Cząstki zmieniające tożsamość
Neutrina – Nobel 2015

Agnieszka Zalewska
Instytut Fizyki Jądrowej im. H.Niewodniczańskiego PAN

„Zapytaj fizyka”, Uniwersytet Warszawski
21.01.2016

Takaaki Kajita (Japonia)

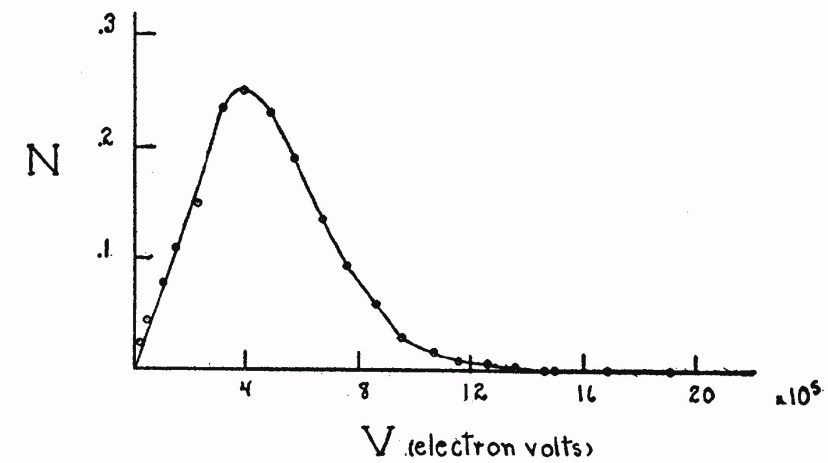
„Za odkrycie oscylacji neutrin, które pokazuje, że neutrina mają masę”

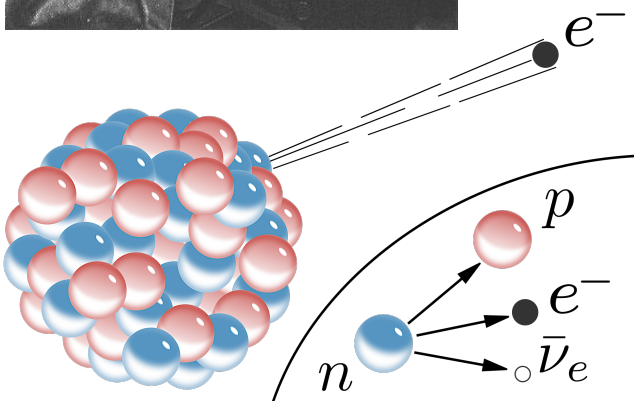
Plan referatu:
1. Co to są neutrina ?
2. Nagroda Nobla 2015
3. Co dalej?

Arthur B. McDonald (Kanada)

Neutrino wkracza na scenę

1914 – J. Chadwick obserwuje ciągłe widmo elektronów w jądrowym rozpadzie β
1930 – W. Pauli postuluje istnienie nowej, neutralnej cząstki, aby ratować prawo zachowania energii i krętu w rozpadach β





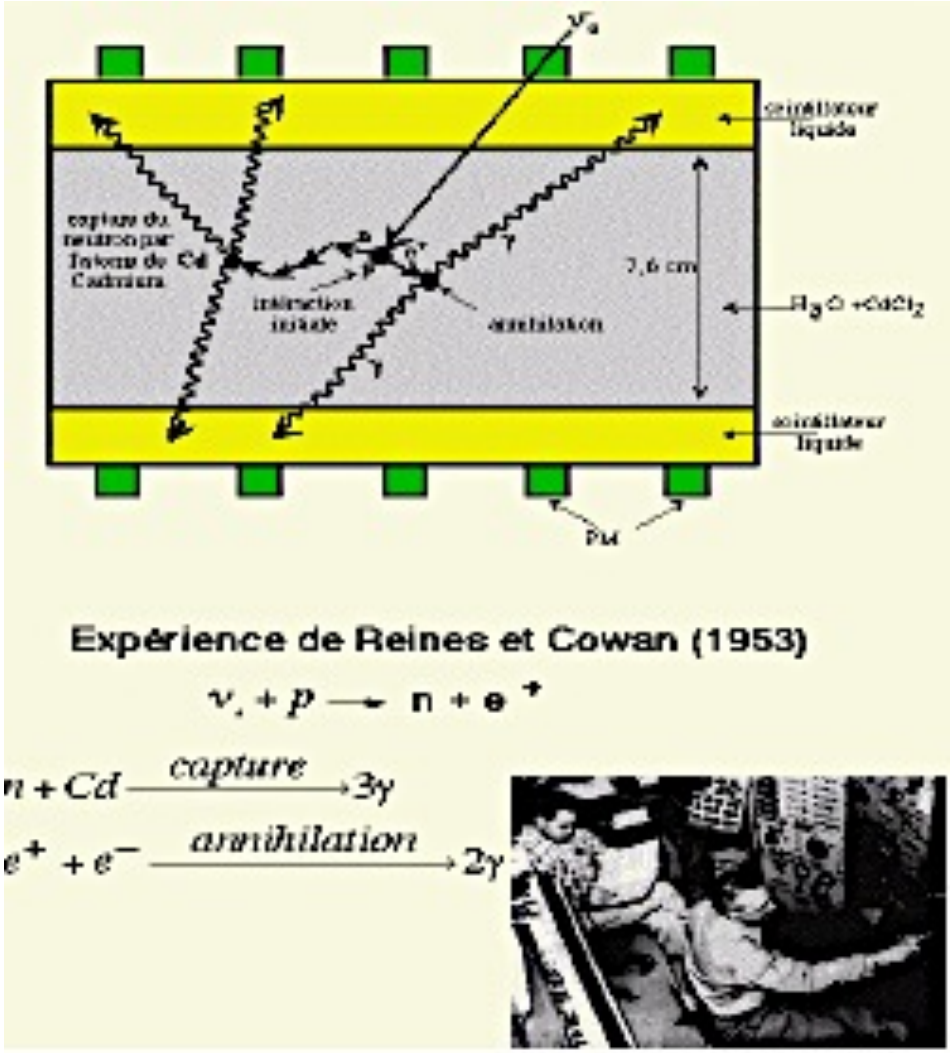
„Zrobiłem straszną rzecz. Zaproponowałem cząstkę, która nie może być wykryta. To jest coś, czego teoretyk nie powinien nigdy robić”
Wolfgang Pauli

A jednak się udało, choć 25 lat później…

Eksperyment Reinesa-Cowana 1956 rok – obserwacja oddziaływań antyneutrin z reaktora w detektorze wypełnionym wodą z scyntylatorem i z dodatkiem CdCl

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

Reakcja stosowana do dzisiaj w eksperymentach wykorzystujących antyneutrina z reaktorów



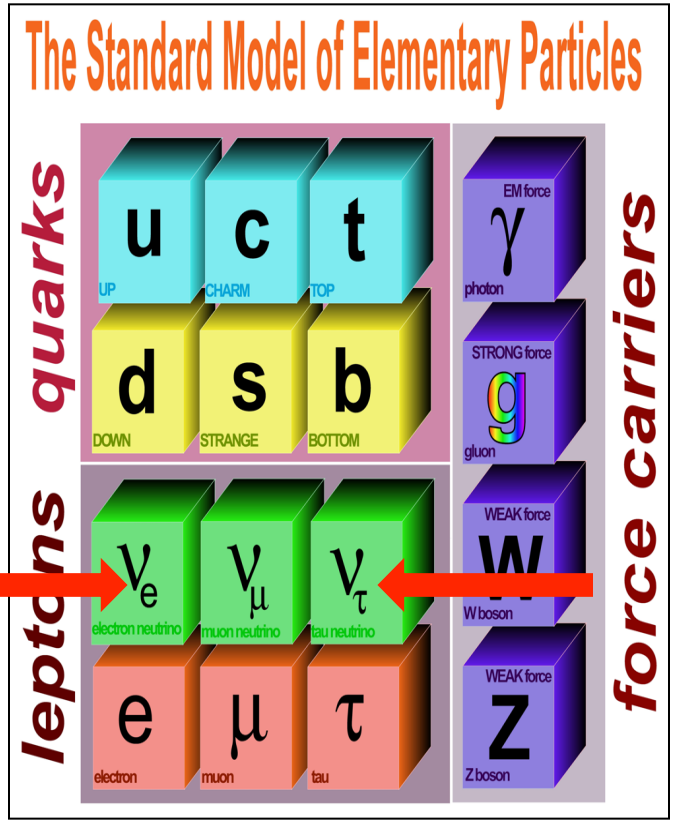
Neutrina w Modelu Standardowym

- Trzy rodzaje (zapachy) neutrin – wynik pomiarów:
  ν_e (1956), ν_μ (1962), ν_τ (2001),
- Mają masę zero
- Neutralne leptony → oddziałują tylko słabo

Średnia droga swobodna na oddziaływanie neutrin z rozpadu β neutronu jest rzędu rozmiaru galaktyki,

Średnia droga swobodna neutrina o energii 1 GeV (10^9 eV) w materii ziemskiej to 10^6 średnic Ziemi

→ Potrzeba bardzo intensywnych źródeł neutrin i wielkich detektorów

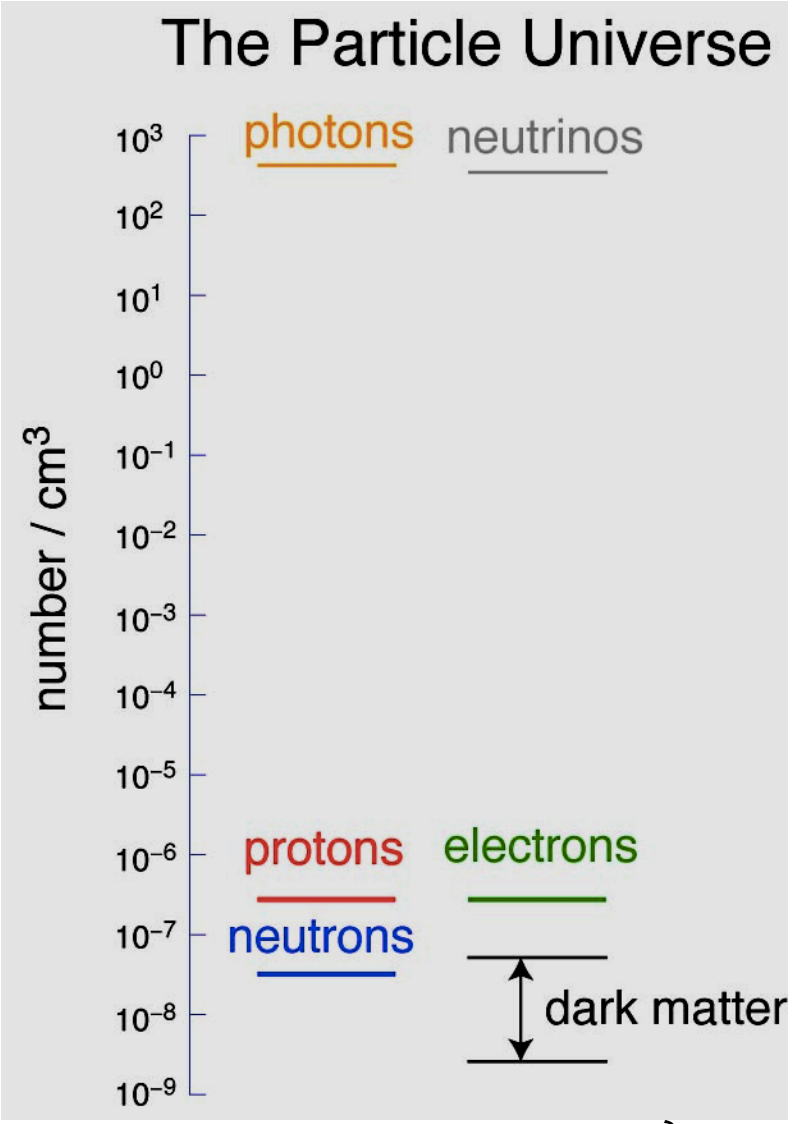


+bozon Higgsa (2012)

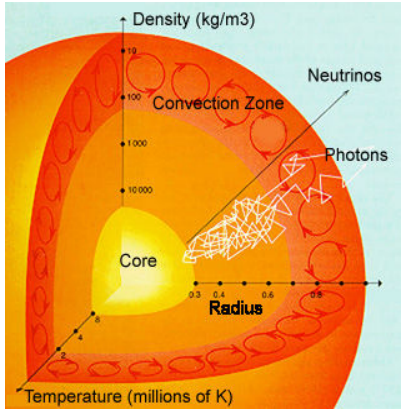
Neutrin jest bardzo dużo i są wszędzie

Pod względem częstości występowania we Wszechświecie neutrina są drugie po fotonach W każdym cm^3 jest ok. 300 neutrin reliktowych, czyli pozostałych po Wielkim Wybuchu.

Strumień neutrin słonecznych na Ziemi to 60 miliardów na cm^2 w ciągu sekundy → średnio jedno oddziaływanie w człowieku w ciągu całego życia.

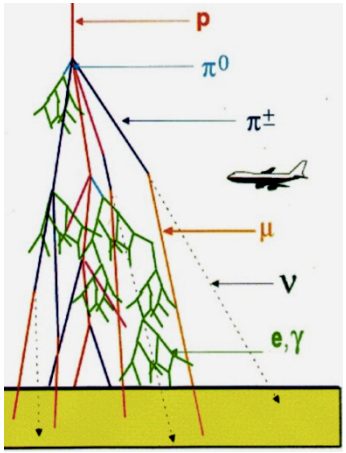


Źródła neutrin do badań



Naturalne: **słoneczne, atmosferyczne,** z wybuchu Supernowych oraz z innych źródeł astrofizycznych, geoneutrina

Sztucznie wytworzone: reaktorowe i akceleratorowe



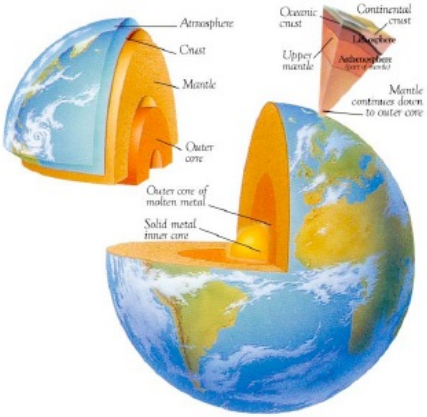
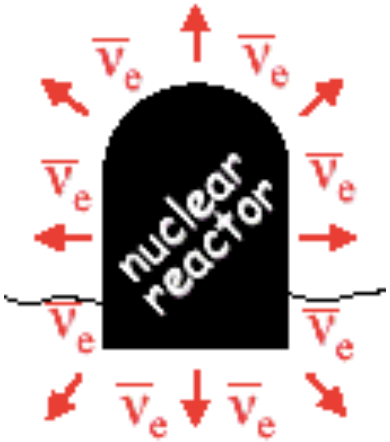
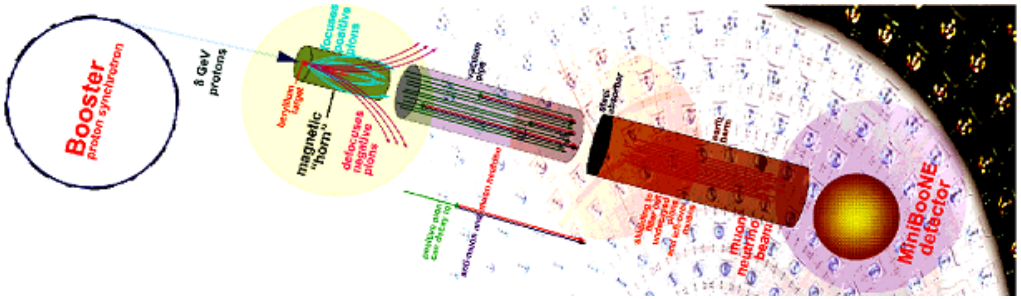


Image by Colin Rose and Dorling Kindersley





Dwie zagadki

Neutrina słoneczne

Badania rozpoczęły się w drugiej połowie lat 60. ubiegłego wieku i już w 1968 roku pojawiła się zagadka – eksperyment mierzył zaledwie 1/3 oczekiwanego strumienia neutrin – dlaczego? Niewiarygodna technika eksperymentalna? Niewiarygodny model Słońca?

A może oscylacje neutrin?

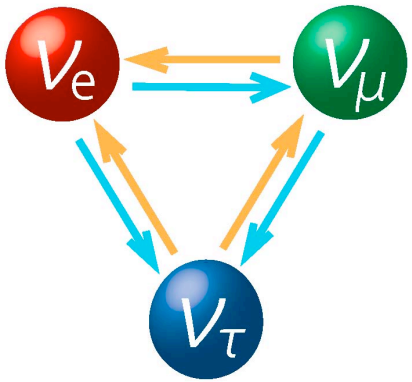
Neutrina atmosferyczne

W latach 80. powstało szereg detektorów do poszukiwań rozpadu protonu, przewidywanego przez teorie Wielkiej Unifikacji inspirowane przez sukces teorii oddziaływań elektro-słabych. Oddziaływania neutrin atmosferycznych stanowiły najpoważniejsze tło dla poszukanego rozpadu. Okazało się, że mierzony strumień mionowych neutrin atmosferycznych jest czasem za mały. „Anomalia atmosferyczna” też stanowiła zagadkę.

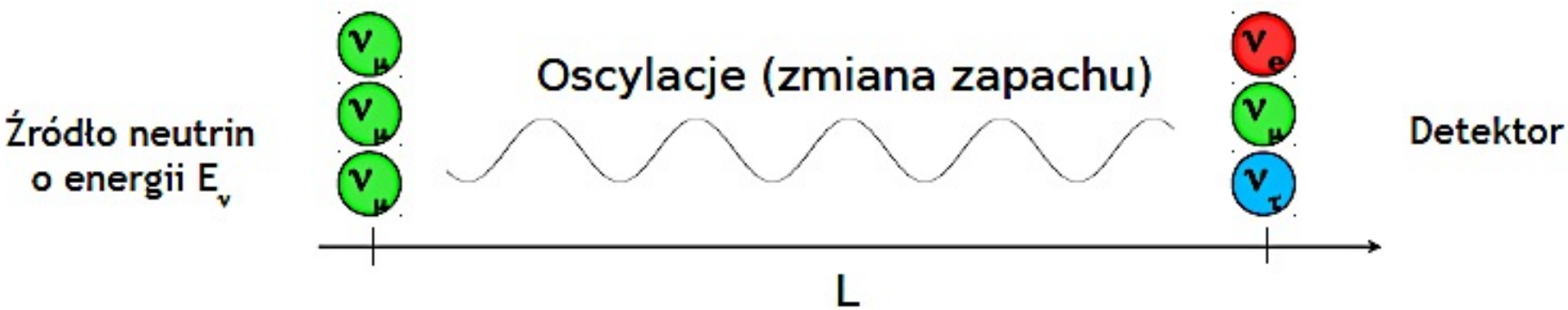
Może to wynik oscylacji neutrin?

Oscylacje neutrin

Kwantowo-mechaniczny efekt:
stany zapachowe neutrin nie są identyczne z stanami masowymi, ale są kombinacją stanów masowych



Neutrina powstają i oddziałują z materią na drodze procesów słabych (stany zapachowe), ale propagują się w przestrzeni jako kombinacje stanów masowych



1957 – B.Pontecorvo stawia hipotezę mieszania neutrin i antyneutrin
1962 – Maki, Nakagawa, Sakata stawiają hipotezę mieszania neutrin elektronowych i mionowych
Obecnie – opis dla 3 stanów zapachowych i 3 stanów masowych

Oscylacje neutrin

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

$$P = \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \left[\frac{1.27 \Delta m^2 [\mathrm{eV}^2] \cdot L[\mathrm{km}]}{E_\nu [\mathrm{GeV}]} \right]$$

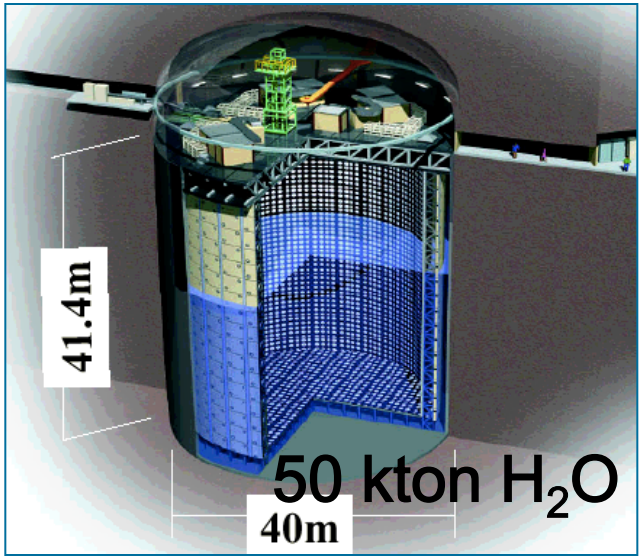
Δm^2 (różnica kwadratów mas stanów 1 i 2) i θ (kąt mieszania stanów 1 i 2) to parametry teoretyczne, a L (długość bazy pomiarowej) i E (energia neutrin) są dobierane eksperymentalnie

Dokładniejszy opis: uwzględnienie przejść między wszystkimi trzema stanami zapachowymi neutrin **(6 parametrów teoretycznych: trzy kąty mieszania, dwie różnice kwadratów mas i faza δ_{CP})** oraz uwzględnienie efektów związanych z przejściem neutrin przez gęstą materię, np. z wnętrza na powierzchnię Słońca

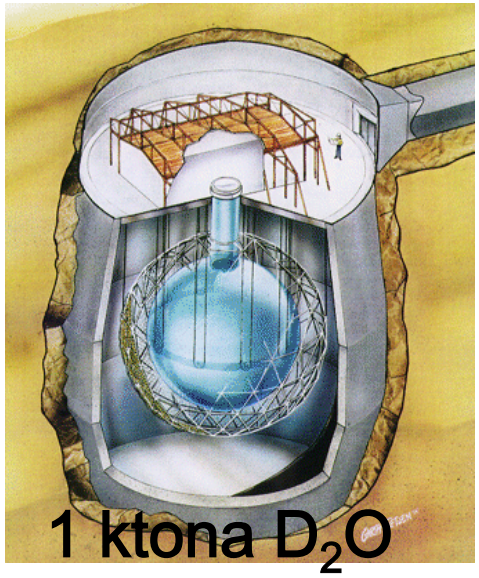
Pomiary oscylacji neutrin

1998-2002 wielkie odkrycia

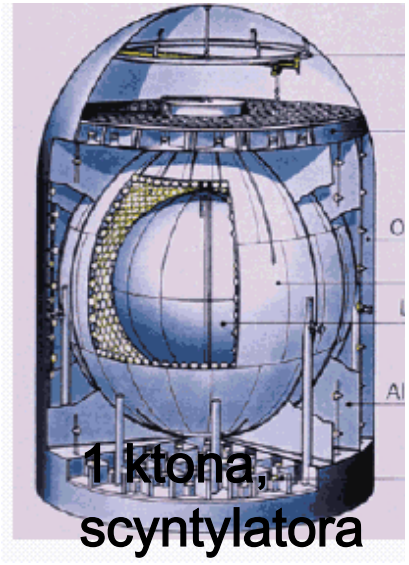
w eksperymentach SuperKamiokande (ν atmosferyczne) , K2K (akceleratorowe), SNO (ν słoneczne) i KamLAND (ν reaktorowe)



SuperKamiokande



SNO

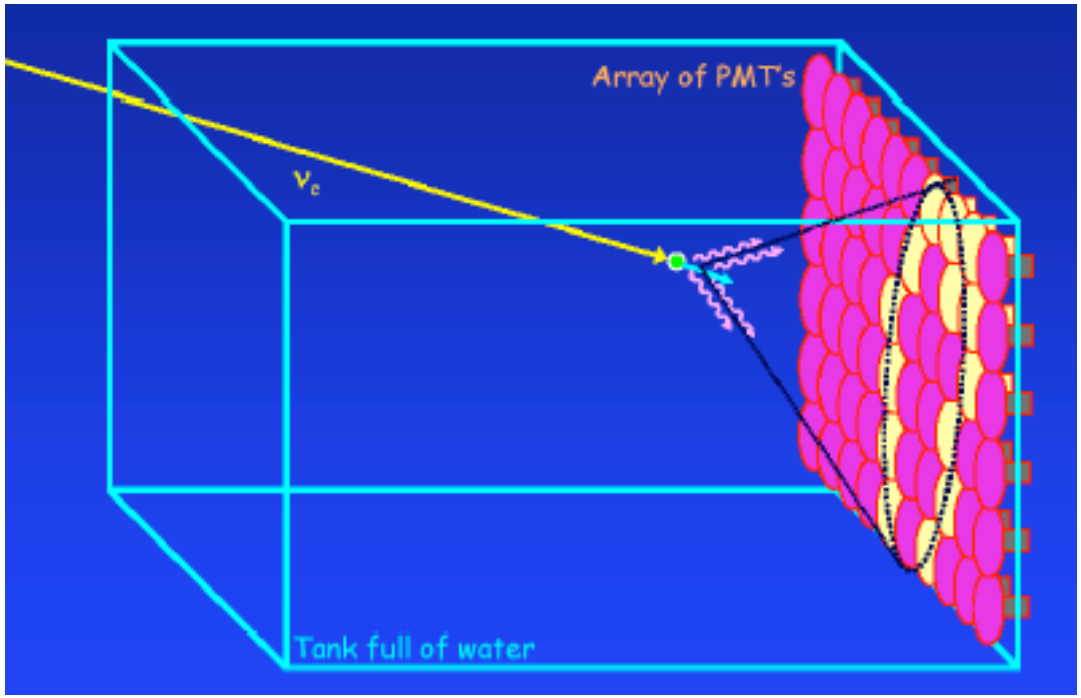


KamLAND

Nagroda Nobla z fizyki 2015

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) pod kątem θ ($\cos\theta=1/n\beta$, $\beta>\beta_{thr}=1/n$).

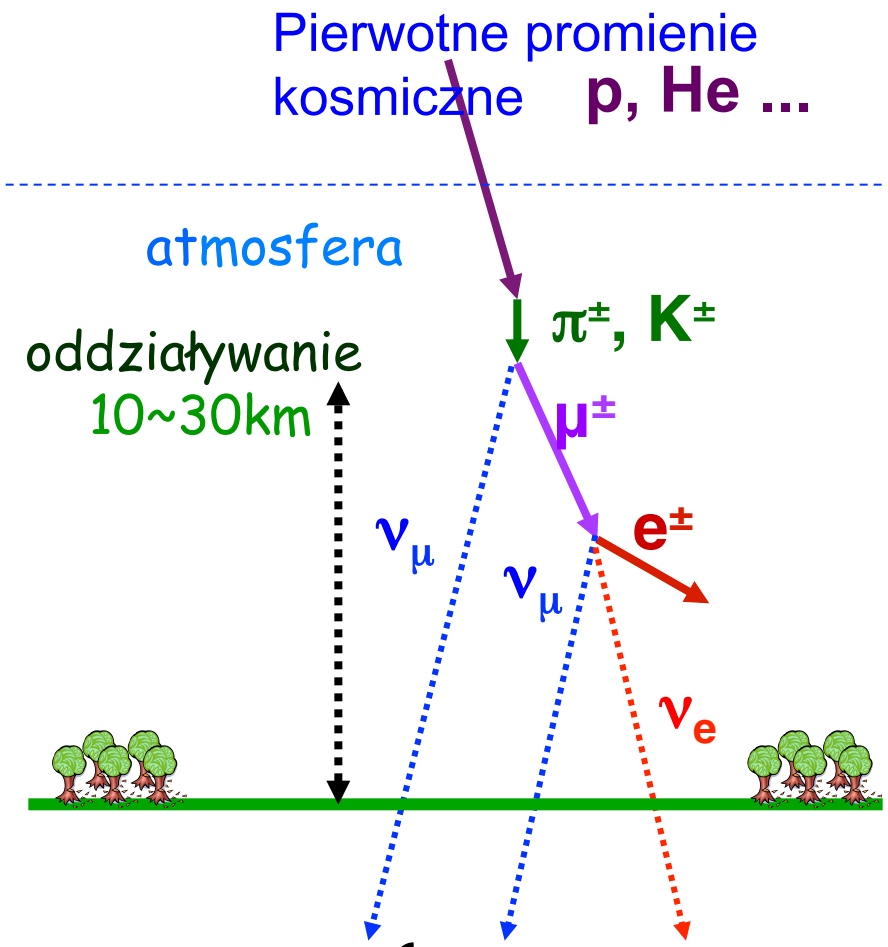


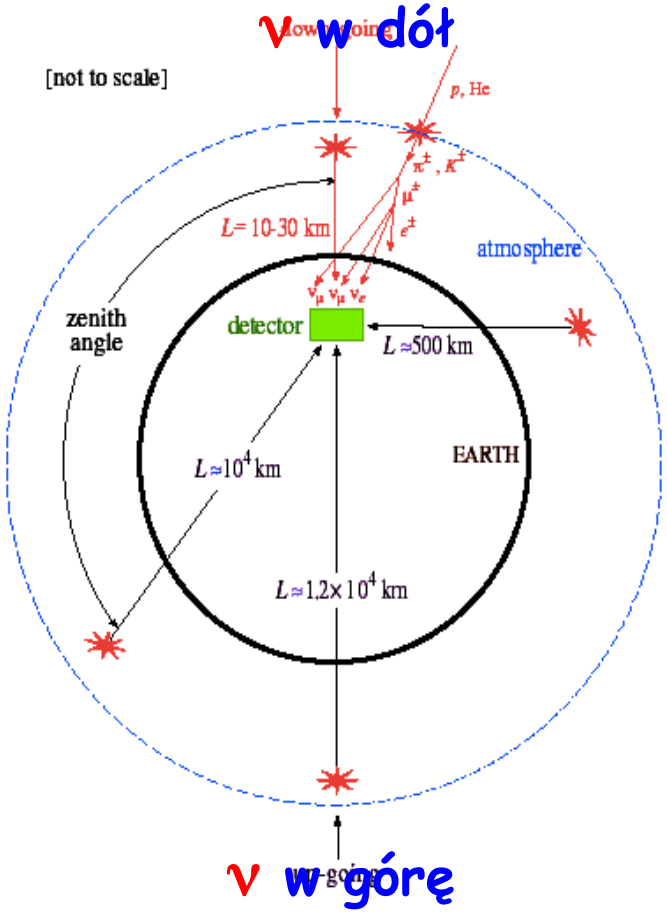
Fotony czerenkowskie, w postaci pierścienia, rejestruje się przy pomocy fotopowielaczy

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

- wielkość sygnału, kąt rozwarcia stożka oraz jego „wygląd” pozwalają wyznaczyć energię i rodzaj cząstki (-> energię i rodzaj neutrina)

Neutrina atmosferyczne





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

ν_{atm}- tło dla poszukiwań rozpadu protonu

„Anomalia” neutrin atmosferycznych

W latach 80-tych w eksperymentach poszukujących rozpadu protonu mierzono stosunek liczby oddziaływań neutrin mionowych i elektronowych, podzielony przez stosunek przewidywanych liczb tych oddziaływań:

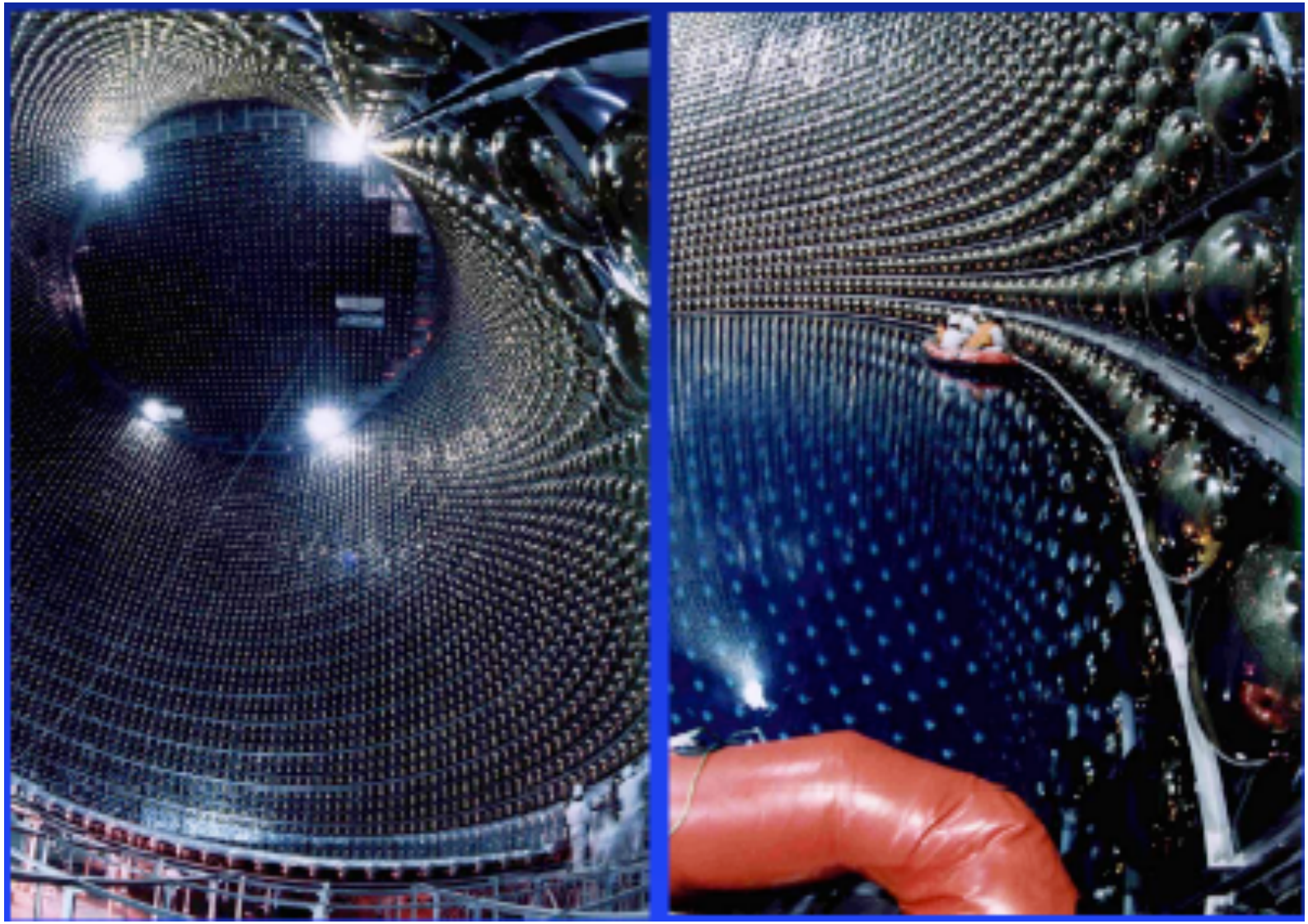
$$R = \frac{(N_\mu / N_e)_{Obs}}{(N_\mu / N_e)_{Teor}}$$

Wyniki: wskazujące na niedobór neutrin mionowych, ale niejednoznaczne

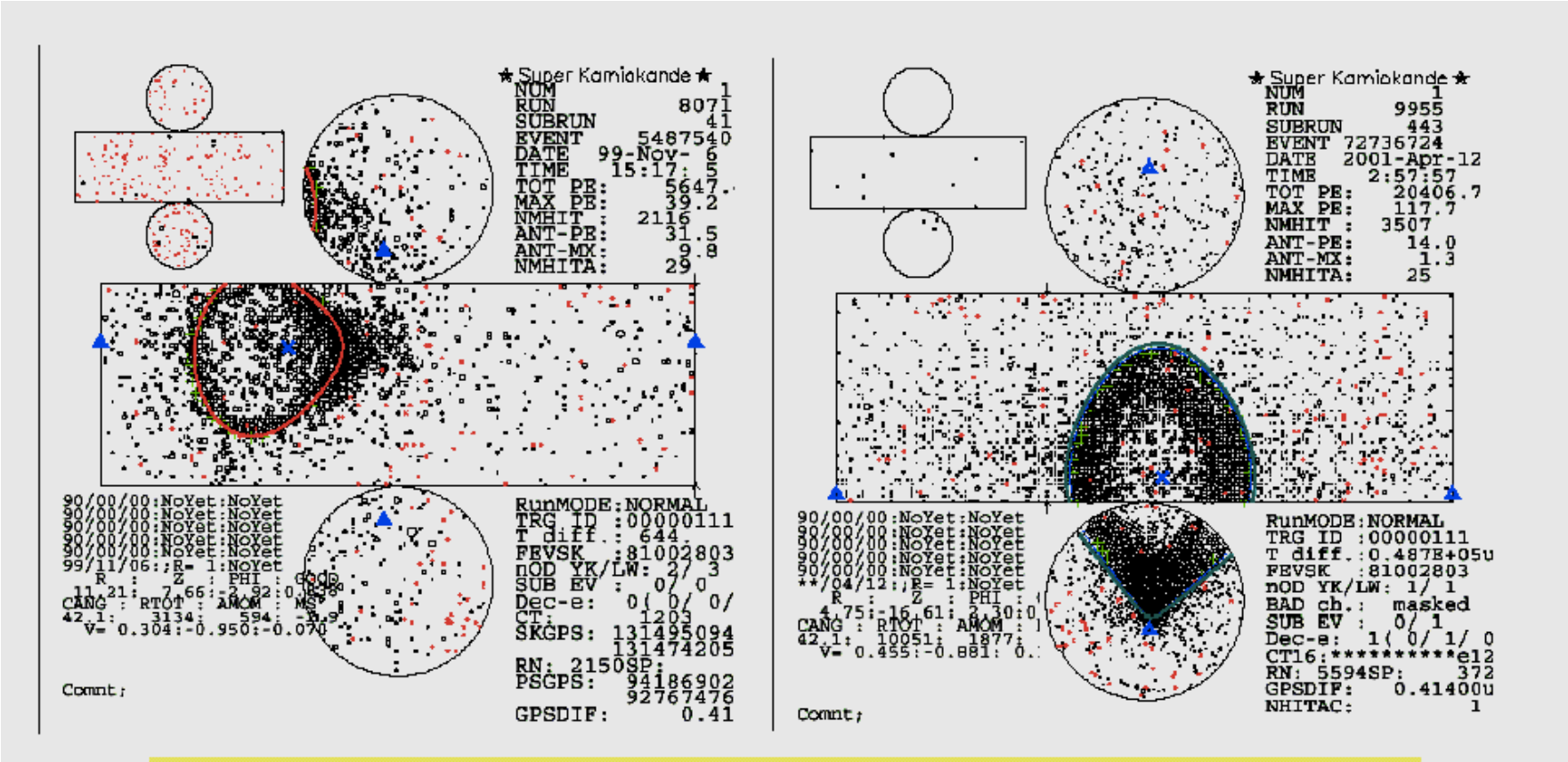
- Kamiokande: $R=0.60^{+0.06}_{-0.05}+-0.05$
- IMB: R=0.54+-0.05+-0.12
- Frejus: R=1.00+-0.15+-0.08
- NUSEX: $R=0.99^{+0.35}_{-0.25}$
- SOUDAN2: R=0.58+-0.11+-0.05

→ Potrzebny większy detektor → SuperKamiokande, start w 1996 roku

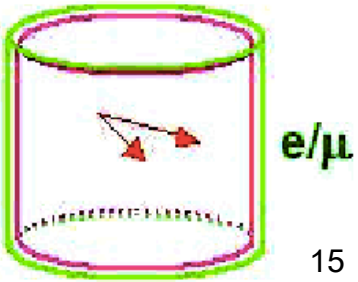
Detektor SuperKamiokande



„Oczy” SuperKamiokande



Wzdłuż torów cząstek naładowanych emitowane jest promieniowanie Czerenkowa, rejestrowane przez fotopowielacze na ścianach zbiornika

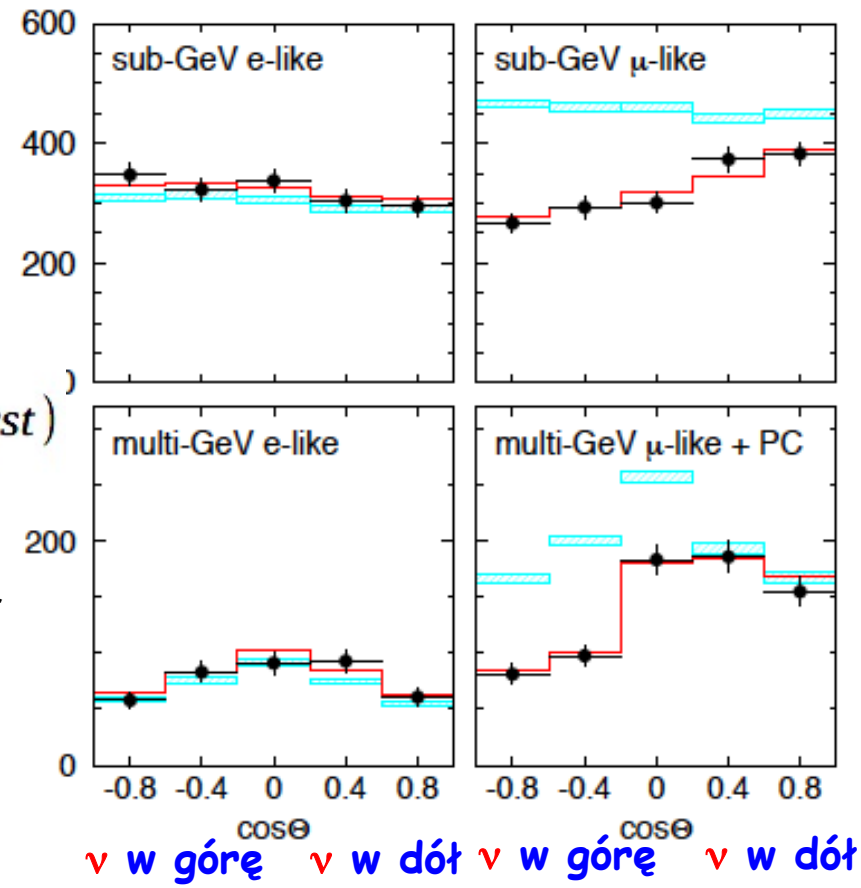


Odkrycie oscylacji neutrin atmosferycznych

NN2015

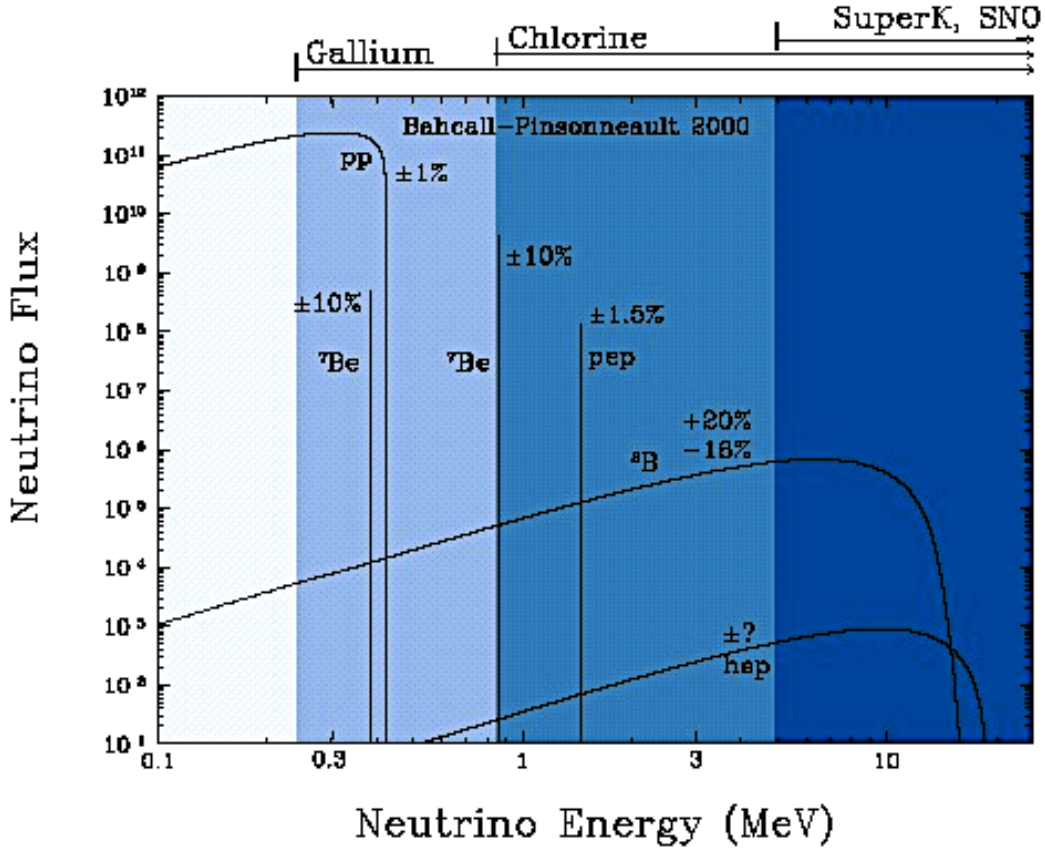
Y. Fukuda et al. (SuperKamikande Collaboration), „Evidence for Oscillaton of Atmospheric Neutrinos", Phys. Rev. Letters 81, 1562 (1998)

$$R=\frac{(N_\mu/N_e)_{Obs}}{(N_\mu/N_e)_{MC}}=0.63\pm0.03\,(stat)\pm0.05\,(syst)$$



- Jednoznacznie stwierdzony niedobór neutrin mionowych
- Widoczna zależność zanikania strumienia od kąta zenitalnego czyli długości drogi do detektora przez ziemię

Neutrina słoneczne



Większość neutrin słonecznych pochodzi z reakcji pp

$$4p \rightarrow {}^4\mathrm{He} + 2e^+ + 2\nu_e + 2\gamma$$

Eksperymenty **(od lat 60.)** mierzą reakcje:

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

W szczególności:

$$\nu_e + {}^{37}\mathrm{Cl} \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + e^-$$

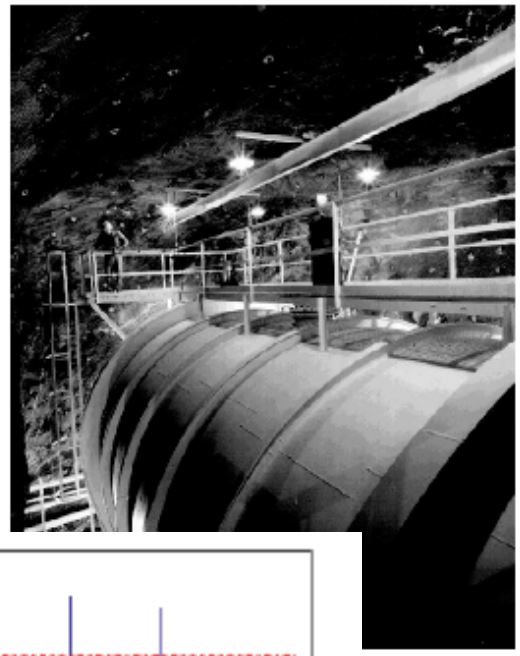
$$\nu_e + {}^{71}\mathrm{Ga} \rightarrow {}^{71}\mathrm{Ge} + e^-$$

$$\nu_\ell + e^- \rightarrow \nu_\ell + e^-$$ SuperK, SNO

$$\nu_\ell + n \rightarrow \nu_\ell + n$$ SNO

- Słoneczne ν_e powstają w samym środku Słońca
- Przez ponad 30 lat obserwowano na Ziemi niedobór $\nu_{słon}$ (od 40% do blisko 70%) względem przewidywań modelu Słońca ok. 60 miliardów/ cm^2•sek
- Wyjaśnienie poprzez oscylacje dzięki pomiarom eksperymentu SNO

„Chlorowy” eksperyment Davisa



Pionierski eksperyment radiochemiczny

30 lat pomiarów 1968-1998, Nagroda Nobla w 2002 roku

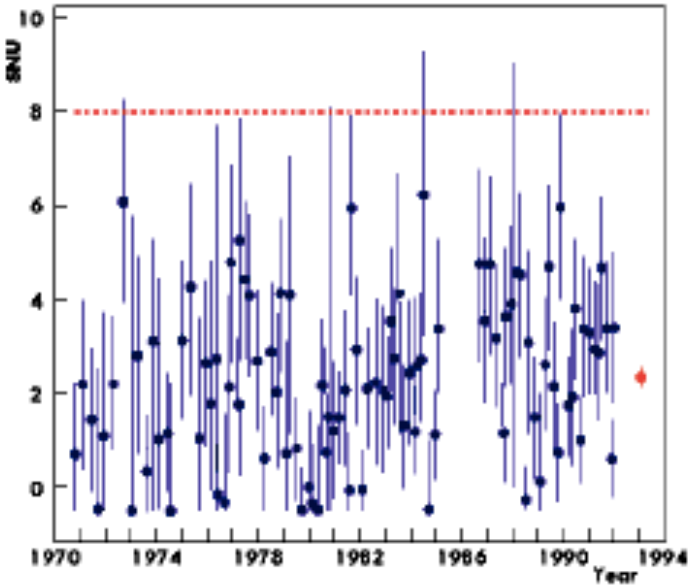
Zbiornik w starej kopalni złota Homestake w stanie Południowa Dakota

380000 l (615 ton) detergentu C_2Cl_4

24% jąder Cl stanowi ^{37}Cl

Badana reakcja:

$$\nu_e + {}^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$$

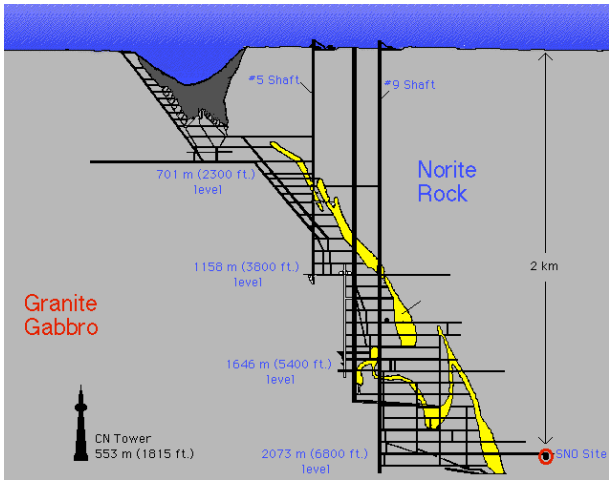


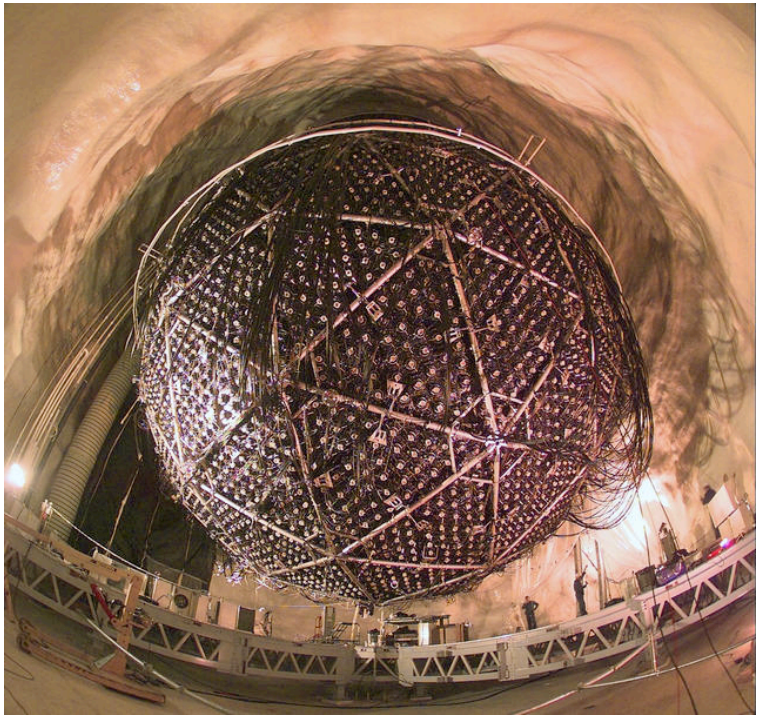
Model słoneczny przewidywał 7.9+-0.9 SNU (1.5 atomów ^{37}Ar/dzień)

Pomiar dawał 2.56+-0.23 SNU (0.48 atomów ^{37}Ar/dzień) czyli obserwowano 1/3 przewidywanego strumienia.

Eksperyment SNO (Sudbury Neutrino Observatory)

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





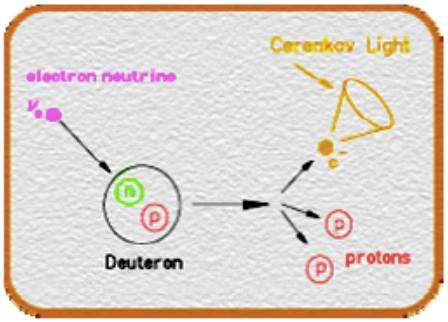
NN2015

Q.R. Ahmad *et al* (SNO collaboration), *"Measurement of the Rate of* $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$ *Interactions Produced by* ^8B *Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory"*, Physical Review Letters **87**, 071301 (13 August 2001)

Q.R. Ahmad *et al* (SNO collaboration), *"Direct Evidence for Neutrino Flavor Transformation from Neutral-Current Interactions in the Sudbury Neutrino Observatory"*, Physical Review Letters **89**, 011301 (1 July 2002)

Procesy mierzone w eksperymencie SNO

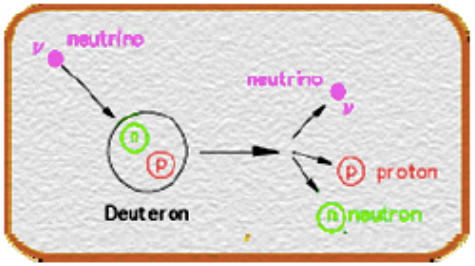
CC $\nu_e + d \Rightarrow p + p + e^-$



tylko ν_e
dobry pomiar energii ν_e, mała czułość na kierunek 1-1/3cosθ

E_{th}=1.4MeV

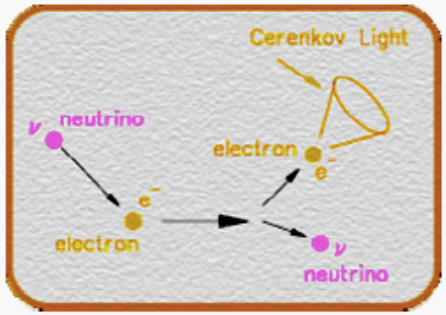
NC $\nu_x + d \Rightarrow p + n + \nu_x$



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

E_{th}=2.2MeV

ES $\nu_x + e^- \Rightarrow \nu_x + e$



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

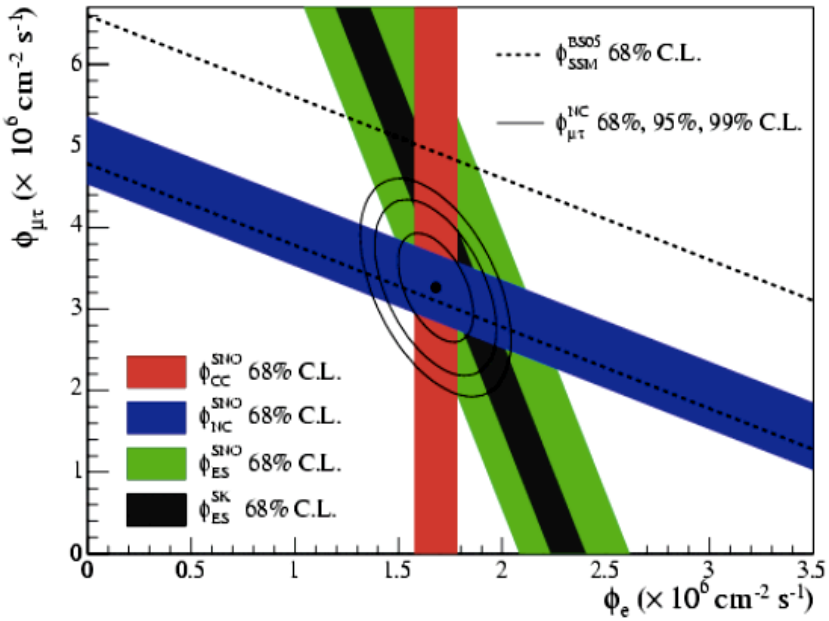
Trzy fazy eksperymentu – cel: jak najlepsza wydajność rejestracji neutronów i jak najlepsze odróżnienie reakcji NC

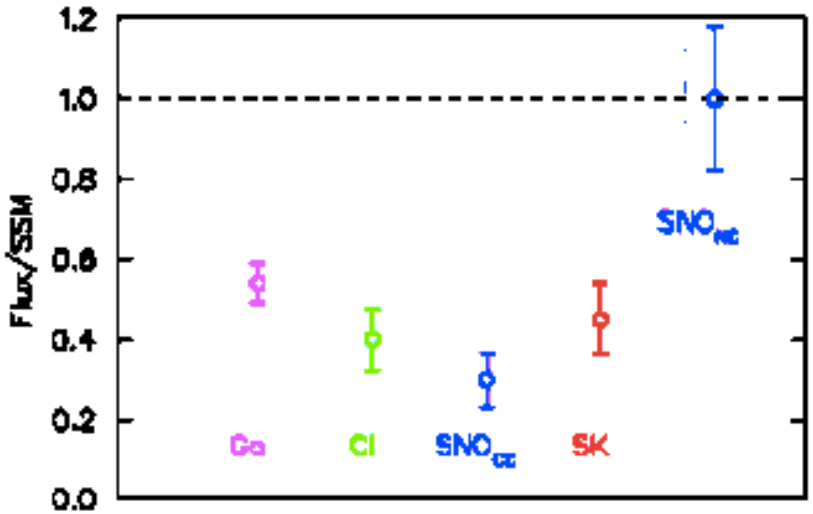
SNO – odkrycie oscylacji neutrin słonecznych

2002 $\Phi_{ssm} = 5.05^{+1.01}_{-0.81}$ $\Phi_{sno} = 5.09^{+0.44}_{-0.43}{}^{+0.46}_{-0.43}$

2005

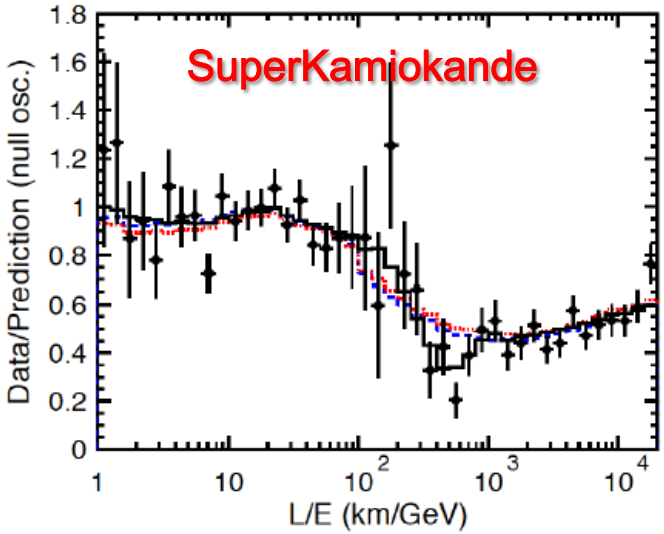
Flavor content of solar flux.

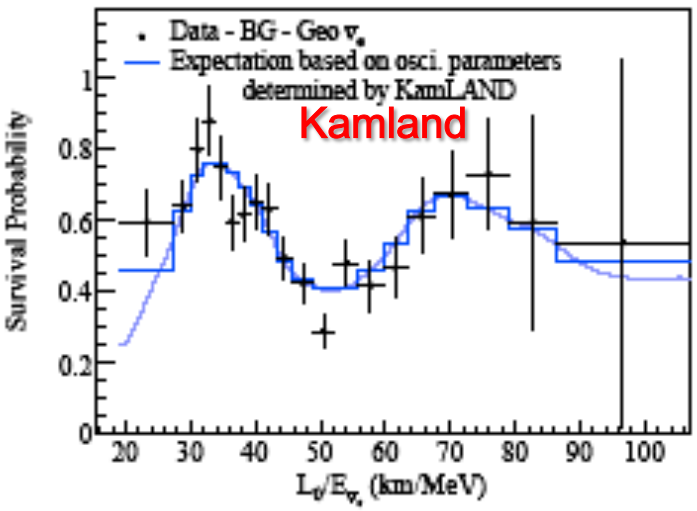




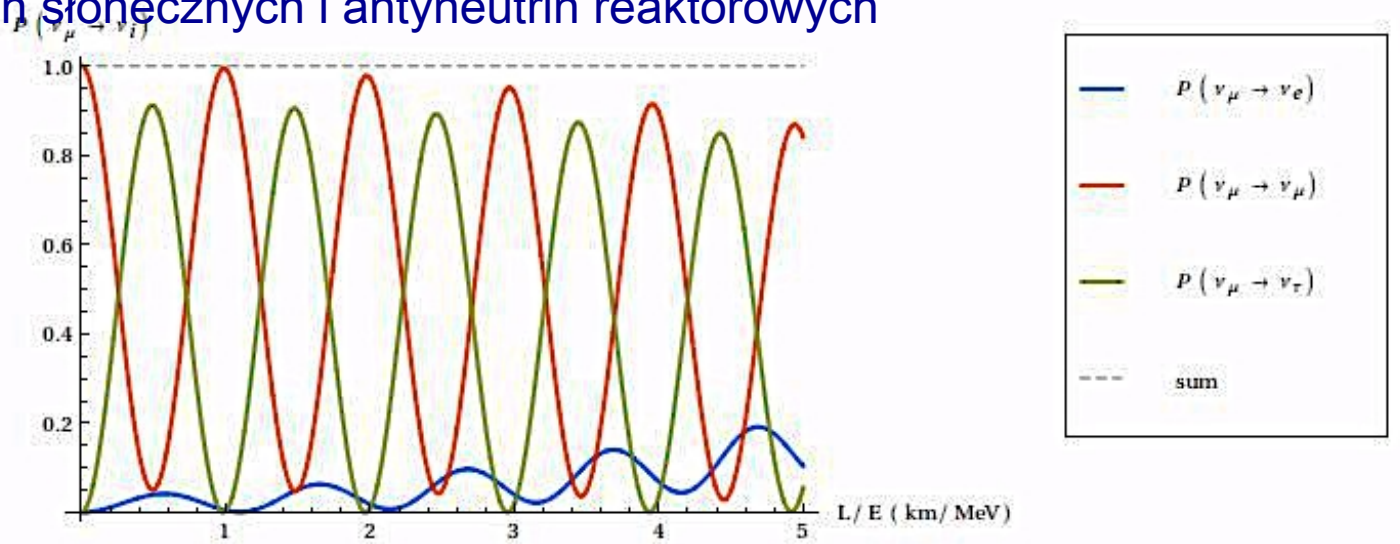
Całkowity strumień neutrin zgodny z przewidywaniami Modelu Słońca, **niedobór ν_e spowodowany ich przemianą w $\nu_{\mu,\tau}$** w drodze z wnętrza do powierzchni Słońca

Obecnie oscylacje neutrin są solidnie dowiedzione

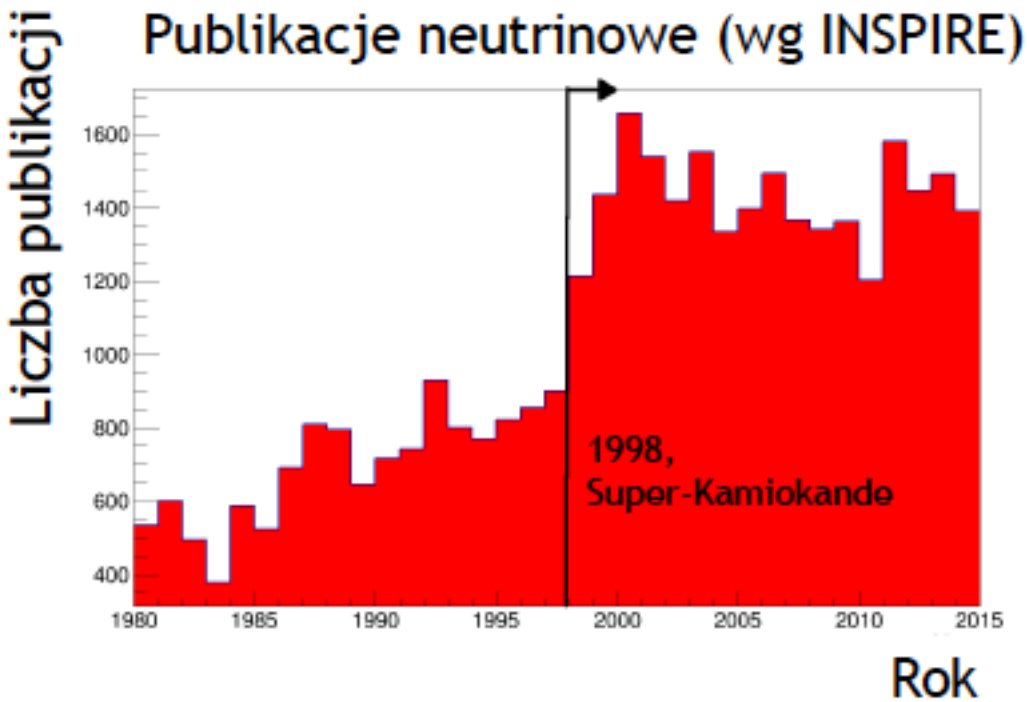




Bardzo dobra zgodność wyników dla: neutrin atmosferycznych i akceleratorowych oraz neutrin słonecznych i antyneutrin reaktorowych



Publikacje ze słowem „neutrino” w tytule

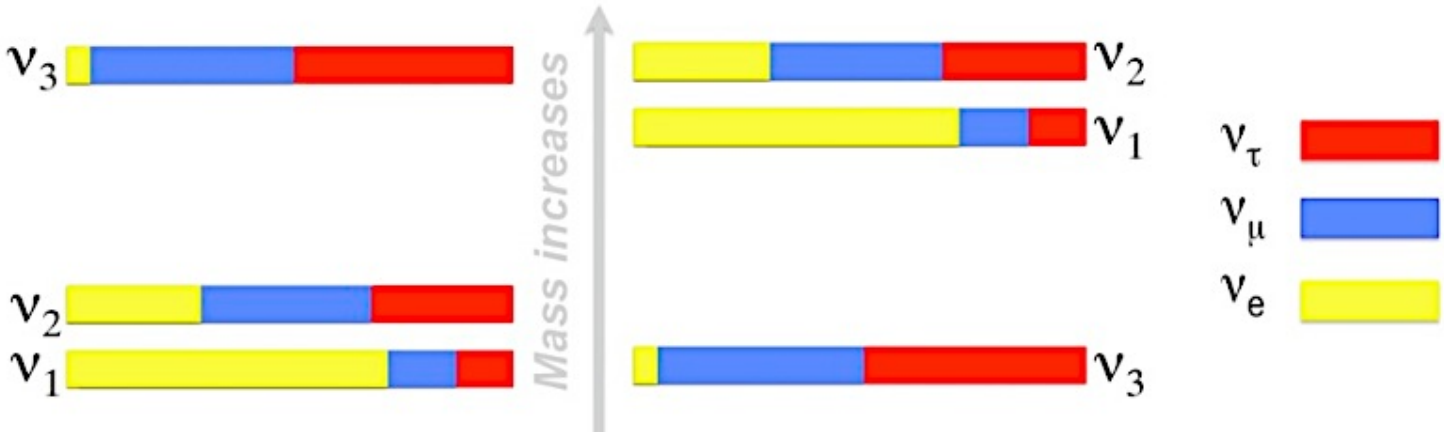


Od chwili odkrycia oscylacji neutrin niesłabnące zainteresowanie tematyką neutrin.
DLACZEGO? Bo niezerowa masa neutrin uchodzi za solidne wskazanie na fizykę spoza Modelu Standardowego, więc dalsze badania neutrin mogą dostarczyć odpowiedzi na fundamentalne otwarte pytania, z którymi Model sobie nie radzi.

Oscylacje neutrin: Co wiemy? O co pytamy?

Dla modelu z 3 stanami zapachowymi z 6 parametrów teoretycznych zmierzone zostały wszystkie trzy kąty mieszania oraz obie różnice kwadratów mas

W przypadku jednej z nich znamy tylko wartość bezwzględną → nie znamy w pełni uporządkowania mas neutrin



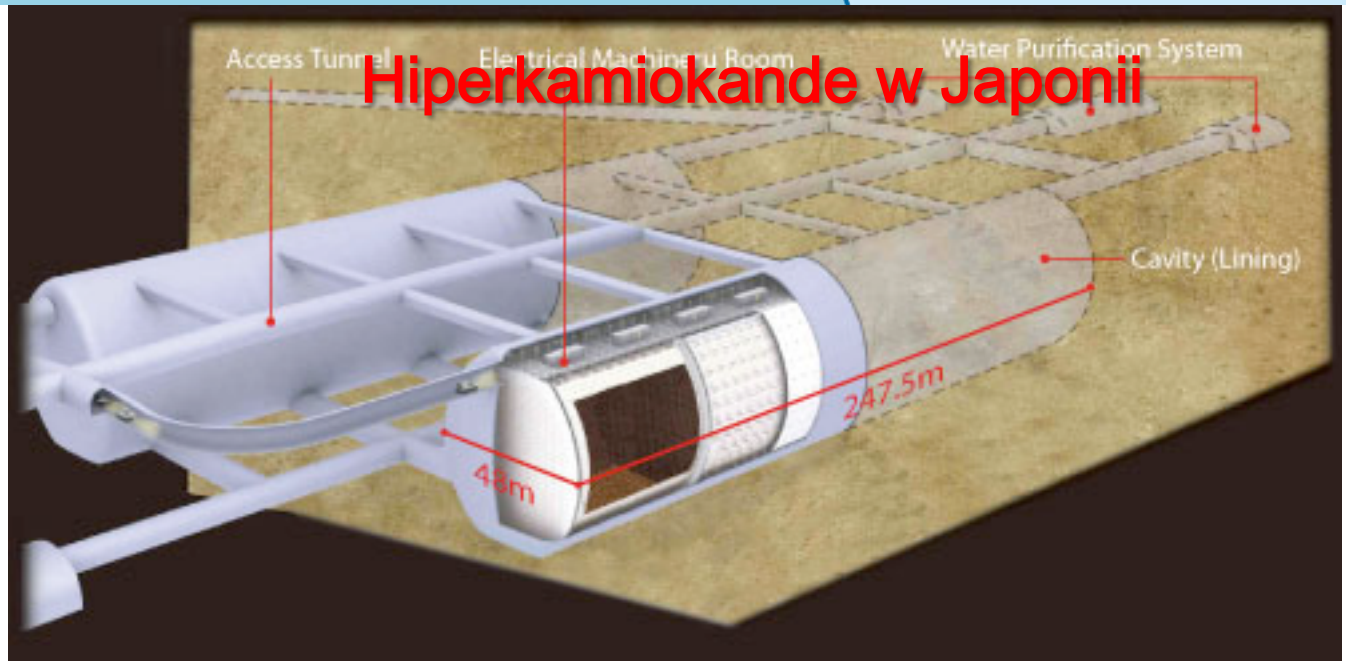
Szósty parametr, δ_{CP}, związany jest z zachowaniem/łamaniem symetrii CP dla neutrin

Bardzo ważny pomiar, bo łamanie symetrii ładunkowo-przestrzennej CP konieczne dla wyjaśnienia obserwowanej asymetrii między materią i antymaterią we Wszechświecie, a łamanie CP dla kwarków chyba zbyt małe

→ Bogaty, zorientowany na te pomiary program obecnych i przyszłych badań

Dwa wielkie przyszłe projekty akceleratorowe

LBNF-DUNE w USA

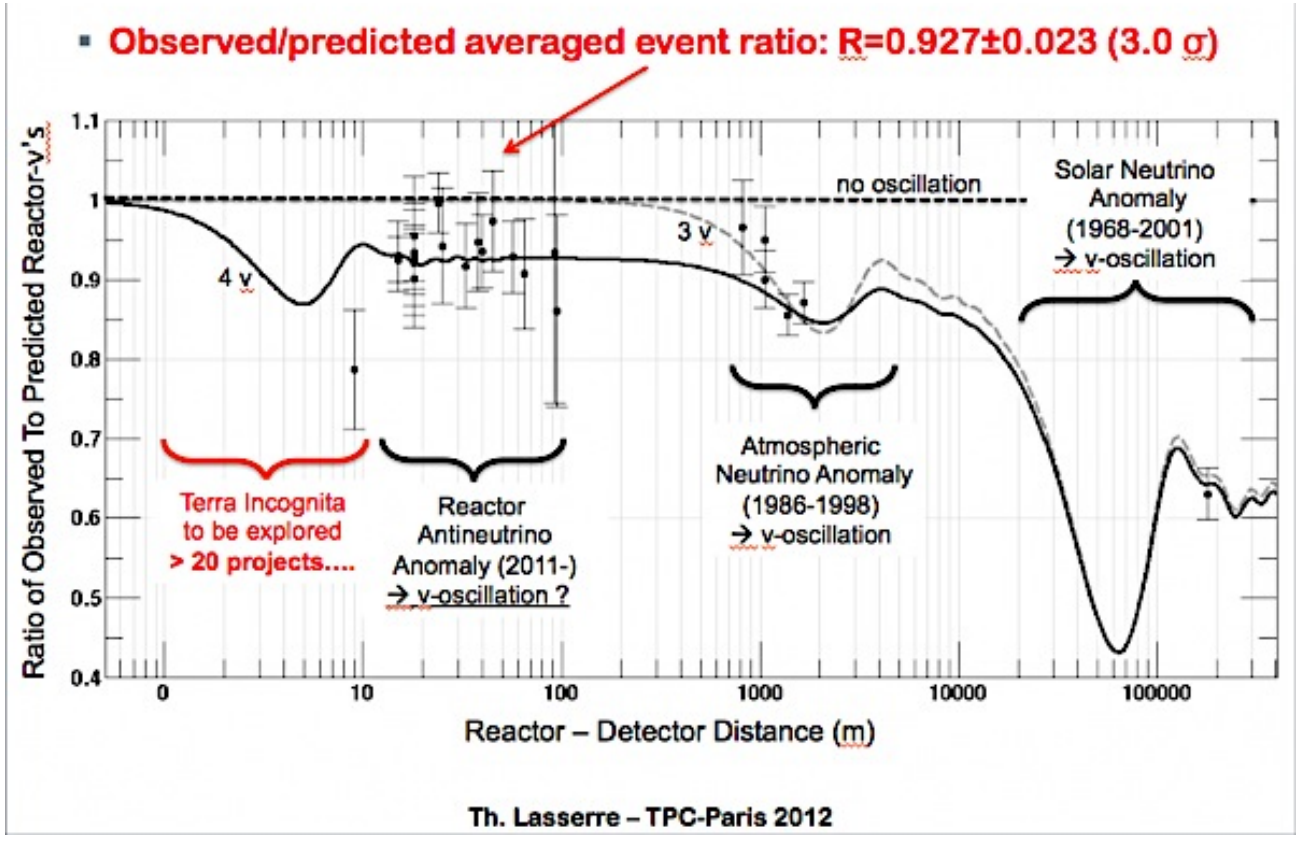


Hiperkamiokande w Japonii

Czy istnieją neutrina sterylne?

Pytanie, czy poza trzema stanami zapachowymi, związanymi z oddziaływaniami słabymi, nie ma jeszcze innego typu neutrin, tzw. neutrin sterylnych. Ich obecność mogłaby się objawić poprzez oscylacje z stanami zapachowymi.

W eksperymentach z neutrinami reaktorowymi i akceleratorowymi zaobserwowano pewne anomalie, które są/będą sprawdzane w szeregu dedykowanych eksperymentów.

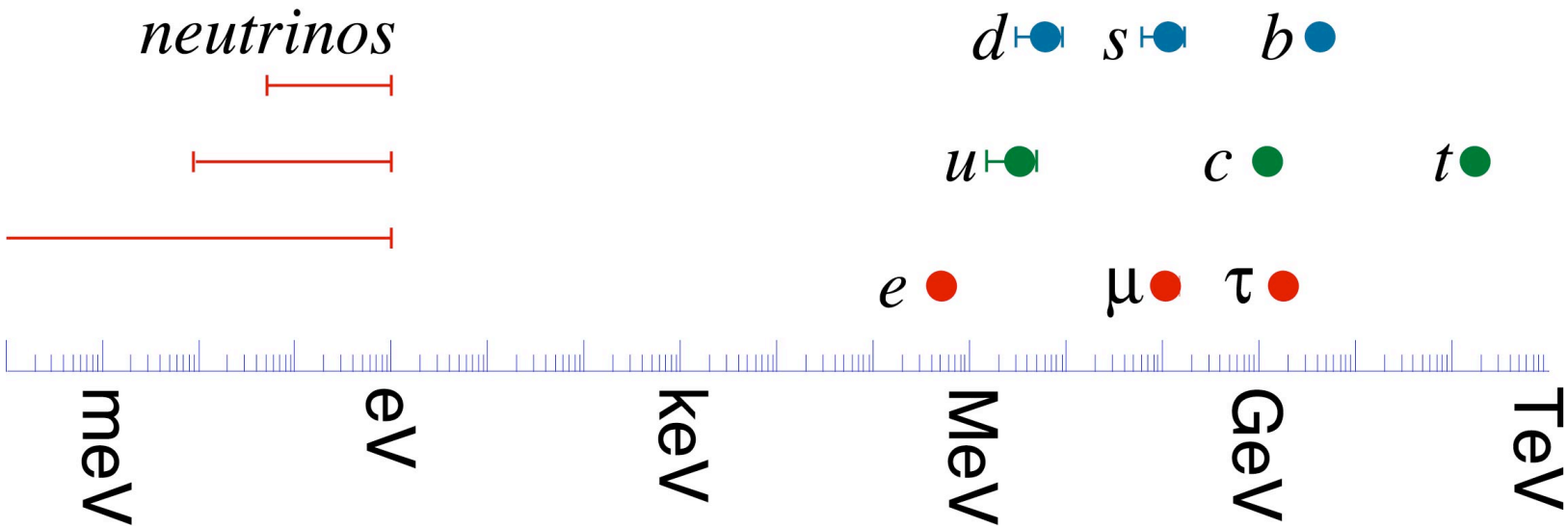


Jakie są wartości mas neutrin?

Badania oscylacji nie mogą dać odpowiedzi na pytanie, jakie są masy neutrin.

Mówią tylko, że najcięższy stan masowy musi mieć masę większą niż 50 meV, a drugi z kolei stan masowy większą niż 9 meV, a trzeci ≥ 0 meV

Skala mas elementarnych cząstek materii Dlaczego neutrina tak „odstają”?



Jak można zmierzyć masy neutrin?

Bezpośredni pomiar masy:

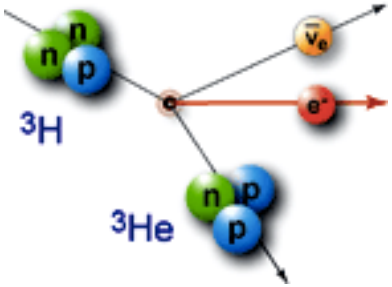
-- w oparciu o analizę kinematyczną rozpadów β

-- z czasu przelotu neutrin z wybuchu gwiazdy supernowej

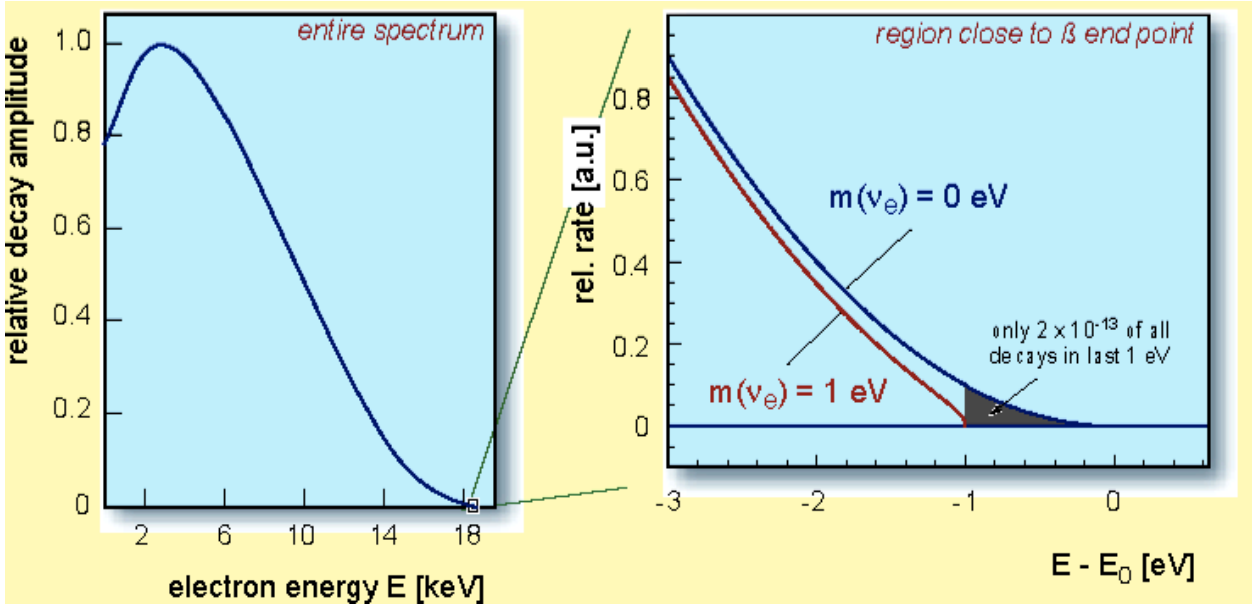
W oparciu o pomiary kosmologiczne: $\sum_i m_i < 0.23\,\mathrm{eV}$

W oparciu o podwójny bezneutrinowy rozpad β ($\beta\beta0\nu$) – taki rozpad możliwy pod warunkiem, że neutrino jest identyczne z antyneutrinem (niemożliwe w Modelu Standardowym)

Pomiar masy ν_e w oparciu o rozpad β trytu



$$E_0 = M(^3H) - M(^3He) - m_e$$
$$= 18.6\ keV$$
$$\tau_{1/2} = 12.3\ years$$



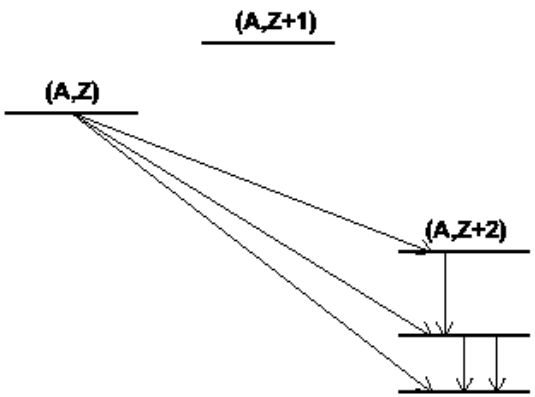
Obecne ograniczenie **$m(\nu_\varepsilon)$<2.0 eV** – eksperymenty Mainz i Troitsk
Nowy eksperyment KATRIN pozwoli osiągnąć granicę 0.2 eV

Transport spektrometru eksperymentu KATRIN - 2006

Podwójny bezneutrinowy rozpad β (ββ0ν)

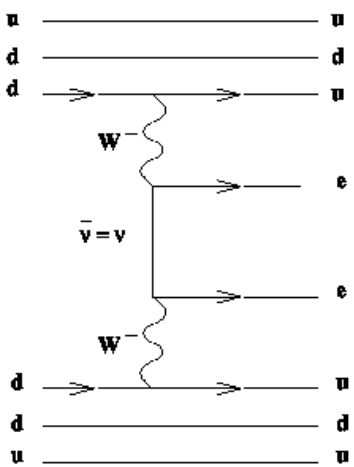
Dla niektórych jąder parzysto-parzystych sekwencja rozpadów

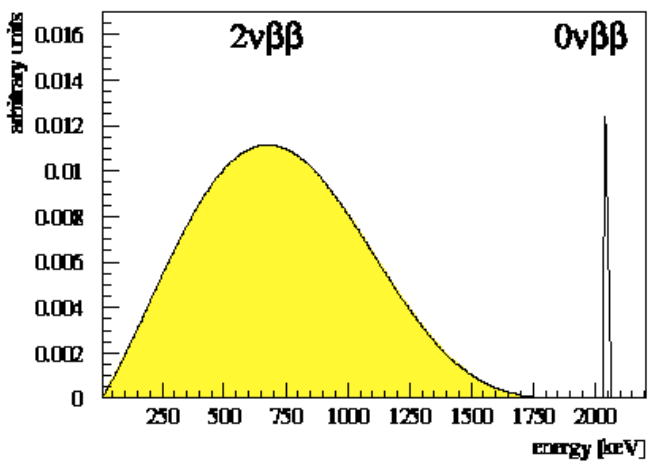
$$(A,Z) \rightarrow \quad (A,Z+1) + e^- + \overline{\nu}_e$$
$$\hookrightarrow (A,Z+2) + e^- + \overline{\nu}_e$$



jest zabroniona przez prawo zachowania energii i zachodzi podwójny rozpad β

$$(A,Z) \rightarrow (A,Z+2) + 2e^- + 2\overline{\nu}_e$$
$$(A,Z) \rightarrow (A,Z+2) + 2e^-$$

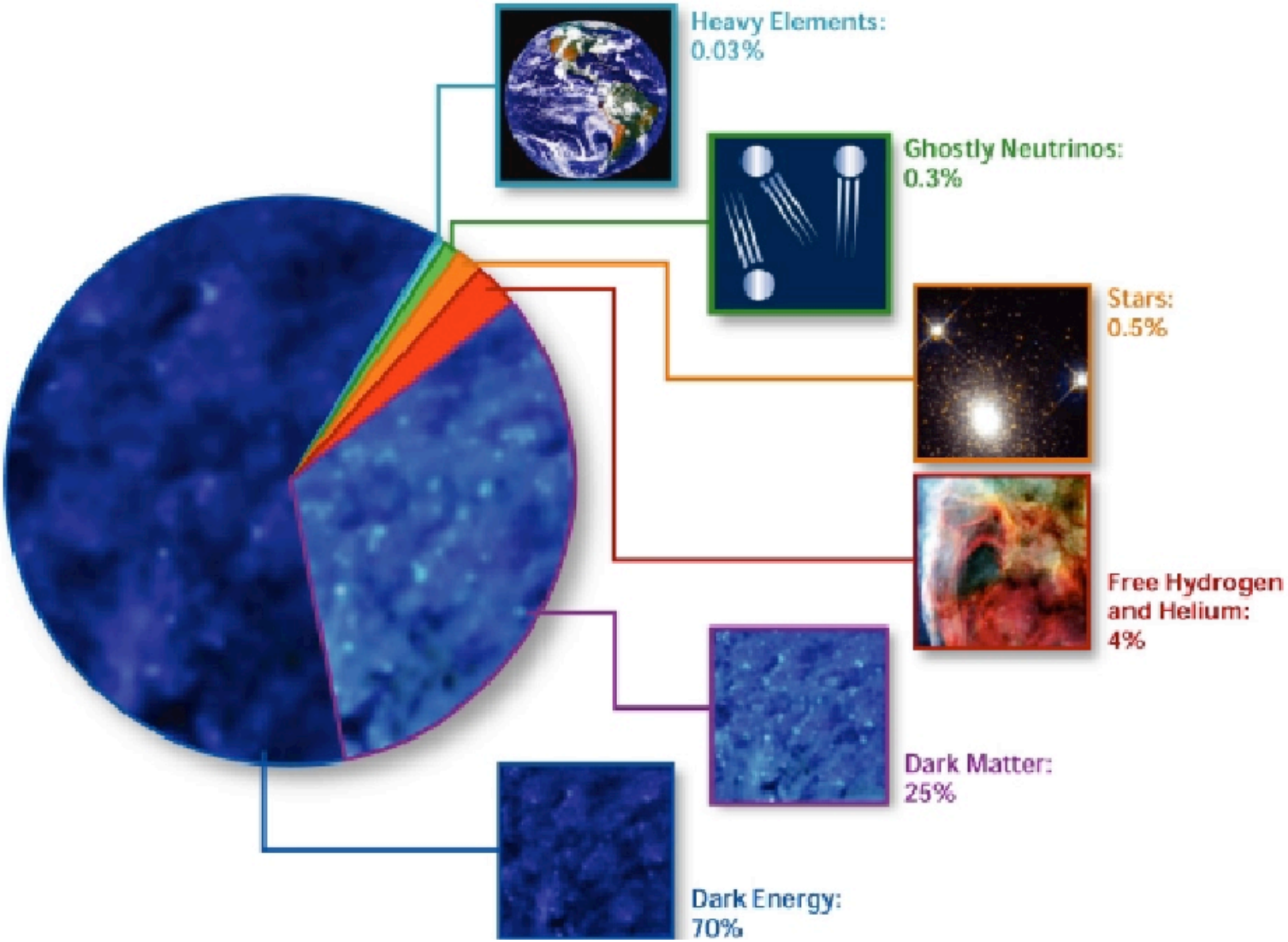




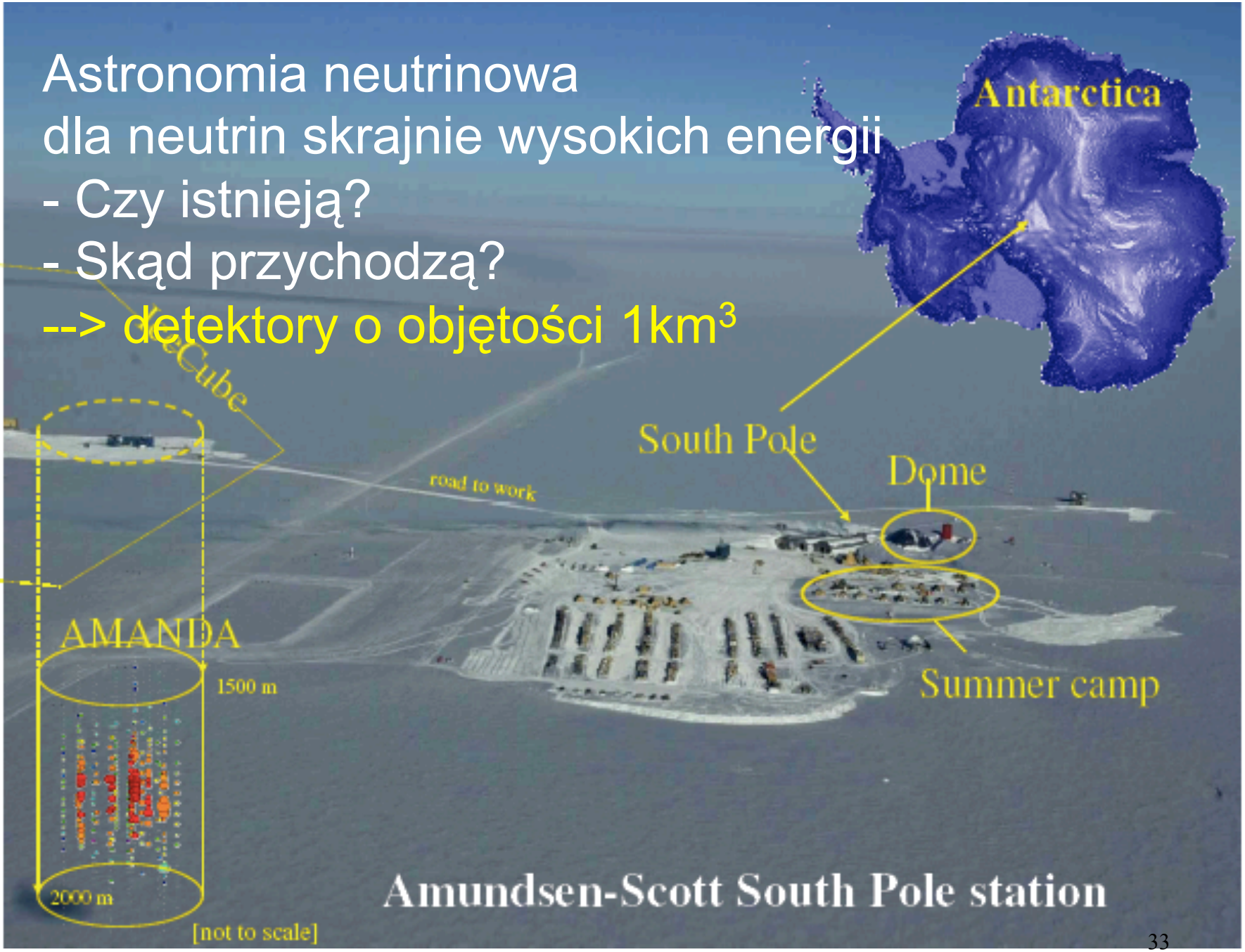
Kilka bardzo ciekawych eksperymentów poszukuje rozpadów ββ0ν

Zaobserwowanie takiego rozpadu oznaczałoby, że neutrino jest tzw. cząstką Majorany, co otwiera bardzo ciekawe możliwości teoretyczne, np. istnienie ciężkich neutrin
→ wyjaśnienie Ciemnej Materii ?

Rozkład masy – energii Wszechświata



Astronomia neutrinowa
dla neutrin skrajnie wysokich energii
- Czy istnieją?
- Skąd przychodzą?
--> detektory o objętości 1km^3



A co dzieje się w Polsce?

Prof. dr hab. Danuta Kiełczewska z UW
i prof. dr hab. Marian Wójcik z UJ
byli prekursorami badań neutrin w Polsce

Obecnie:

polscy fizycy uczestniczą w eksperymentach T2K, ICARUS (kontynuacja w eksp. SBN w USA), MINOS, Borexino i GERDA.

Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos

Y. Fukuda,[1] T. Hayakawa,[1] E. Ichihara,[1] K. Inoue,[1] K. Ishihara,[1] H. Ishino,[1] Y. Itow,[1] T. Kajita,[1] J. Kameda,[1] S. Kasuga,[1] K. Kobayashi,[1] Y. Kobayashi,[1] Y. Koshio,[1] M. Miura,[1] M. Nakahata,[1] S. Nakayama,[1] A. Okada,[1] K. Okumura,[1] N. Sakurai,[1] M. Shiozawa,[1] Y. Suzuki,[1] Y. Takeuchi,[1] Y. Totsuka,[1] S. Yamada,[1] M. Earl,[2] A. Habig,[2] E. Kearns,[2] M.D. Messier,[2] K. Scholberg,[2] J.L. Stone,[2] L.R. Sulak,[2] C.W. Walter,[2] M. Goldhaber,[3] T. Barszczxak,[4] D. Casper,[4] W. Gajewski,[4] P.G. Halverson,[4,*] J. Hsu,[4] W.R. Kropp,[4] L.R. Price,[4] F. Reines,[4] M. Smy,[4] H.W. Sobel,[4] M.R. Vagins,[4] K.S. Ganezer,[5] W.E. Keig,[5] R.W. Ellsworth,[6] S. Tasaka,[7] J.W. Flanagan,[8,†] A. Kibayashi,[8] J.G. Learned,[8] S. Matsuno,[8] V.J. Stenger,[8] D. Takemori,[8] T. Ishii,[9] J. Kanzaki,[9] T. Kobayashi,[9] S. Mine,[9] K. Nakamura,[9] K. Nishikawa,[9] Y. Oyama,[9] A. Sakai,[9] M. Sakuda,[9] O. Sasaki,[9] S. Echigo,[10] M. Kohama,[10] A.T. Suzuki,[10] T.J. Haines,[11,4] E. Blaufuss,[12] B.K. Kim,[12] R. Sanford,[12] R. Svoboda,[12] M.L. Chen,[13] Z. Conner,[13,‡] J.A. Goodman,[13] G.W. Sullivan,[13] J. Hill,[14] C.K. Jung,[14] K. Martens,[14] C. Mauger,[14] C. McGrew,[14] E. Sharkey,[14] B. Viren,[14] C. Yanagisawa,[14] W. Doki,[15] K. Miyano,[15] H. Okazawa,[15] C. Saji,[15] M. Takahata,[15] Y. Nagashima,[16] M. Takita,[16] T. Yamaguchi,[16] M. Yoshida,[16] S.B. Kim,[17] M. Etoh,[18] K. Fujita,[18] A. Hasegawa,[18] T. Hasegawa,[18] S. Hatakeyama,[18] T. Iwamoto,[18] M. Koga,[18] T. Maruyama,[18] H. Ogawa,[18] J. Shirai,[18] A. Suzuki,[18] F. Tsushima,[18] M. Koshiba,[19] M. Nemoto,[20] K. Nishijima,[20] T. Futagami,[21] Y. Hayato,[21,§] Y. Kanaya,[21] K. Kaneyuki,[21] Y. Watanabe,[21] D. Kielczewska,[22,4] R.A. Doyle,[23] J.S. George,[23] A.L. Stachyra,[23] L.L. Wai,[23,‖] R.J. Wilkes,[23] and K.K. Young[23]

(Super-Kamiokande Collaboration)

[1] *Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Tanashi, Tokyo, 188-8502, Japan*
[2] *Department of Physics, Boston University, Boston, Massachusetts 02215*
[3] *Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973*
[4] *Department of Physics and Astronomy, University of California at Irvine, Irvine, California 92697-4575*
[5] *Department of Physics, California State University, Dominguez Hills, Carson, California 90747*
[6] *Department of Physics, George Mason University, Fairfax, Virginia 22030*
[7] *Department of Physics, Gifu University, Gifu, Gifu 501-1193, Japan*
[8] *Department of Physics and Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii 96822*
[9] *Institute of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan*
[10] *Department of Physics, Kobe University, Kobe, Hyogo 657-8501, Japan*
[11] *Physics Division, P-23, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87544*
[12] *Department of Physics and Astronomy, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803*
[13] *Department of Physics, University of Maryland, College Park, Maryland 20742*
[14] *Department of Physics and Astronomy, State University of New York, Stony Brook, New York 11794-3800*
[15] *Department of Physics, Niigata University, Niigata, Niigata 950-2181, Japan*
[16] *Department of Physics, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan*
[17] *Department of Physics, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*
[18] *Department of Physics, Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan*
[19] *The University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan*
[20] *Department of Physics, Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan*
[21] *Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo 152-8551, Japan*
[22] *Institute of Experimental Physics, Warsaw University, 00-681 Warsaw, Poland*
[23] *Department of Physics, University of Washington, Seattle, Washington 98195-1560*

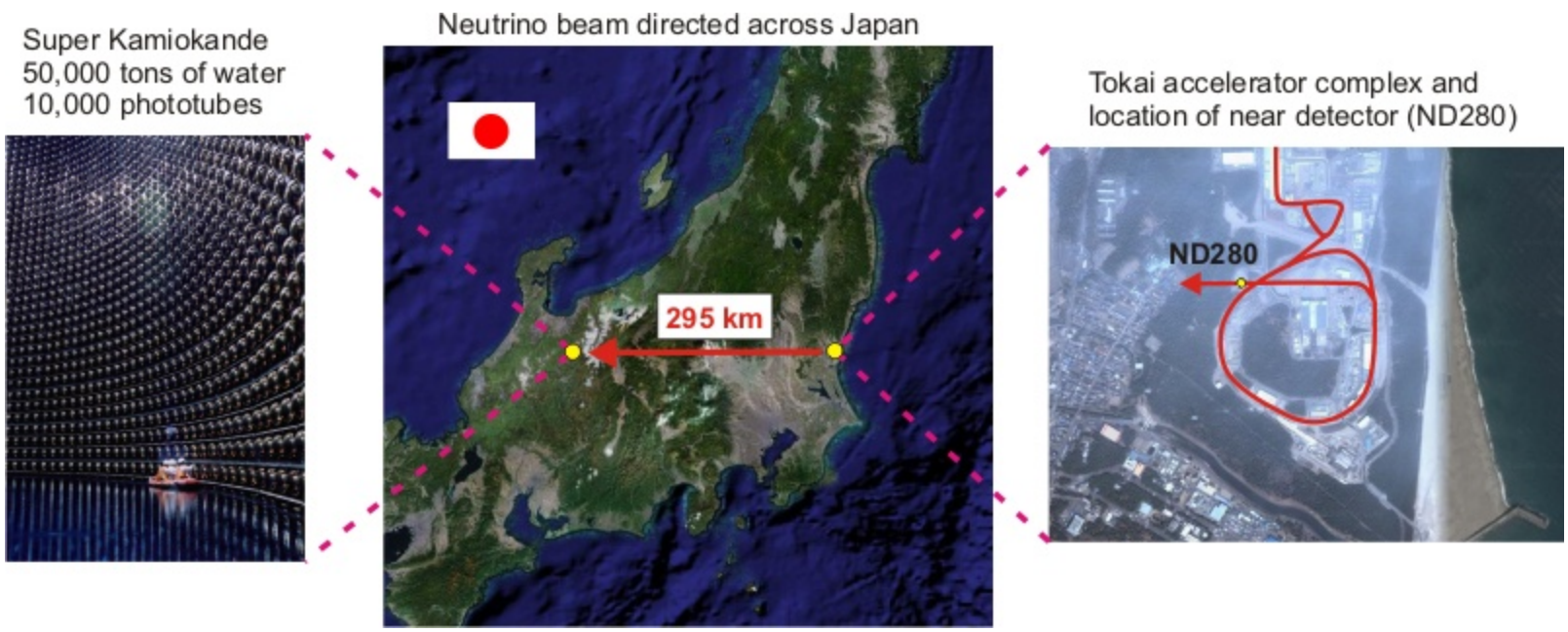
(Received 6 July 1998)

Eksperyment T2K (Tokai to Kamioka)

z udziałem grup z IFJ PAN, NCBJ, PW, UŚ, UW i UWr

T2K (pierwsze dane w 2010 roku) – intensywna wiązka neutrin akceleratorowych w oparciu o intensywną wiązkę protonów w ośrodku JPARC, specjalna konfiguracja detektorów dla wyboru określonej energii neutrin

Po zaledwie pięciu latach zbierania danych bezpośrednia obserwacja oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, poprawa pomiarów dwu innych parametrów oscylacyjnych i pierwsze wskazanie na łamanie symetrii CP dla neutrin



Eksperyment Borexino

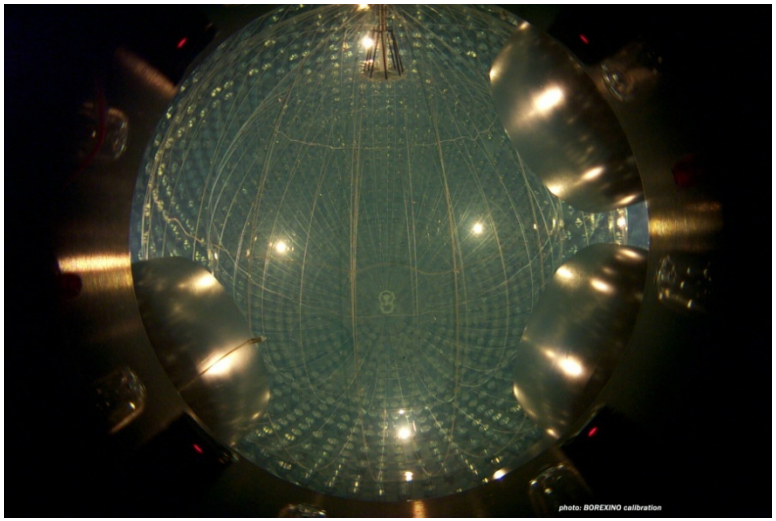
z udziałem grupy z UJ

Powrót do neutrinowej astronomii Słońca,

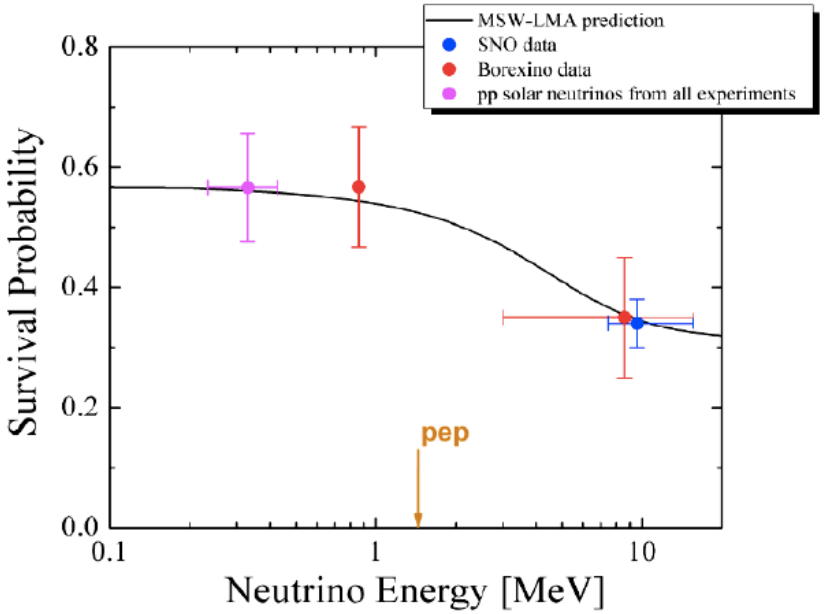
pomiar w czasie rzeczywistym strumieni neutrin z różnych reakcji w Słońcu, m.in. nisko-energetycznych neutrin pp ze względu na próg energetyczny poniżej 0.42 MeV

Pomiar strumienia geoneutrin

Celem zrozumienia mechanizmu generacji ciepła wewnątrz Ziemi



Napełnenie detektora scyntylatorem – 15.05.2007



Wyniki z Borexino

Podsumowanie

Neutrina są interdyscyplinarne – łączą różne działy badań podstawowych z fizyki, astrofizykę, kosmologię i geofizykę.

Czy neutrina ze swoimi maleńkimi masami (prawdopodobnie sporo poniżej 1 eV) doprowadzą nas do poznania nowych praw przyrody i nowych cząstek?

Osobiście sądzę, że tak!

Pokój Pauliego w CERN-ie

do dyspozycji Przewodniczącego/ Przewodniczącej Rady CERN-u

Bardzo dziękuję