

Stan i przyszłość badań neutrin

Agnieszka Zalewska

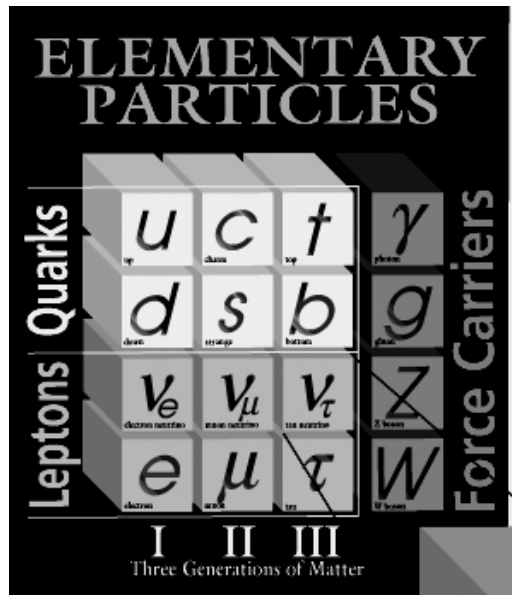
Rada ds. Atomistyki, 29.10.2004

Stan obecny: fakt oscylacji neutrin, solidnie ugruntowany w oparciu o pomiary z eksperymentów SuperKamiokande, K2K, SNO i KamLAND - lata 1998-2004

Przyszłość: precyzyjne pomiary parametrów oscylacji
poszukiwanie łamania symetrii CP
istnienie/nieistnienie neutrina sterylnego
pomiar masy neutrin
charakter neutrina - cząstka Diraca czy Majorany?
badania wysokoenergetycznych neutrin pozaziemskich

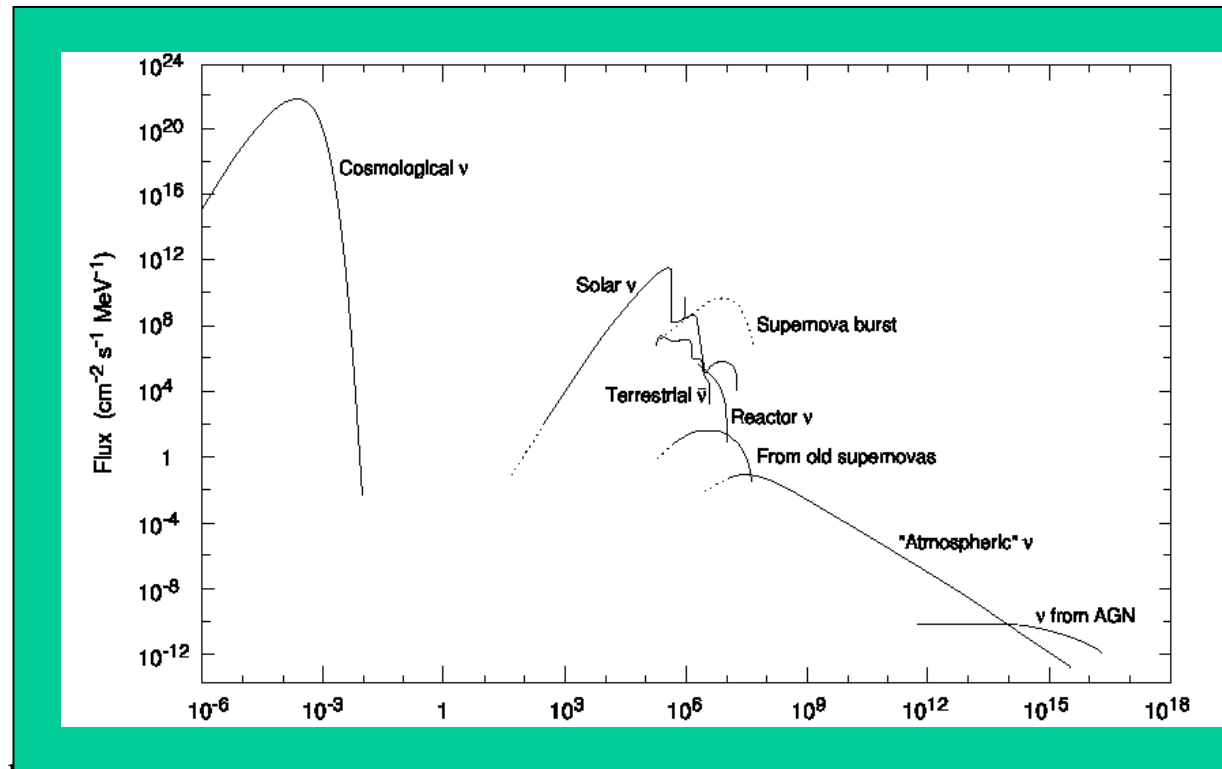
Co się robi/będzie robić w Polsce?

Podstawowe informacje



Istnieją 3 lekkie, aktywne neutrino inne neutrino musiałyby być sterylne

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

W rzeczywistości - przy trzech neutrinach...



U_{MNSP} - Neutrino Mixing Matrix

Solar

$$\theta_{12} = 30.3^\circ$$

large

Chooz + Super- K

$$\tan^2 \theta_{13} < 0.03 \text{ at } 90\% \text{ CL}$$

small, perhaps 0?

Atmospheric

$$\theta_{23} = \sim 45^\circ$$

maximal

$0\nu\beta\beta$ decay

Much discussion
To be determined

$$U = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix}$$

Dirac phases

Majorana phases

$$= \begin{pmatrix} \cos\theta_{12} & \sin\theta_{12} & 0 \\ -\sin\theta_{12} & \cos\theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos\theta_{13} & 0 & e^{-i\delta_{CP}} \sin\theta_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta_{CP}} \sin\theta_{13} & 0 & \cos\theta_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{23} & \sin\theta_{23} \\ 0 & -\sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{i\alpha/2} & 0 \\ 0 & 0 & e^{i\alpha/2+i\beta} \end{pmatrix}$$

solar ν
present

reactor experiments + SK
present

atmospheric ν
present

$0\nu\beta\beta$ experiments
present

Low E solar ν + SNO
future

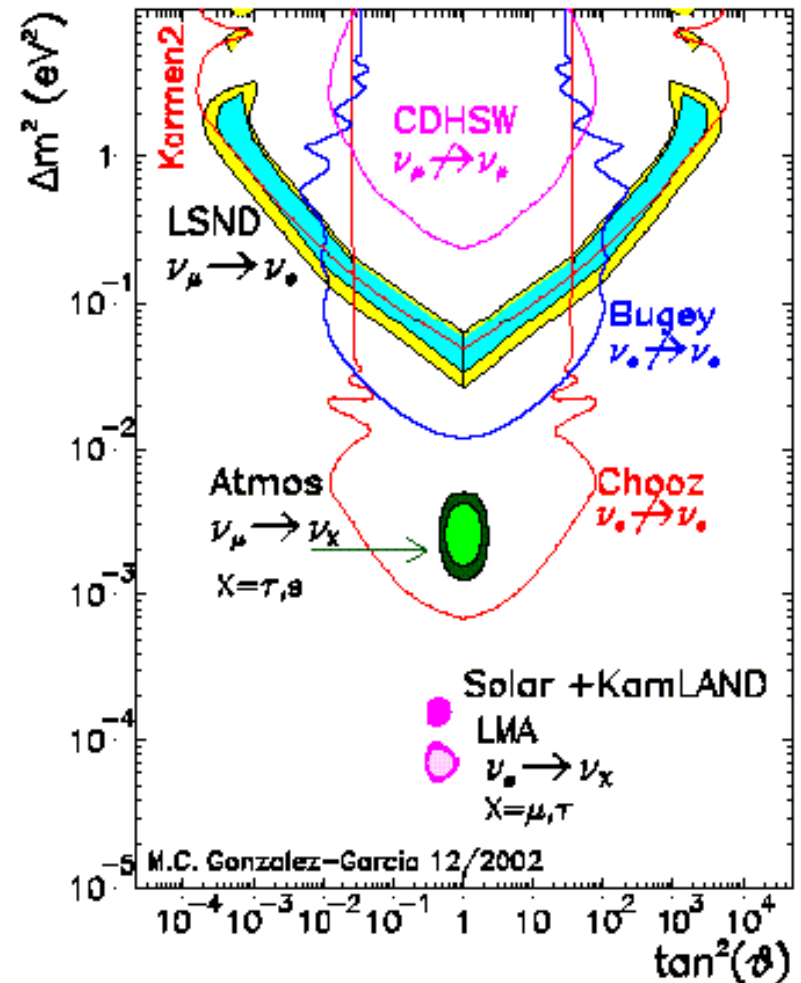
reactor and accelerator ν
future

accelerator ν
future

$0\nu\beta\beta$ experiments
future

Oscylacje neutrin - co już wiadomo

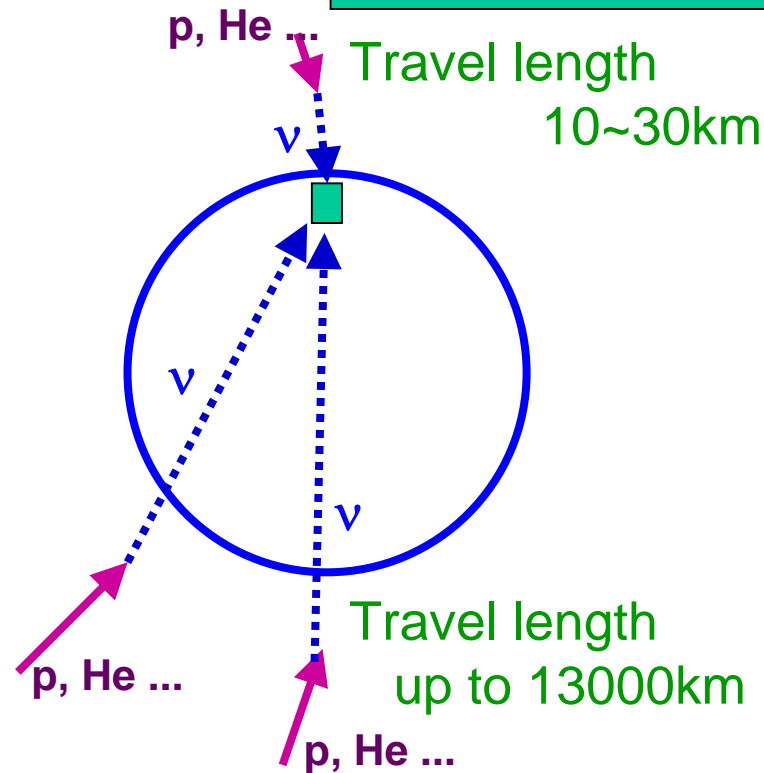
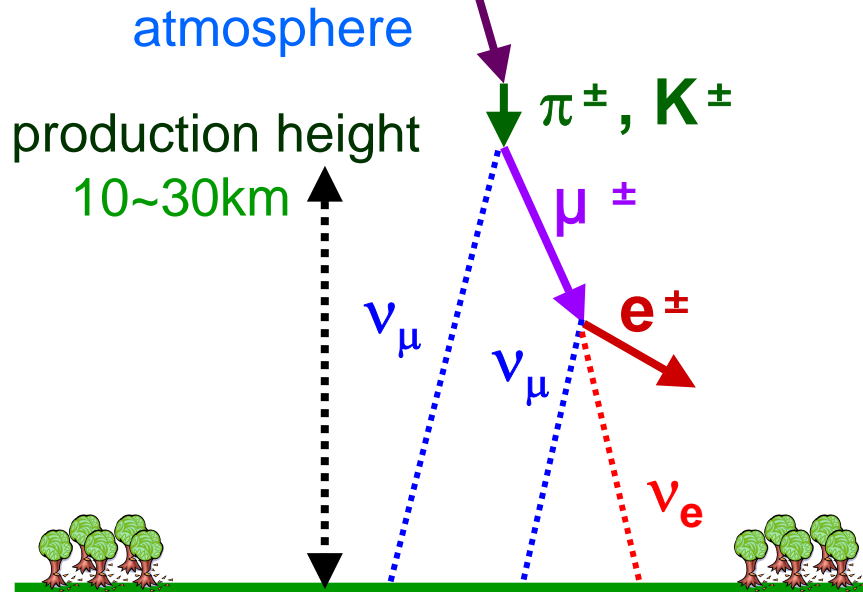
- Dane z eksperymentu Superkamiokande dla neutrin atmosferycznych i dane z eksperymentu K2K dla neutrin akceleratorowych wskazują na oscylacje $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$
- Dane z eksperymentu SNO dla neutrin słonecznych i z eksperymentu KamLAND dla antyneutrin reaktorowych wskazują na oscylacje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



Neutrina atmosferyczne - podstawowe informacje

from Hayato at EPS2003

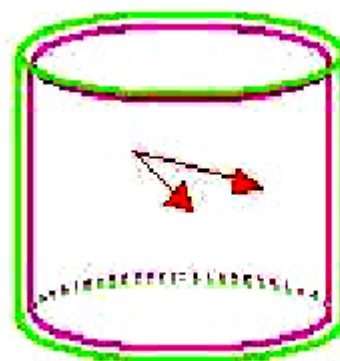
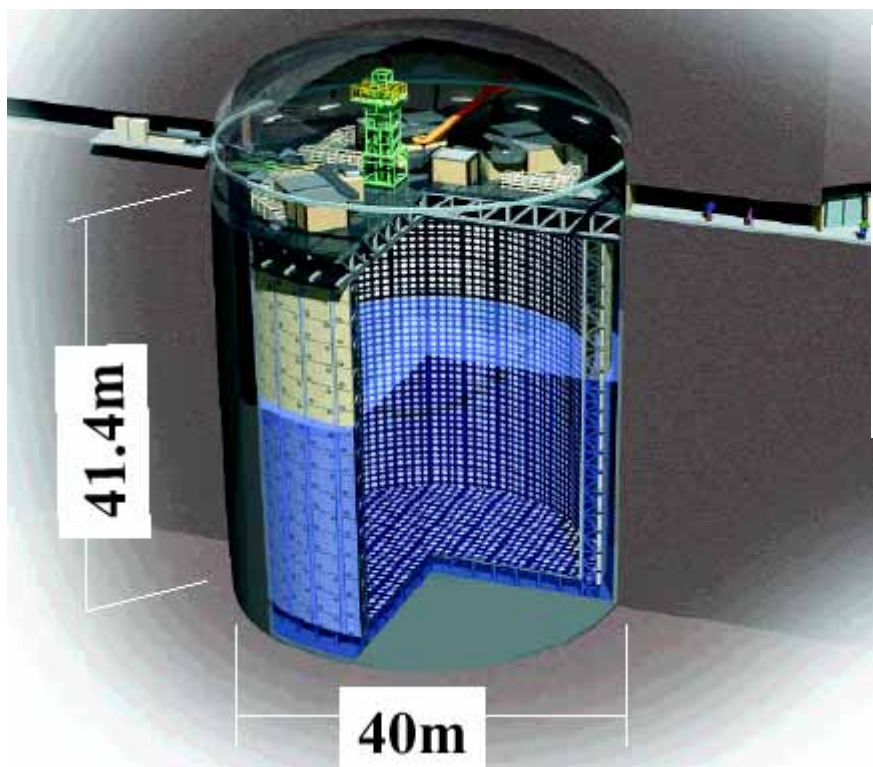
primary cosmic rays
p, He ...



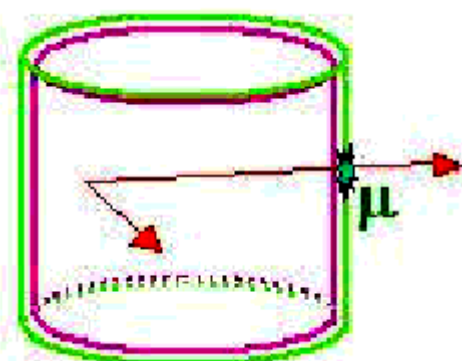
$$\frac{\phi(\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu)}{\phi(\nu_e + \bar{\nu}_e)} \begin{cases} \sim 2 \text{ (for } E_\nu < 1 \text{ GeV)} \\ > 2 \text{ (for } E_\nu > 1 \text{ GeV)} \end{cases}$$

For $E_\nu >$ a few GeV,
(Up-going / down-going) ~ 1
Uncertainty of up/down ratio
< a few %

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

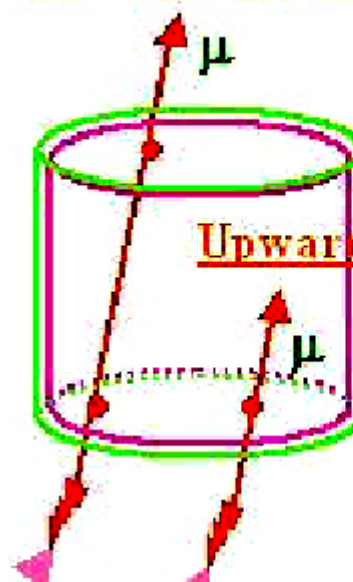


e/μ



μ

Upward through-going μ



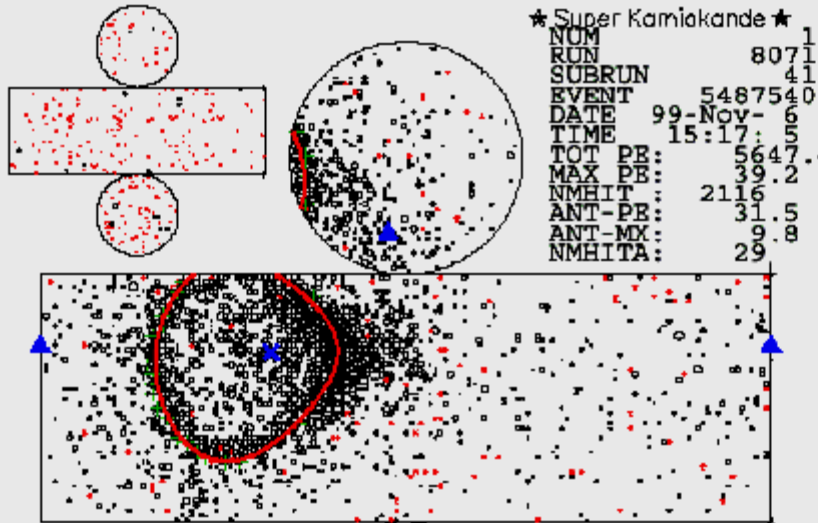
Upward stopping μ

Pomiar energii oraz kierunku μ i e dla reakcji
 $\nu_\mu N \rightarrow \mu N'$ i $\nu_e N \rightarrow e N'$, łącznie ok. 14000 zdarzeń

pierwsza obserwacja w 1998 roku

SuperK - rejestracja e i μ .

★ Super Kamiokande ★
 NUM 1
 RUN 8071
 SUBRUN 41
 EVENT 5487540
 DATE 99-Nov-6
 TIME 15:17:55
 TOT PE: 5647.
 MAX PE: 39.2
 NMHIT: 2116
 ANT-PE: 31.5
 ANT-MX: 9.8
 NMHITA: 29

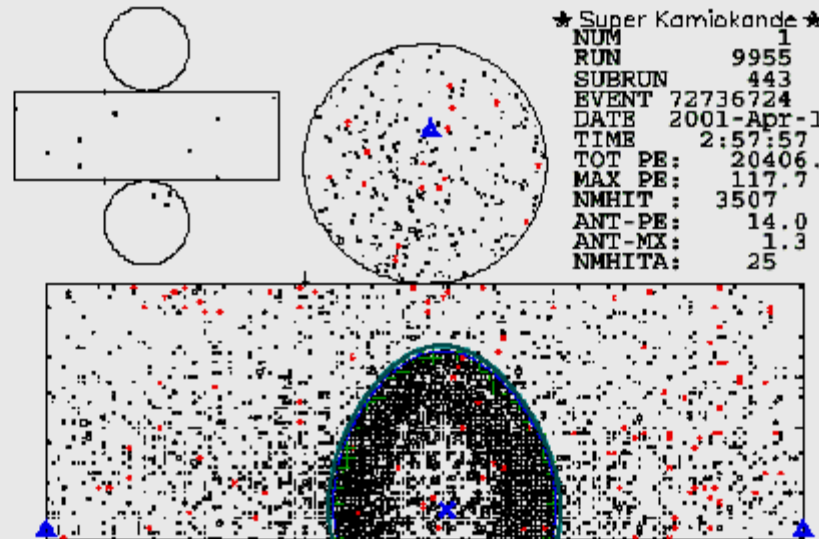


90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 99/11/06:;R= 1:NoYet
 R Z PHI
 11.21: 7.66: -2.92: 0.838
 CANG: RTOT: AMOM: MS
 42.1: 3134: 594: -1.9
 V= 0.304:-0.950:-0.070

RunMODE: NORMAL
 TRG ID: 00000111
 T diff.: 644
 FEVSK: 81002803
 NOD YK/LW: 2/ 3
 SUB EV: 0/ 0
 Dec-e: 0/ 0/ 0/
 CT: 1203
 SKGPS: 131495094
 131474205
 RN: 2150SP
 PSGPS: 94186902
 92767476
 GPSDIF: 0.41

Comnt:

★ Super Kamiokande ★
 NUM 1
 RUN 9955
 SUBRUN 443
 EVENT 72736724
 DATE 2001-Apr-12
 TIME 2:57:57
 TOT PE: 20406.7
 MAX PE: 117.7
 NMHIT: 3507
 ANT-PE: 14.0
 ANT-MX: 1.3
 NMHITA: 25



90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 90/00/00:NoYet:NoYet
 **/04/12:;R= 1:NoYet
 R Z PHI
 4.75: -16.61: 2.30: 0
 CANG: RTOT: AMOM: 1
 42.1: 10051: 1877:
 V= 0.455:-0.881: 0.

RunMODE: NORMAL
 TRG ID: 00000111
 T diff.: 0.487E+05u
 FEVSK: 81002803
 NOD YK/LW: 1/ 1
 BAD ch.: masked
 SUB EV: 0/ 1
 Dec-e: 1(0/ 1/ 0
 CT16: *****e12
 RN: 5594SP: 372
 GPSDIF: 0.41400u
 NHITAC: 1

Comnt:

SuperK - rozkłady kąta zenitalnego

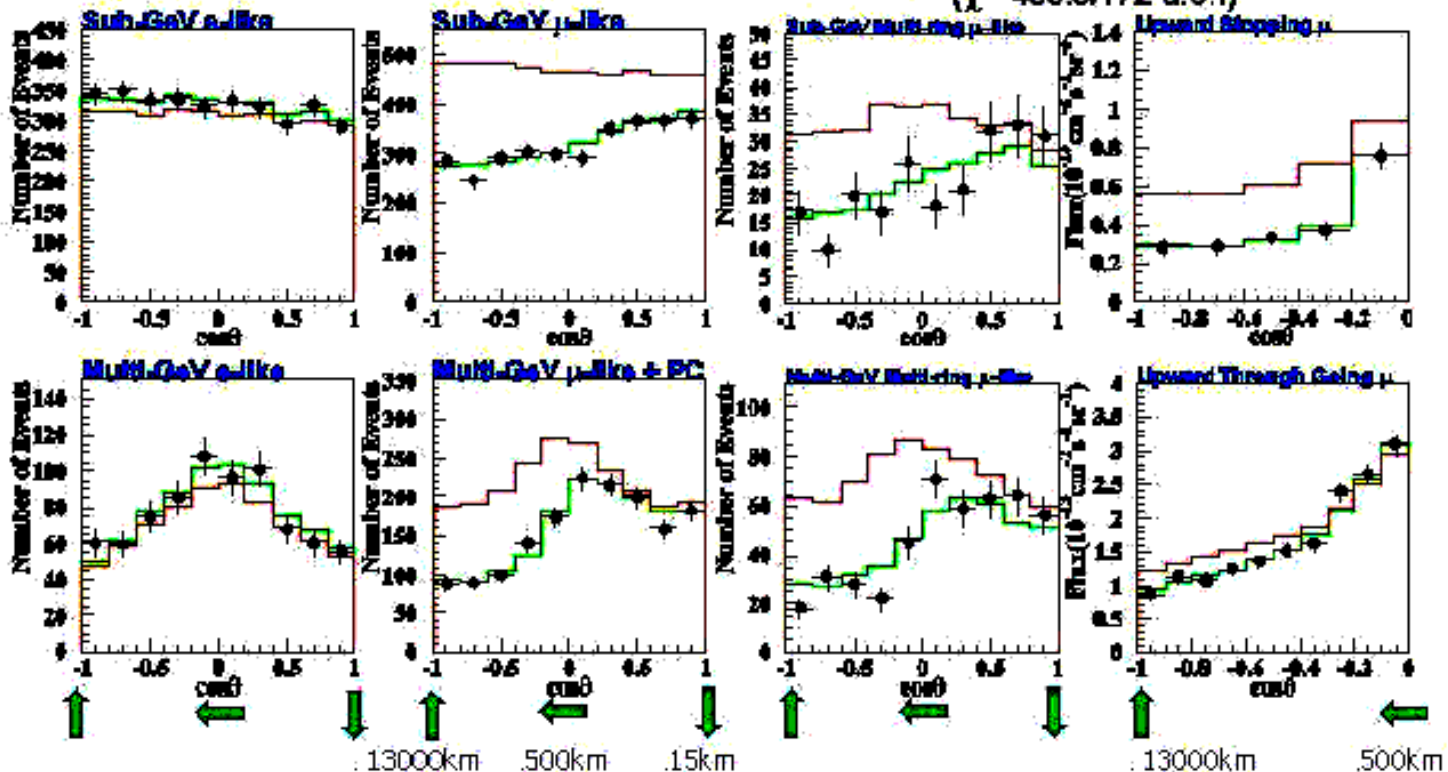
Pełne dane, najlepszy fit daje
 $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{eV}^2$, $\sin 2\theta = 1.0$,

$\chi^2 = 163.2/170$ d.o.f.

(FC+PC+ $\bar{\nu}_\mu$ - μ)

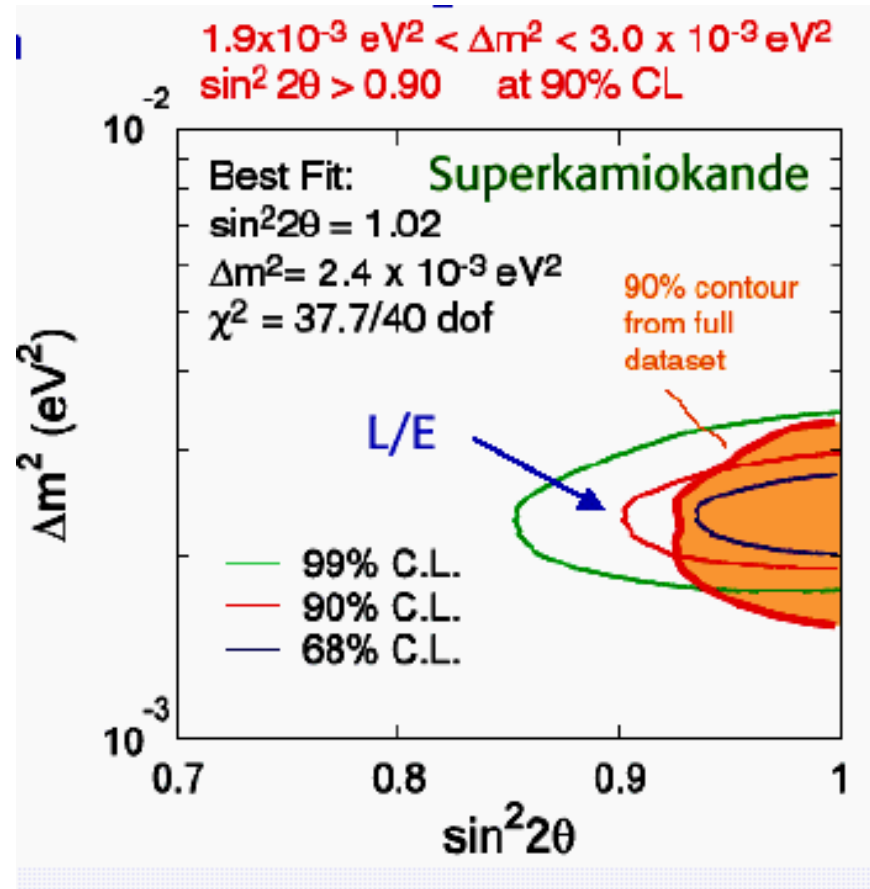
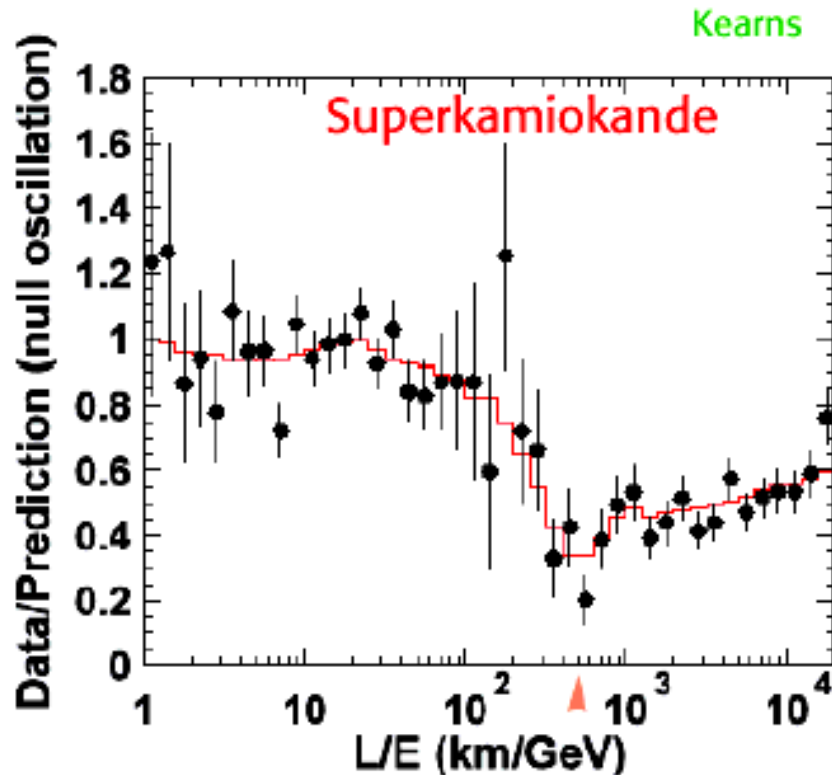
$\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$
2-flavor oscillations

— Best fit $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{eV}^2$, $\sin^2 2\theta = 1.0$
 $\chi^2_{\min} = 163.2/170$ d.o.f.
 — Null oscillation
 $(\chi^2 = 456.5/172 \text{ d.o.f.})$



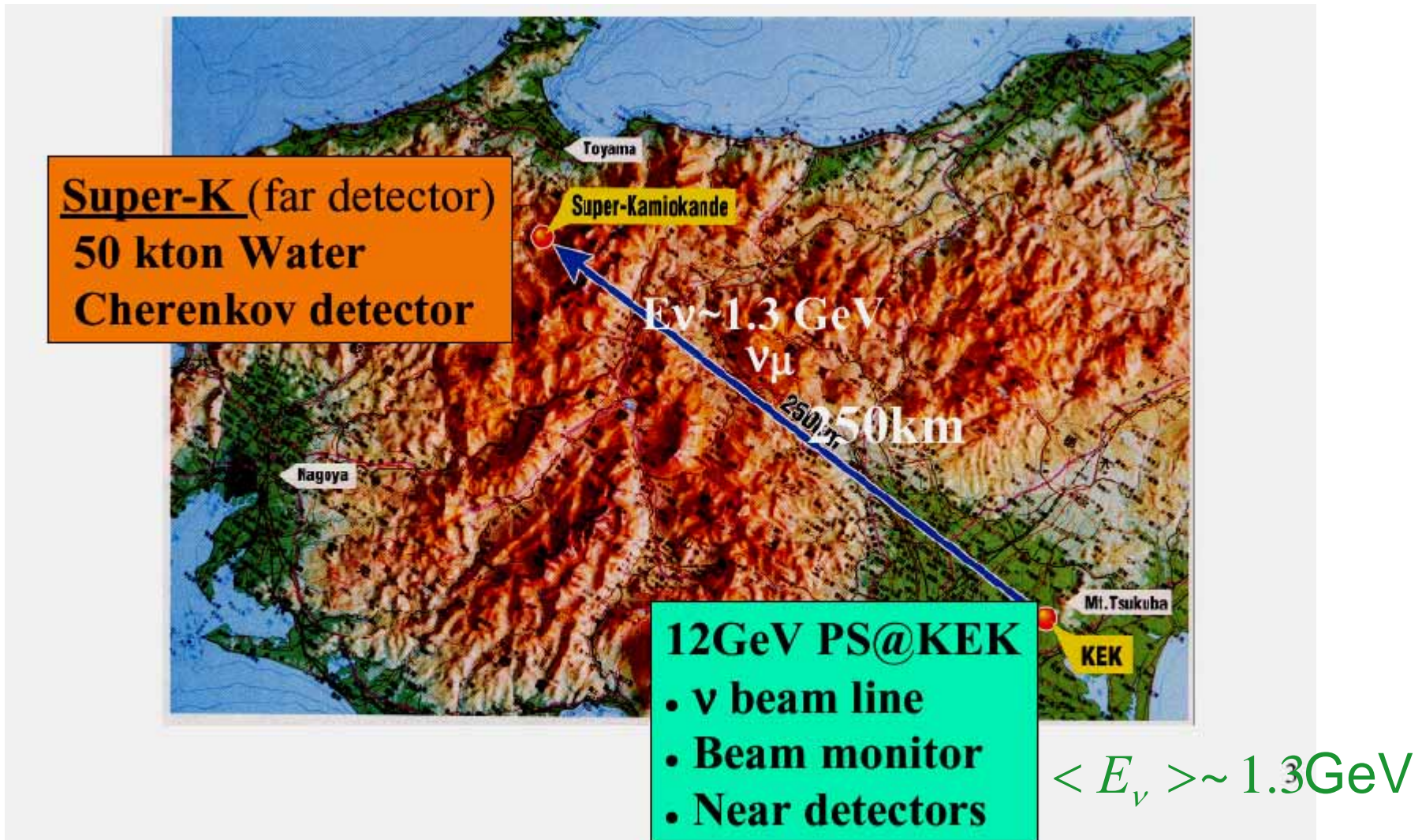
SuperKamiokande - najnowsze wyniki (z Neutrino04)

Rozkład L/E - bezpośrednio wskazanie na oscylacje

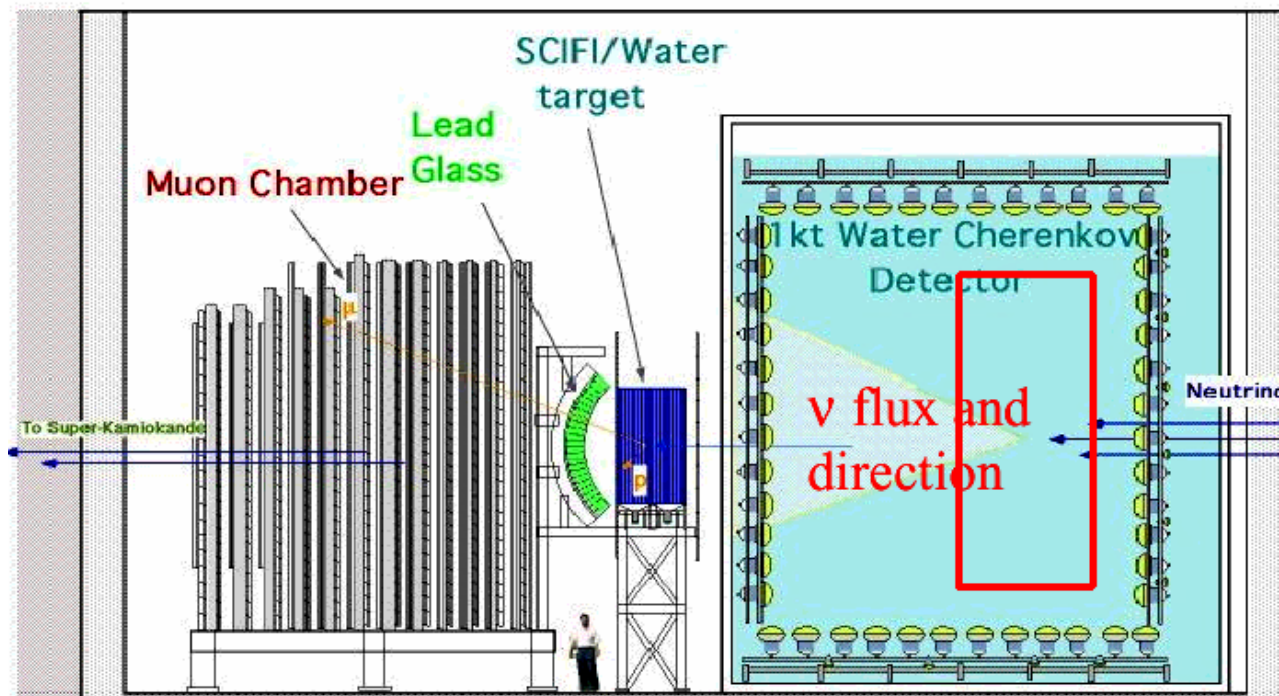


Eksperyment K2K

pierwszy eksperyment akceleratorowy z długą bazą pomiarową



Eksperyment K2K - zasada pomiaru



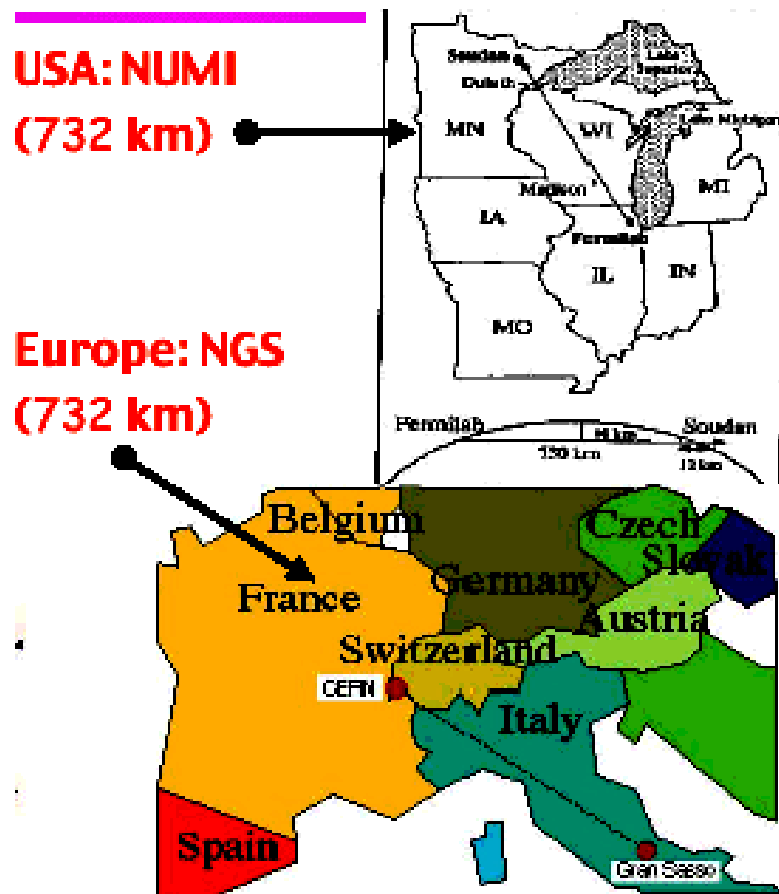
Pomiar pędów i kierunków mionów w bliskim detektorze w KEK
--> strumień neutrin i rozkład energii neutrin w bliskim detektorze
--> przewidywania strumienia i rozkładu energii w det. SuperK
Pomiar oddziaływań neutrin w det. SuperK
--> wnioski na temat oscylacji na podstawie zanikanie strumienia i kształtu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

Inne projekty akceleratorowe z długą bazą

W realizacji:

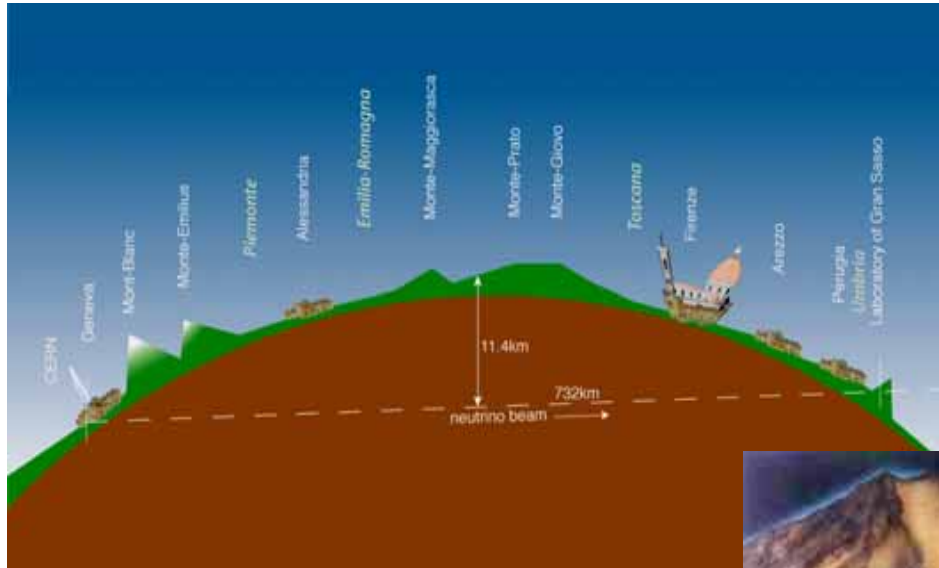
- ◆ NuMi - wiązka neutron z FNAL do detektora MINOS w kopalni Soudan, start in 2005, pomiar osłabienia wiązki ν_{μ} w oparciu o bliski i daleki detektor

- ◆ 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}



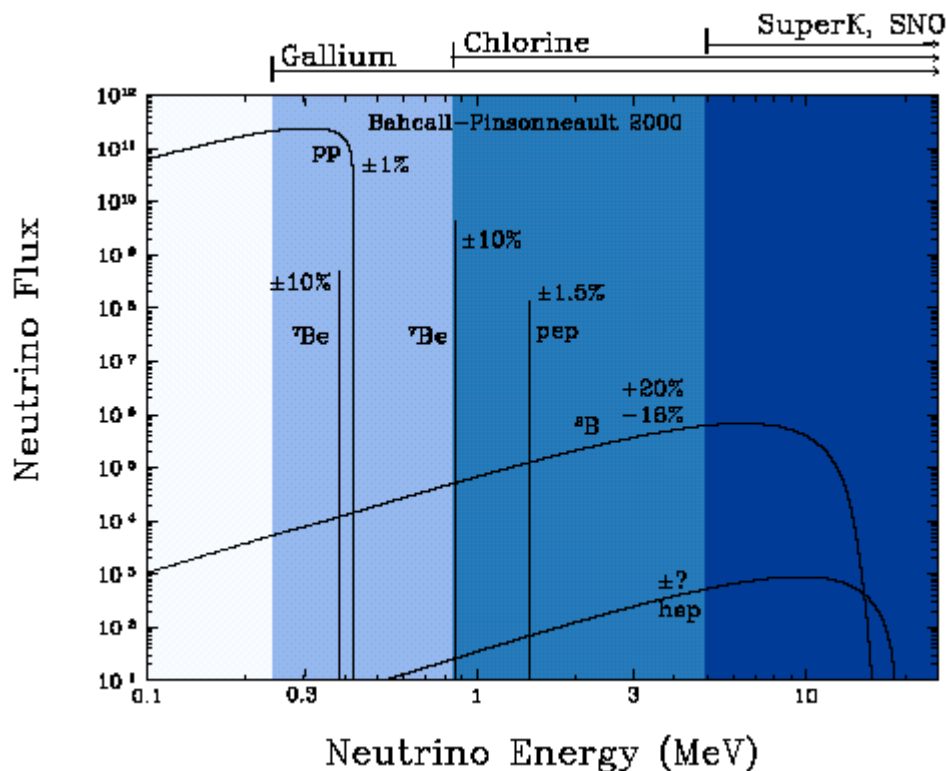
ν_{τ}

ν_e

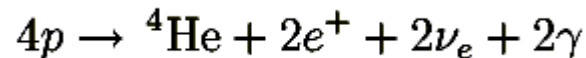
Budowa wiązki w CERN-ie postępuje zgodnie z planem.



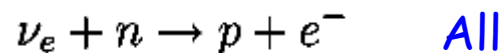
Neutrina słoneczne - podstawowe informacje



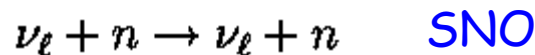
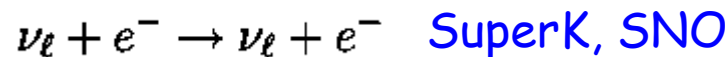
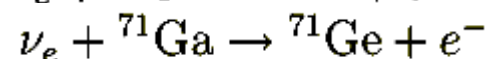
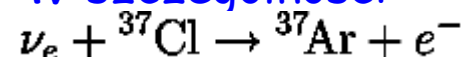
Większość neutrin słonecznych pochodzi z reakcji pp



Eksperymenty mierzą reakcje:

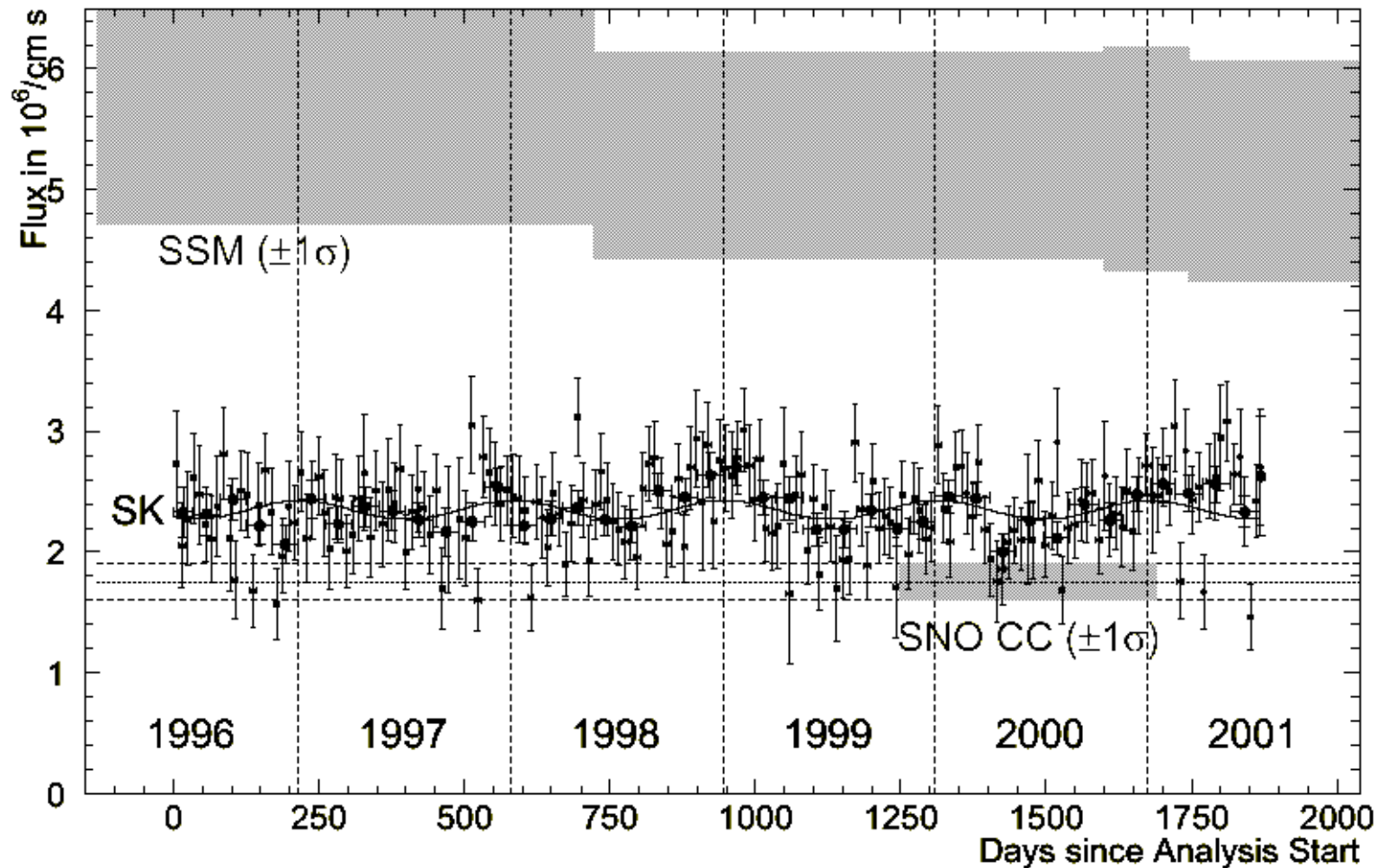


W szczególności:



- 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 od pory roku

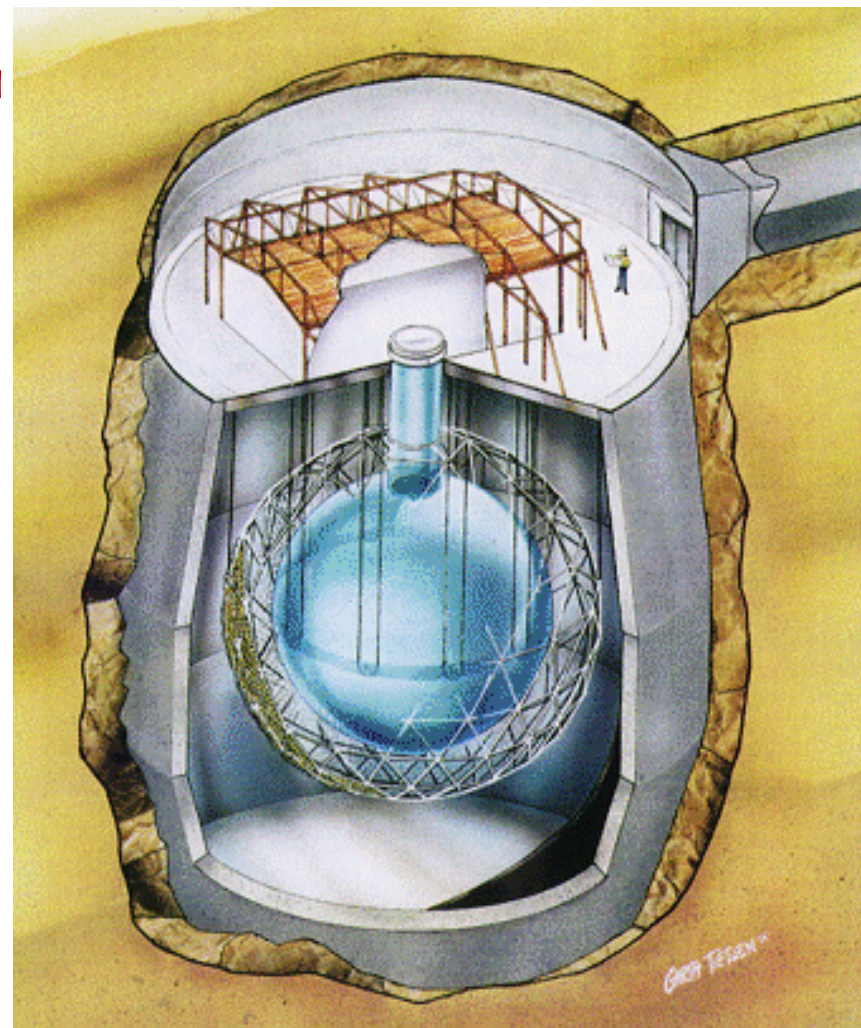


Oscylacje neutrin słonecznych -SNO

Pierwsza publikacja w 2001 w oparciu o 3000 przypadków zebranych w okresie 11.99-05.01

Obserwacja oscylacji neutrin $\nu_e \leftrightarrow \nu_{\mu, \tau}$ w eksperymencie SNO w Kanadzie,

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



Procesy mierzone w eksperymencie SNO

CC



tylko ν_e
dobry pomiar energii ν_e ,
mała czułość na kierunek
 $1 - 1/3 \cos\theta$

NC



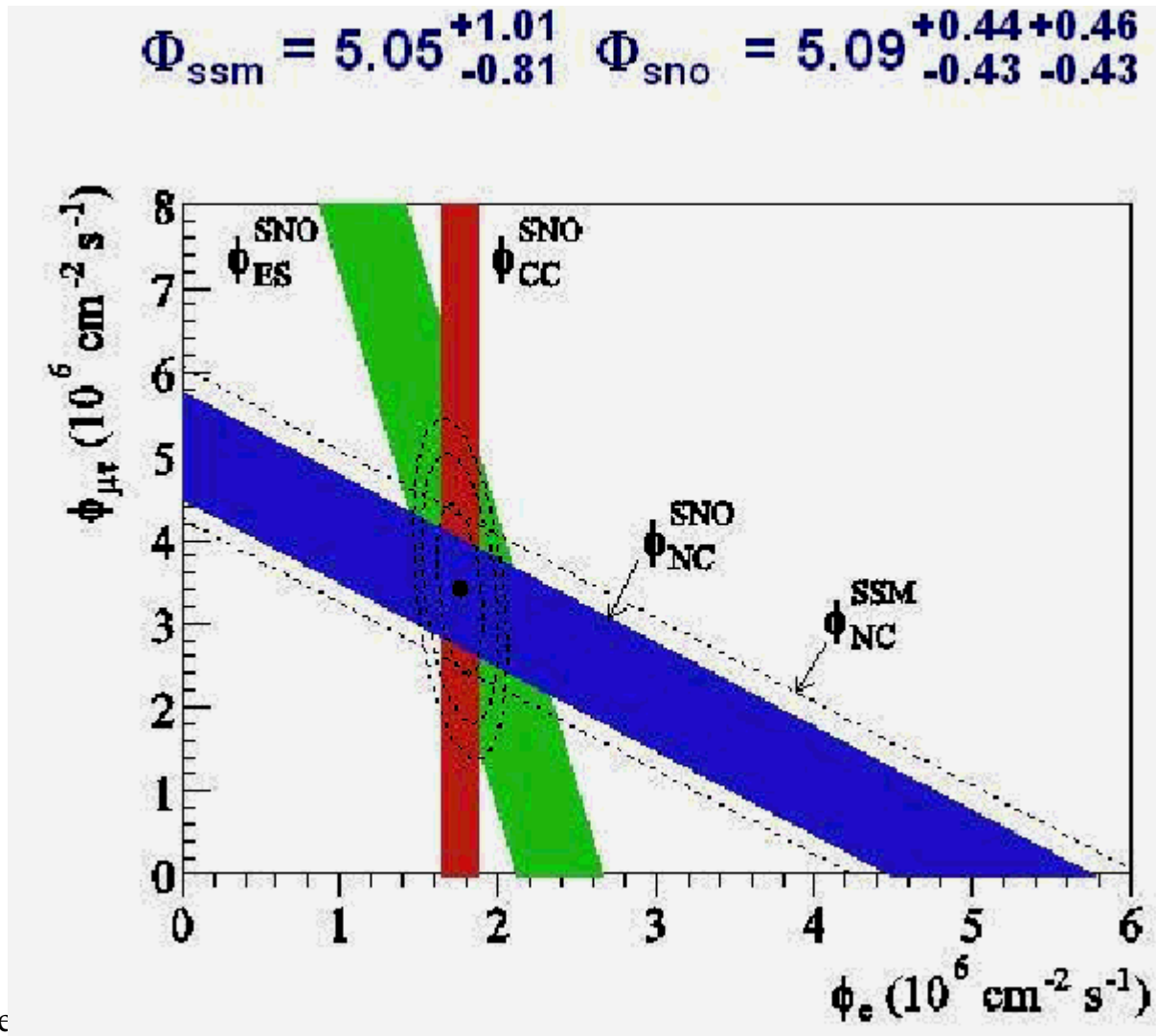
wszystkie rodzaje neutrin,
ten sam przekrój czynny,
pomiar całkowitego
strumienia neutrin
borowych

ES

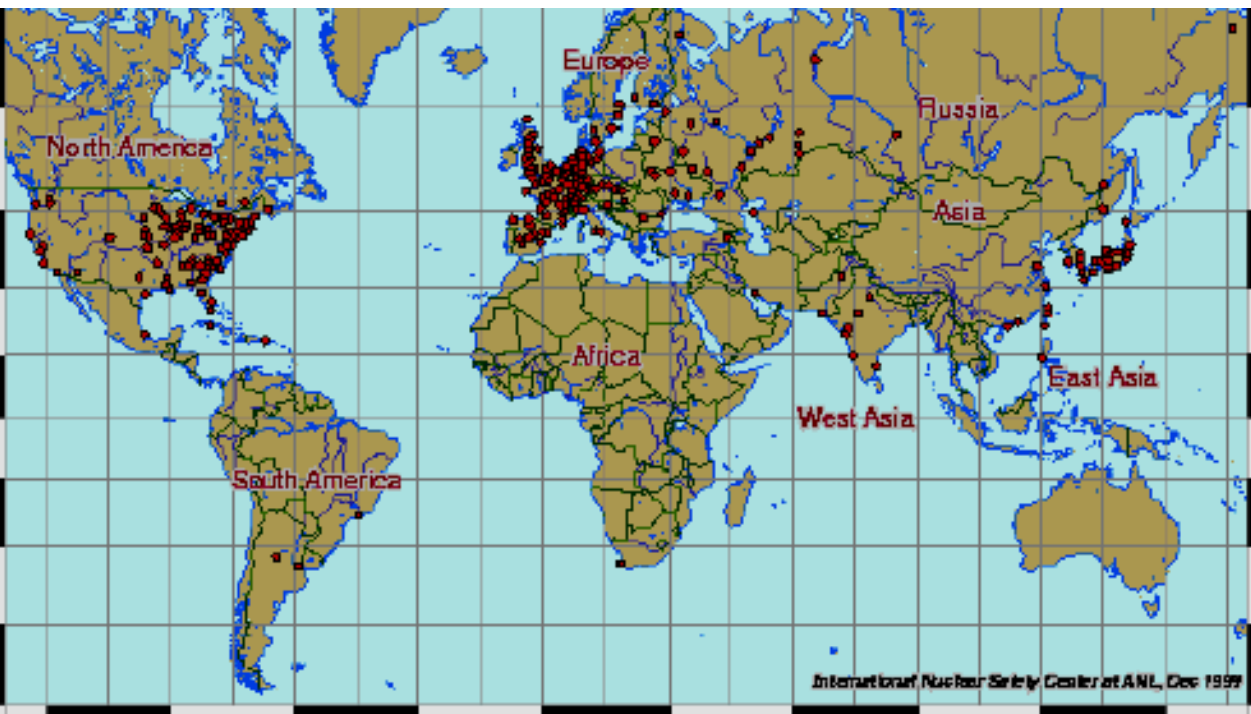


mała liczba przypadków,
głównie czuły na ν_e
duża czułość na kierunek
reakcja mierzona w SuperK

SNO - pomiary strumienia



Antyneutrino z reaktorów



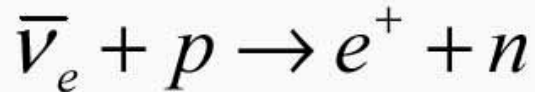
Duża siłownia
jądrowa daje
 6×10^{20} anty- ν /sek
i 3 GW mocy
cieplnej

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

A.Zalewska, Rada ds. Atomistyki,
29.10.2004



Antyneutrino z reaktorów

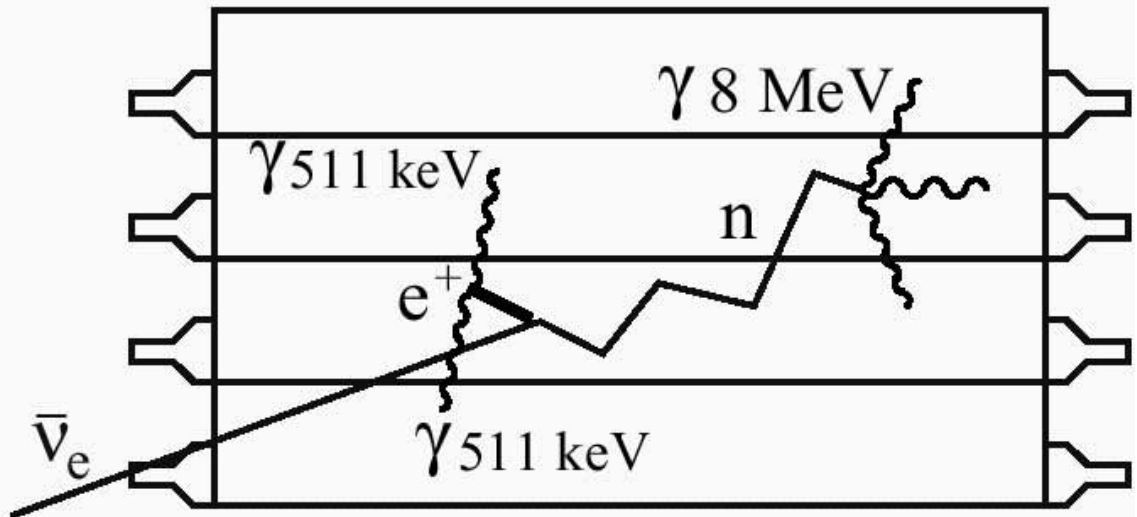


- Large(r) cross-section
- Specific signature

• e^+ kinetic energy
(< 8 MeV)

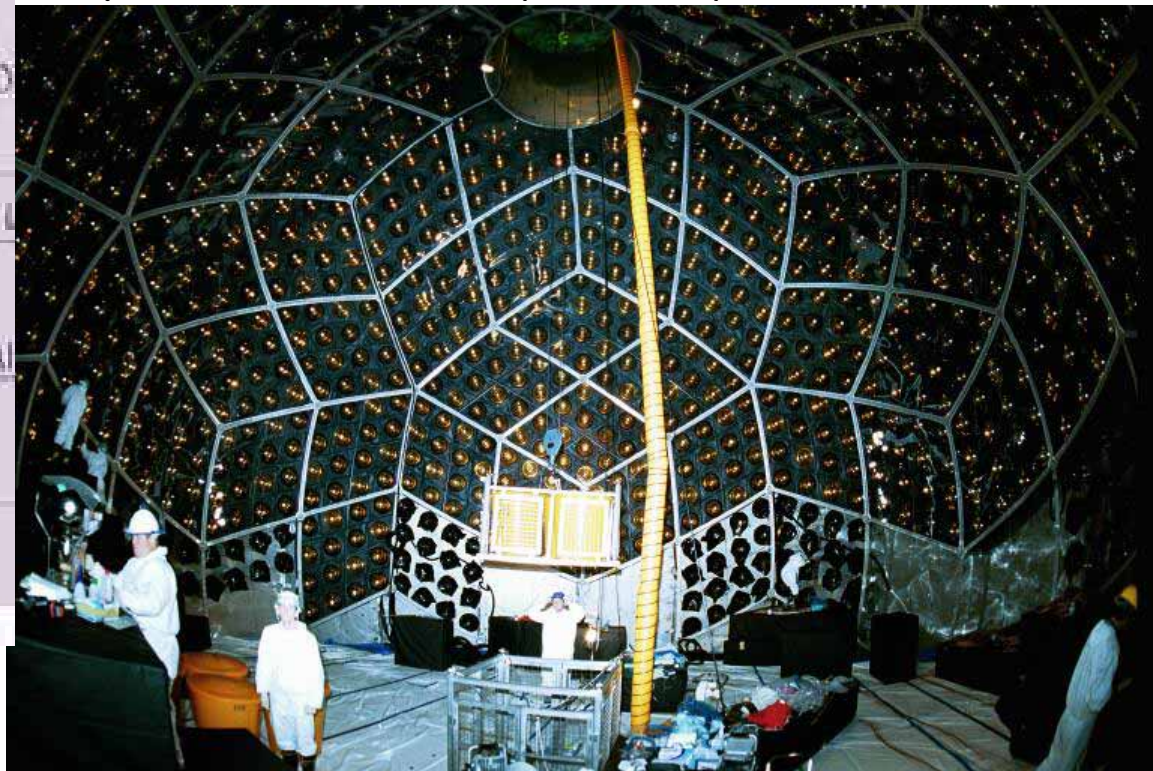
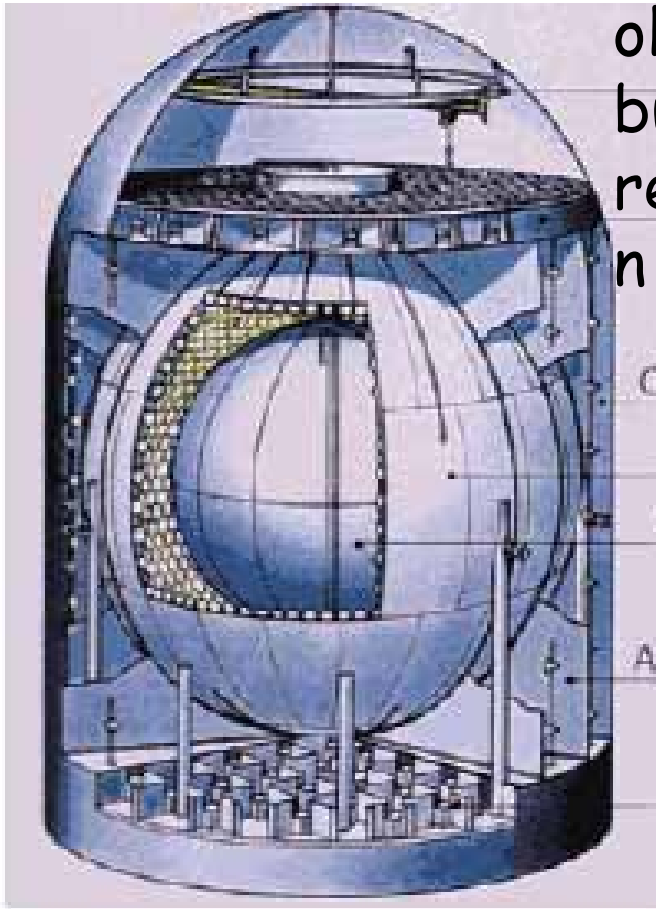
• 2 annihilation γ s
(0.5 MeV)

• neutron capture
(2 to 8 MeV)



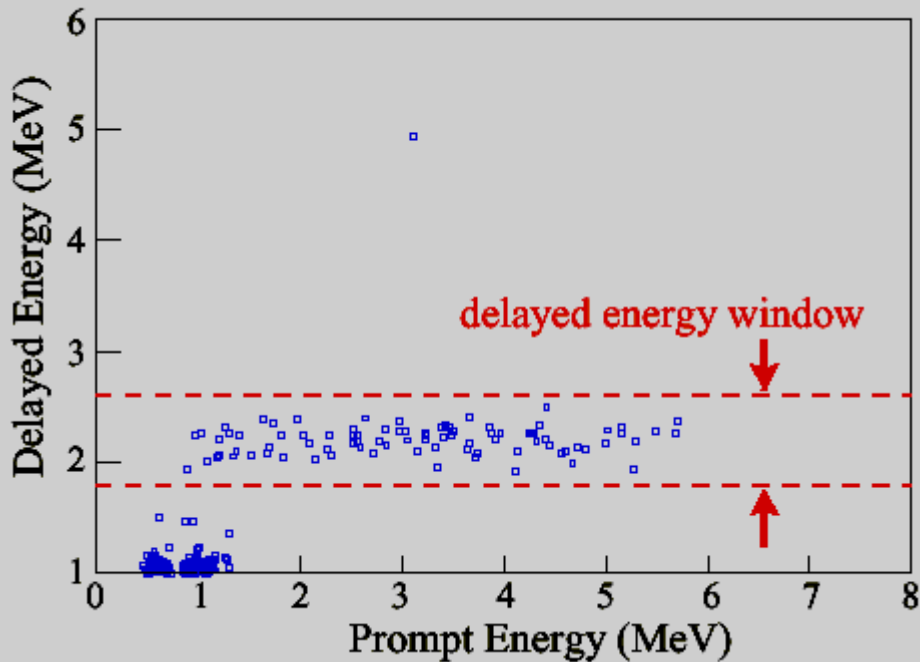
Eksperyment reaktorowy KamLand

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

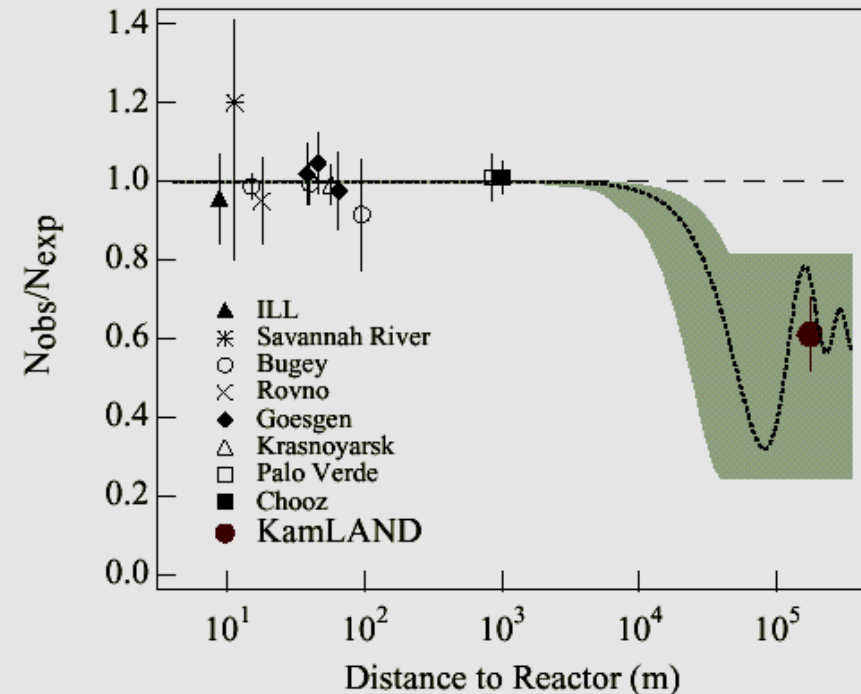


KamLand - pierwsze wyniki z grudnia 2002 r.

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



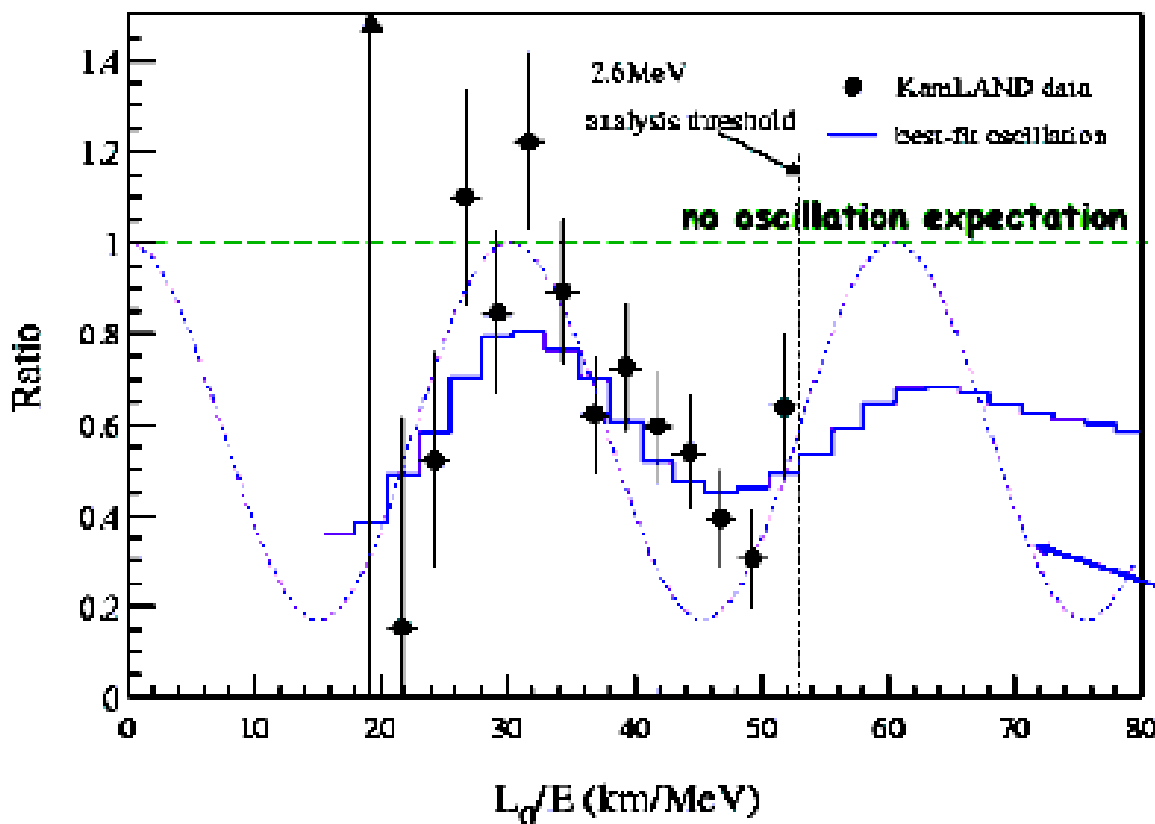
Fast signal of positron annihilation
in coincidence with slower signal of
neutron capture



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

KamLAND - najnowsze wyniki (z Neutrino04)

Rozkład L/E - bezpośrednio wskazanie na oscylacje

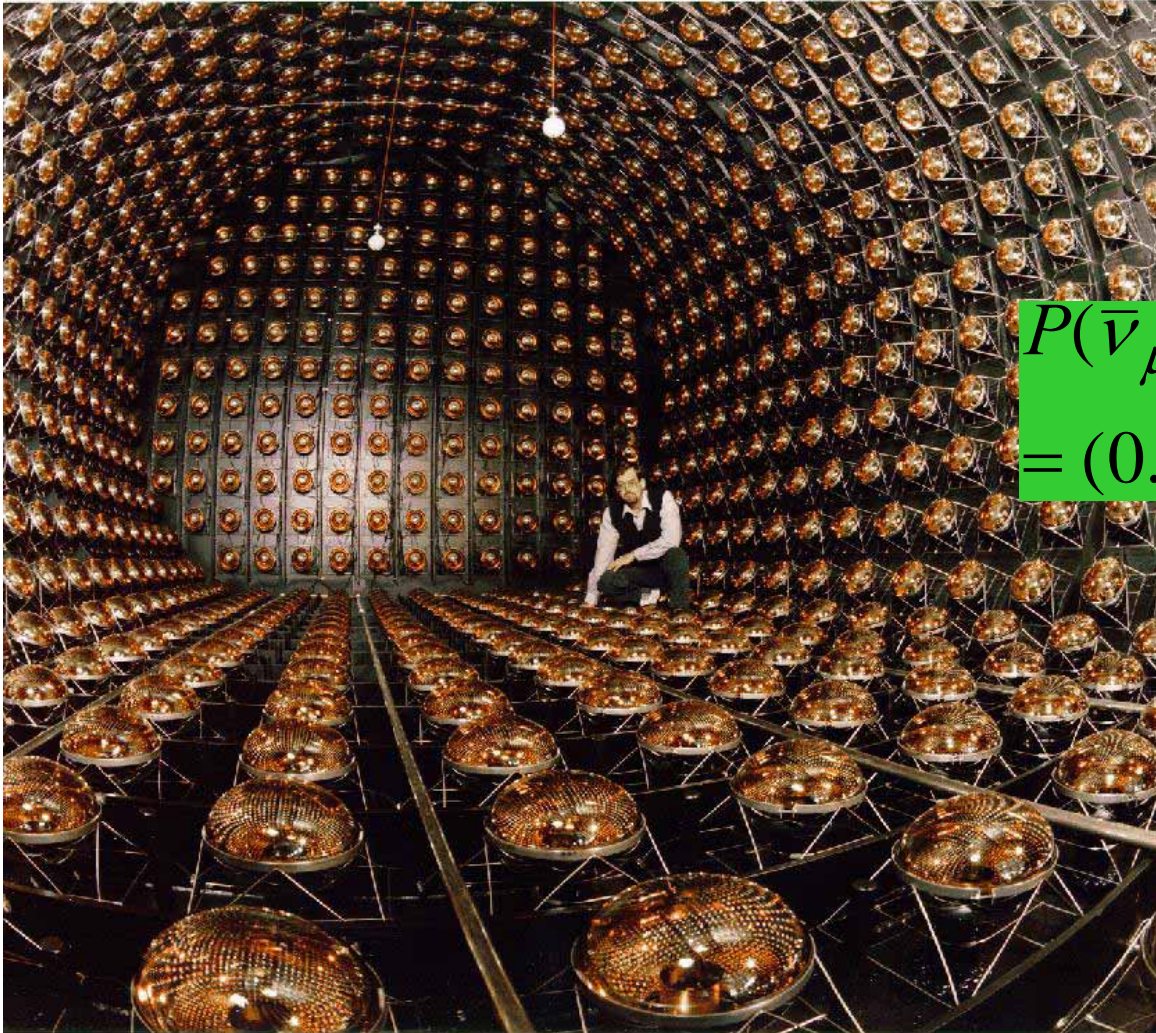


$$\Delta m_{12}^2 = 8.2^{+0.6}_{-0.5} \times 10^{-5} eV^2$$

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

Krzywa dla
eksperymentu
przy L=180 km

Efekt LNSD



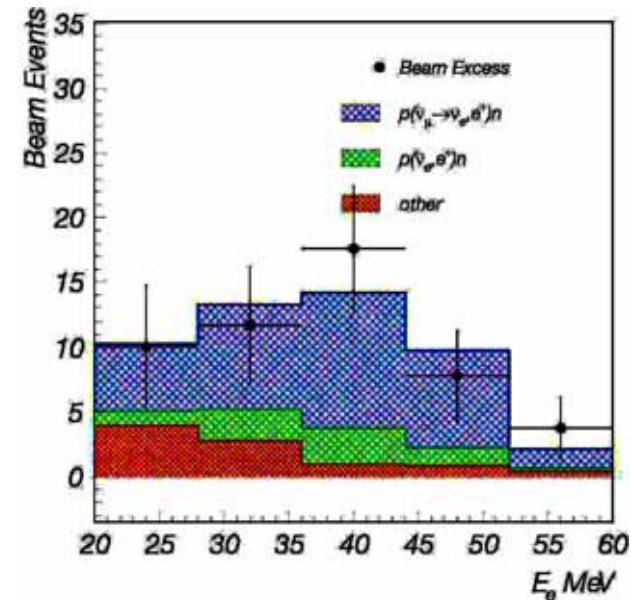
LSND, Lawrence Livermore National Laboratory, CA

29.10.2004

Obserwowany nadmiar e^+ interpretowany jako pochodzący od $\bar{\nu}_{e,l}$, będących wynikiem oscylacji między ν_{μ} i ν_e

$$P(\bar{\nu}_{\mu} \rightarrow \bar{\nu}_e)$$

$$= (0.264 \pm 0.067 \pm 0.045)\%$$



Dalsza przyszłość pomiarów oscylacji

Program fizyczny: lepsze wyznaczenie parametrów oscylacji, przede wszystkim kąta mieszania θ_{13} , badanie niezachowania CP dla neutrin, wyznaczenie znaku różnicy masy Δm_{23}^2

Liczba oddziaływań neutrin z oscylacji zarejestrowanych w eksperymencie zależy od wydajności źródła neutrin, długości bazy pomiarowej i wielkości detektora.

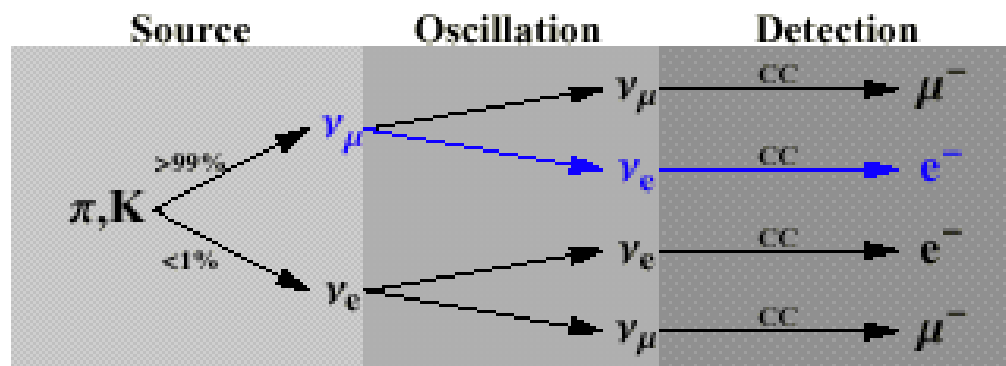
Przyszłe wydajne źródła neutrin:

- 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

Rozważa się budowę znacznie większych detektorów

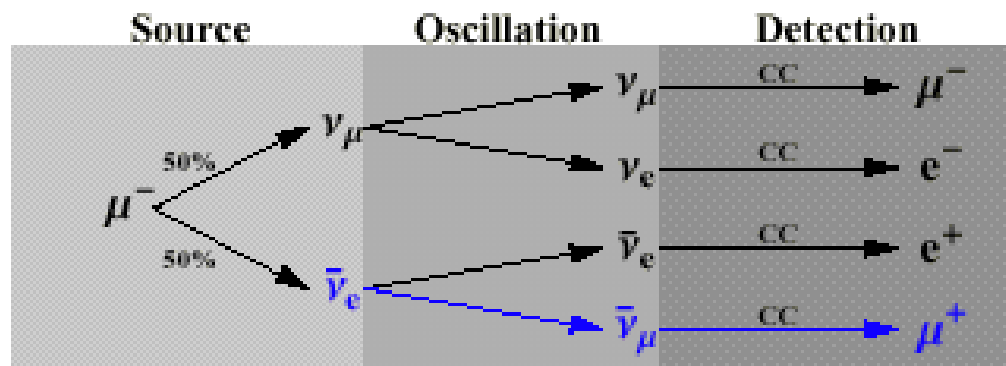
Projekty typu LBL - dalsza przyszłość

Superbeams



Superwiązki
-konwencjonalne wiązki
dużej intensywności

Neutrino Factories



Fabryki neutrin
- nowy typ
akceleratora

Next generation LBL experiments in Japan
 “J-PARC - Kamioka neutrino project”

Pierwsza superwiązka



Baseline ~295km

Conventional ν_μ beam

Beam Energy ~1GeV

→ Will be adjusted to the oscillation maximum

Beam power

Far detector

Physics

1st phase

0.75MW

Super
Kamiokande(50kt)

disappearance $\nu_\mu \rightarrow \nu_X$
 appearance $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$
 NC measurements

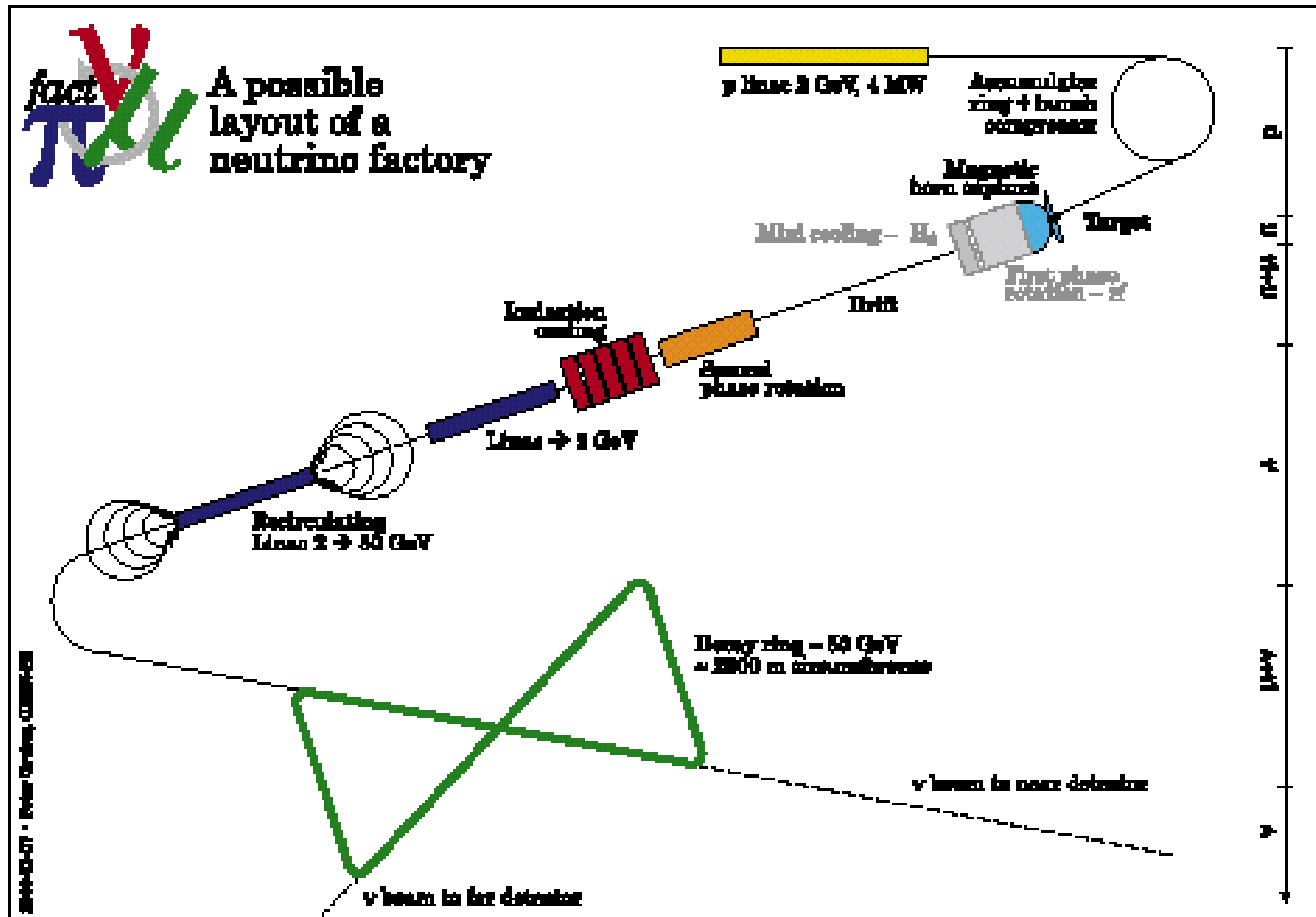
2nd phase

~4MW

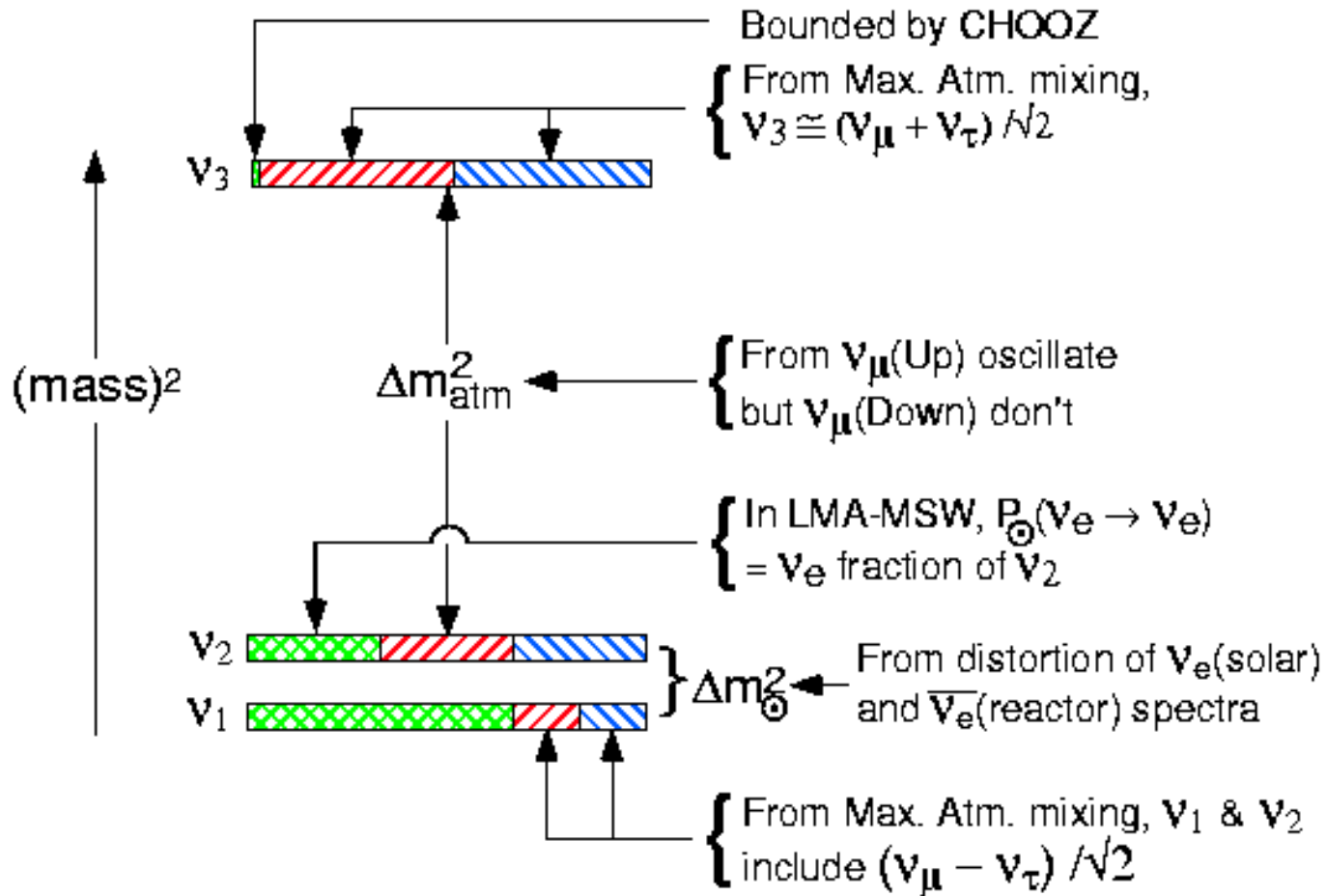
Hyper
Kamiokande(1Mt)

CP violation
 Proton decay

CERN-owska koncepcja fabryki neutrin



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

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

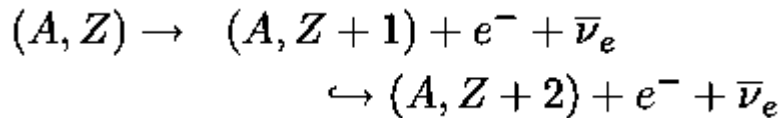
aktualne pomiary promieniowania relikтового w eksperymencie WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy) wraz z wcześniejszym eksperymentem 2dF dają ograniczenie na sumę mas 3 rodzajów neutrin między 0.7 a 1.8 eV

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

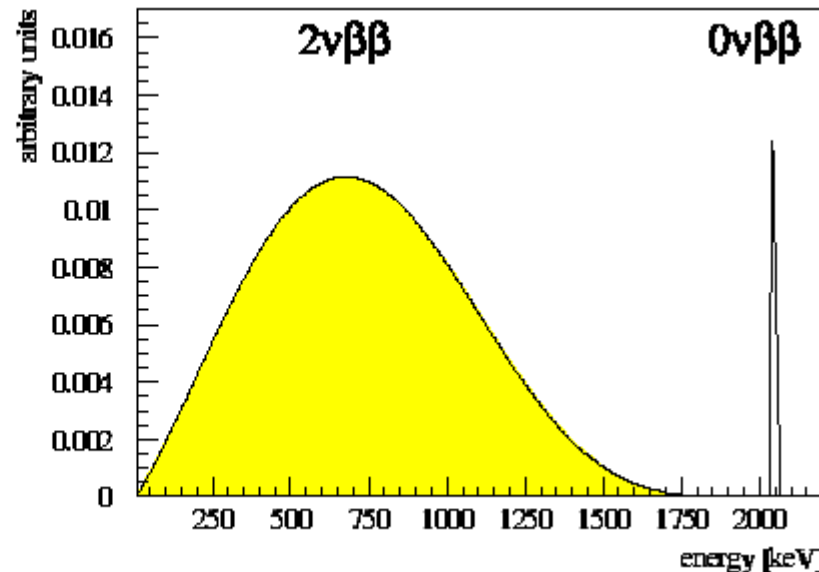
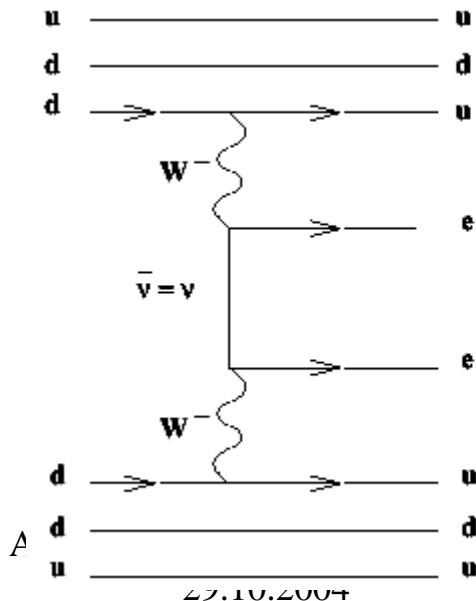
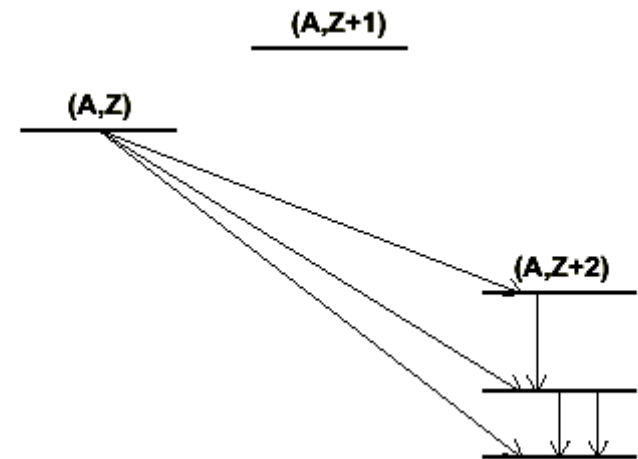
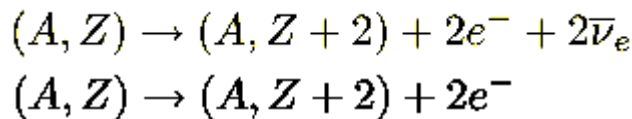
szereg eksperymentów zbiera dane lub jest przygotowywanych z ostatecznym celem osiągnięcia granicy 0.01 eV

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

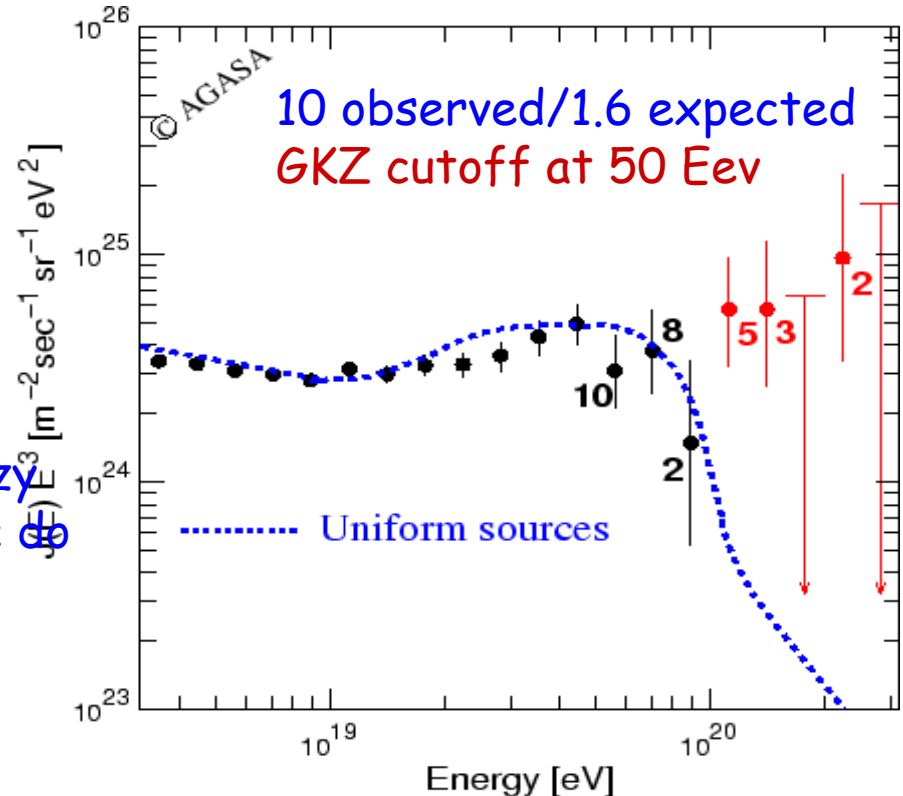
Jest to część programu eksperymentalnego realizowanego przy użyciu wielkich detektorów (objętość do 1 km^3), bazujących na detekcji promieniowania Czerenkowa w lodzie

Amanda, Icecube

lub głęboko w morzu czy jeziorze

Antares, Nestor, (początek stanowił Baikal)

A.Zalewska, Rada ds. Atomistyki,
29.10.2004



AMANDA/ICECUBE - Antarctic experiments



Polacy w badaniach neutrin

Dawniej:

Eksperyment CDHSW

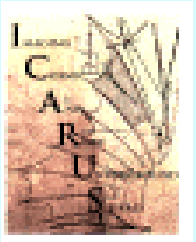
Neutrino w komorze pęcherzykowej BEBC

Obecnie:

D.Kiełczewska + doktoranci w eksperymencie SuperKamiokande

M..Wójcik + doktoranci w eksperymentach Gallex i Borexino

Ponad 20-osobowa polska grupa w eksperymencie ICARUS



Eksperyment ICARUS

(Imaging Cosmic And Rare Underground Signals)

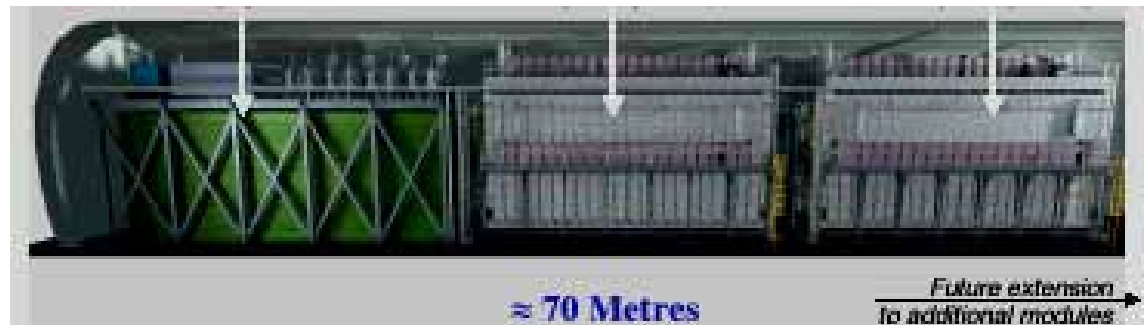
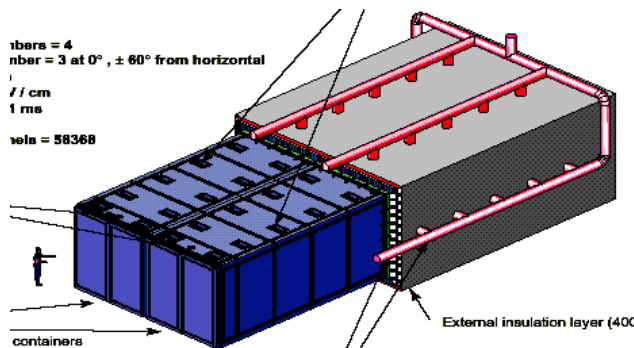
Problematyka fizyczna:

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, instalacja 2004

T3000 - detektor o docelowej masie 3000 ton, instalacja 2007-2008,
(prawdopodobnie tylko 1800 ton)

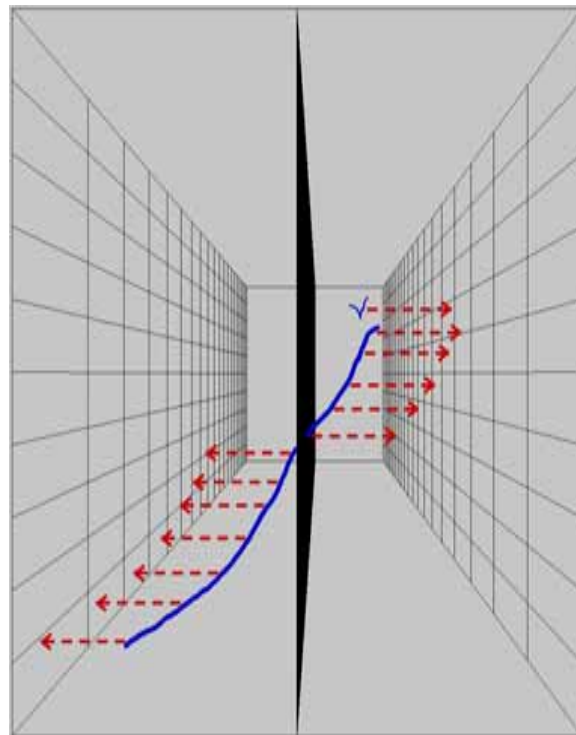


Lata 2000-2004 - główne fakty

- Ú Czerwiec 2000 - przystąpienie polskiej grupy do eksperymentu
- Ú Kwiecień - lipiec 2001 - naziemne testy pierwszej komory TPC (Pawia, 28000 zebranych przypadków):
 - > 6 prac opublikowanych w filadelfijskich czasopismach, 3 analizy w toku
- Ú 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
- Ú ICARUS z detektorem T3000 uzyskuje status CERN-owskiego eksperymentu CNGS02 (kwiecień 2003)
- Ú Problemy laboratorium w Gran Sasso (stopniowo rozwiązywane!!!)
 - > opóźnienie instalacji detektora, obecnie przewidywany termin transportu detektora T600 do Gran Sasso to grudzień 2004.

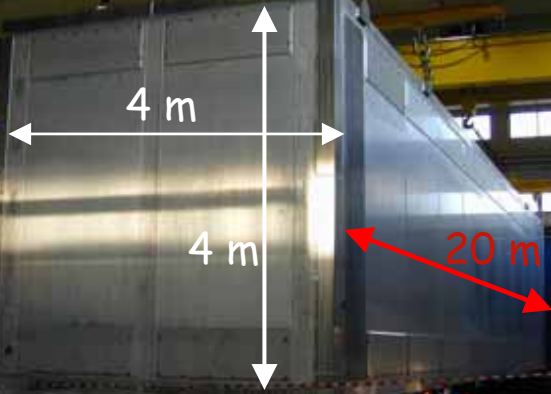
ICARUS - wielkie komory TPC wypełnione ciekłym argonem

- Ů 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).
- Ů 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)



Electronic Racks

Signal Flanges and feed-throughs

View of the inner detector

Wires of the TPC

Drift Length (1.5 m)

UV PMT

Cathode

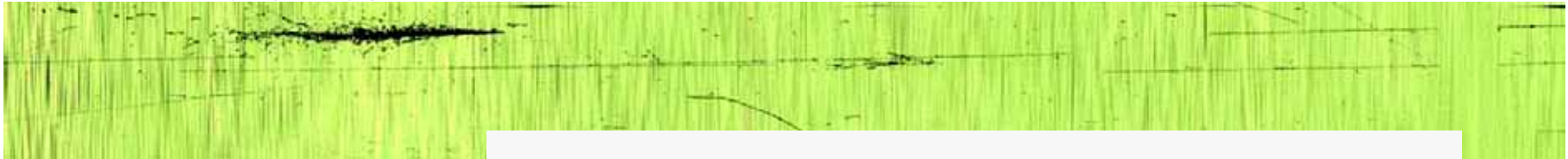
Wire Chamber Structure

Field Shaping Electrodes (during installation)

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

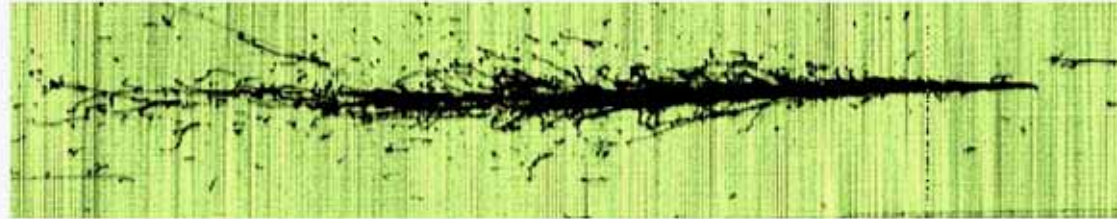
Nowatorska technika eksperymentalna: całkowicie elektroniczny detektor, dający trójwymiarowy obraz przypadku oddziaływania o jakości porównywalnej z obrazami z komór pęcherzykowych oraz bardzo dobry pomiar energii w oparciu o dE/dx na drutach.

Przykładowy przypadek:

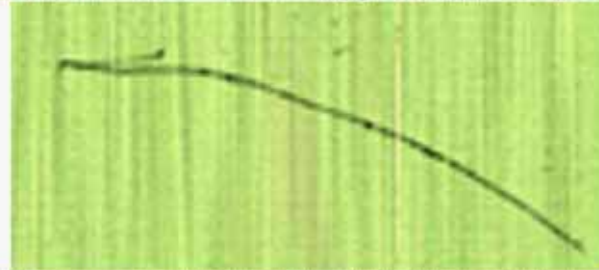


Długi tor mionu (14m)
oraz

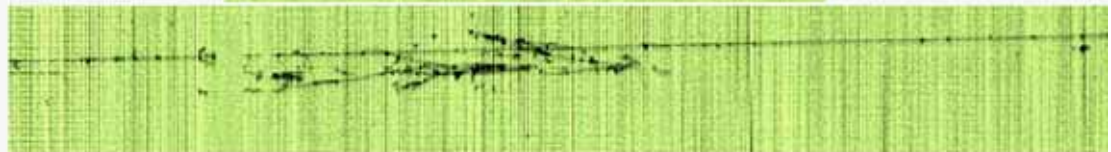
kaskada fotonowa



rozpad mionu



widoczne elektrony
delta wzdłuż toru mionu



T3000 - udział polskich grup

Ú Współpraca fizyków i inżynierów z czterech ośrodków:

Katowice (UŚI), Kraków (IFJ, AGH, PK), Warszawa (IPJ, UW, PW), Wrocław (UWr), 3-4 spotkania rocznie, 8 doktorantów, 7 magistrantów, dwójka dzieci

Ú 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: przełom 2004/2005

Ú Ponadto:

Udział w analizach danych z testów i w rozwoju oprogramowania, opracowanie zewnętrznego systemu wyzwalania dla testów w Pawii, pomiar zanieczyszczenia materiałów konstrukcyjnych detektora T600 pierwiastkami rozszczepialnymi
prace nad kompresją danych
obliczenia mechaniczne dla zmodyfikowanej konstrukcji przyszłych kriosztatów

Anode wires for T1200 - production in Poland

Present status:

- All the equipment has been constructed, purchased or borrowed from Pavia, many improvements as compared to the original Pavia setup for the wire production of T600
- Common work of the experimental groups from Warsaw, Katowice and Cracow, performed in a close collaboration with the Pavia group
- Laboratory in Cracow (12x5.5 m²) prepared to start the production

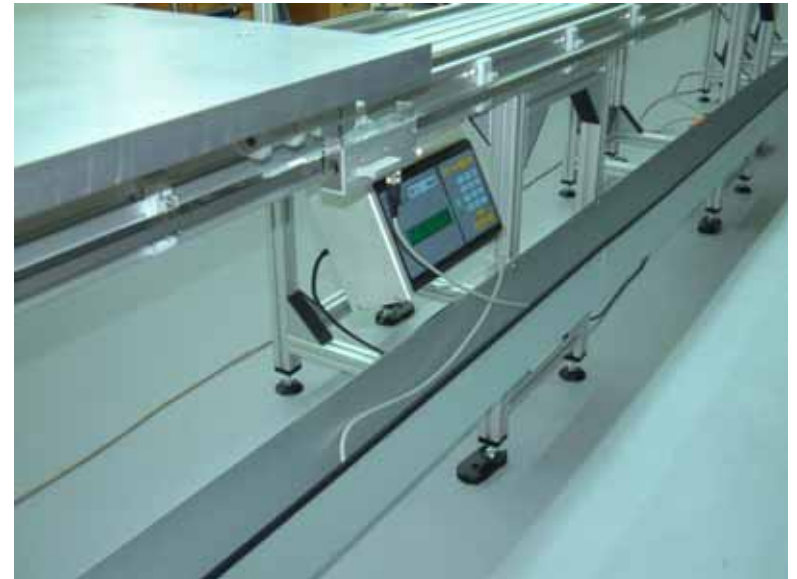
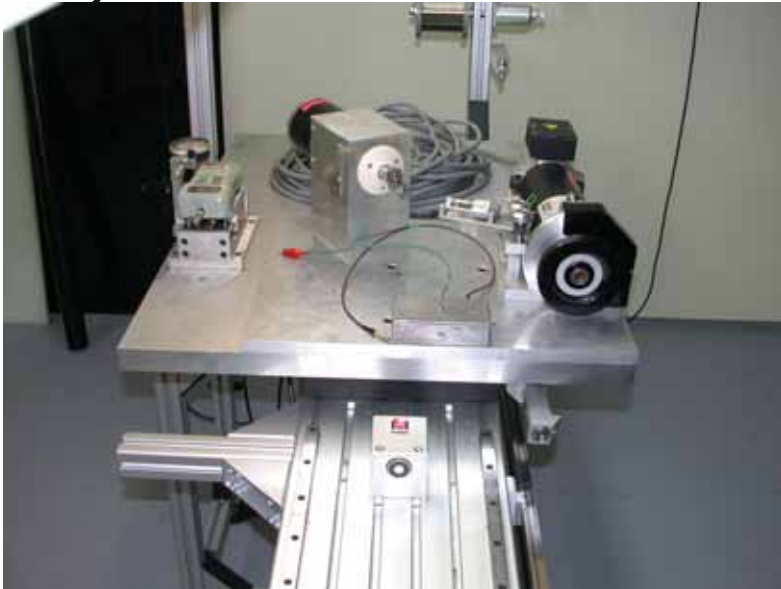
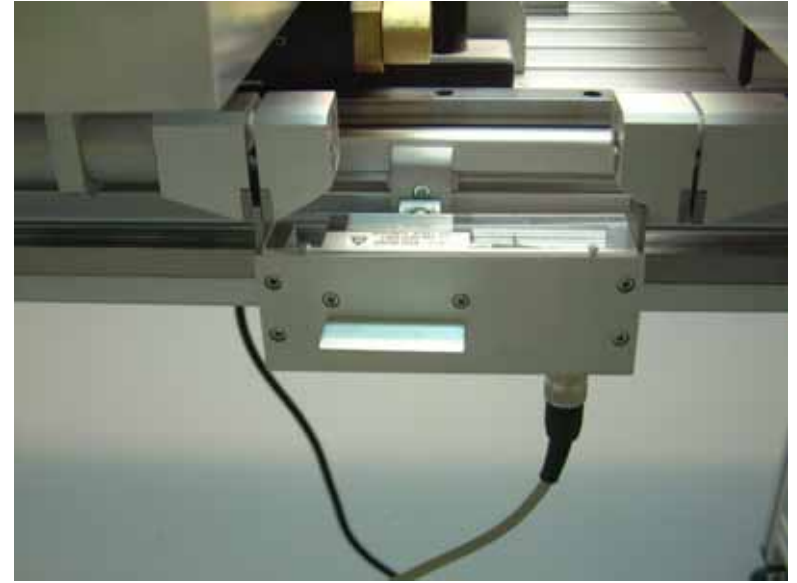


29.10.2004



Production table - details

- The main table (11m long) is constructed from Al prefabricated elements, it can be splitted into two parts 5 and 6m long
- Motor system for stretching wires is fixed on the moving trolleys
- Precise measurement of the trolley done with a moving device (5 μm step, guaranteed 100 μm precision over 11 meters)



T1200- checks of mechanical drawings from AirLiq

- Mechanics engineers from the Technical University in Cracow have performed the 2D and 3D finite elements analyses of the cryostat walls and frames proposed by Air Liquide for the 1200 modules
- The cross checks have been done in the fall of 2003, based on the CAD drawings from AirLiquide,
- The work is described in the technical memo **ICARUS-TM/04-01**
- The main conclusion was that “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”

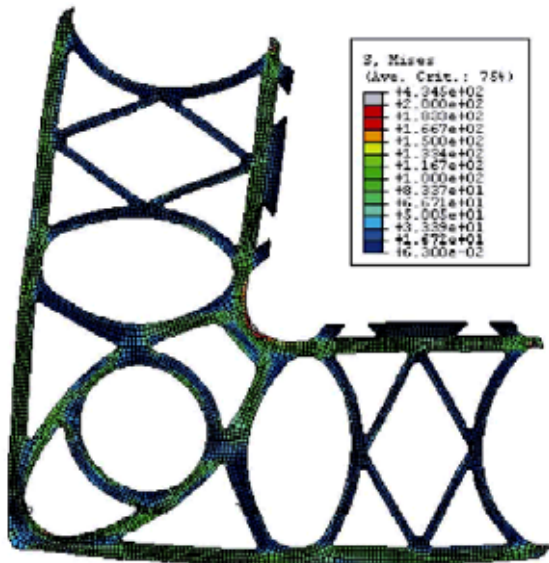


Fig. 18. Distribution of *Mises* stresses in corner profile – combination $G+V$.

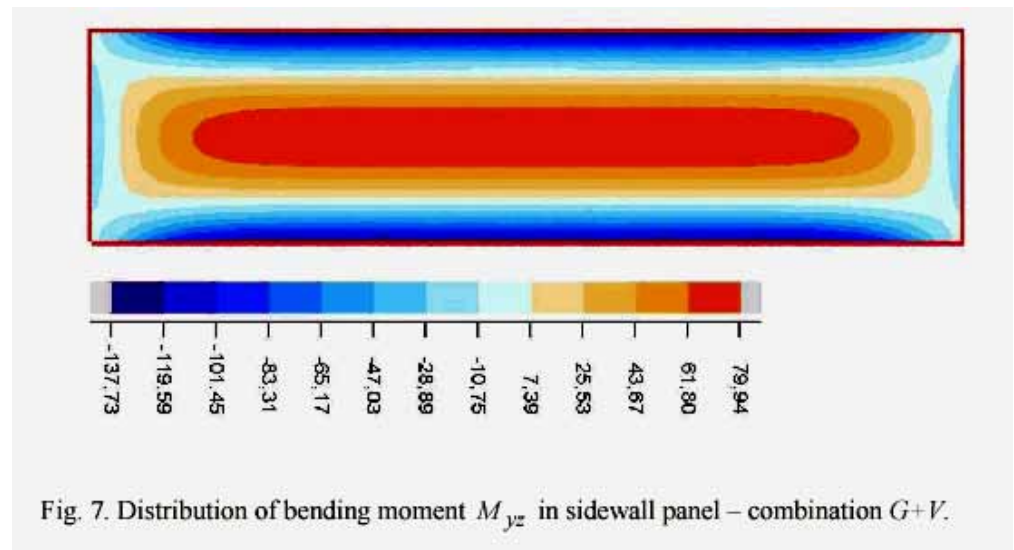
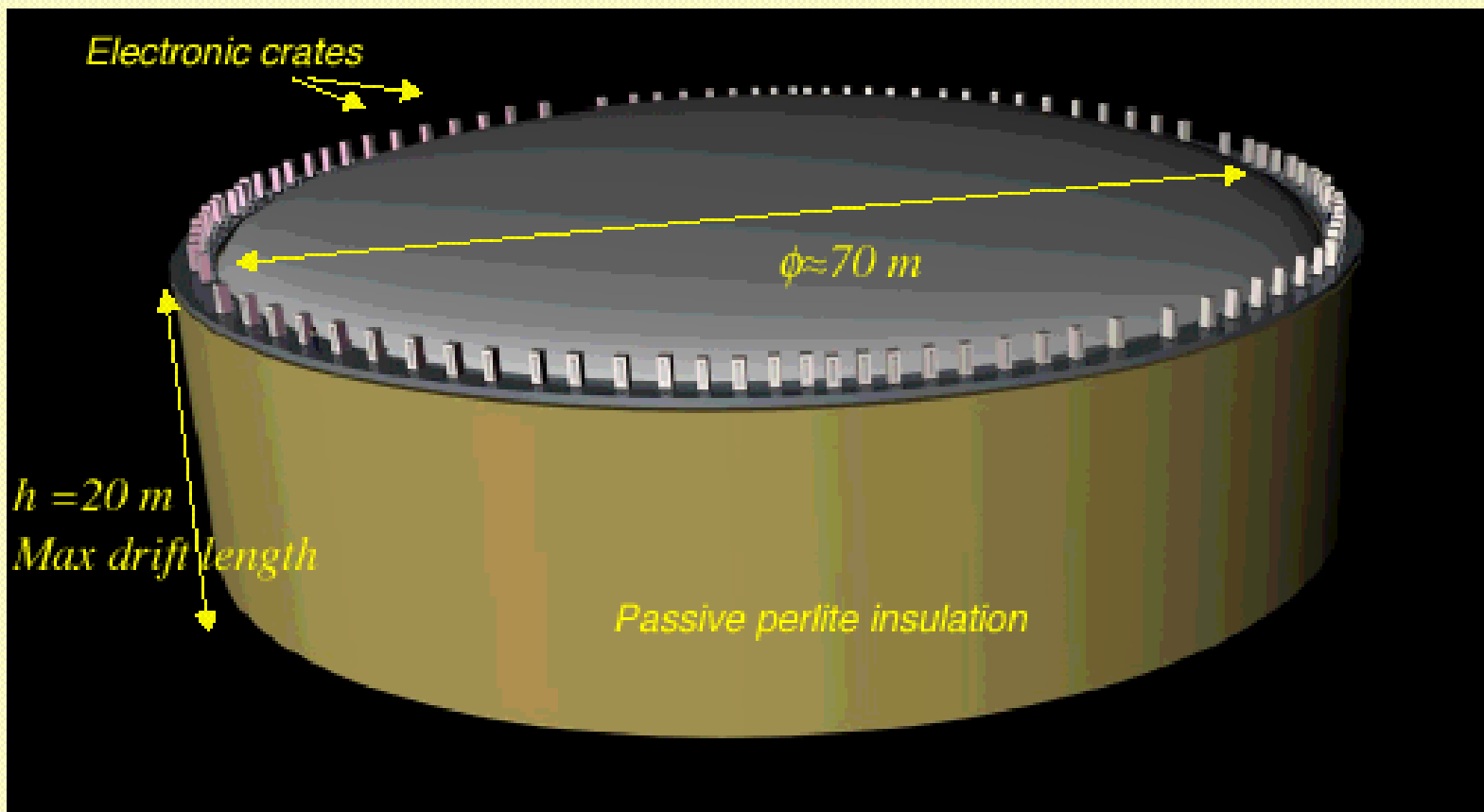


Fig. 7. Distribution of bending moment M_{yz} in sidewall panel – combination $G+V$.

Science fiction? Može nie...

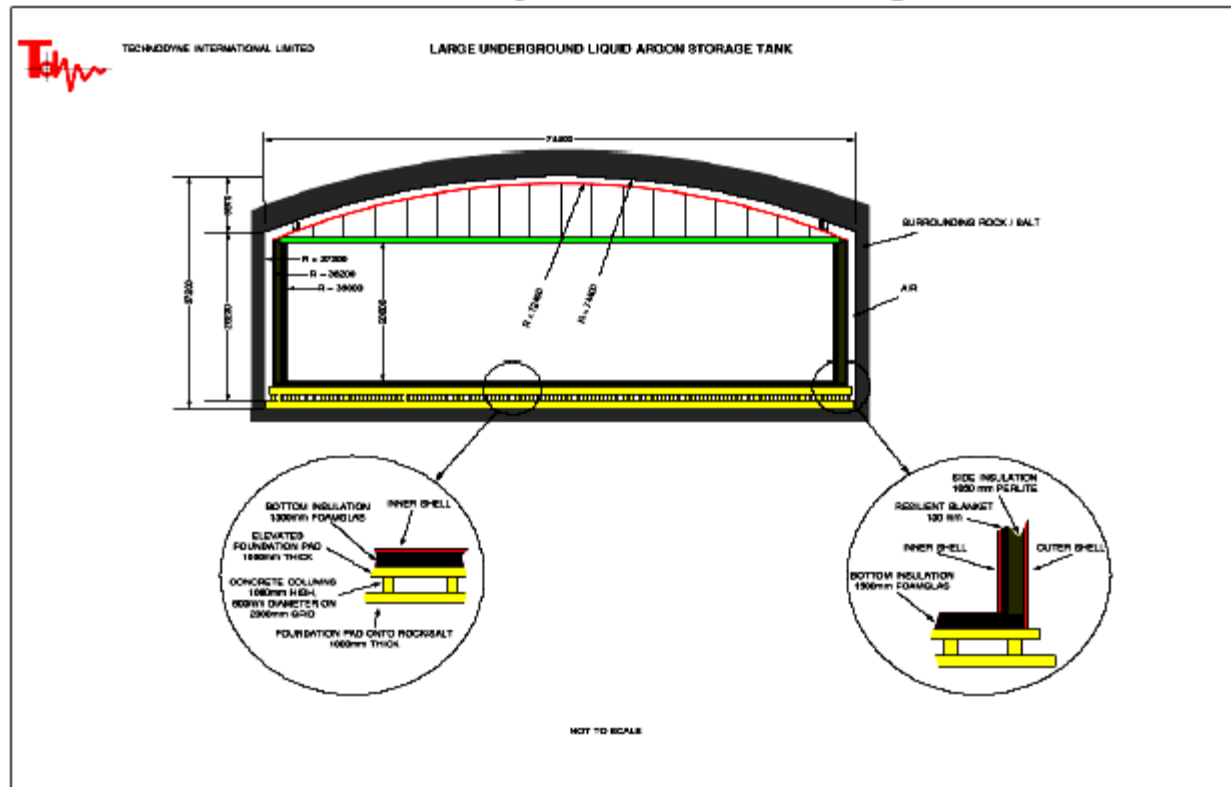
A 100 kton liquid Argon TPC detector



Czy da się zbudować zbiornik?

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

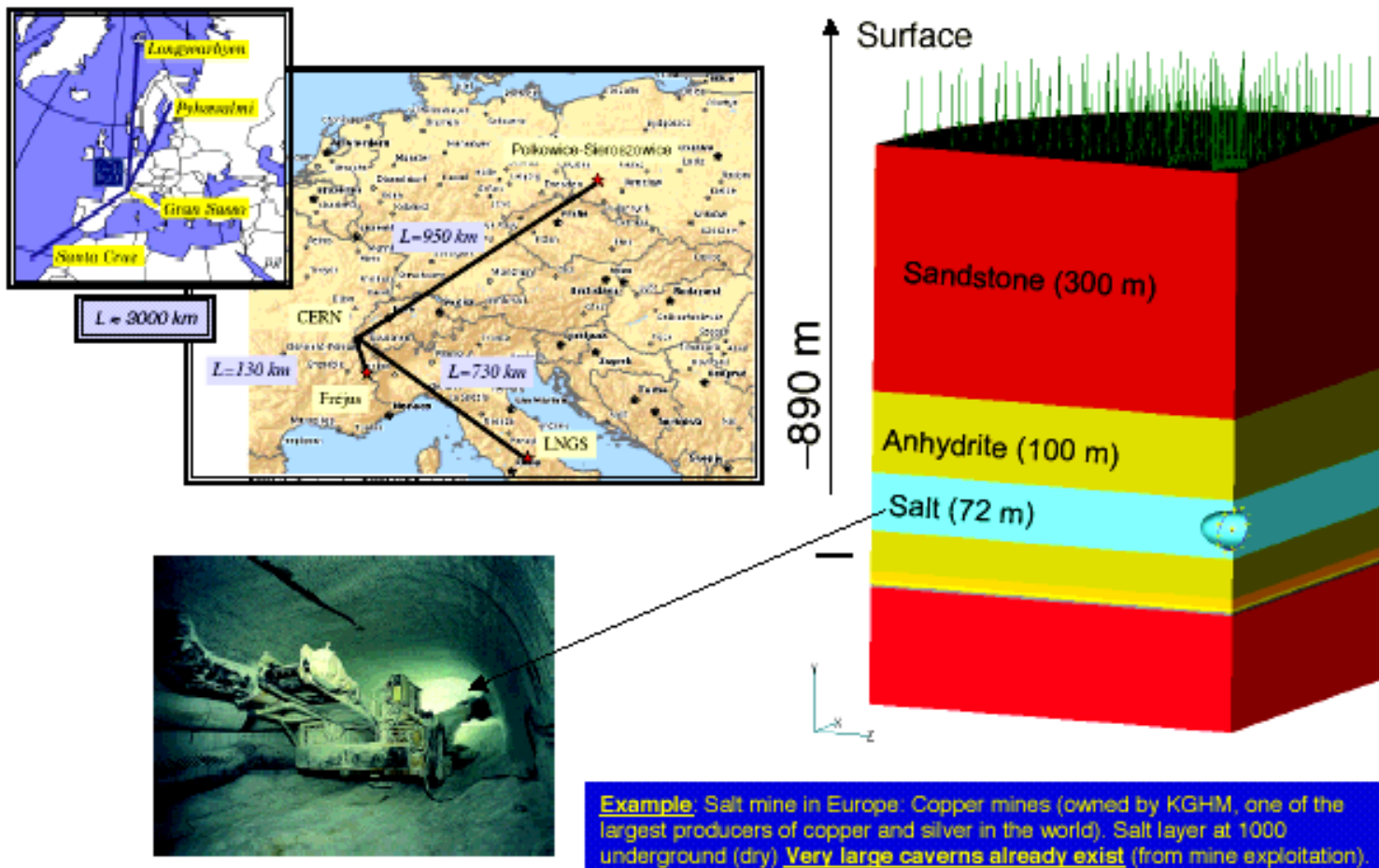
Technodyne baseline design



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 na ukończeniu)
- 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

Przyszłość - nic nowego bez nas?

- Pomiar tła neutronowego w Sieroszowicach
- R&D dla detektora argonowego dla poszukiwań Ciemnej Materii
- LoI dla detektora argonowego jako pośredniego detektora w programie T2K?
- Udział w przyszłym grantcie europejskim dot. Przygotowania projektu fabryki neutrin?