

Tajemnicze neutrino

Agnieszka Zalewska

Dzień otwarty IFJ, 28.09.2002

Polecam:

Krzysztof Fiałkowski: „Opowieści o neutrinach”,
wydawnictwo „Zamiast korepetycji”

<http://www.lapp.in2p3.fr/neutrinos/aneut.html>

i strony tam wymienione

dziękuję

Prof. Andre Rubbii z ETH w Zurichu, z którego
materiałów częściowo korzystałam

8.10.2002 - Nagroda Nobla z fizyki za badania
z fizyki neutrin

Streszczenie

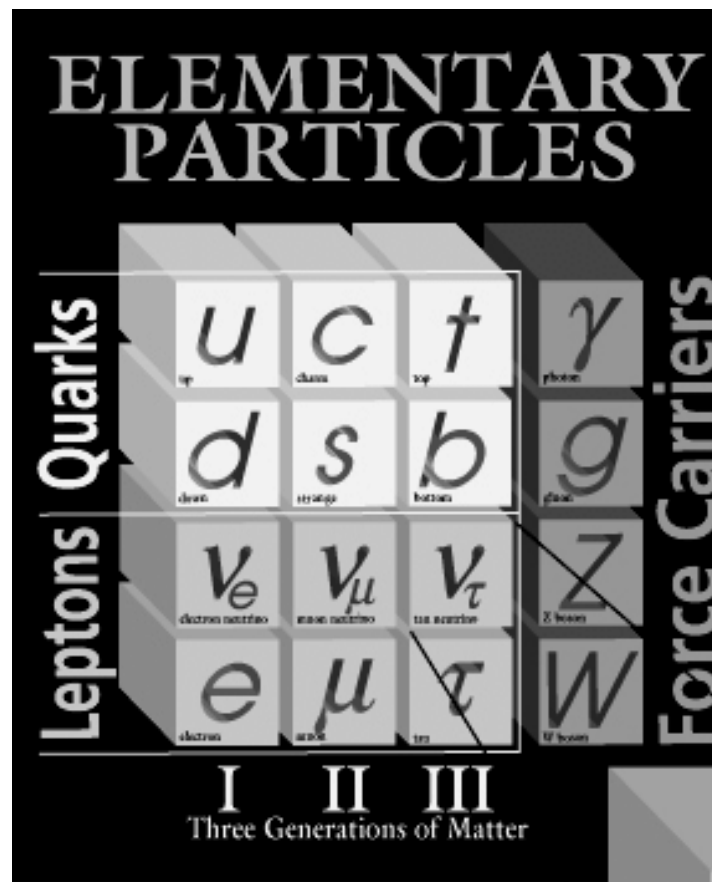
- **Co to jest neutrino?**
- **Hipoteza neutrinowa W.Pauliego**
- **Pierwsza obserwacja oddziaływań neutrin**
- **Skąd się biorą neutrina?**
- **Liczba „zapachów” neutrin**
- **Ile waży neutrino i co z tego wynika?**
- **Oscylacje neutrin atmosferycznych i słonecznych**
- **„Jak grzyby po deszczu” - obecne i przyszłe eksperymenty**

Co to jest neutrino?

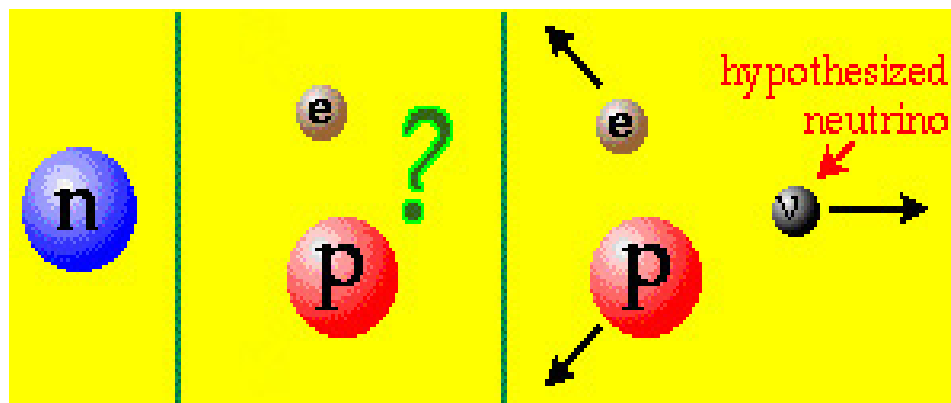
Elementarna cząstka materii

Neutrino to neutralne leptony

- oddziałują tylko słabo
- mają bardzo małą masę
- są lewoskrętne, a ich antycząstki są prawoskrętne



Hipoteza neutrinowa W.Pauliego



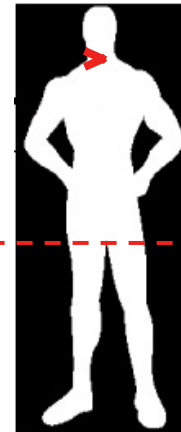
Wydawało się, że w rozpadach β jąder atomowych naruszone są zasady zachowania energii i krętu. W takim rozpadzie neutron w jądrze przechodzi w proton i wyemitowany zostaje elektron: $n \rightarrow p + e^-$.

Aby ratować te prawa zachowania, Wolfgang Pauli, w swoim słynnym liście zaczynającym się od słów “Lieben Radioactiven Damen und Herren”, zapostulował, że w rozpadzie β produkowana jest jeszcze jedna niewidzialna cząstka, która wynosi brakującą energię i kręt: neutrino $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$.

Neutrino oddziałują słabo

Promieniowanie elektromagnetyczne (γ) zostaje natychmiast zaabsorbowane

γ

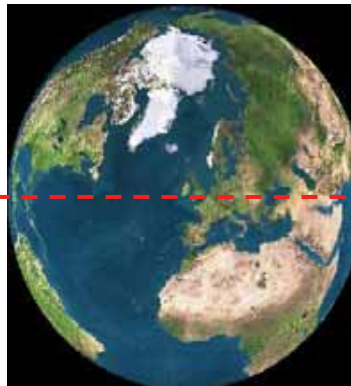


Neutrino oddziałują z materią tylko słabo.

ν



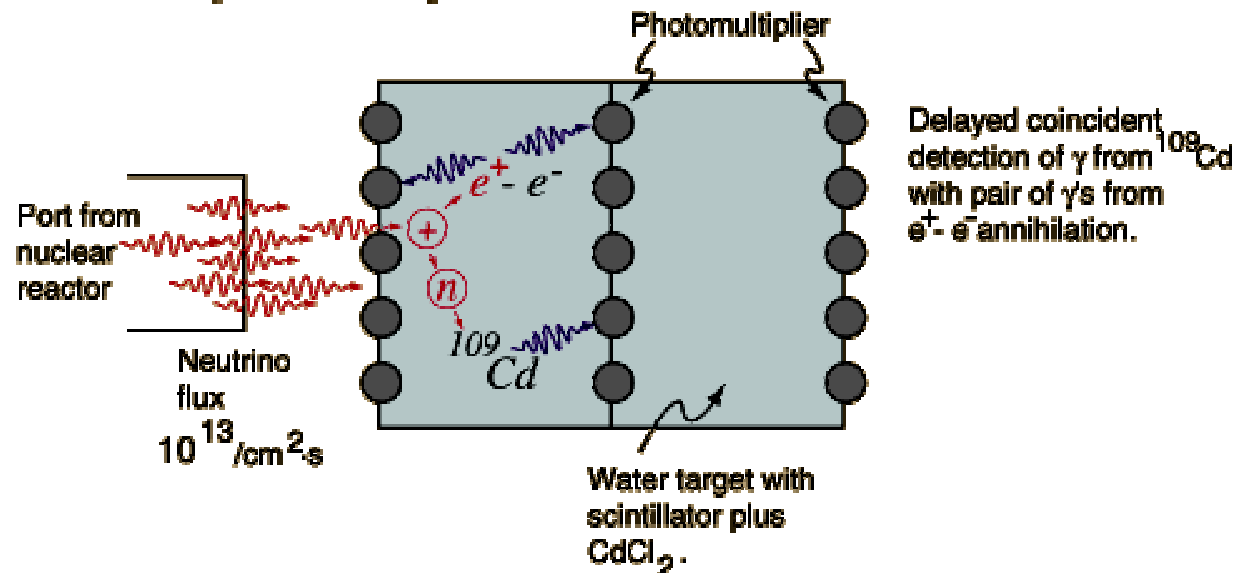
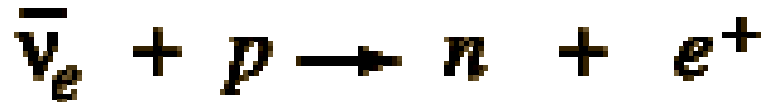
ν



Większość neutrin przechodzi przez Ziemię, nie oddziałując!

Pierwsza obserwacja oddziaływań $\bar{\nu}_e$

Eksperyment Reinesa-Cowana - publikacja z 1956 roku
poszukiwanie oddziaływań antyneutrin z reaktora w detektorze
wypełnionym wodą z scyntylatorem i z dodatkiem CdCl



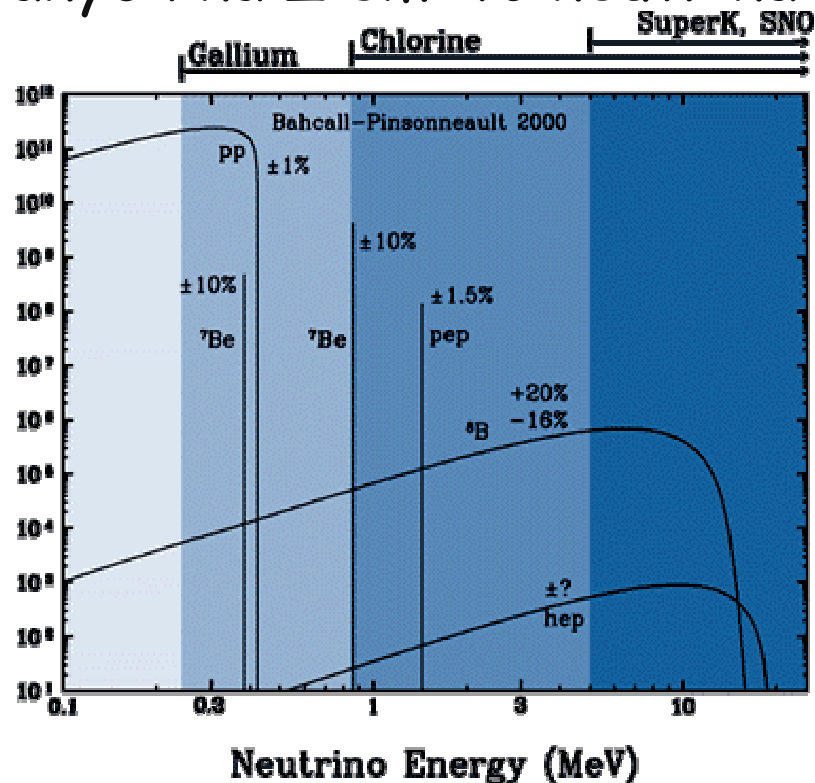
Skąd się biorą neutrina?

Ū Większość neutrin obserwowanych na Ziemi to neutrina słoneczne



Neutrino Flux

Podczas reakcji jądrowych w centrum Słońca powstają neutrina elektronowe. Na powierzchni Ziemi, zarówno w dzień jak i w nocy, ich całkowity strumień wynosi 10^{11} $\nu/cm^2/s$. Ich energia jest na ogół bardzo mała i trudna do zmierzenia.



Neutrina słoneczne

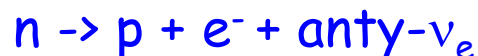
Powstają w Słońcu w procesach syntezy jąder lekkich pierwiastków - ich strumień opisywany jest przez tzw. Standardowy Model Słońca

$pp \rightarrow {}^2\text{H} + e^+ + \nu_e$	
${}^2\text{H} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	
${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$	85%
${}^3\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^7\text{Be} + \gamma$	15%
$e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$	
${}^7\text{Li} + p \rightarrow 2{}^4\text{He}$	
$p + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^8\text{B} + \gamma$	0.02%
${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be}^* + e^+ + \nu_e$	
${}^8\text{Be}^* \rightarrow 2{}^4\text{He}$	

Jeszcze niedawno eksperymenty mierzące strumień neutrin słonecznych wykazywały około połowy strumienia przewidywanego przez Standardowy Model Słońca.

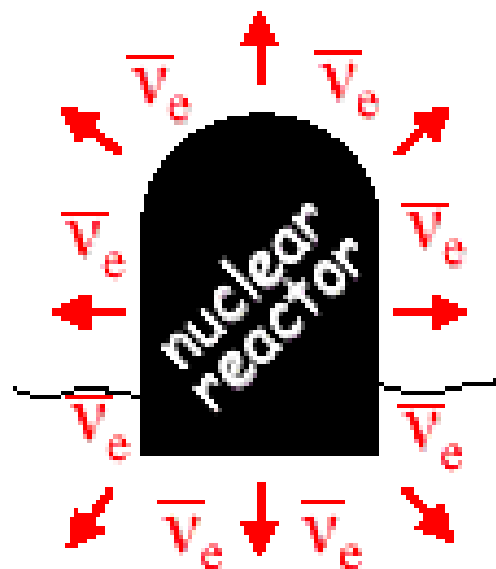
Skąd się biorą neutrina?

Ű z jądrowych rozpadów β naturalnych izotopów promieniotwórczych (antyneutrino) - ok. 6×10^6 anty- ν /sek/cm²

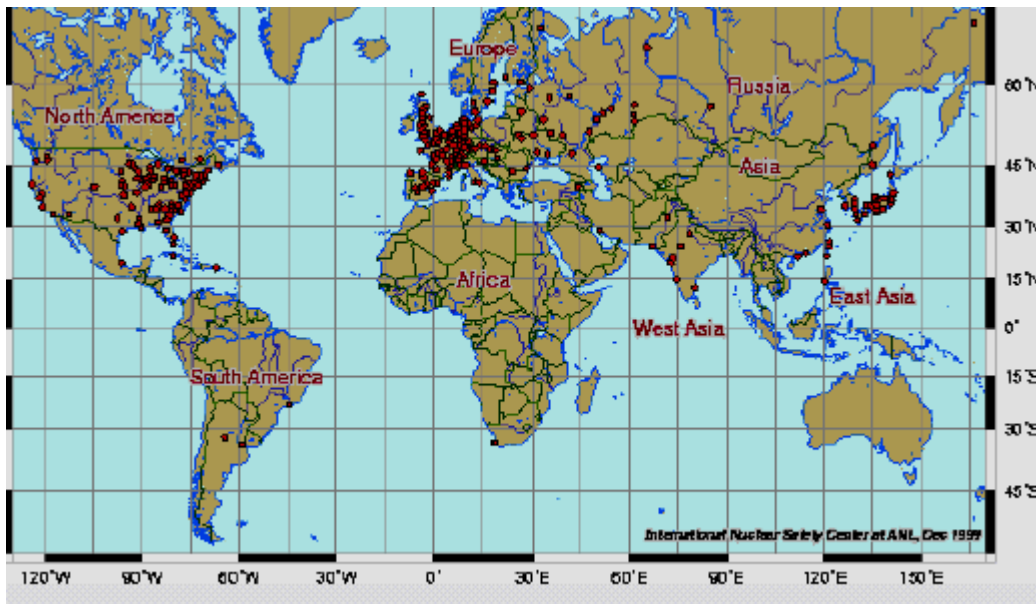


Ű stąd bardzo dużo antyneutrin znajduje się w pobliżu siłowni jądrowych, działających w oparciu o bogate w neutrony materiały rozszczepialne.

Typowa siłownia
jądrowa daje 5×10^{20}
anty- ν /sek



Neutrino z reaktorów



A.Zalewska, dzień otwarty IFJ,
28.09.2002

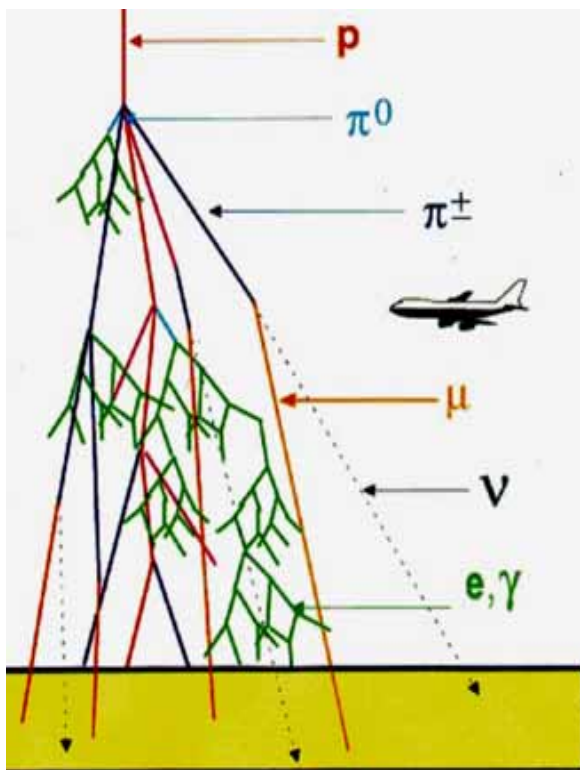
Skąd się biorą neutrino?

- Ź Docierają do Ziemi z odległych zakątków Kosmosu, na przykład w 1987 roku zaobserwowano neutrino pochodzące z wybuchu Supernowej 1987A w Wielkim Obłoku Magellana w odległości 150000 lat świetlnych; dało to początek tzw. astronomii neutrinowej
- Ź Neutrino z Big Bangu - szacuje się, że jest ich ok. $300/\text{cm}^3$ przestrzeni, ale ich energia wynosi zaledwie 0.0004 eV
- Ź Neutrino najwyższych energii - skąd pochodzą? Jaka jest ich maksymalna energia?



Skąd się biorą neutrina?

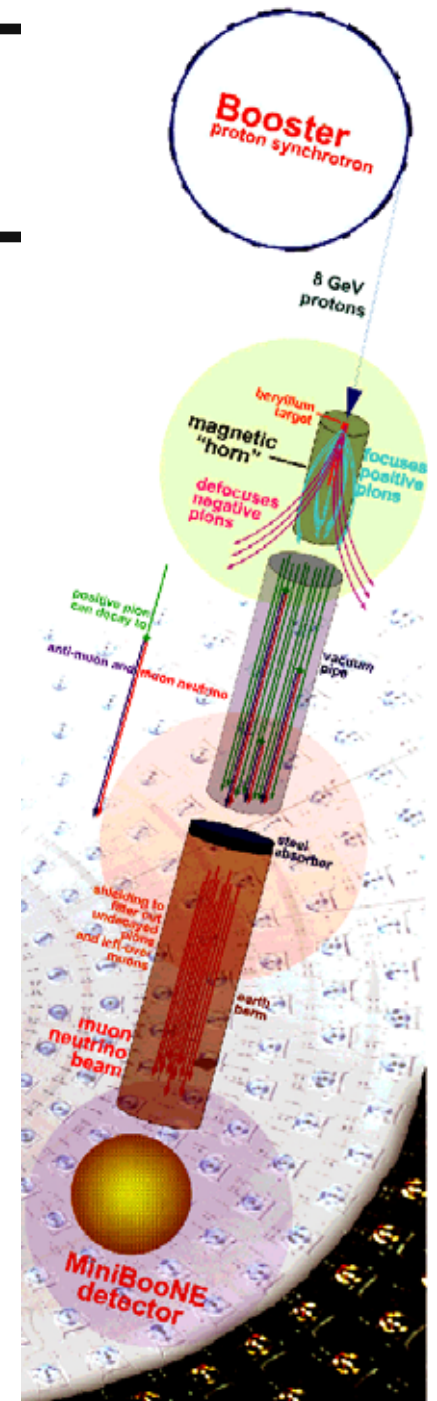
Ū z rozpadów cząstek wytwarzanych w oddziaływaniach promieni kosmicznych z materią górnej warstwy atmosfery ziemskiej - neutrina atmosferyczne



Powstaje wtedy potężny pęk cząstek wtórnych, z których wiele rozpada się z udziałem neutrin, przeważają neutrino o energiach poniżej 1 GeV-y.

Skąd się biorą neutrina?

Ů ze sztucznie wytwarzanych wiązek neutrinowych w oparciu o przyspieszane w akceleratorach wiązki protonowe - podobnie jak dla neutrin atmosferycznych neutrino pochodzą z rozpadów cząstek wtórnych, powstałych w wyniku oddziaływania protonów z wiązki z materiałem tarczy; możliwe jest „sterowanie” energią, kierunkiem i rozmiarami wiązki



Ile jest rodzajów („zapachów”) neutrino?

1962: ν_μ to inna cząstka niż ν_e

1974: odkrycie leptonu τ - oczekiwanie, że istnieje

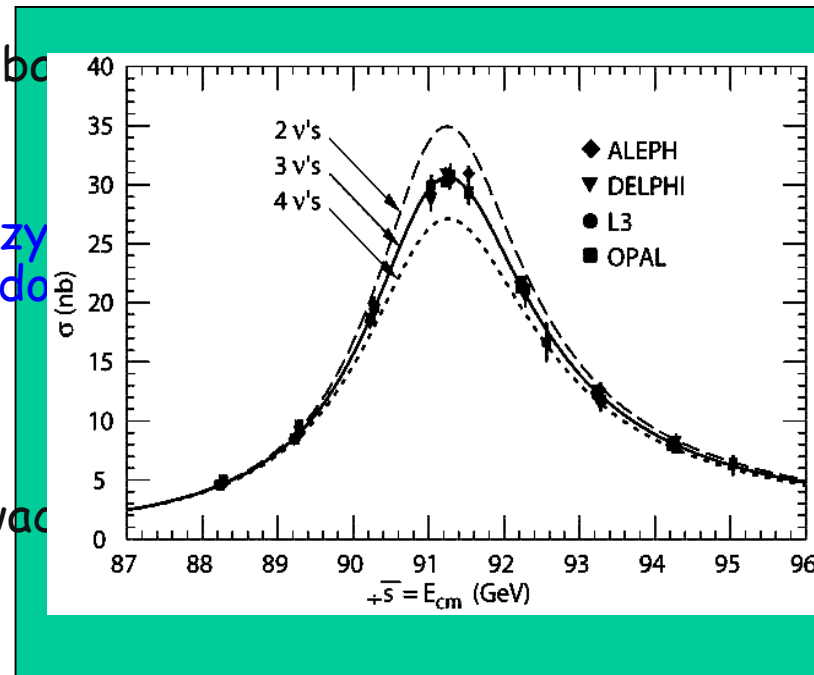
ν_τ

1989: w czterech eksperymentach przy akceleratorze LEP, wyznaczona zostaje liczba lekkich neutrino (a tym samym liczba rodzin kwarkowo-leptonowych)

pomiar szerokości bozonu Z^0 wskazuje na trzy rodzaje lekkich neutrino (sprzęgających się do Z^0)

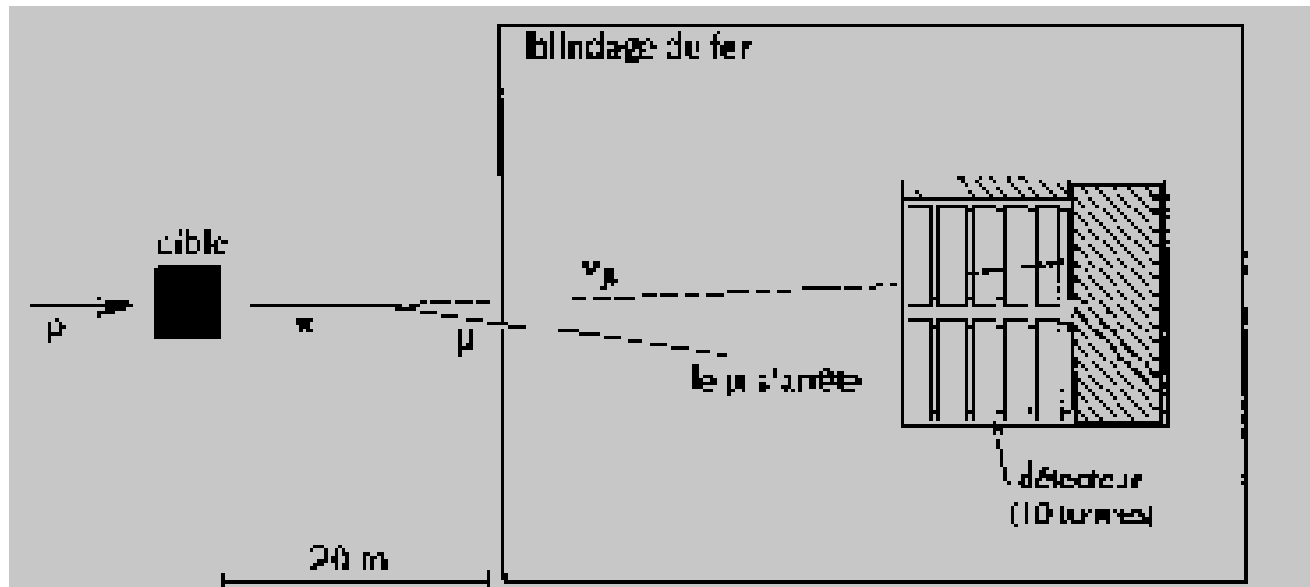
2000: $N_\nu = 3.00 \pm 0.06$ (z bezpośredniego pomiaru)

2000: eksperyment DONUT - pierwsza obserwacja oddziaływań ν_τ :



Odkrycie neutrina mionowego ν_μ

Rok 1962 - eksperyment przy akceleratorze w Brookhaven:
obserwacja leptonów μ powstających w wyniku oddziaływań neutrin mionowych z rozpadów mezonów π , wytwarzanych w oddziaływaniach wiązki protonów z jądrami tarczy

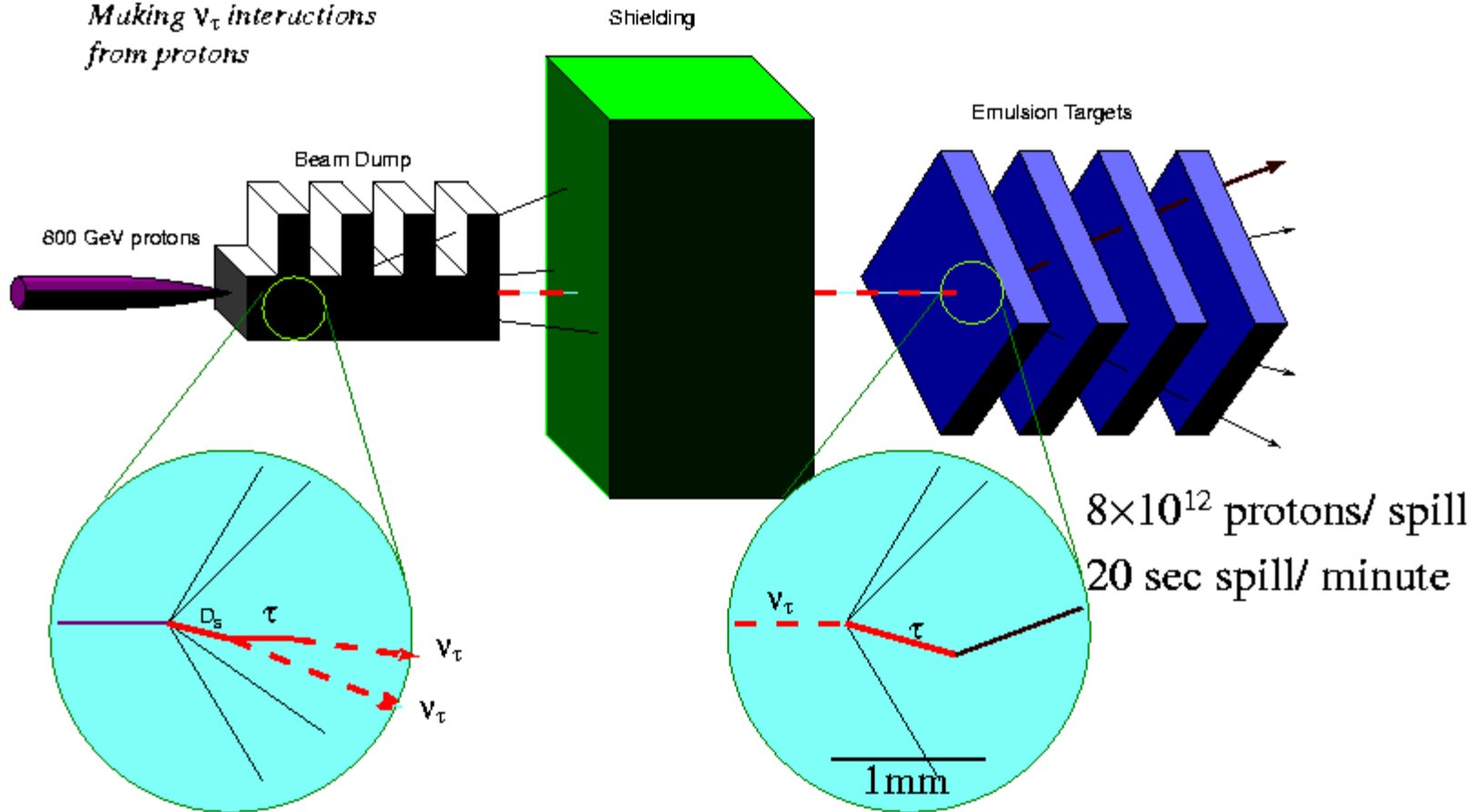


Rok 1987 - Nagroda Nobla dla L.Ledermana, J.Steinbergera i M.Schwartzza za odkrycie oddziaływań ν_μ

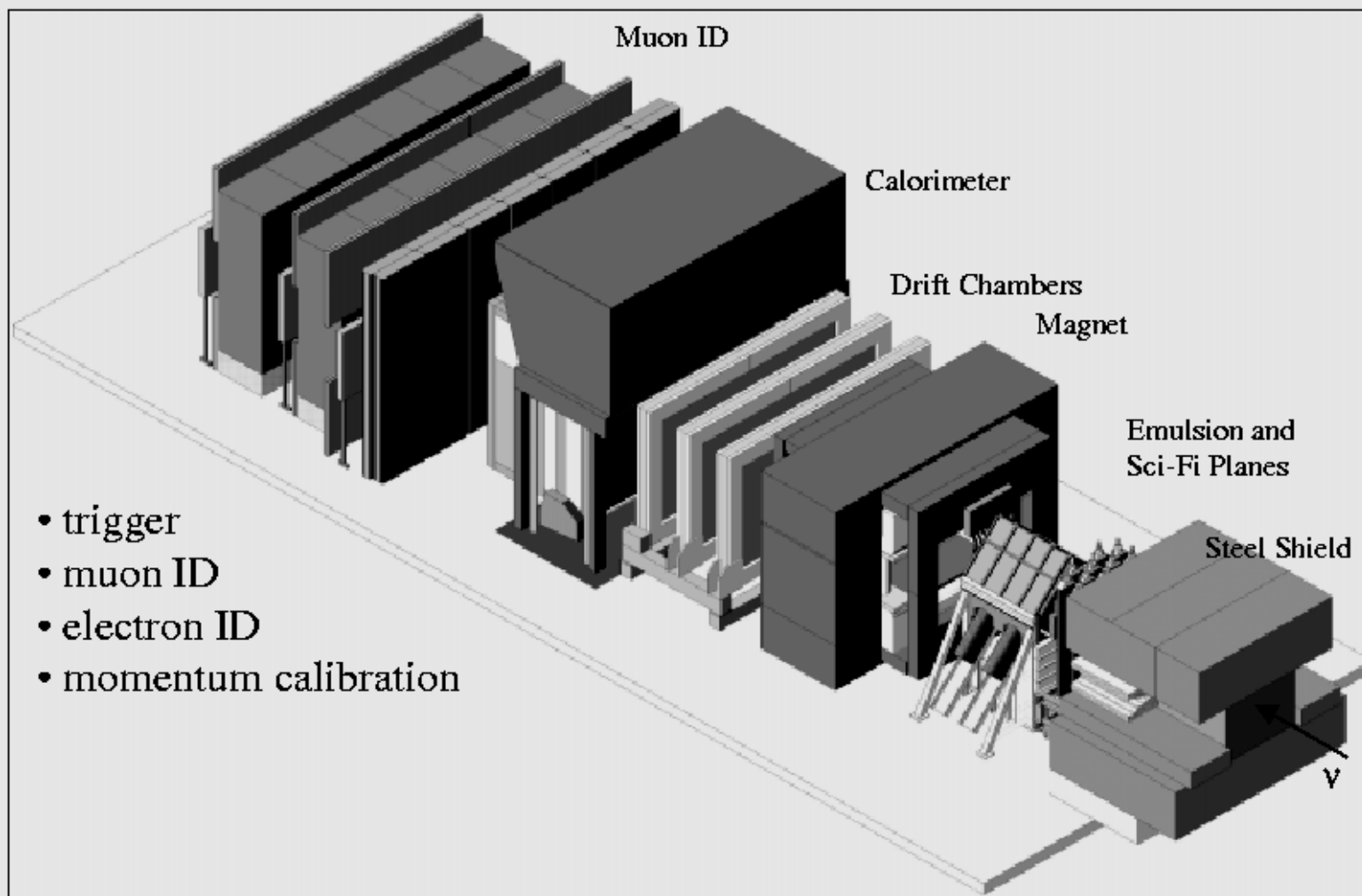
Eksperyment DONUT – oddziaływania ν_τ

E-872

*Making ν_τ interactions
from protons*



Eksperyment DONUT – spektrometr



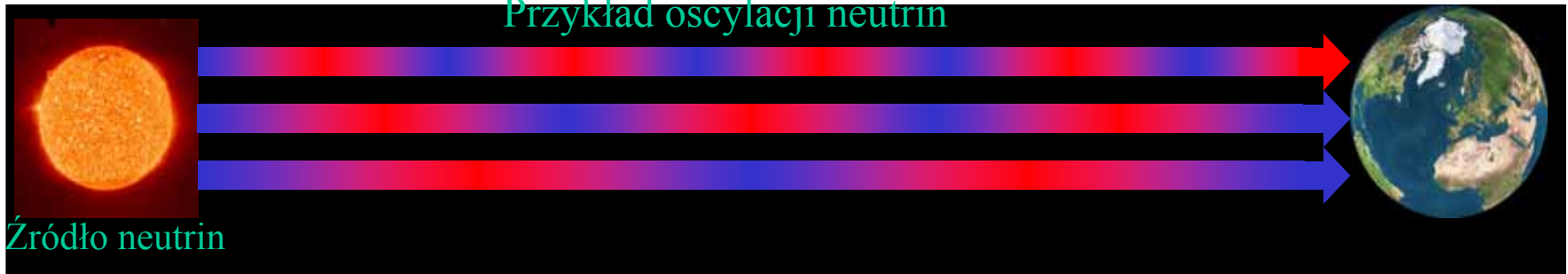
Ile waży neutrino i co z tego wynika?

- Bezpośrednie pomiary dają tylko górne granice mas neutrin - najlepiej zmierzona jest masa ν_e w oparciu o pomiar rozpadu β trytu
- W Modelu Standardowym neutrina mają zerową masę
- Obserwacja oscylacji neutrin atmosferycznych (1998) i słonecznych (2002) oznacza niezerową masę neutrin
- **Konsekwencje: konieczność być może bardzo głębokiej modyfikacji Modelu Standardowego, wyjaśnienie zagadki braku symetrii w występowaniu materii i antymaterii we Wszechświecie?
Neutrino może czasem oddziaływać jak antyneutrino?**

Oscylacje neutrin

Oscylacje neutrin są efektem kwantowo-mechanicznym: neutrino określonego zapachu po przebyciu pewnej drogi zamienia się w neutrino innego zapachu. To jest możliwe tylko wtedy, kiedy te dwa neutrina mają różne masy. To znaczy, że przynajmniej jedno z tych neutrin musi mieć masę różną od zera. Eksperymenty SuperKamioKANDE (Japonia) i SNO (Kanada) wykazały, że oscylacje neutrin występują w przyrodzie.

Przykład oscylacji neutrin



Źródło neutrin

■ tylko ν_e

■ ν_μ i/lub ν_τ

Prawdopodobieństwo P , że po drodze L znajdziemy neutrino ν_β , jeżeli pierwotnie wytworzone było neutrino ν_α , jest dane wzorem:

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

Δm^2 [eV²] jest różnicą kwadratów mas dwu neutrin uczestniczących w oscylacji

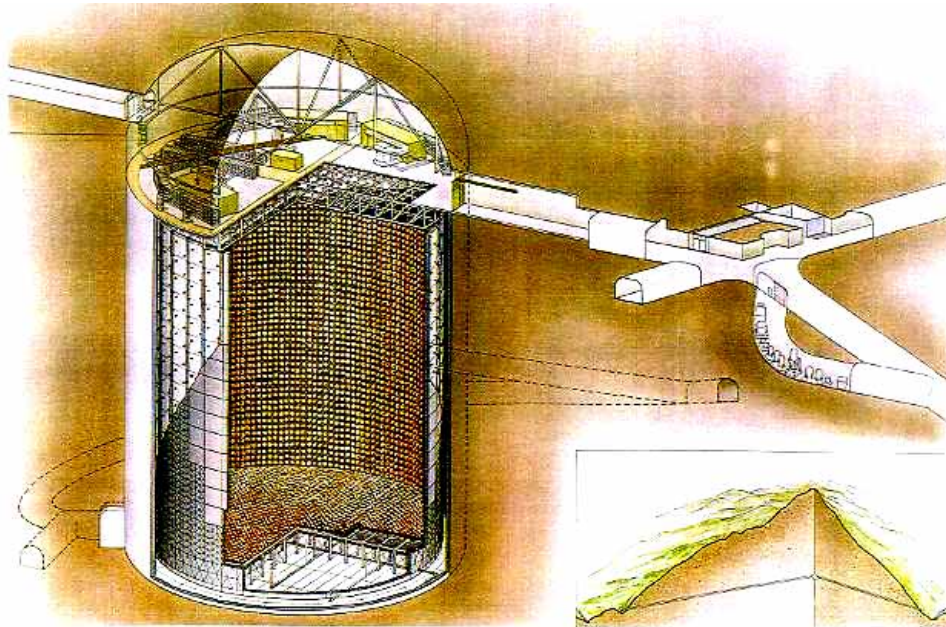
L [km] jest odległością od źródła do detektora

E [GeV] jest energią neutrina

θ [°] jest “kątem mieszania”, stałą teorii

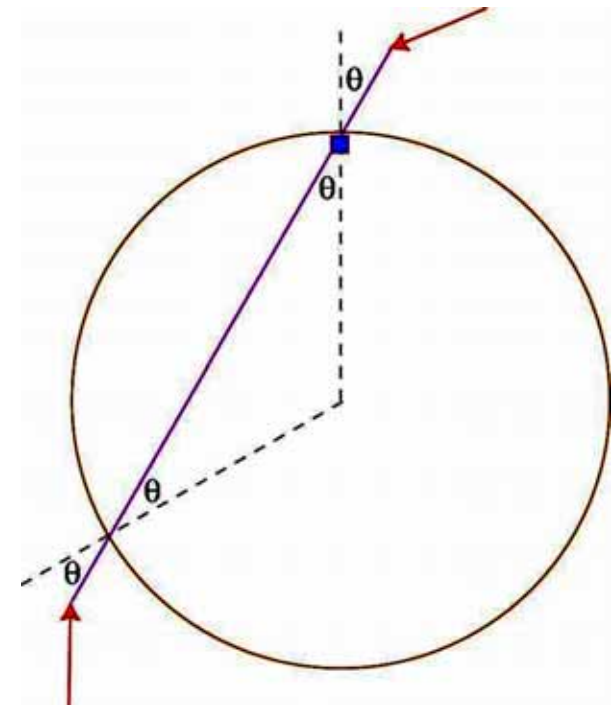
Oscylacje neutrin atmosferycznych

1998 - obserwacja oscylacji neutrin atmosferycznych, dane wskazują na przejście neutrin mionowych w neutrina taonowe



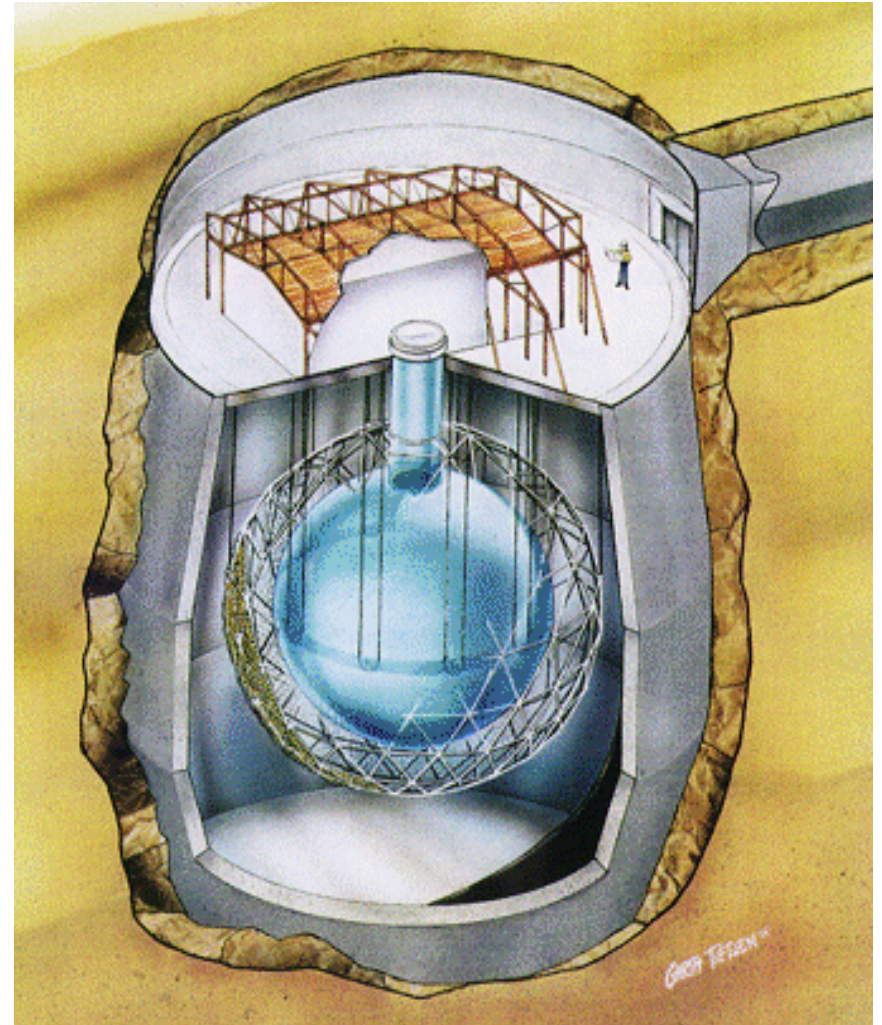
SUPERKAMIOKANDE

Neutrino Oscillation



Oscylacje neutrin słonecznych

2001-2002 - obserwacja
oscylacji neutrin
słonecznych w
eksperymentcie SNO w
Kanadzie, neutrina
elektronowe zanikają, ale
całkowity strumień
wszystkich neutrin zgodny
z Modelem Słońca



„Jak grzyby po deszczu” - obecne i przyszłe eksperymenty

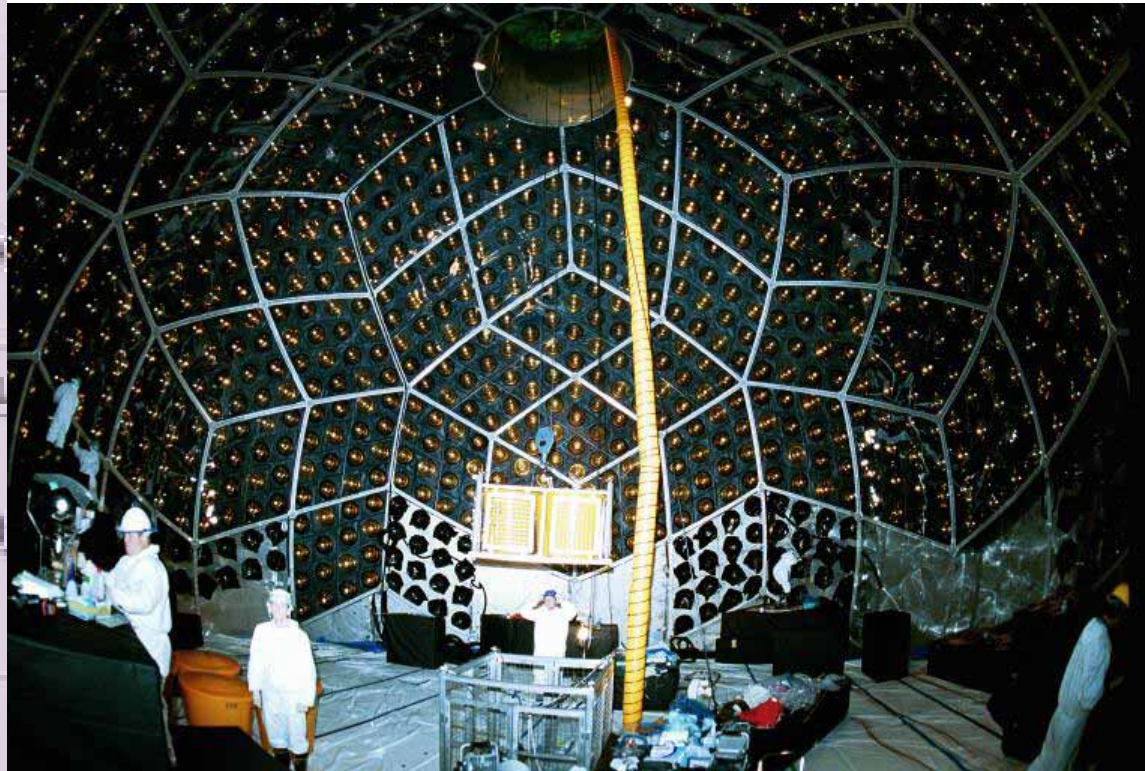
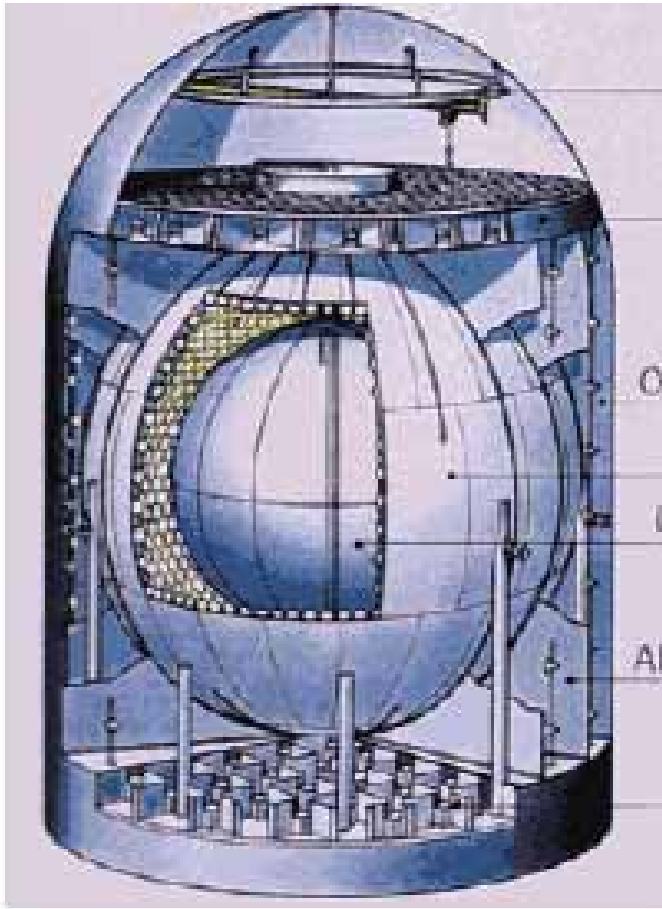
Tematyka neutrinowa znajduje się w awangardzie współczesnych badań w dziedzinie fizyki cząstek, bo panuje przekonanie, że neutrina otwierają drzwi poza teorię standardową

Niedawno rozpoczęło badania lub jest w trakcie przygotowań szereg eksperymentów dla neutrin słonecznych, kosmicznych, reaktorowych, atmosferycznych i akceleratorowych z długą bazą pomiarową: Borexino, KamLand, AMANDA, ICECUBE, NESTOR, MiniBooNE, K2K, MINOS, OPERA, ICARUS

Duża grupa polskich fizyków z Katowic, Krakowa, Warszawy i Wrocławia uczestniczy w eksperymentach ICARUS

Eksperyment reaktorowy KamLand

W Japonii, „patrzy” na ok. 30 reaktorów

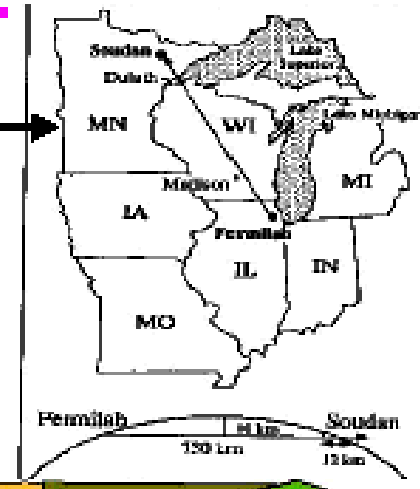


Eksperymenty akceleratorowe z długą bazą

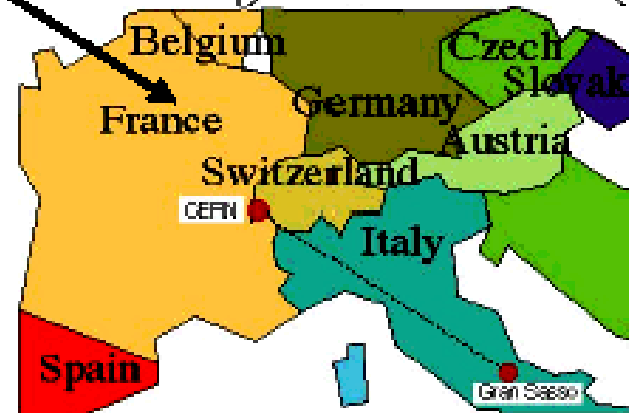
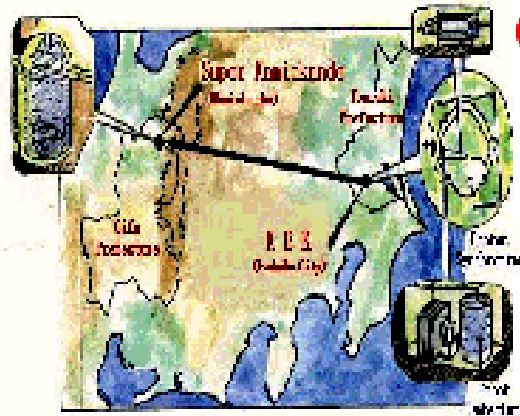
**Japan: K2K
(250 km)**



**USA: NUMI
(732 km)**



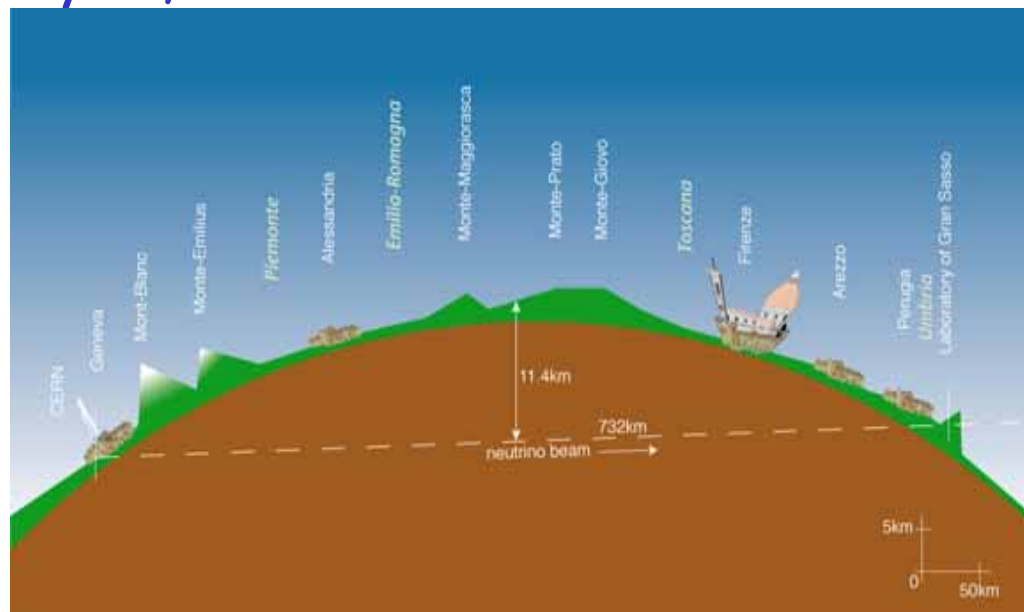
**Europe: NGS
(732 km)**



Program CNGS

- Ź Jeden z trzech programów badawczych z tzw. długą bazą w oparciu o akceleratorowe wiązki neutrin (K2K w Japonii, NuMi w USA, CNGS w Europie)
- Ź CNGS — wiązka neutrin mionowych z CERN-u do Gran Sasso, program nastawiony na zaobserwowanie oddziaływań neutrin taonowych (i elektronowych) pochodzących z oscylacji neutrin mionowych, start w 2006 roku

ν_{μ}



ν_{τ}

ν_e

Wiązka neutron z CERN-u do Gran Sasso

CERN

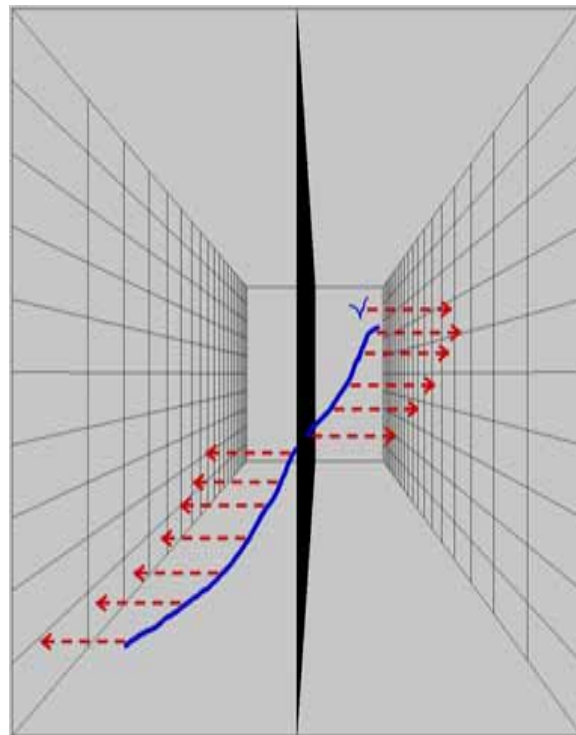
Gran Sasso



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



ICARUS

Under construction

Number of independent containers = 2

Single container Internal Dimensions: Length = 19.6 m , Width = 3.9 m , Height = 4.2 m

Total (cold) Internal Volume = 534 m³

Sensitive LAr mass = 476 ton

Number of wires chambers = 4

Readout planes / chamber = 3 at 0° , ± 60° from horizontal

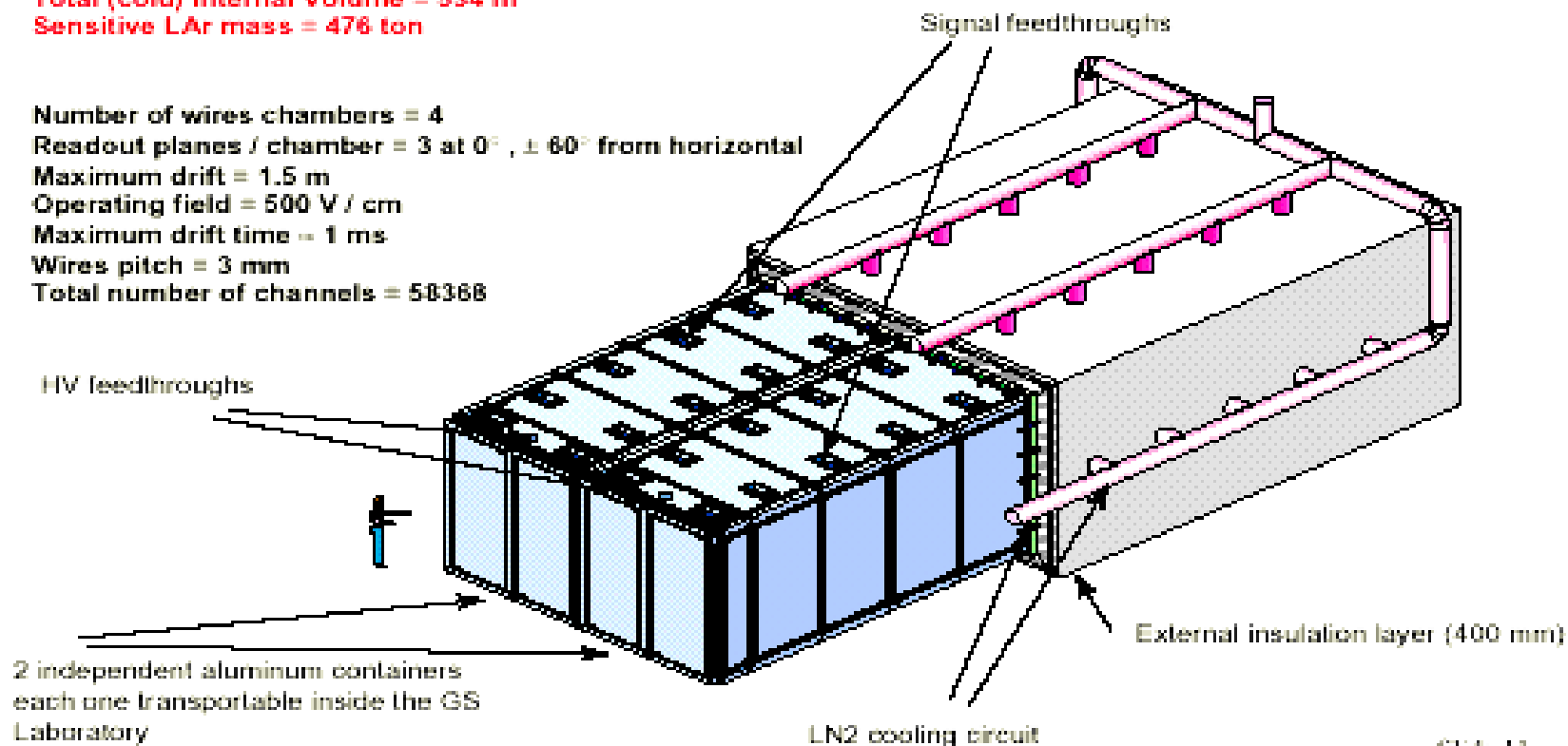
Maximum drift = 1.5 m

Operating field = 500 V / cm

Maximum drift time = 1 ms

Wires pitch = 3 mm

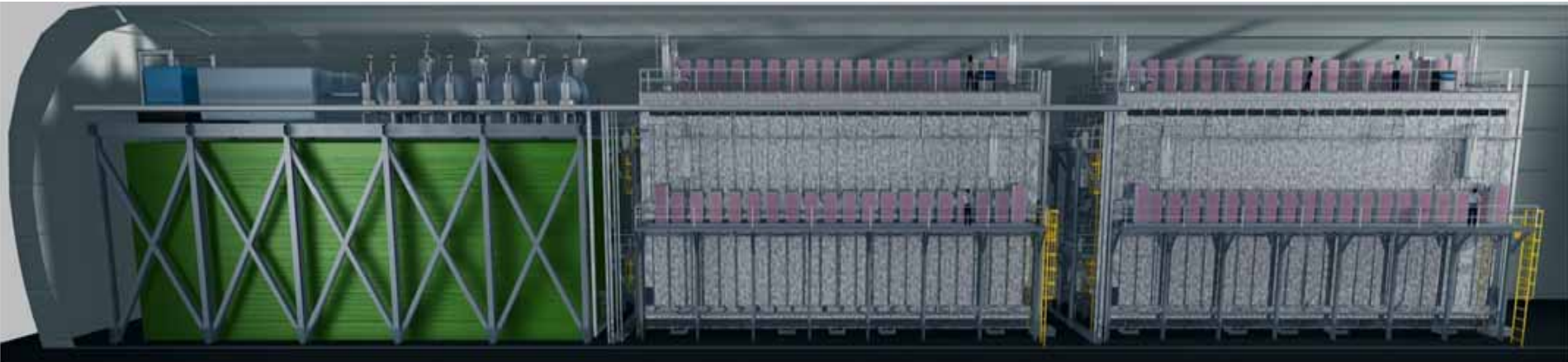
Total number of channels = 58368



Slide 11

ICARUS

Detektor ICARUS w 2006 roku



Całkowita masa ciekłego argonu - 3 ktony, długość - 70 metrów