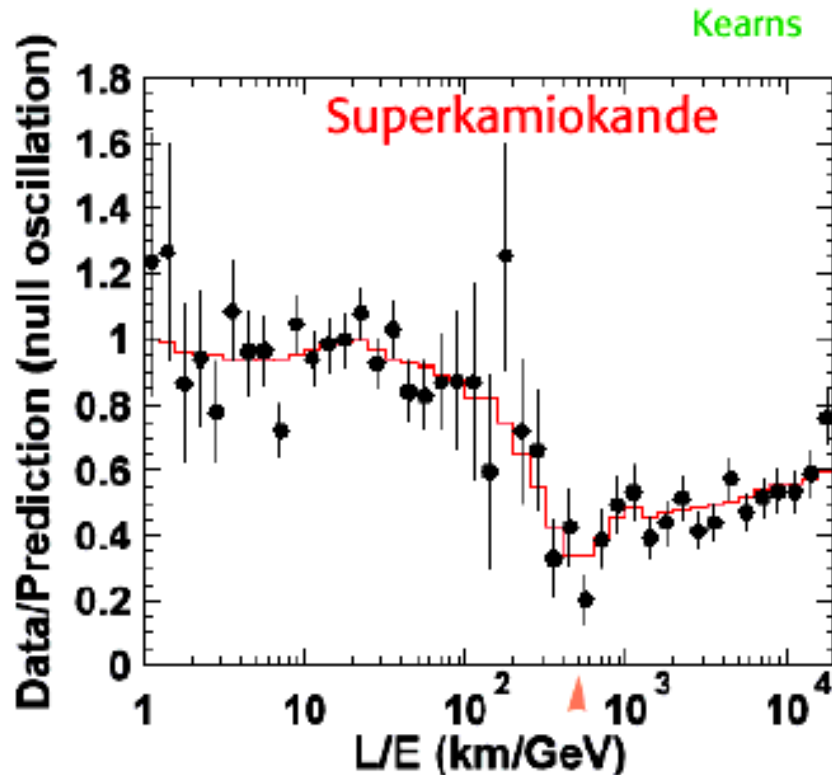
Best fit ($\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$, $\sin^2 2\theta = 1.0$)
 $\chi^2_{\min} = 163.2/170 \text{ d.o.f}$

Null oscillation
 $(\chi^2 = 456.5/172 \text{ d.o.f})$



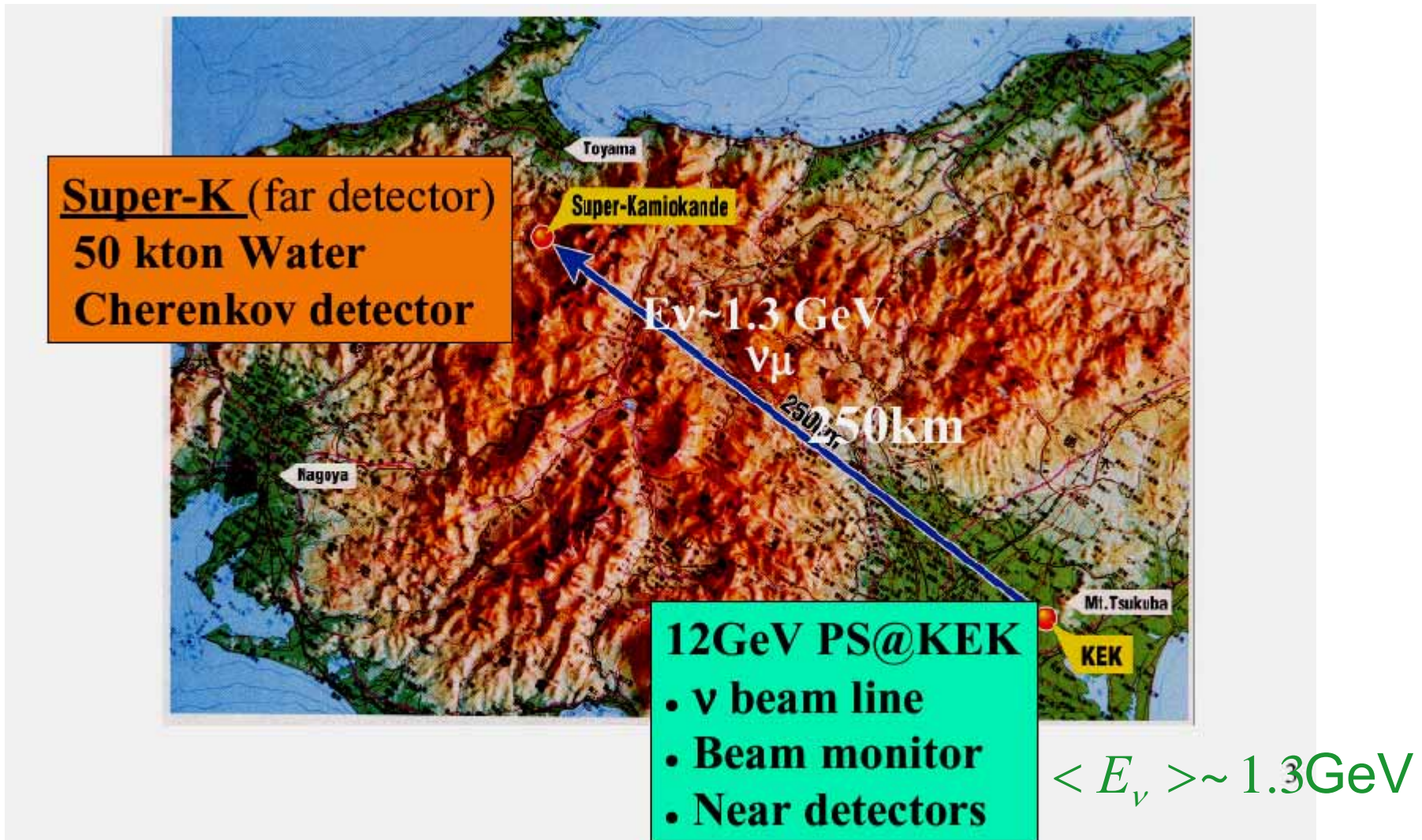
SuperKamiokande - wyniki z konferencji Neutrino04

Rozkład L/E - bezpośrednio wskazanie na oscylacje

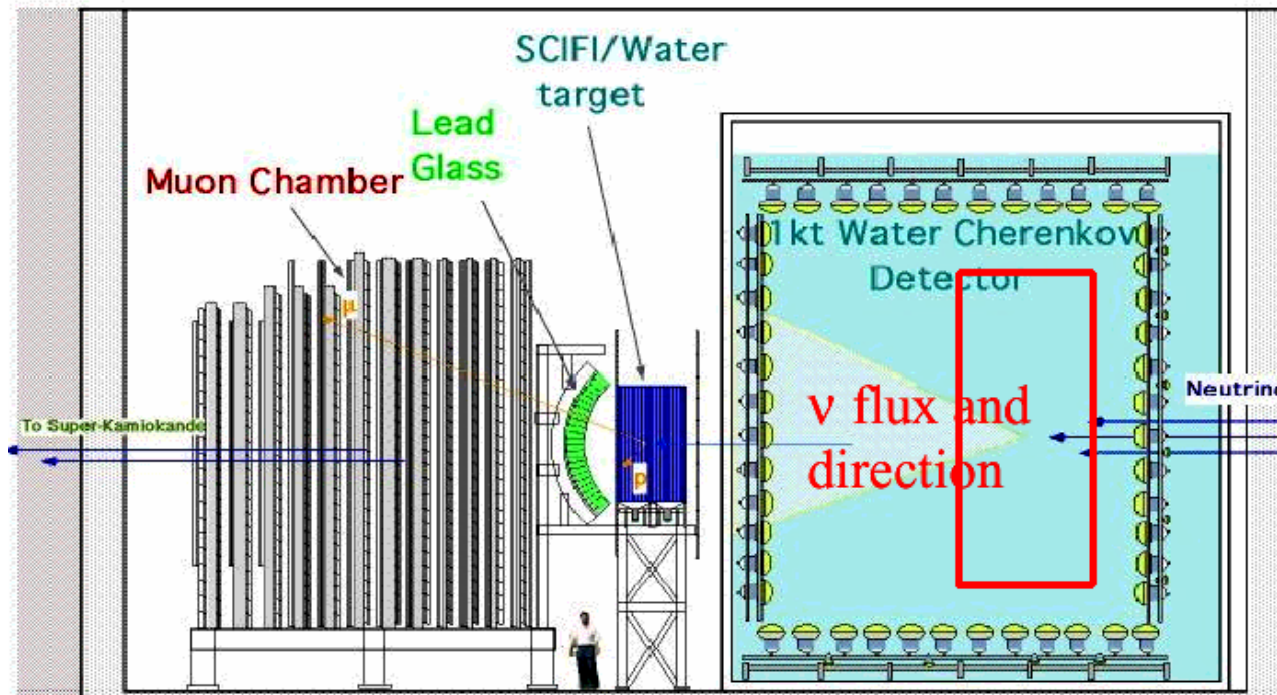


Eksperyment K2K

pierwszy eksperyment akceleratorowy z długą bazą pomiarową



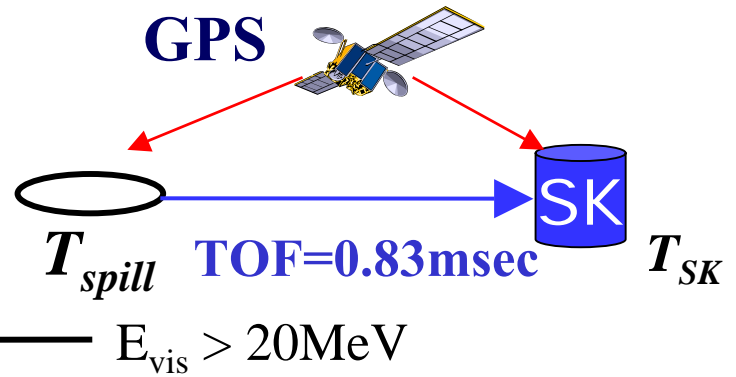
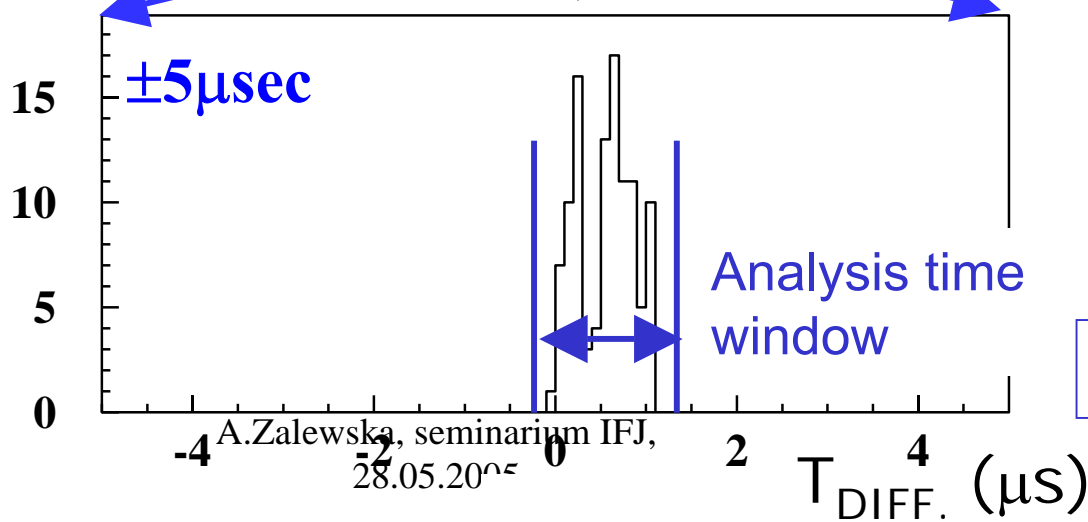
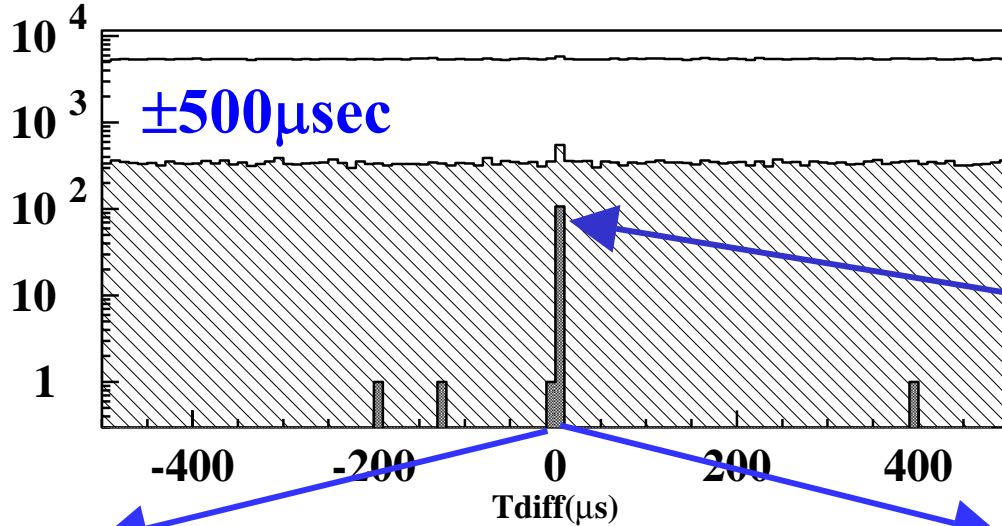
Eksperyment K2K - zasada pomiaru



Pomiar pędów i kierunków mionów w bliskim detektorze w KEK
--> strumień neutrin i rozkład energii neutrin w bliskim detektorze
--> przewidywania strumienia i rozkładu energii w det. SuperK
Pomiar oddziaływań neutrin w det. SuperK
--> wnioski na temat oscylacji na podstawie zanikanie strumienia i kształtu widma energii neutrin

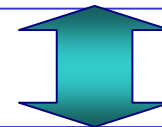
Eksperyment K2K - wyniki

K2K-1+2 Jun1999 - Feb2004



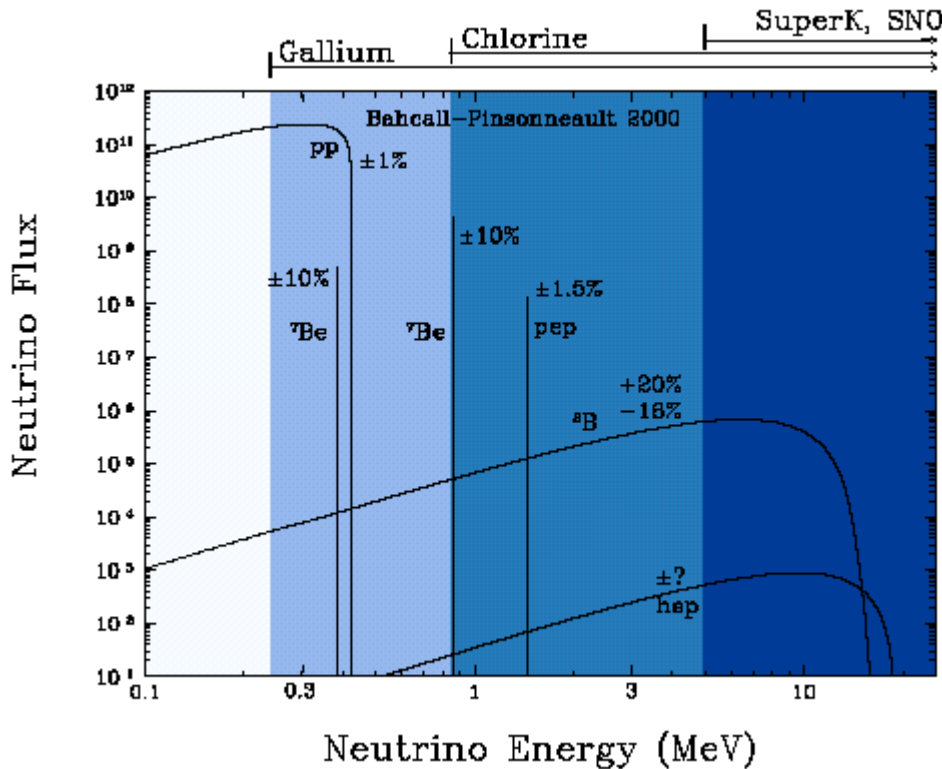
Brak sygnału w zewn. detektorze
Oddz. wewnątrz obszaru fiducial”
 $E_{vis} > 30\text{MeV}$

108 przyp. obs.

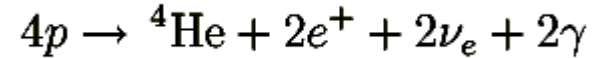


150.9 przyp. oczekiwanych

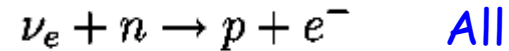
Neutrina słoneczne - podstawowe informacje



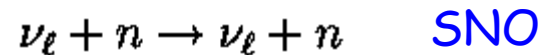
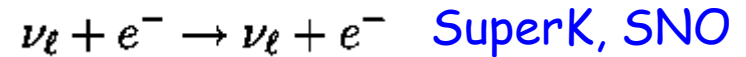
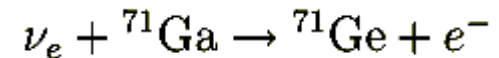
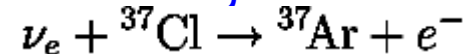
Większość neutrin słonecznych pochodzi z reakcji pp



Eksperymenty mierzą reakcje:

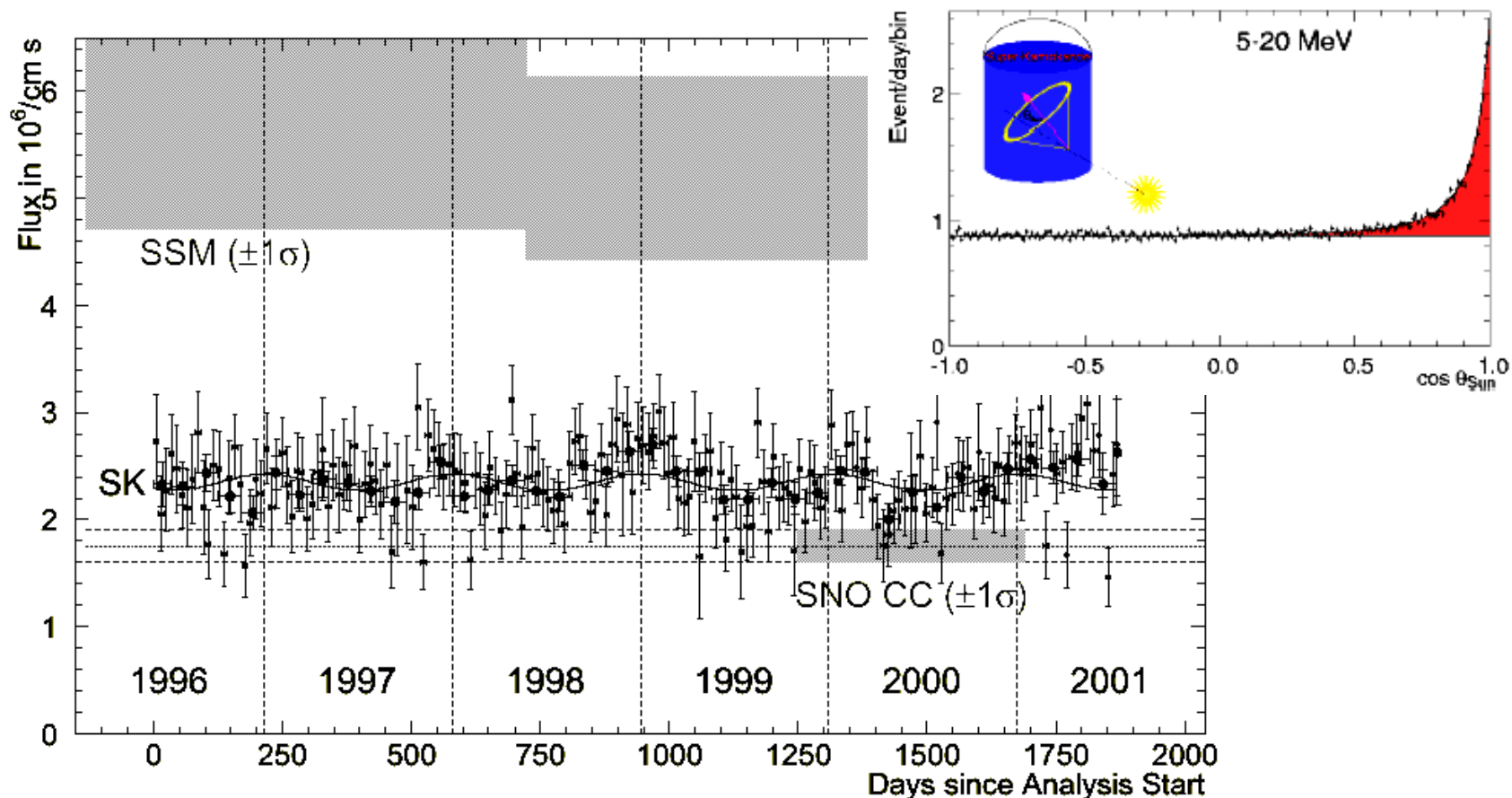


W szczególności:



- Efekty masowe przy przejściu przez Słońce są zasadnicze dla zmiany zapachu
- Punktem odniesienia pomiarów są przewidywania modelu Słońca $R = N_{obs}/N_{MC}$
- Odległość Ziemia-Słońce waha się w granicach 7% w ciągu roku
- W nocy w drodze do detektora neutrina przechodzą całą grubość Ziemi, a w dzień - nie -> efekty masowe, objawiające się asymetrią dzień-noc, dostarczają dodatkowej informacji o parametrach oscylacji.

SuperKamiokande - zależność strumienia neutronów słonecznych od pory roku

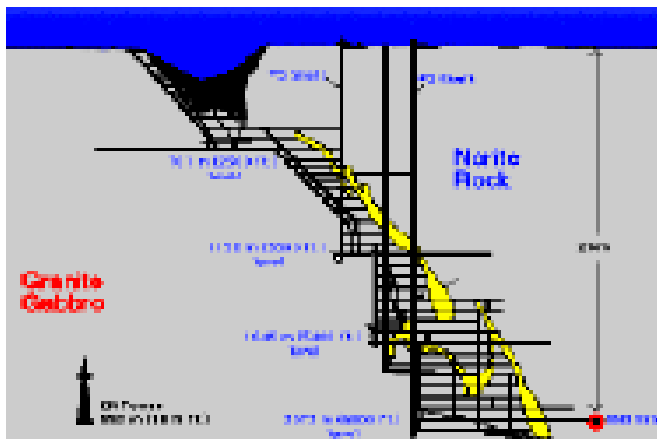


Nie zaobserwowano zmian większych niż oczekiwane z rocznej zmiany odległości między słońcem i ziemią

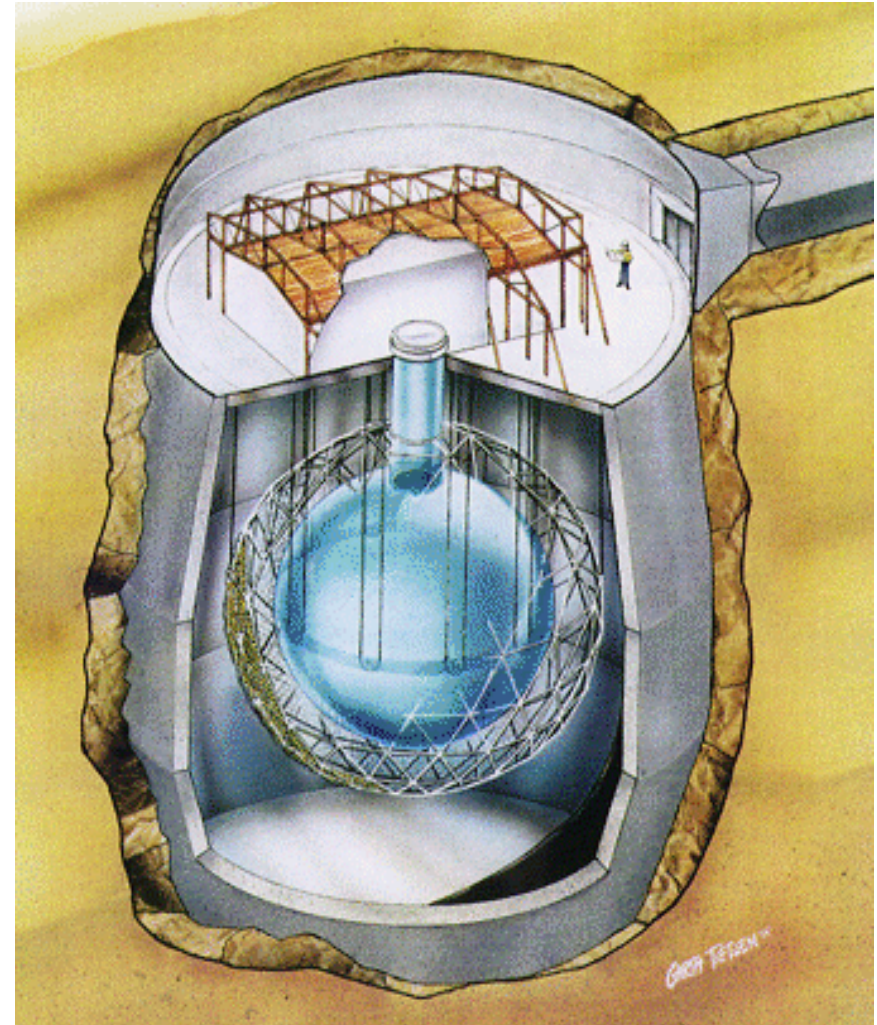
Oscylacje neutrin słonecznych - eksperyment SNO (Sudbury Neutrino Observatory)

Pierwsza publikacja w 2001 w oparciu o 3000 przypadków zebranych w okresie 11.99-05.01 - obserwacja oscylacji neutrin słonecznych

1000 ton D_2O , 9456 fotopowielaczy, 7 kton H_2O , 2000 m. pod ziemią, detekcja promieniowania Czerenkowa, próg energetyczny 5 MeV,

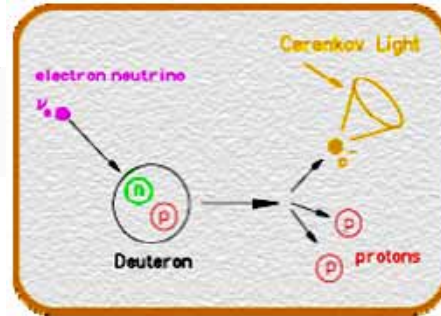


A.Zalewska, seminarium IFJ,
28.05.2005



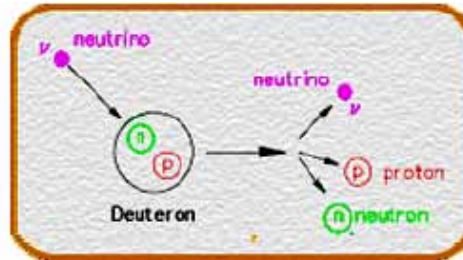
Procesy mierzone w eksperymencie SNO

CC



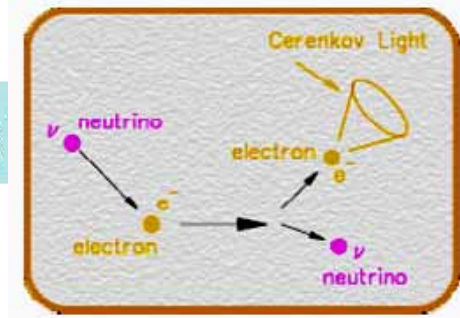
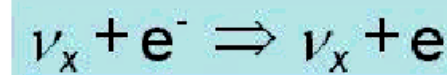
tylko ν_e
dobry pomiar energii ν_e , mała
czułość na kierunek $1-1/3\cos\theta$
 $E_{th}=1.4\text{MeV}$

NC



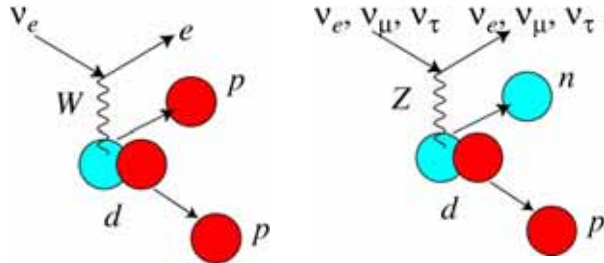
wszystkie rodzaje neutrin, ten
sam przekrój czynny, pomiar
całkowitego strumienia neutrin
borowych $E_{th}=2.2\text{MeV}$

ES



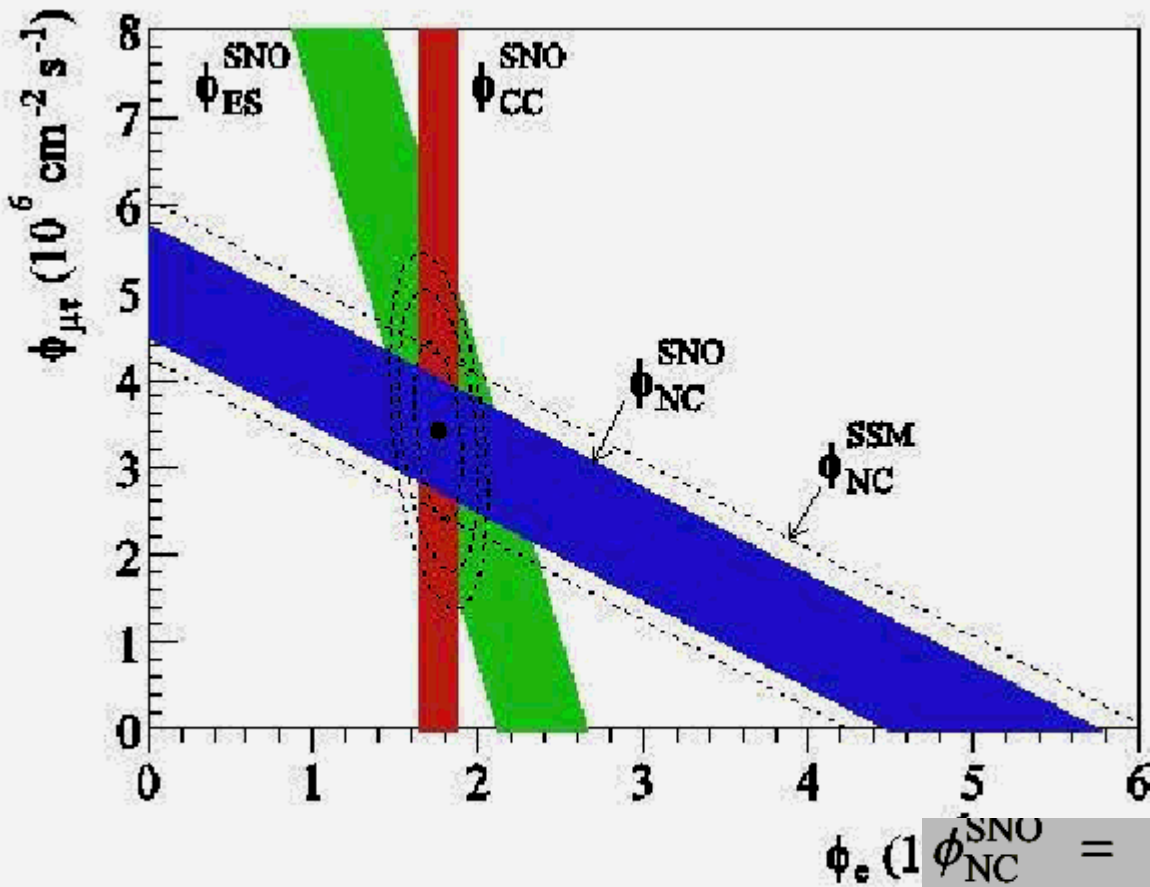
mała liczba przypadków, głównie
czuły na ν_e , duża czułość na
kierunek
reakcja mierzona w SuperK

Wyniki SNO z 2002 roku (f.1) - analiza strumieni



$$\Phi_{CC} = 1.76 \pm 0.05 \pm 0.09 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

$$\Phi_{NC} = 5.09^{+0.44}_{-0.43} \text{ }^{+0.46}_{-0.43} \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$



#EVENTS

CC 1967.7^{+61.9}_{+60.9}

ES 263.6^{+26.4}_{+25.6}

NC 576.5^{+49.5}_{+48.9}

$$\Phi_{ssm} = 5.05^{+1.01}_{-0.81}$$

Obecnie:

$$\phi_e (1 \phi_{NC}^{SNO} = 5.21 \pm 0.27 \text{ (stat)} \pm 0.38 \text{ (syst)})$$

Antyneutrino z reaktorów



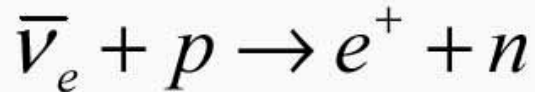
Duża siłownia
jądrowa daje
 6×10^{20} anty- ν /sek
i 3 GW mocy
cieplnej

Można je wykorzystać do
badań oscylacji, np.
eksperyment Palo Verde

A.Zalewska, seminarium IFJ,
28.05.2005



Antyneutrino z reaktorów

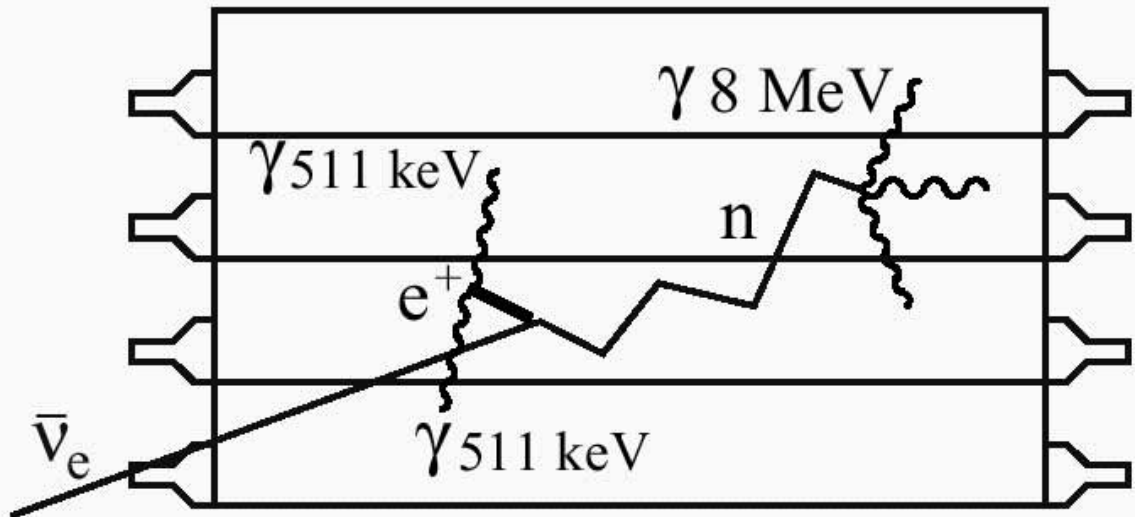


- Large(r) cross-section
- Specific signature

• e^+ kinetic energy
(< 8 MeV)

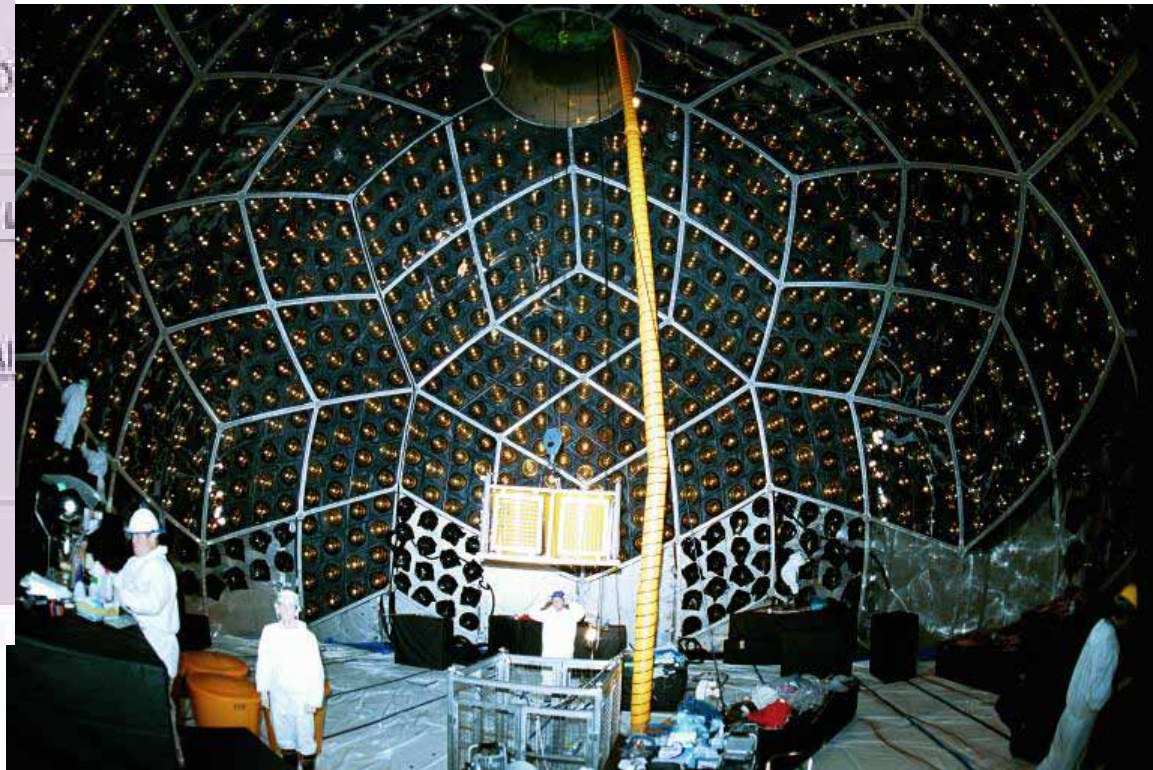
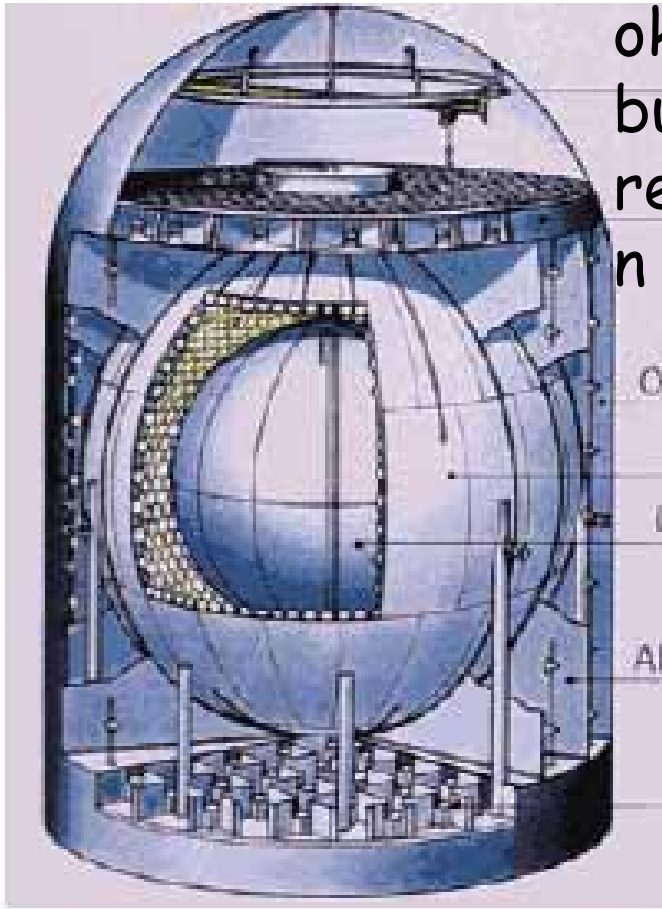
• 2 annihilation γ s
(0.5 MeV)

• neutron capture
(2 to 8 MeV)



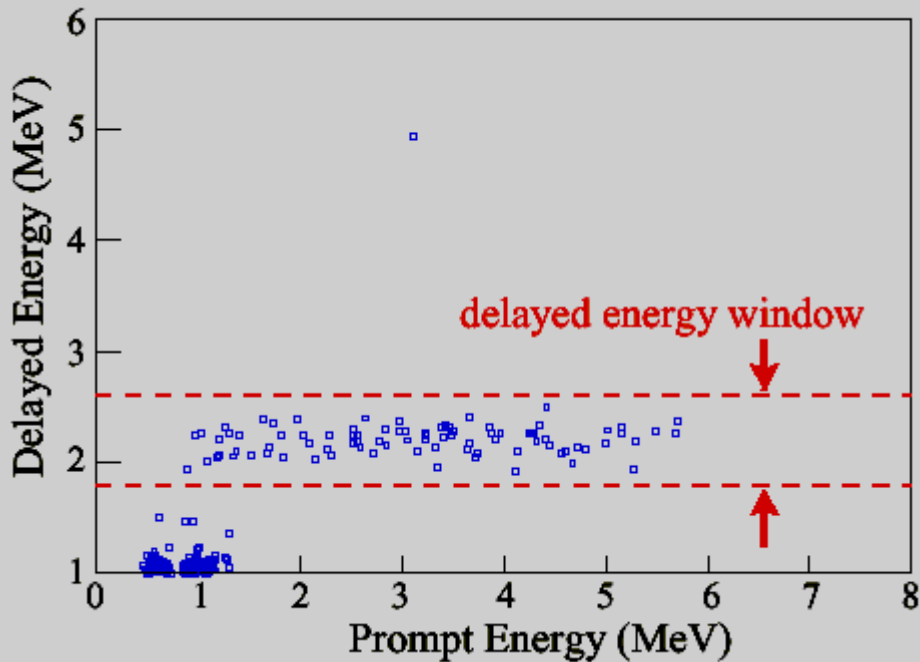
Eksperyment reaktorowy KamLand

detektor - 1 ktona ciekłego scyntylatora,
ok. 2000 fotopowielaczy, obszar
buforowy - olej, det. veto - woda
rejestracja e^+ i γ (2.2 MeV) z wychwytu
n na protonie, ruszył w styczniu 2002

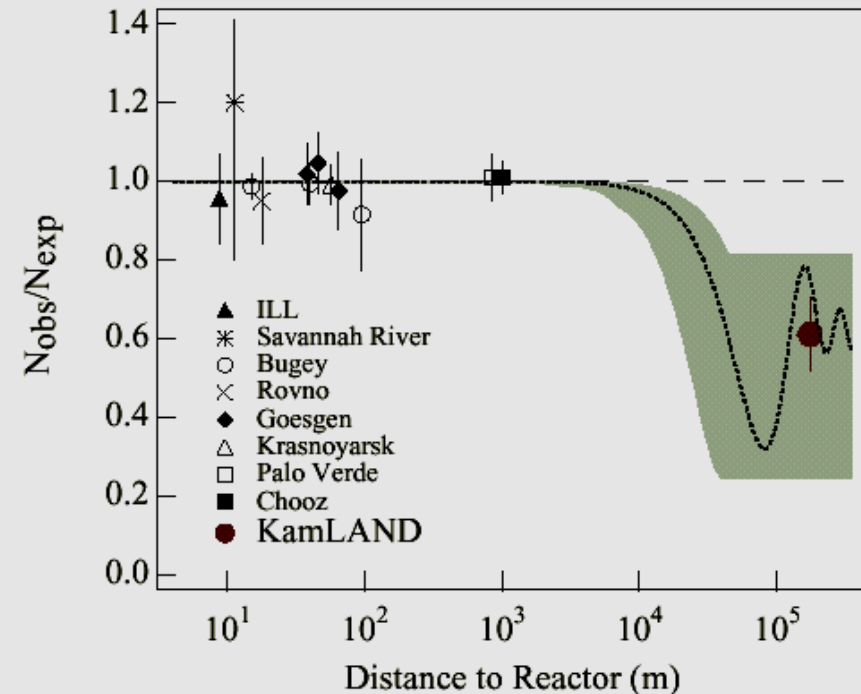


KamLand - pierwsze wyniki z grudnia 2002 r.

54 observed events,
86.8 \pm 5.6 expected events if no
oscillations



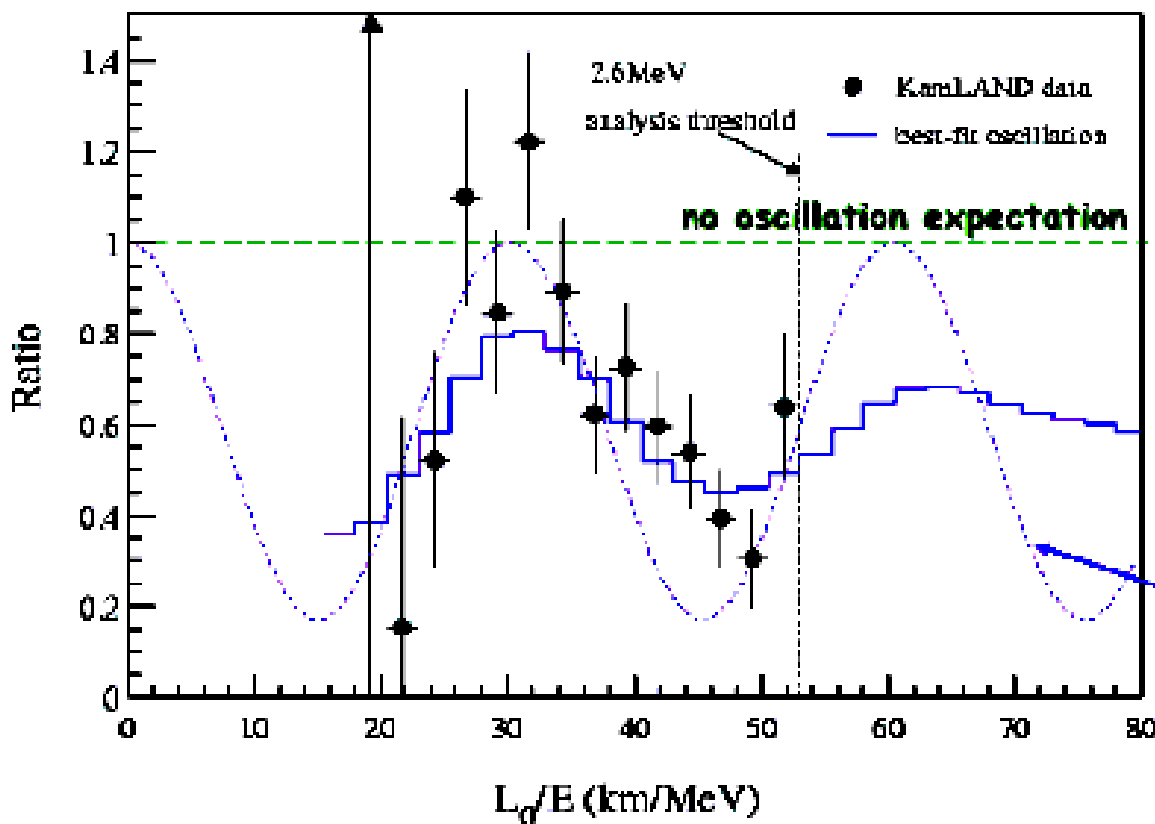
Fast signal of positron annihilation
in coincidence with slower signal of
neutron capture



$$\frac{N_{obs} - N_{BG}}{N_{expected}} = 0.611 \pm 0.085(\text{stat}) \pm 0.041(\text{syst})$$

KamLAND - wyniki z konferencji Neutrino04

Rozkład L/E - bezpośrednio wskazanie na oscylacje

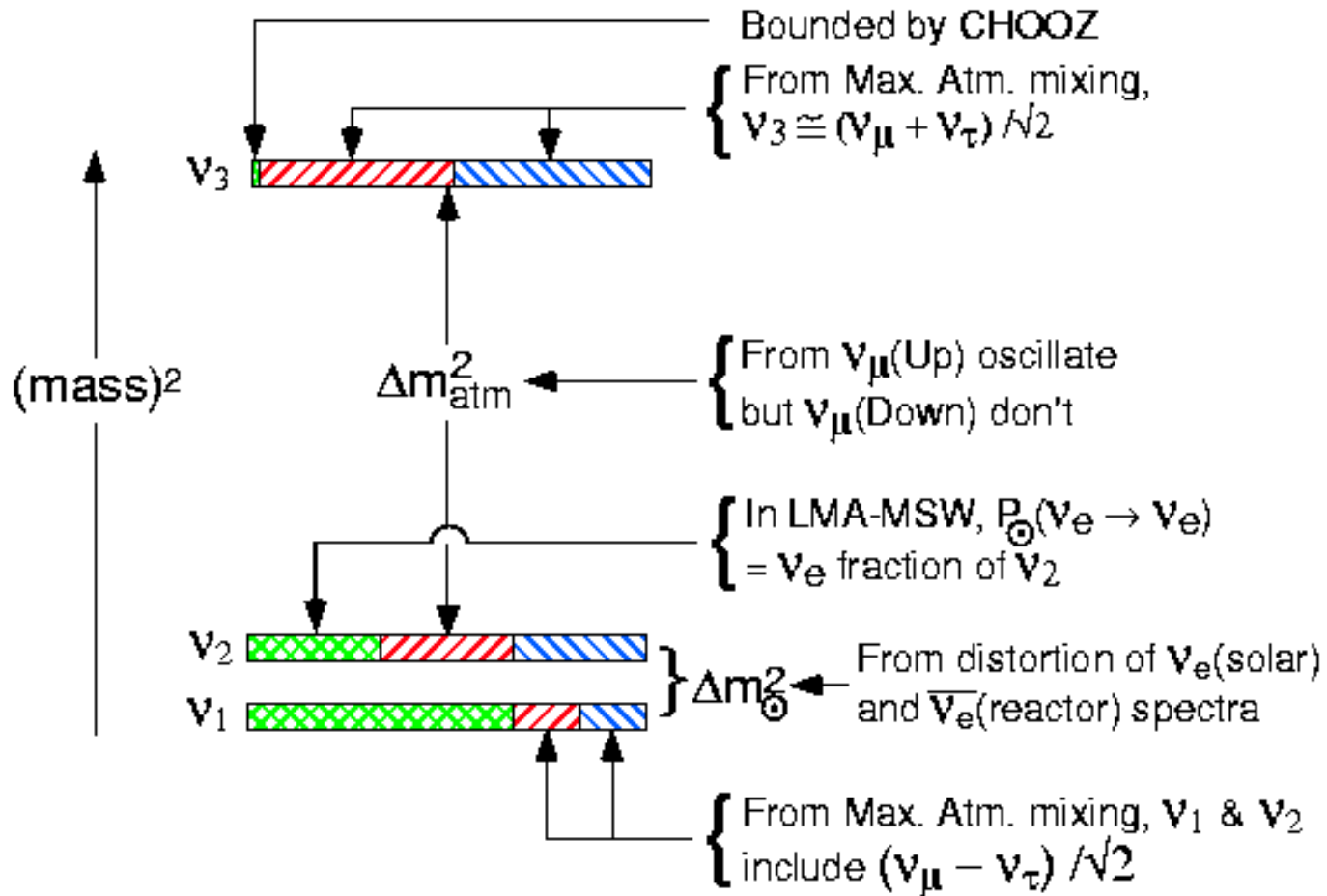


$$\Delta m_{12}^2 = 8.2^{+0.6}_{-0.5} \times 10^{-5} eV^2$$

$$\tan^2 \theta_{12} = 0.40^{+0.09}_{-0.07}$$

Krzywa dla
eksperymentu
przy L=180 km

Masy neutrin - czego uczą oscylacje



Dwa ważne pytania:

Gdzie jest zero na tej skali masy?

Czy hierarchia jest normalna (jak wyżej) czy odwrócona względem Δm_{atm}^2

Przyszłość fizyki neutrin – lista zadań

Z dokładniejszych pomiarów oscylacji:

- Lepsze wyznaczenie wartości kątów mieszania i różnic kwadratów mas dla oscylacji atmosferycznych i słonecznych
- Jaka jest wartość kąta θ_{13} ?
- Jaki jest znak Δm_{23}^2 ? Normalna czy odwrócona hierarchia mas?
- Czy symetria CP dla neutrin jest łamana?
- Czy istnieje obszar oscylacji znaleziony w eksperymencie LSND?

Z pomiarów nieoscylacyjnych:

- Jakie są wartości mas neutrin?
- Czy neutrina są cząstkami Diraca czy Majorany?
- Czy neutrina są źródłem istotnych informacji astrofizycznych i kosmologicznych?

Program badań oscylacji - 1

Badania neutrin przechodzą z fazy odkryć w fazę precyzyjnych pomiarów

Pierwsza generacja eksperymentów (rozpoczęte lub bliskie realizacji) - lata 2005-2010:

- Eksperyment MINOS na wiązce NuMi
- Eksperymenty OPERA i ICARUS na wiązce CNGS

Druga generacja eksperymentów (w trakcie zatwierdzania i finalnych dyskusji) - lata 2010-2020:

- Eksperyment T2K w Japonii na super-wiązce z Tokai do Kamioki
- Eksperyment NO ν A na wiązce (potem super-wiązce) NuMi

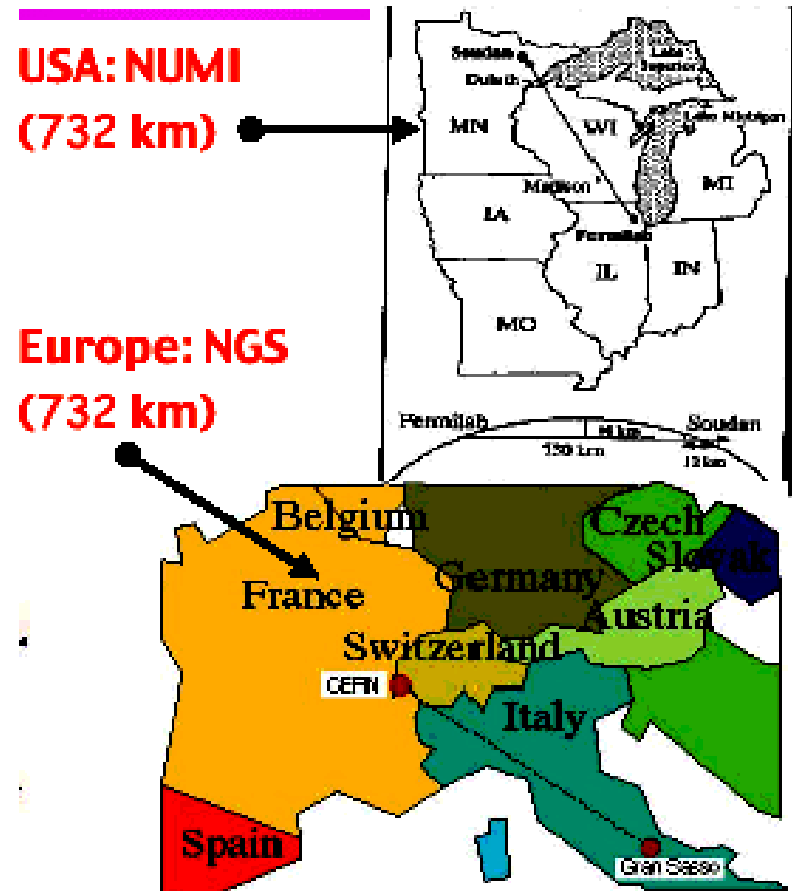
Trzecia generacja eksperymentów (w realizacji tylko programy R&D)
- od ok. 2020:

- Eksperymenty na wiązках z fabryki neutrin lub tzw. wiązках β

Inne projekty akceleratorowe z długą bazą

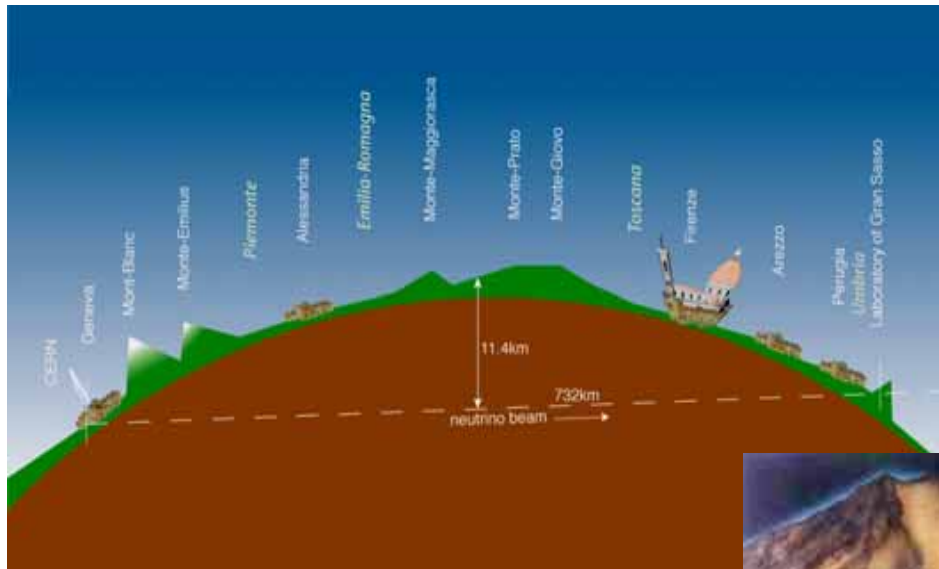
◆ NuMi - wiązka neutron z FNAL do detektora MINOS w kopalni Soudan, rozpoczął zbieranie danych w styczniu 2005, pomiar osłabienia wiązki ν_μ w oparciu o bliski i daleki detektor

◆ CNGS - wiązka z CERN do LNGS, dalekie detektory OPERA and ICARUS, start w 2006, poszukiwania oddziaływań ν_τ , pochodzących z oscylacji



Program CNGS

ν_{μ}



ν_{τ}

ν_e

Budowa wiązki w CERN-ie postępuje zgodnie z planem.



Program badań oscylacji - 2

Liczba oddziaływań neutrin z oscylacji zarejestrowanych w eksperymencie zależy od wydajności źródła neutrin, długości bazy pomiarowej i wielkości detektora. Bardzo ważna jest też redukcja tła.

Przyszłe wydajne źródła neutrin:

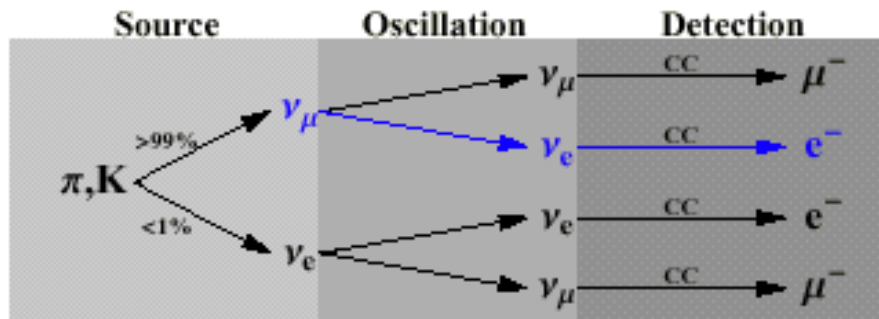
- Superwiązki - intensywne wiązki neutrin z rozpadów mezonów π wytwarzane w oparciu o protonowe akceleratory dużej mocy (rzędu MW)
- Fabryki neutrin - wiązki neutrin z rozpadów leptonów μ , utworzone w oparciu o miony przyspieszone do energii typowo kilkudziesięciu GeV
- Wiązki β - wiązki neutrin z jądrowych rozpadów β przyspieszanych radioizotopów

Rozważa się budowę **znacznie większych detektorów**, np. 1Mtonowy wodny detektor Czerenkowa

Ważny też będzie **dobór baz pomiarowych**

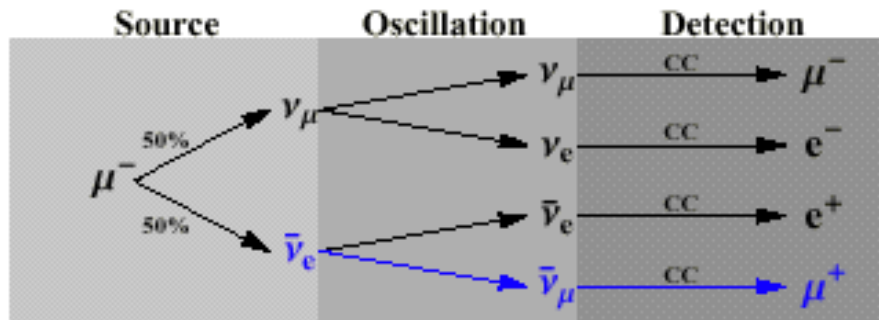
Przyszłe intensywne źródła neutrin

Superbeams



Superwiązki
-konwencjonalne wiązki
dużej intensywności,
Neutrina z rozpadów π

Neutrino Factories



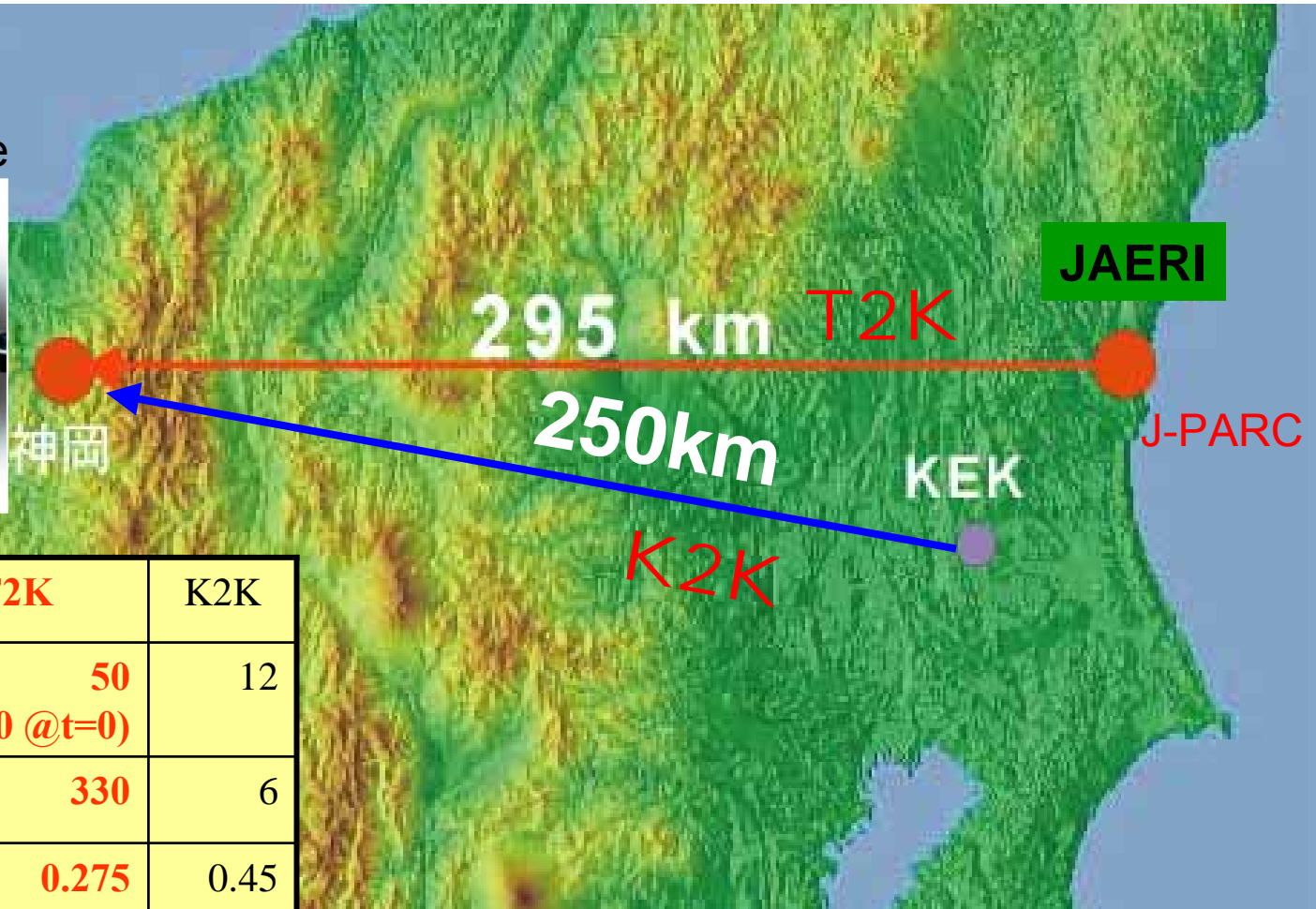
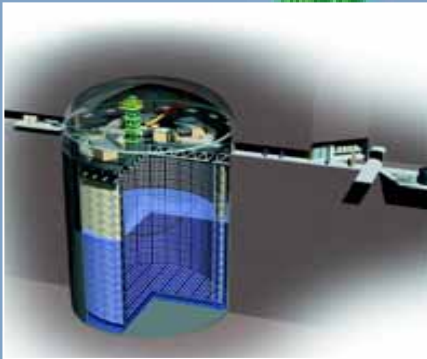
Fabryki neutrin
- nowy typ akceleratora,
neutrina z rozpadów μ

Wiązki β

Świeży pomysł (2002 rok)
- przyspieszać ${}^6\text{He}$ (źródło
antyneutrin) i ${}^{18}\text{Ne}$ (źródło
neutrin)

Eksperyment T2K (Tokai to Kamioka)

Super-Kamiokande



	T2K	K2K
E(GeV)	50 (40 @t=0)	12
Int.(10 ¹² ppp)	330	6
Rate(Hz)	0.275	0.45
Power(MW)	0.75	0.0052

China, France, Italy, Japan, Korea, Poland, Russia, Switzerland, UK, USA

Pierwsza superwiązka



Baza pomiarowa ~295km

Wiązka ν_μ

Energia wiązki ~1GeV

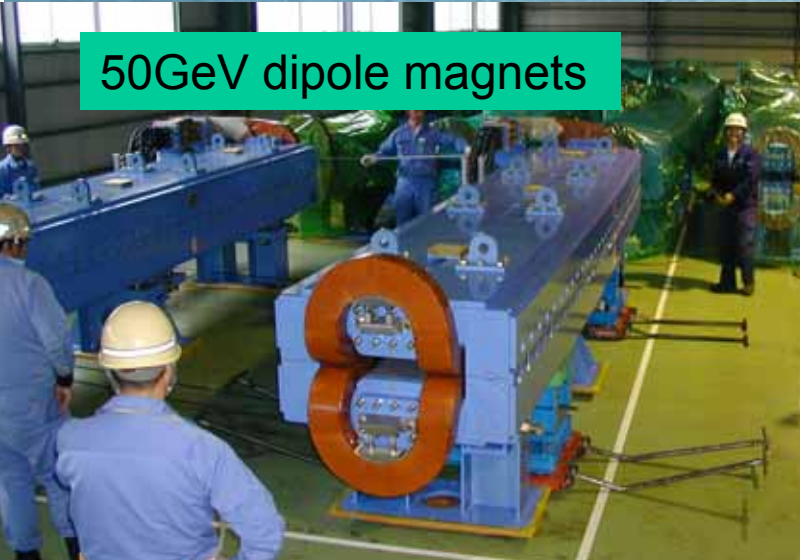
→ Zostanie dopasowana tak, aby trafiać na maksimum oscylacji

	Moc wiązki	Daleki detektor	Fizyka
1-szy etap	0.75MW	Super Kamiokande(50kt)	$\theta_{23}(<\text{max?})$, Δm^2_{23} $\nu_\mu \rightarrow \nu_X$ $\theta_{13}(>0?)$ $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ Pomiary NC
2-gi etap	~4MW	Hyper Kamiokande(1Mt)	Niezachowanie CP Rozpad protonu

J-PARC w fazie konstrukcji

Zakończenie 1-go etapu budowy w 2007 roku

50GeV dipole magnets



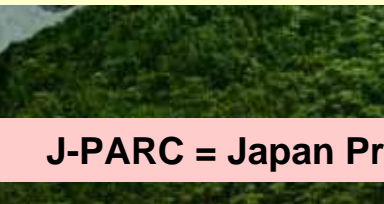
Science facility



50GeV



3 GeV Synchrotron
(25 Hz, 1MW)



3GeV



LINAC



J-PARC = Japan Pro

T2K - etap 2

0.77 4 MW

~ detektor 1 Mton
(Hyper-Kamiokande)

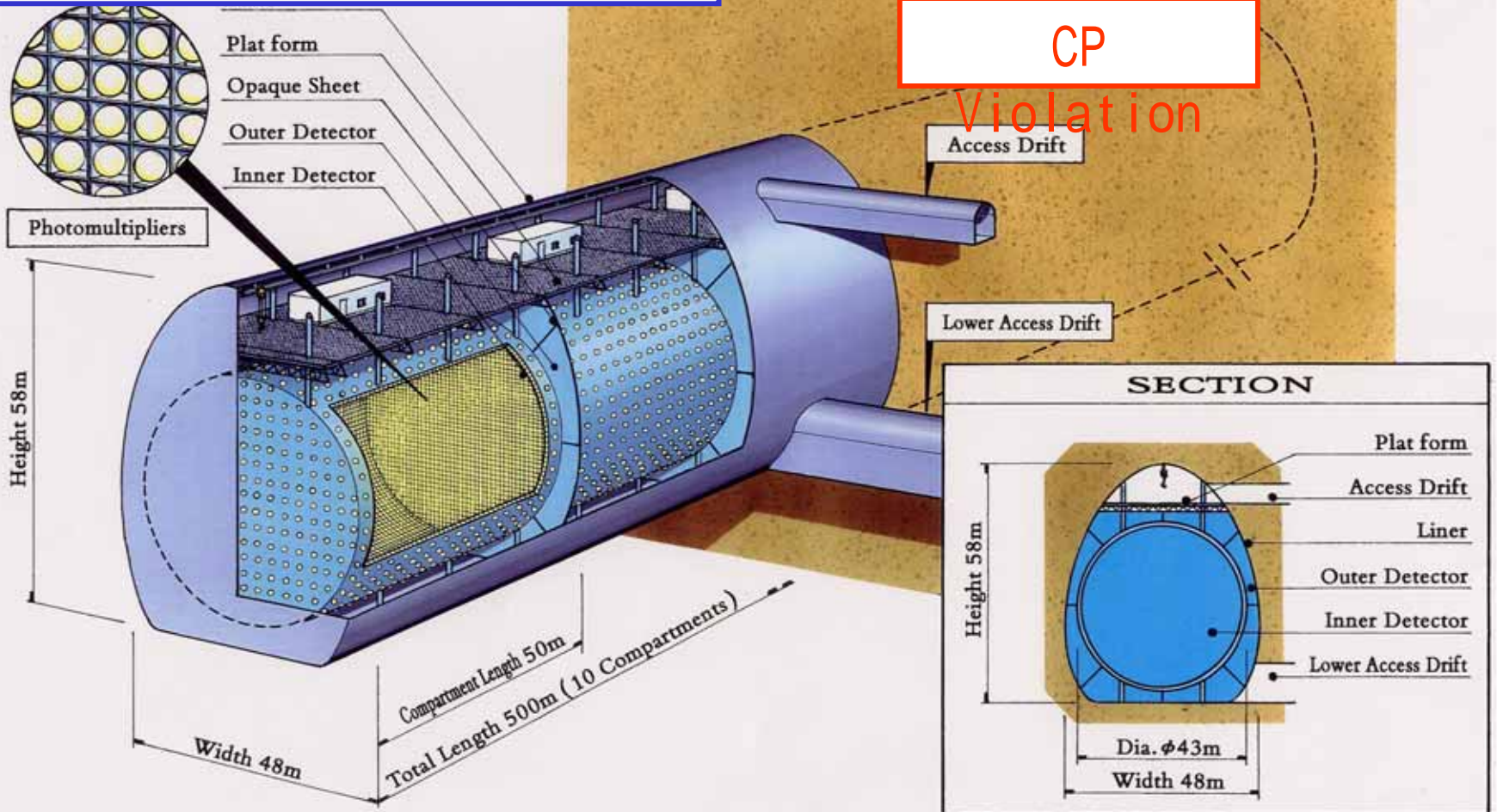


10^6 przypadków
(razem ν_μ i $\text{anti-}\nu_\mu$)

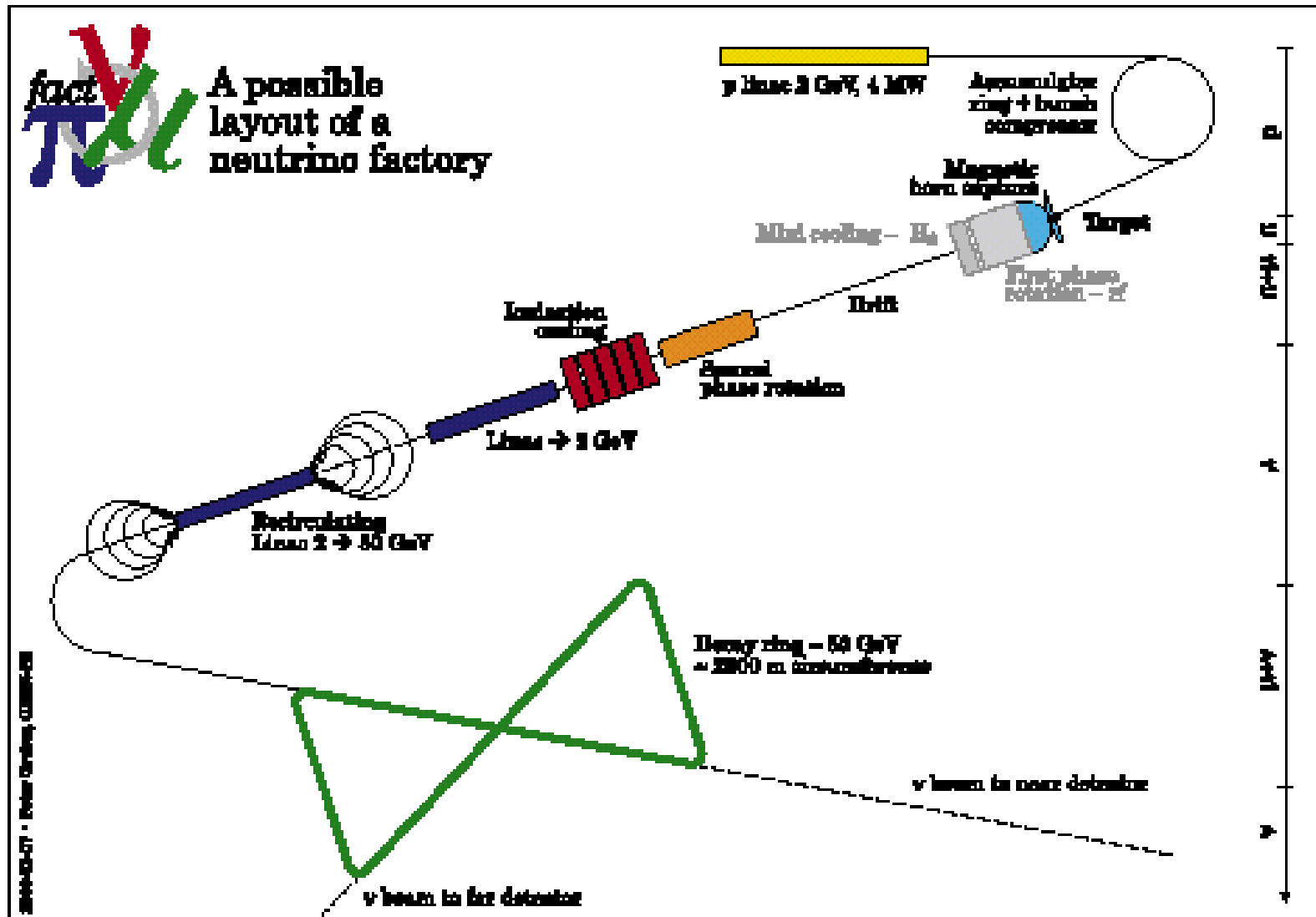


CP

Violation



CERN-owska koncepcja fabryki neutrin



Badania prowadzone w IFJ

Obecnie:

Udział w eksperymencie ICARUS w podziemnym laboratorium Gran Sasso

R&D dla dwufazowego detektora argonowego dla poszukiwań ciemnej materii

Przyszłość:

Udział w eksperymencie T2K ???

(w lutym 2005 podpisaliśmy list intencyjny dla ciekło-argonowego detektora w odległości 2km od źródła neutrin)

Udział w opracowaniu (design study) europejskiej koncepcji fabryki neutrin w ramach 7FP ???

Fizyka neutrin w podziemnym polskim laboratorium w Sieroszowicach ???

Grupa neutrinowa w Krakowie

Pracownicy IFJ PAN:

Krzysztof Cieřlik, Anna Dąbrowska, Michał Markiewicz, Monika Szarska, Agnieszka Zalewska

Doktoranci IFJ PAN:

Andrzej Szelc

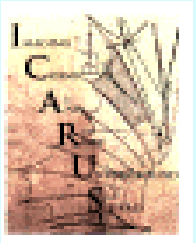
Magistranci UJ:

(Paweł Brylski, Andrzej Szelc, Dorota Stefan), Tomasz Wąchała, Konstancja Satalecka

Współpraca: Jerzy W. Mietelski z IFJ

Wojciech Półchłopek - doktorant z Instytutu Elektroniki AGH

Halina Kuna-Ciskał, Mariusz Maślak - inżynierowie-mechanicy z Politechniki Krakowskiej



Eksperyment ICARUS

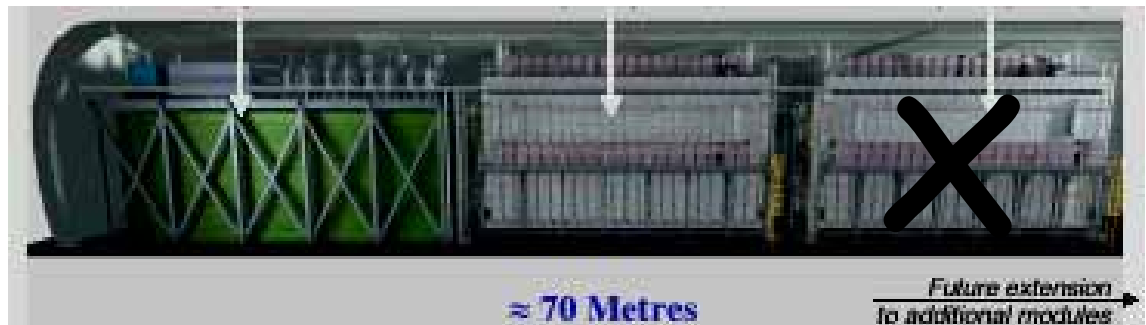
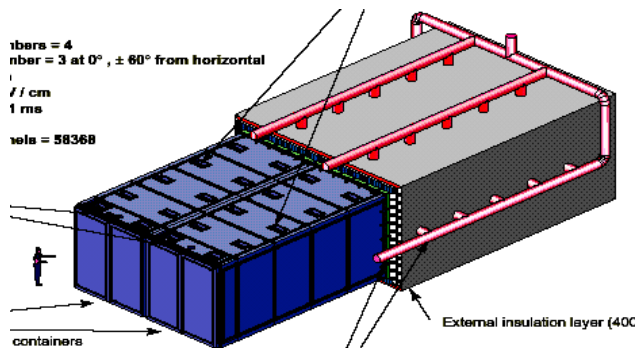
(Imaging Cosmic And Rare Underground Signals)

Problematyka fizyczna:

Badanie oddziaływań neutrin słonecznych, atmosferycznych, z wybuchu Supernowej i z wiązki akceleratorowej CNGS oraz poszukiwanie rozpadu protonu przy użyciu wielkich komór TPC wypełnionych ciekłym argonem.

Dwa etapy:

T600 - detektor o całkowitej masie 600 ton, w Gran Sasso od grudnia 2004
T3000 - detektor o docelowej masie 3000 ton, instalacja 2007-2008,
(prawdopodobnie tylko 1800 ton)

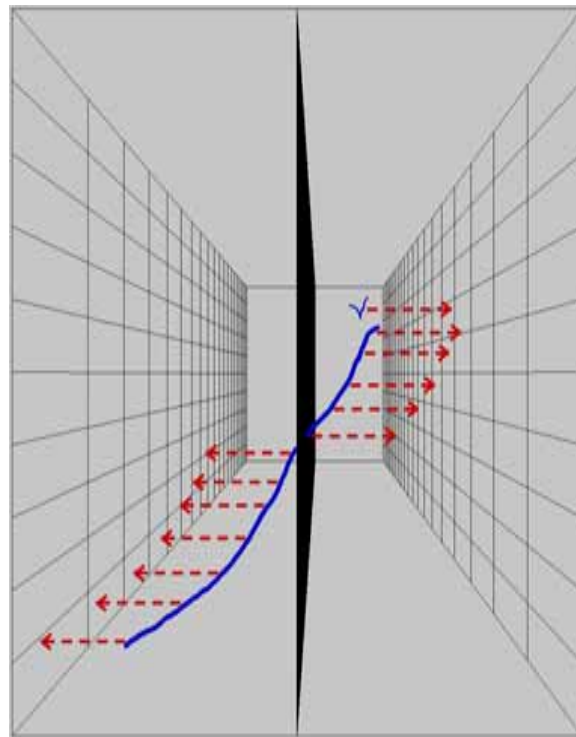


Lata 2000-2005 - główne fakty

- Czerwiec 2000 - przystąpienie polskiej grupy do eksperymentu
- Kwiecień - lipiec 2001 - naziemne testy pierwszej komory TPC (Pawia, 28000 zebranych przypadków):
 - > 6 prac opublikowanych w filadelfijskich czasopismach, 3 analizy w toku
- 2002-2003 dwa addenda do proposalu eksperymentu:
 - Cloning of the T600 modules to reach the design sensitive mass - LNGS-EXP 13/89 add. 2/01, CERN/SPSC 2002-027 (SPSC-P-323)
 - A magnetized muon spectrometer for ICARUS T3000 at the LNGS/CNGS - LNGS-EXP 13/89 add.3/01, CERN/SPSC 2003-030
- ICARUS z detektorem T3000 uzyskuje status CERN-owskiego eksperymentu CNGS02 (kwiecień 2003)
- Problemy laboratorium w Gran Sasso (stopniowo rozwiązywane!!!)
 - > opóźnienie instalacji detektora, specjalna infrastruktura dla detektora ICARUS (kriogenika, bezpieczeństwo)

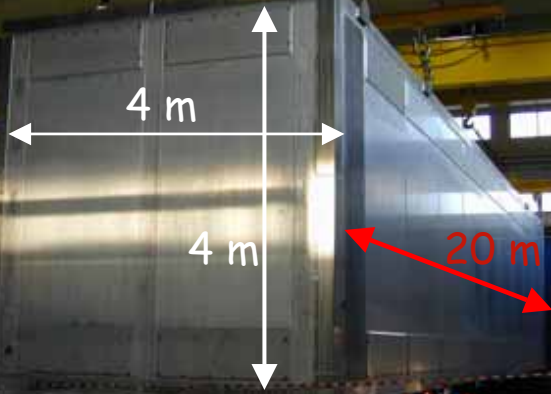
ICARUS - wielkie komory TPC wypełnione ciekłym argonem

- Wykorzystywane zjawisko jonizacji w ciekłym argonie wzdłuż torów cząstek naładowanych, trójwymiarowy obraz przypadku oddziaływania w oparciu o pomiar sygnałów na drutach (dwie współrzędne) i o pomiar czasu dryfu (trzecia współrzędna).
- Uniwersalny detektor dla fizyki neutrin, pozwalający na równoczesne rejestrowanie oddziaływań neutrin słonecznych, atmosferycznych i neutrin z wiązki

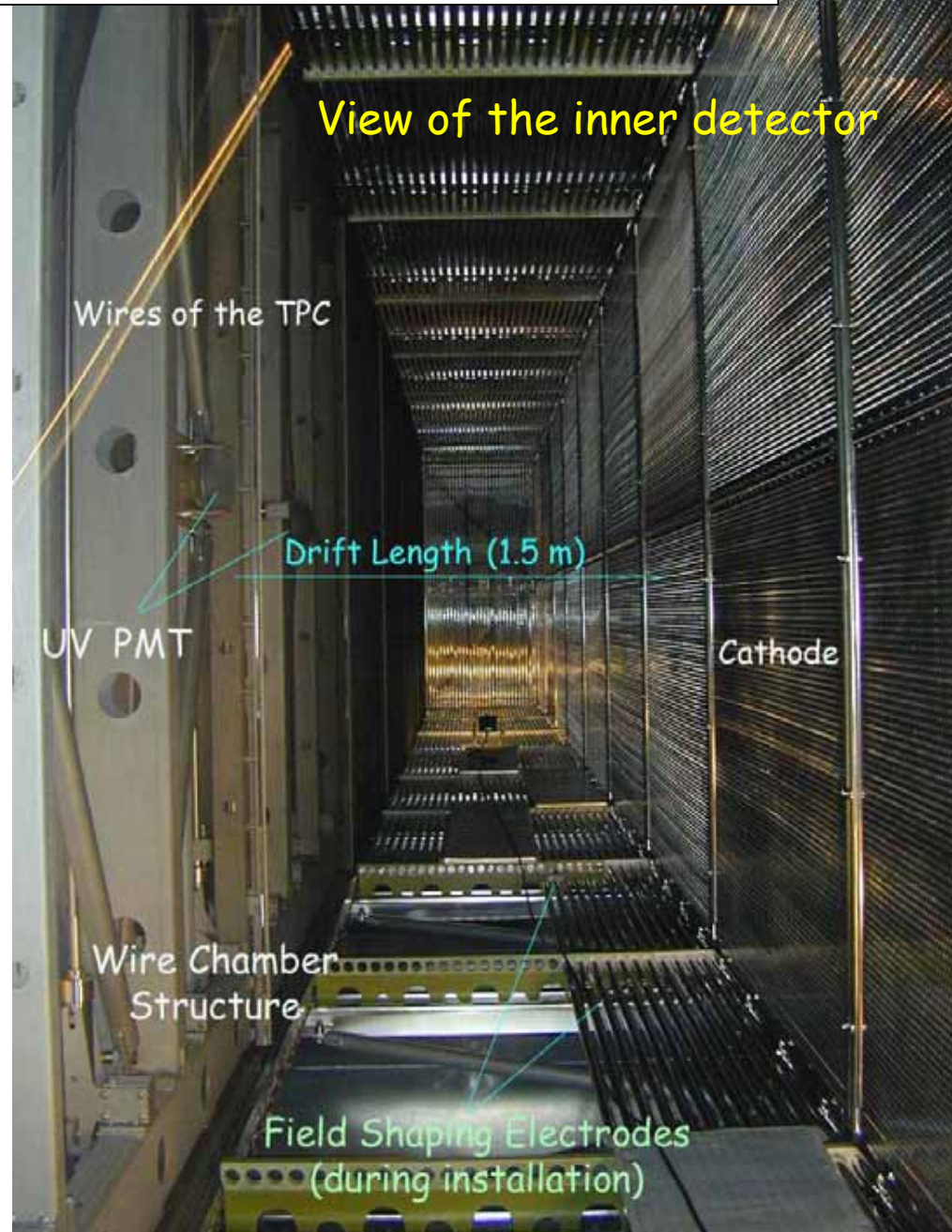


T600-pojedyncza komora TPC w fazie konstrukcji

LAr Cryostat (half-module)



View of the inner detector



Electronic Racks

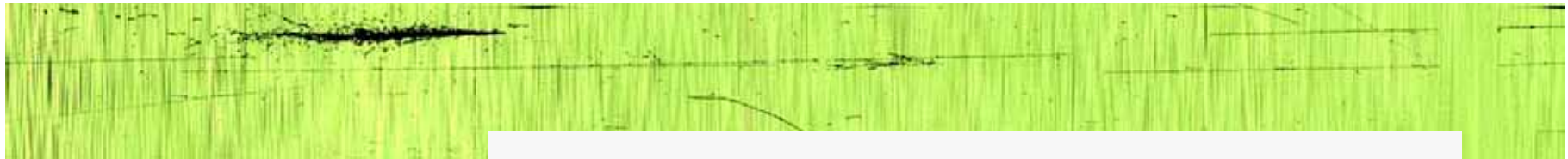
Signal Flanges and feed-throughs



T600-dane z testów pierwszej (z 10) komory TPC

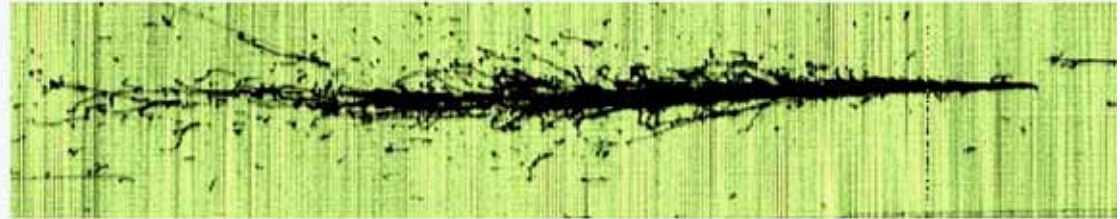
Wspaniała technika eksperymentalna: całkowicie elektroniczny detektor, dający trójwymiarowy obraz przypadku oddziaływania o jakości porównywalnej z obrazami z komór pęcherzykowych oraz bardzo dobry pomiar energii w oparciu o dE/dx na drutach (6 publikacji z testów)

Przykładowy przypadek:

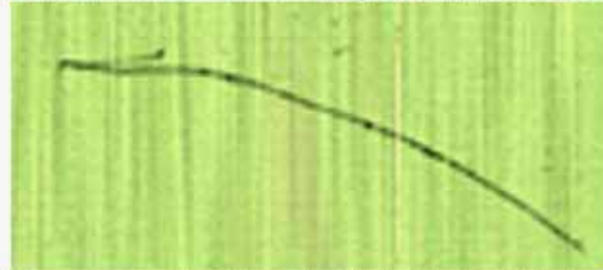


Długi tor mionu (14m)
oraz

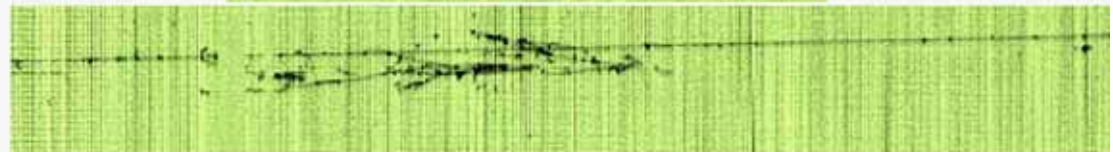
kaskada fotonowa



rozpad mionu



widoczne elektrony
delta wzdłuż toru mionu



T3000 - udział polskich grup

- **Współpraca fizyków i inżynierów z czterech ośrodków:**
Katowice (UŚI), Kraków (IFJ, AGH, PK), Warszawa (IPJ, UW, PW), Wrocław (UWr), 3-4 spotkania rocznie, 10 doktorantów, 14 magistrantów, dwójka dzieci
- **Wspólne zadanie polskich grup - produkcja drutów anodowych dla 4 modułów detektora (ok. 55 tysięcy)**
budowa urządzeń: główny stół (Warszawa), stoliki montażowe i automatyka (Kraków), pomocnicze stoły (Katowice), przewidywany start w IFJ:
wrzesień/październik 2005

Produkcja drutów anodowych dla T1200

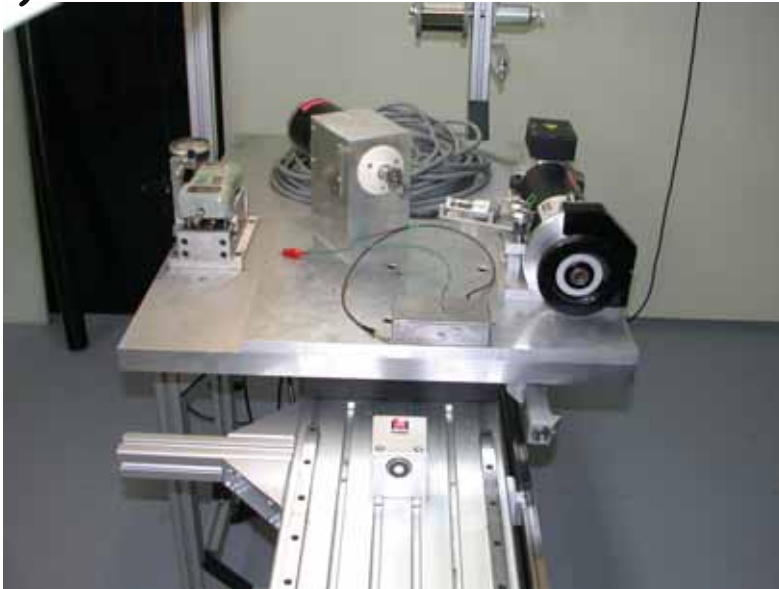
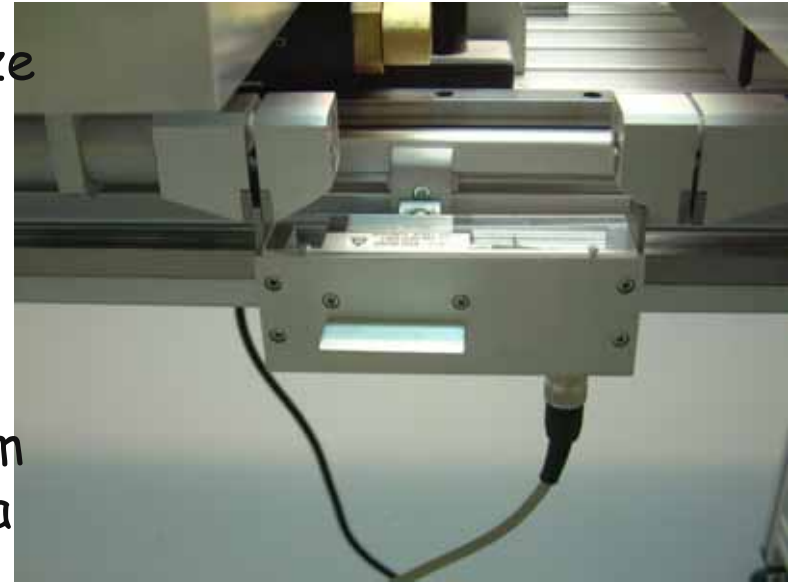
Stan obecny:

- Laboratorium w IFJ (12x5.5 m²) gotowe do produkcji drutów
- Twa kopiowanie włoskich systemów kontrolnych dla Katowic i Warszawy (podziękowania dla inż. K.Gałuszki, P.Żychowskiego i M.Stodulskiego)



Stół do produkcji drutów

- Stół (dł. 11m) zbudowany jest z prefabrykowanych elementów z Al, może być podzielony na dwa stoły o dł. 5m i 6m - projekt warszawski, wykonanie przez polską firmę
- System do naciągu drutów znajduje się na ruchomych wózkach
- Przesuw wózków z min. krokiem $5\ \mu\text{m}$ i gwarantowaną dokładnością $100\ \mu\text{m}$ na 11 m)

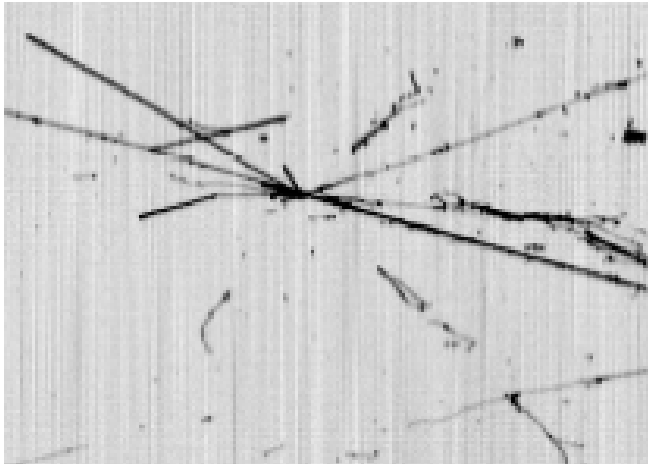


ICARUS-prace prowadzone w Krakowie

- Udział w analizach danych z testów i w rozwoju oprogramowania,
- Pomiar zanieczyszczenia materiałów konstrukcyjnych detektora T60 pierwiastkami rozszczepialnymi
- Prace nad kompresją danych
- Obliczenia mechaniczne dla zmodyfikowanej konstrukcji przyszłych kriostatów

Analiza danych

Koncentrujemy się na rekonstrukcji energii dla kaskad elektromagnetycznych, na identyfikacji e , γ i π^0 oraz rekonstrukcji π^0 , ostatnio nota techniczna **ICARUS-TM/04-14**, obecnie prace nad przygotowaniem publikacji n.t. rekonstrukcji π^0 .



T1200-obliczenia mechaniczne kriostatów z AirLiq

- Inżynierowie z Politechniki Krakowskiej wykonali analizę wytrzymałościową w 2D i w 3D metodą elementów skończonych dla ścian i konstrukcji nośnej przyszłych kriostatów - projekt Air Liquide
- Praca została opisana w nocie technicznej **ICARUS-TM/04-01**
- Wniosek "the distribution of internal forces for several load combinations allows concluding that structural elements of the container seem to be strong enough to assure its safe exploitation"

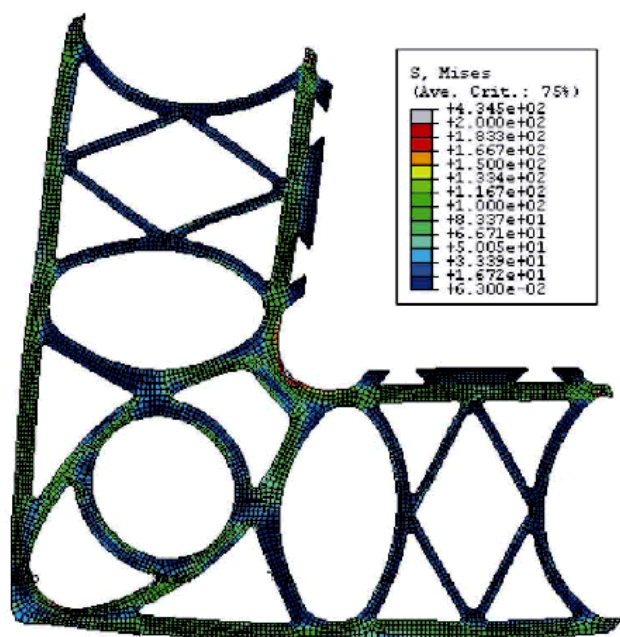


Fig. 18. Distribution of *Mises* stresses in corner profile – combination G+V.

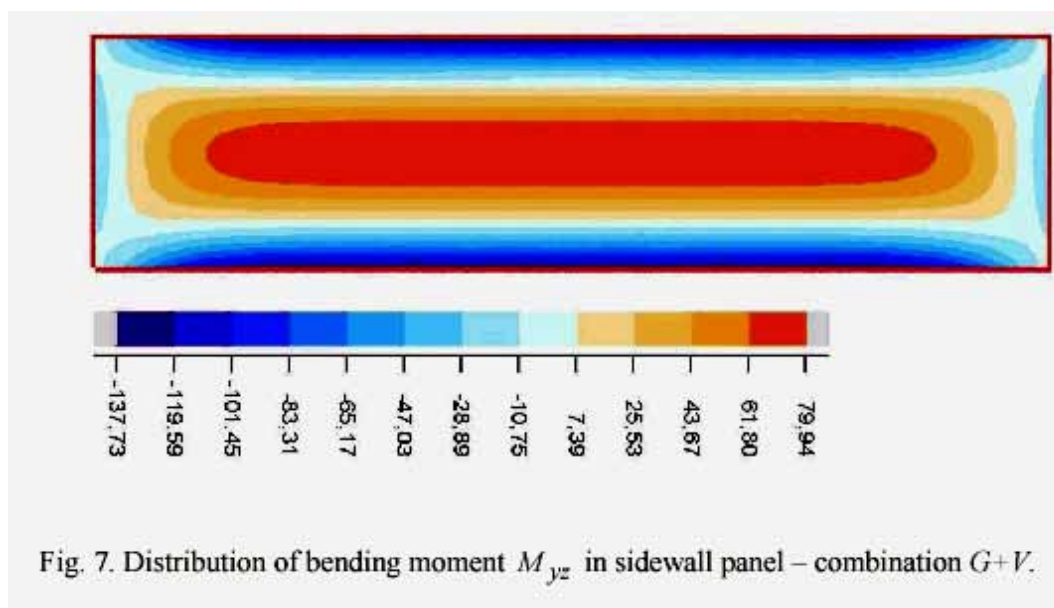
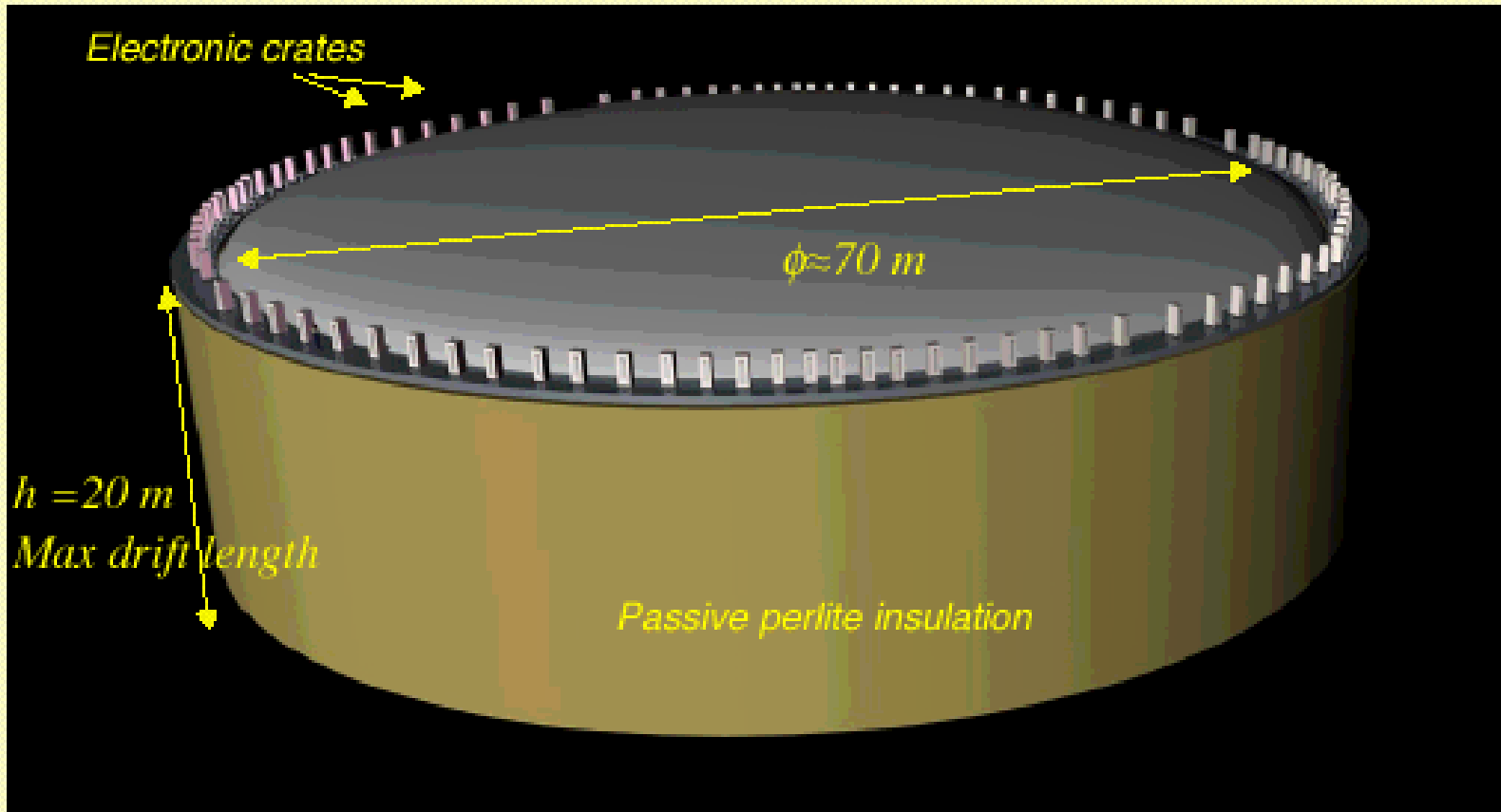


Fig. 7. Distribution of bending moment M_{yz} in sidewall panel – combination G+V.

W stronę podziemnego polskiego laboratorium w
Sieroszowicach !

Science fiction? Może nie...

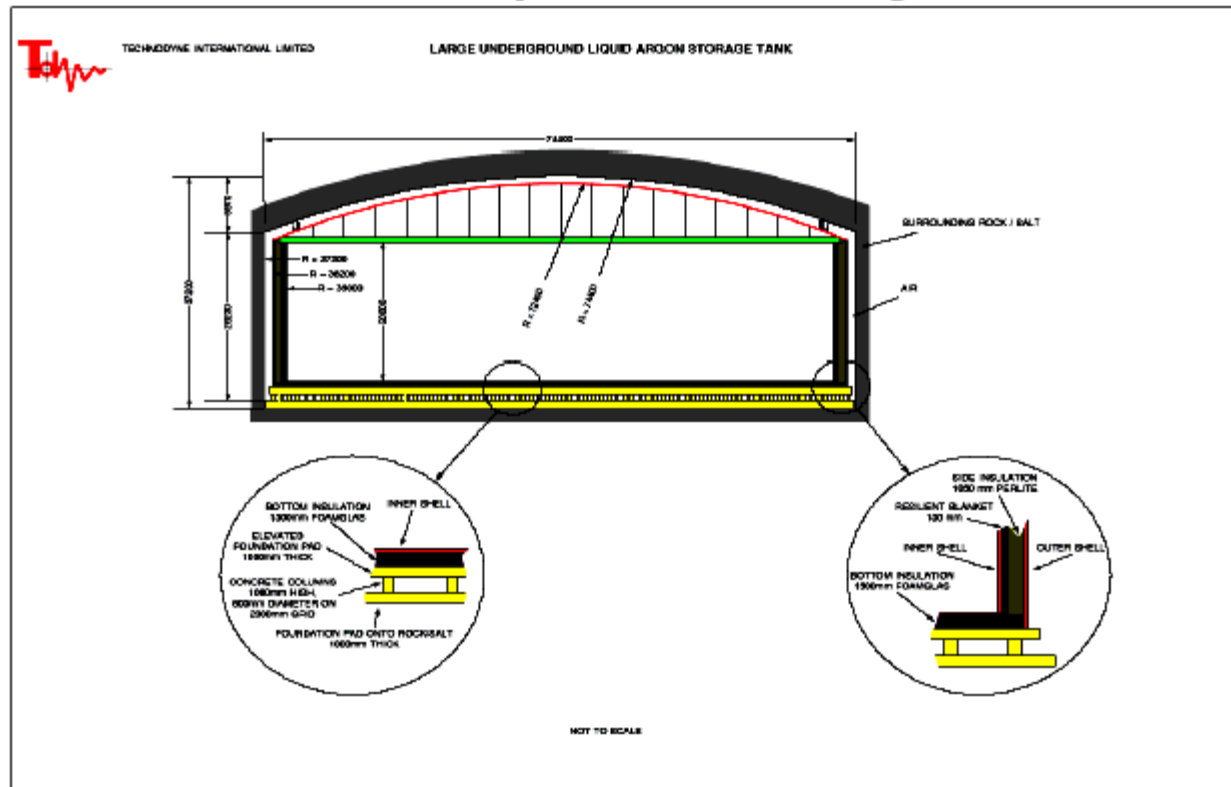
A 100 kton liquid Argon TPC detector



Czy da się zbudować zbiornik?

Tak - nawet większe zbiorniki są standardowo budowane na świecie dla składowania ciekłego gazu ziemnego; firma Technodyne zrobiła projekt

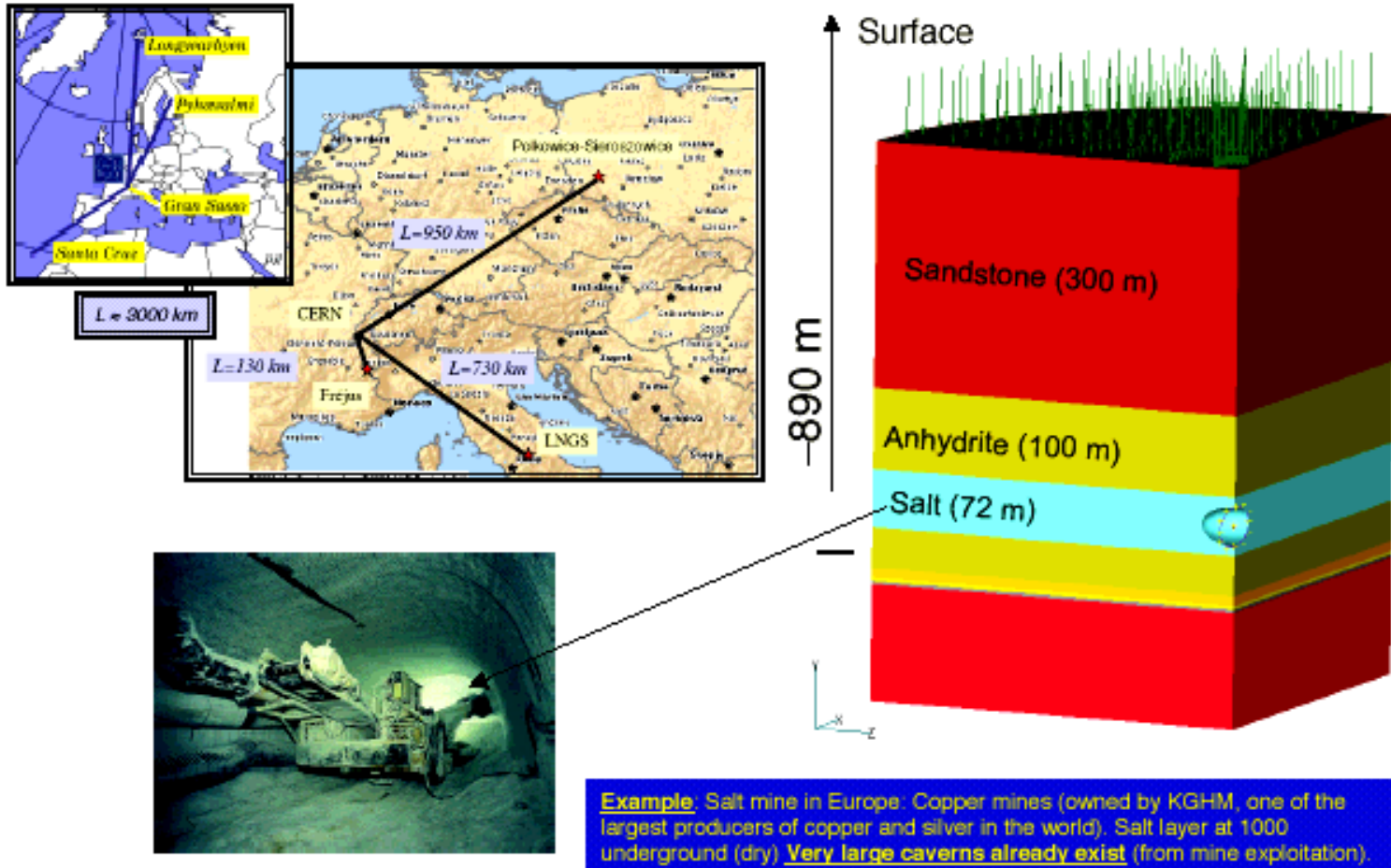
Technodyne baseline design



Tu zadanie było jednak trudniejsze: zbiornik ma trafić pod ziemię

Gdzie go umieścić? Można i w Polsce

Possible European CERN-LBL sites



A teraz małymi krokami...

- Niezależna analiza geo-mechaniczna specjalistów z AGH (J.Ślizowski, K.Urbańczyk) - trochę gorsze wyniki, więc trzeba to sprawdzić
- Pomiar naturalnego tła promieniotwórczego: zapoczątkowane przez J.Kisiela i J.Dordę z U.Śl, dokładna analiza próbek w IFJ (J.W.Mietelski, E.Tomankiewicz, S.Grabowska)

Tabela 1. Wyniki stężenia substancji radioaktywnych w badanych próbkach soli z kopalni Sieroszowice.

Radionuklid	1	2	3	4
	[Bq/kg]			
^{238}U	0.40±0.06	0.34±0.05	0.10±0.02	0.14±0.02
^{234}U	0.38±0.06	0.33±0.05	0.14±0.02	0.14±0.02
^{230}Th	0.29±0.05	0.34±0.06	0.10±0.03	0.19±0.03
<i>Średnio sz. U</i>	<i>0.357</i>	<i>0.337</i>	<i>0.113</i>	<i>0.157</i>
^{232}Th	0.09±0.03	0.08±0.02	0.03±0.02	0.11±0.02
^{235}U	0.015±0.006	0.015±0.007	<0.005	0.008±0.004
^{40}K	nd	nd	nd	2.1±0.3

Wielki Czwartek 2005 w Sieroszowicach



Komora solna na głębokości 950 m od powierzchni ziemi, kubatura (15x15x100) m³

Dr Maciej Budzanowski

Wielki Czwartek 2005 w Sieroszowicach



Podsumowanie

- Nowe „fakty z życia neutrin” są niezwykle ciekawe i nic nie wskazuje by się to miało zmienić
- Warto więc badać neutrina, choć wymaga to cierpliwości i nowych pomysłów
- Warto też pomarzyć o podziemnym polskim laboratorium...

Wyznaczanie masy neutrin

Bezpośrednie pomiary bazujące na końcu widma energii elektronów z rozpadów β

najlepiej zmierzona jest $m_{\nu_e} < 2.2 \text{ eV}$ - w opraciu o rozpad β trytu w eksperymentach Mainz and Troitsk

przyszłość: eksperyment KATRIN z czułością około 0.2 eV

Ograniczenia kosmologiczne

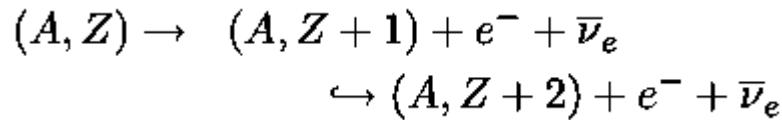
aktualne pomiary promieniowania relikтового w eksperymencie WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy) wraz z wcześniejszym eksperymentem 2dF dają ograniczenie na sumę mas 3 rodzajów neutrin między 0.7 a 1.8 eV

W oparciu o pomiary bezneutrinowego podwójnego rozpadu $0\nu\beta\beta$

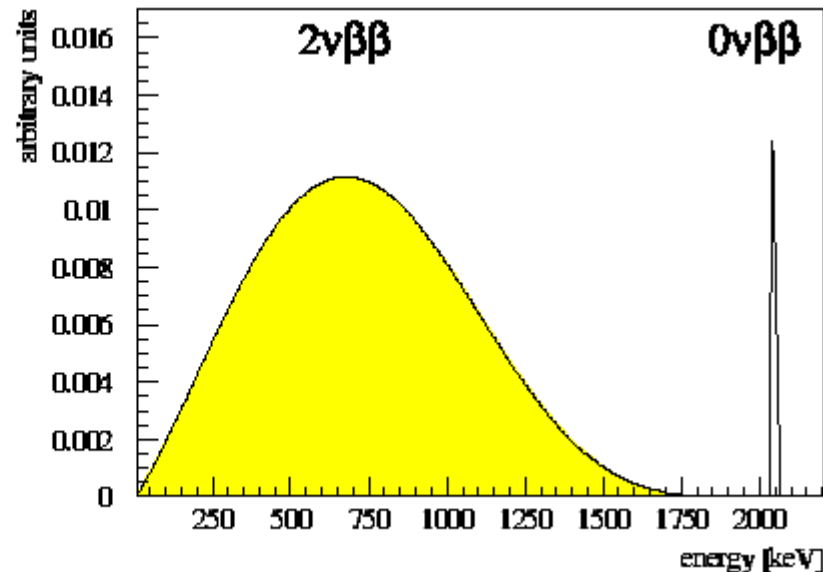
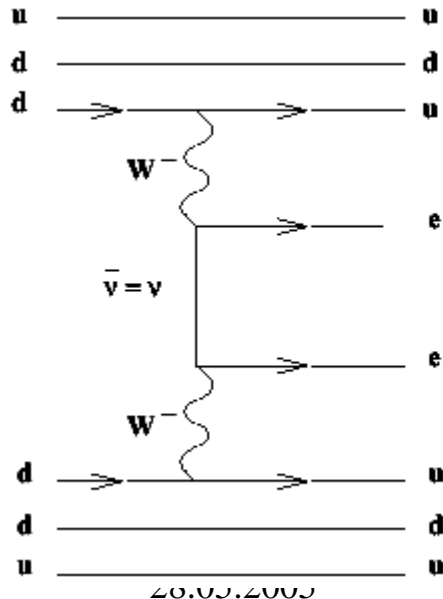
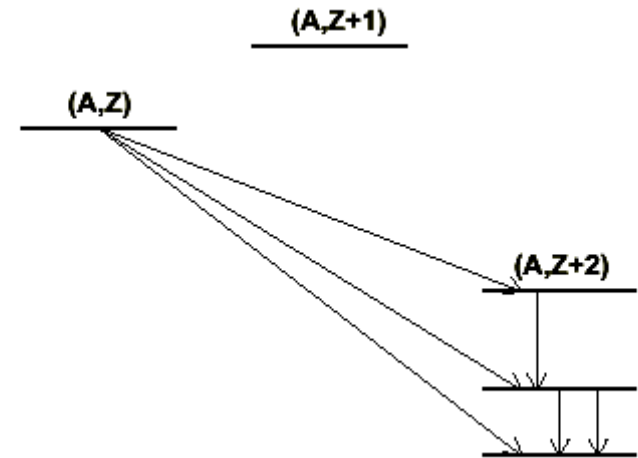
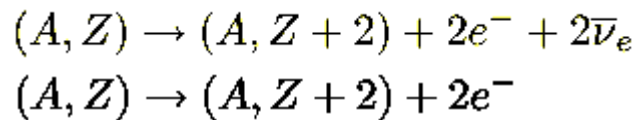
szereg eksperymentów zbiera dane lub jest przygotowywanych z ostatecznym celem osiągnięcia granicy 0.01 eV

Podwójny bezneutrinowy rozpad beta

Dla niektórych jąder parzysto-parzystych sekwencja rozpadów



jest zabroniona przez prawo zachowania energii i zachodzi podwójny rozpad β



Podwójny rozpad β

hep-ex/0210007

$$[T_{1/2}^{0\nu}]^{-1} = G^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \langle m_\nu \rangle^2$$

$|M^{0\nu}|^2$ Element macierzy jądrowej

$\langle m_\nu \rangle^2$ efektywna masa neutrin $\langle m_\nu \rangle = \sum_k \phi_k m_k U_{e,k}^2$

Isotope	$T_{1/2}^{2\nu}$ (y)	$T_{1/2}^{0\nu}$ (y)	$\langle m_\nu \rangle$ (eV)	$\langle m_\nu^\dagger \rangle$ (eV)
^{48}Ca	$(4.2 \pm 1.2) \times 10^{19}$ [16]	$> 9.5 \times 10^{21}$ (76%) [17]	< 8.3	$< 16 - 30$
^{76}Ge	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{21}$ [37,18]	$> 1.9 \times 10^{25}$ [37] $> 1.6 \times 10^{25}$ [19,38]	< 0.35 $< 0.33 - 1.35$	$< 0.3 - 1$
^{82}Se	$(9.2 \pm 1.0) \times 10^{19}$ [20,21]	$> 2.7 \times 10^{22}$ (68%) [20]	< 5	$< 4.6 - 14.4$
^{96}Zr	$(1.4_{-0.5}^{+3.5}) \times 10^{19}$ [22,23]			
^{100}Mo	$(8.0 \pm 0.6) \times 10^{18}$ [24,25,26]	$> 5.5 \times 10^{22}$ [27]	< 2.1	$< 2.3 - 8.4$
^{116}Cd	$(3.2 \pm 0.3) \times 10^{19}$ [28,29,30]	$> 7 \times 10^{22}$ [29]	< 2.6	$< 2.6 - 8.2$
$^{128,130}\text{Te}$		Geoch. ratio[31]	$< 1.1 - 1.5$	
^{128}Te	$(7.2 \pm 0.3) \times 10^{24}$ [31,32]	$> 7.7 \times 10^{24}$ [31]	$< 1.1 - 1.5$	
^{130}Te	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^{21}$ [31]	$> 2.08 \times 10^{23}$	$< 0.9 - 2.0$	$< 0.85 - 5.3$
^{136}Xe	$> 8.1 \times 10^{20}$ [33]	$> 4.4 \times 10^{23}$ [34]	$< 1.8 - 5.2$	$< 2 - 5.2$
^{150}Nd	$7.0_{-0.3}^{+11.8} \times 10^{18}$ [25,35]	$> 1.2 \times 10^{21}$ [25]	< 3	$< 4.6 - 6.5$
$^{238}\text{U}^{(3)}$	$(2.0 \pm 0.6) \times 10^{21}$ [36]			

Neutrina skrajnie wysokich energii

Czy istnieją?
Skąd pochodzą?

U podstaw poszukiwań znajduje się obserwacja promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii w eksperymencie AGASA

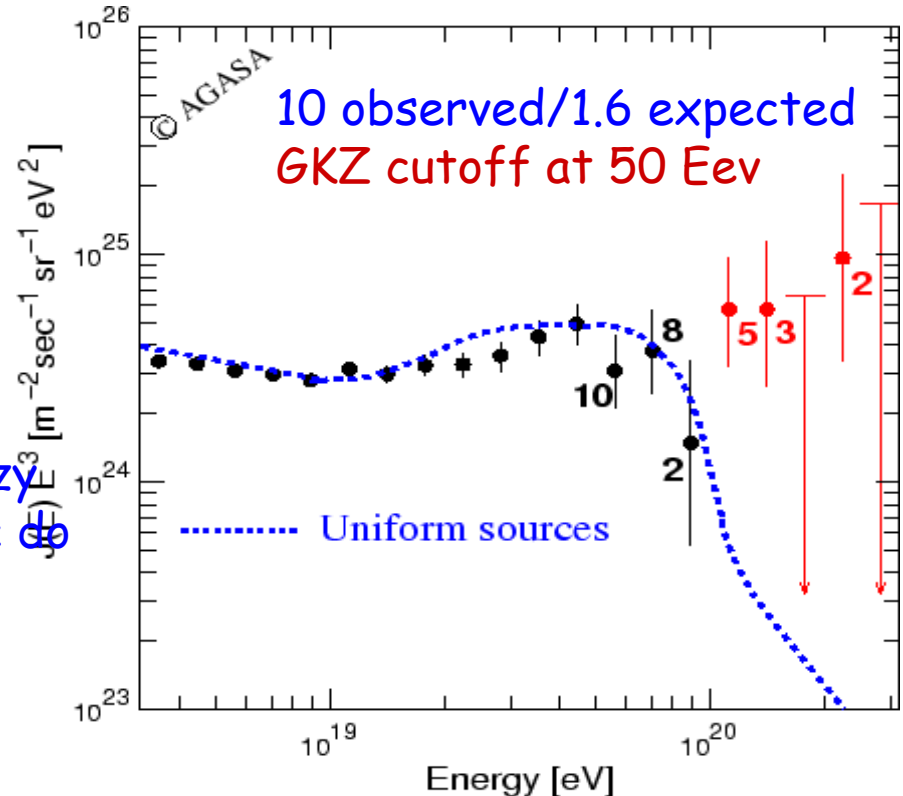
Jest to część programu eksperymentalnego realizowanego przy użyciu wielkich detektorów (objętość do 1 km^3), bazujących na detekcji promieniowania Czerenkowa w lodzie

Amanda, Icecube

lub głęboko w morzu czy jeziorze

Antares, Nestor, (początek stanowił Baikal)

A.Zalewska, seminarium IFJ,
28.05.2005



AMANDA/ICECUBE - Antarctic experiments

