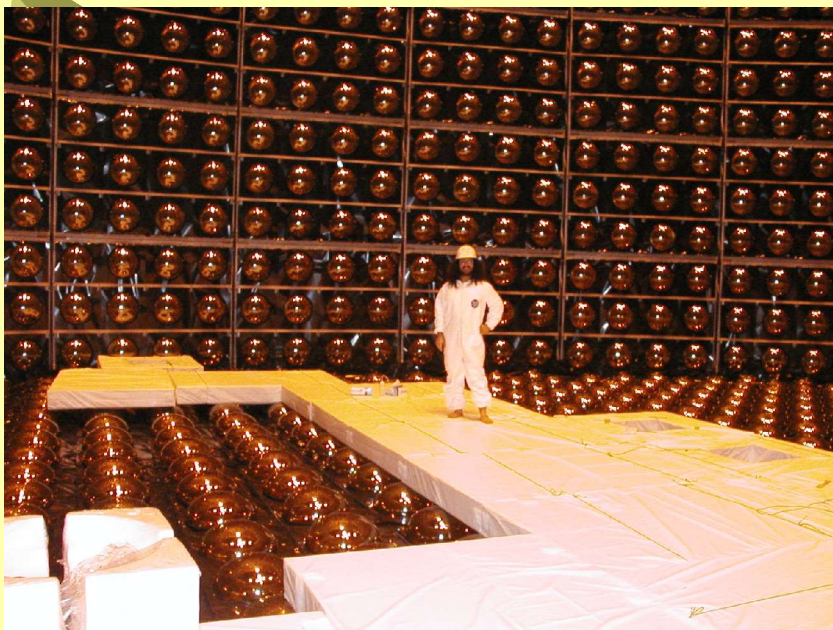
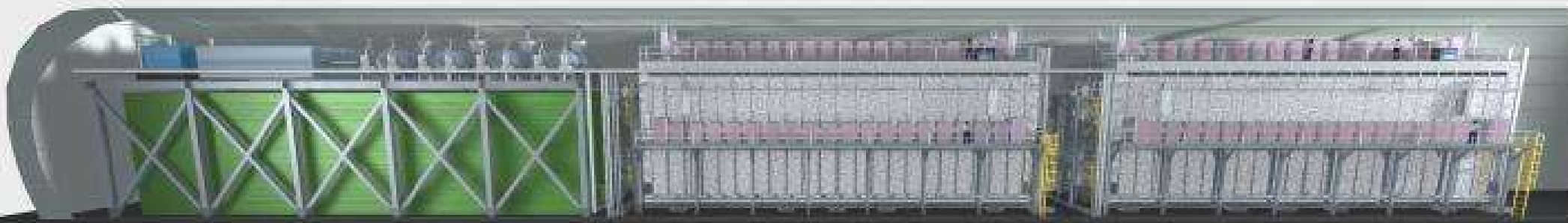
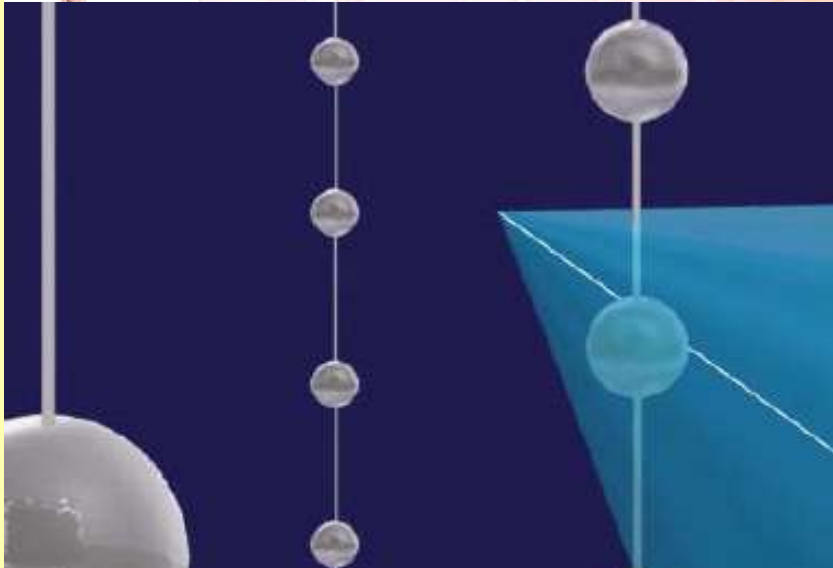




Tajemnice neutrin

Justyna Łagoda

- obecny stan wiedzy o neutrinach
- eksperymenty neutrinowe
- dalszy kierunek badań





Cząstki i oddziaływania

■ 3 generacje cząstek

$\frac{2}{3}$	u	c	t	kwarki
$-\frac{1}{3}$	d	s	b	
-1	e	μ	τ	leptony
0	ν_e	ν_μ	ν_τ	

■ 4 oddziaływania

- grawitacja bardzo słaba, pomijamy

silne

kwarki

wiąże kwarki w protony i neutrony, a te z kolei w jądra atomowe

elektro-
magnetyczne

kwarki,
leptony naładowane

odpowiada za istnienie atomów, światła, elektryczności i wiele innych

słabe

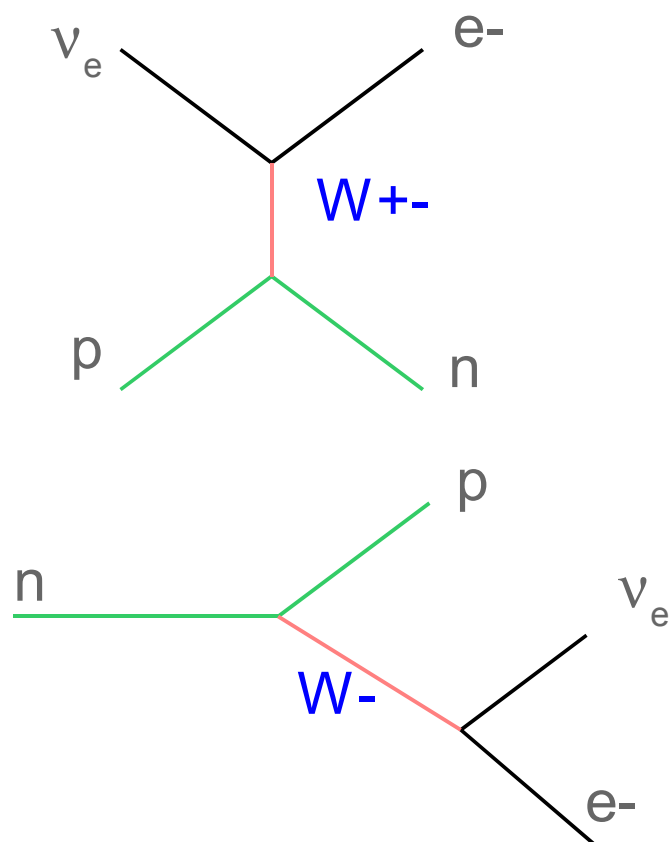
kwarki, leptony
naładowane, **neutrino**



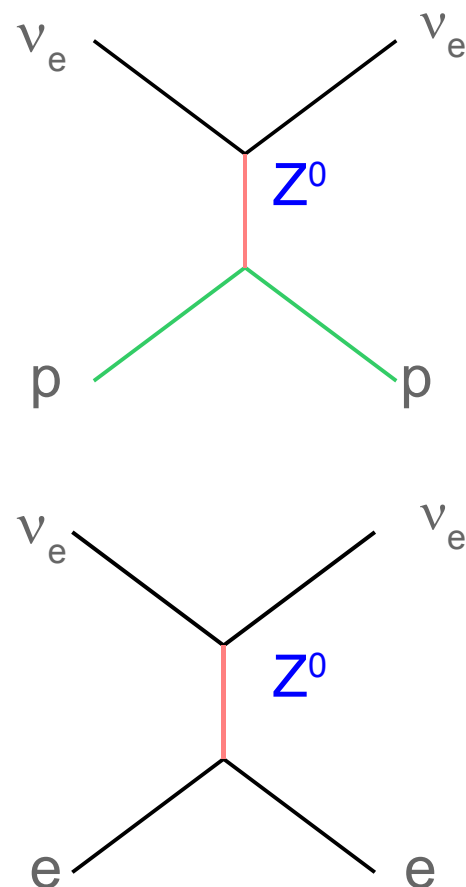
Oddziaływania słabe

- odpowiada m.in. za rozpady promieniotwórcze beta
- przenoszone jest przez ciężkie bozony pośredniczące (masy 80 i 90 mas protonu) W^+ , W^- i Z^0

prądy naładowane



prądy neutralne





Detekcja neutrin

liczba
oddziaływań =
neutrin

**przekrój
czynny**

*

**liczba
neutrin**

*

**liczba
„celów”**

bardzo
mała
liczba

dla protonów – 10^{-27} cm^2 , milibarny

dla neutrin – 10^{-40} cm^2 , femtobarny

**konieczne
MAŁE tło!**

chcemy mieć dużo
oddziaływań

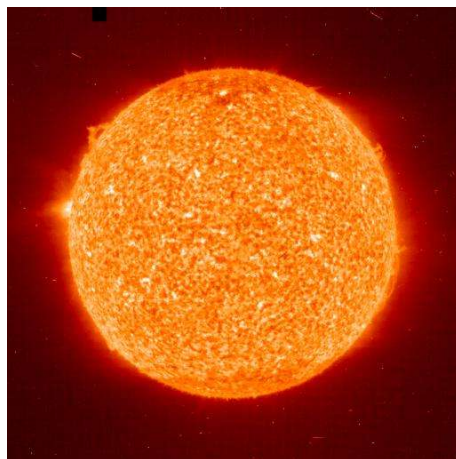
dużo
neutrin

dużo
celów

np. $5 \cdot 10^6 \text{ neutrin/s /cm}^2$

duża masa
detektora (rzędu kiloton)

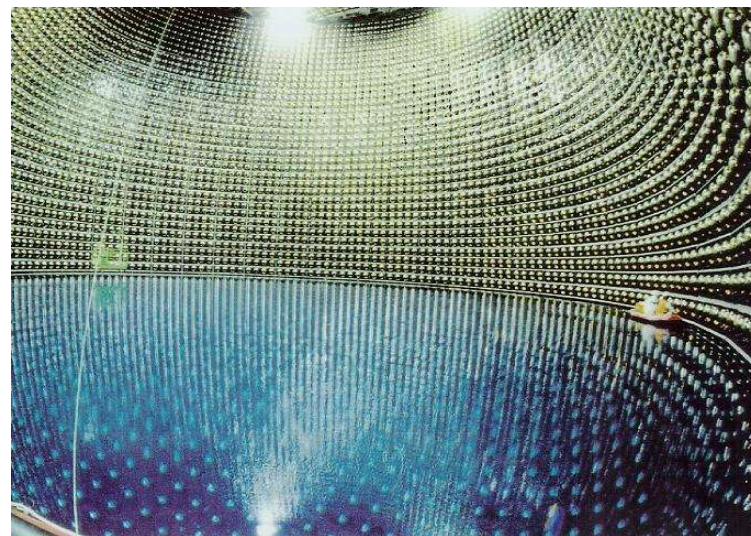
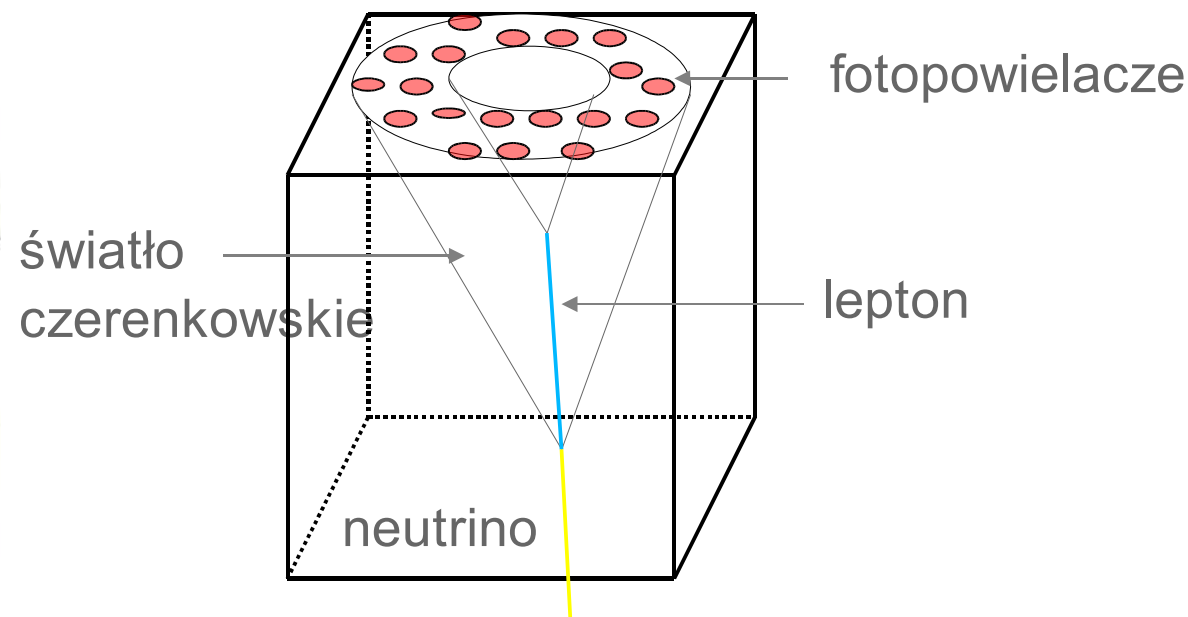
detektory stawia
się pod ziemią





Sposoby detekcji neutrin

- obserwuje się cząstki powstałe w wyniku oddziaływania neutrina
 - metoda radiochemiczna – powstaje jądro promieniotwórcze
 - jonizacja i scyntylacje – produkowane przez powstały lepton naładowany i/lub jądro odrzutu
 - światło czerenkowskie – produkowane przez szybki lepton naładowany





Problem neutrin słonecznych

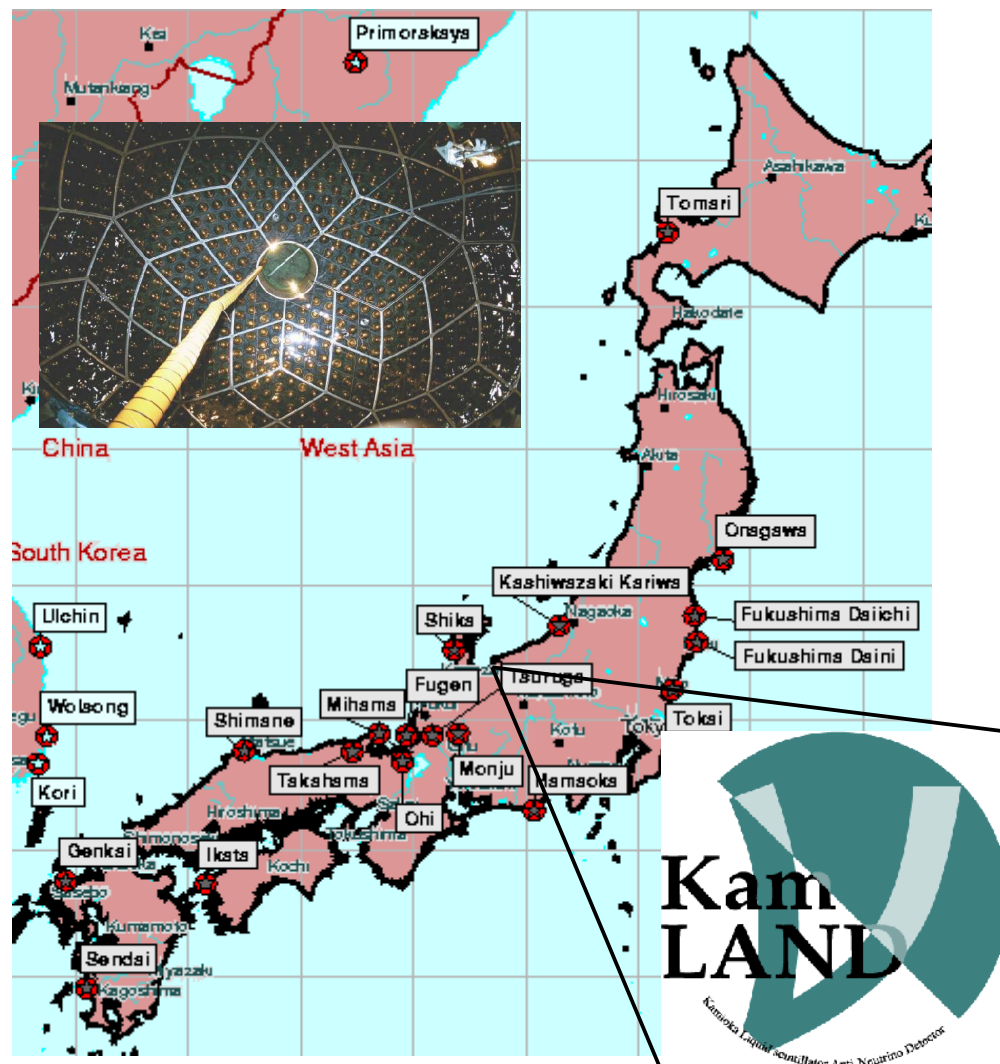
- detektory rejestrowały zaledwie $1/3$ do $1/2$ liczby neutrin przewidzianej przez model Słońca
 - pomiary w detektorze **radiochemicznym** (tylko ν_e) i w **czerenkowskim** wypełnionym H_2O
- rozwiązanie – kanadyjski detektor czerenkowski SNO ($D_2O + H_2O$)
 - okazało się, że tylko $1/3$ strumienia przypada na ν_e
- **całkowity strumień neutrin słonecznych zgodny z modelem Słońca**
- część neutrin zmienia swoją naturę (zapach) w drodze na Ziemię





(anty)Neutrina reaktorowe

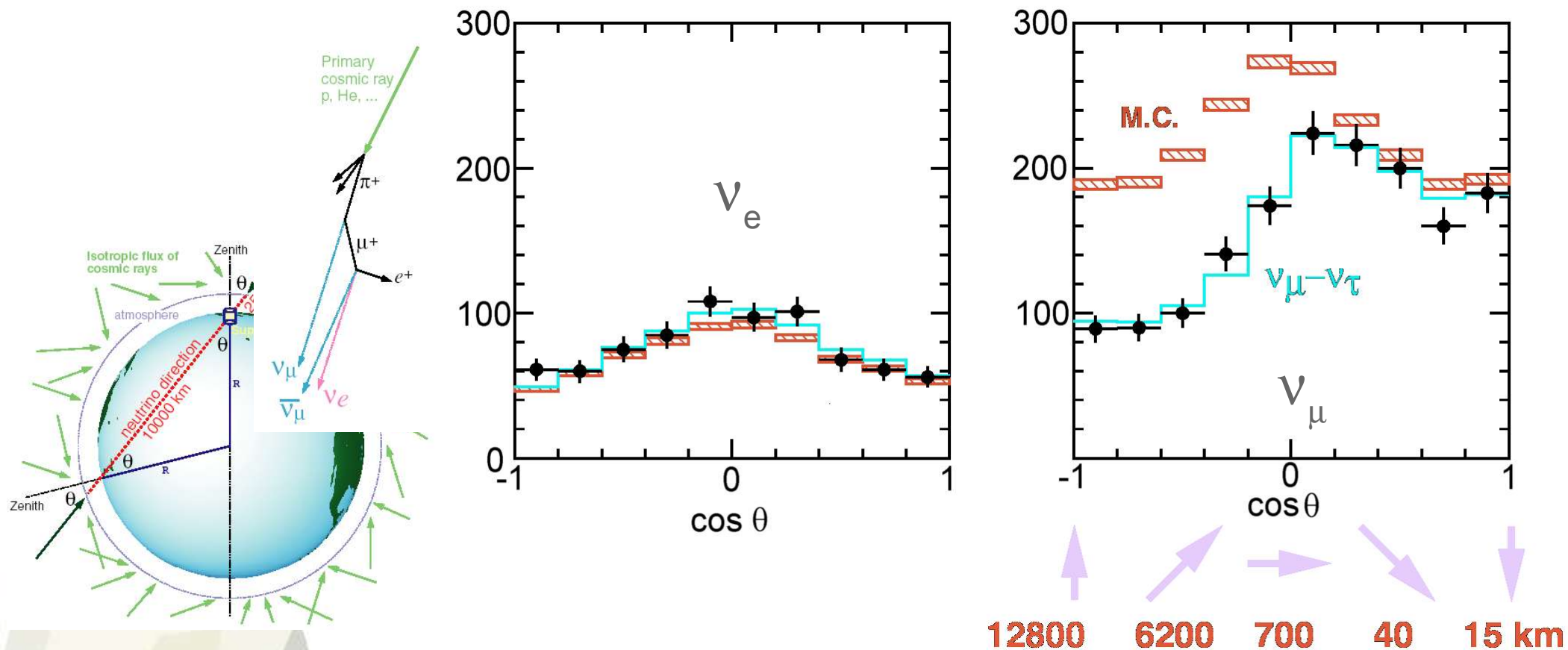
- sprawdzenie efektu na Ziemi dla antyneutrin produkowanych w reaktorach (Kamland)
- otrzymane parametry oscylacji dla neutrin i antyneutrin są **takie same**.



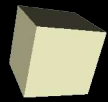


Neutrina atmosferyczne

■ wyniki SuperKamiokande



- obserwowany niedobór neutrin mionowych, zależny od drogi, jaką neutrino przebyło
- ν_μ nie zamieniają się w ν_e – tych jest dokładnie tyle, ile się spodziewamy

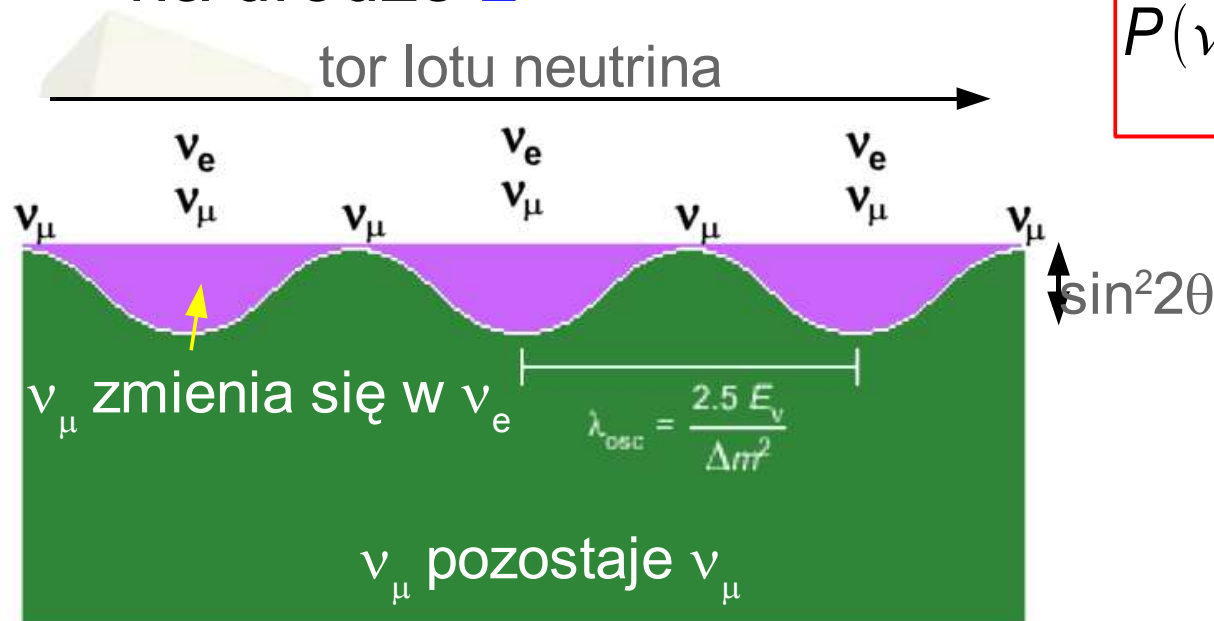


Oscylacje neutrin (w uproszczeniu)

- wyniki otrzymane z badania neutrin słonecznych i atmosferycznych wskazują, że neutrina mogą przechodzić z jednego typu w inny
- ν_e , ν_μ są zdefiniowane jako wynik mieszania stanów masowych ν_1 , ν_2
- różnica mas powoduje, że poruszają się z inną prędkością
- prawdopodobieństwo, że ν_μ o energii E zamieni się w ν_e na drodze L

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

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



dobór odpowiednich
L i **E**



Oscylacje – 3 zapachy

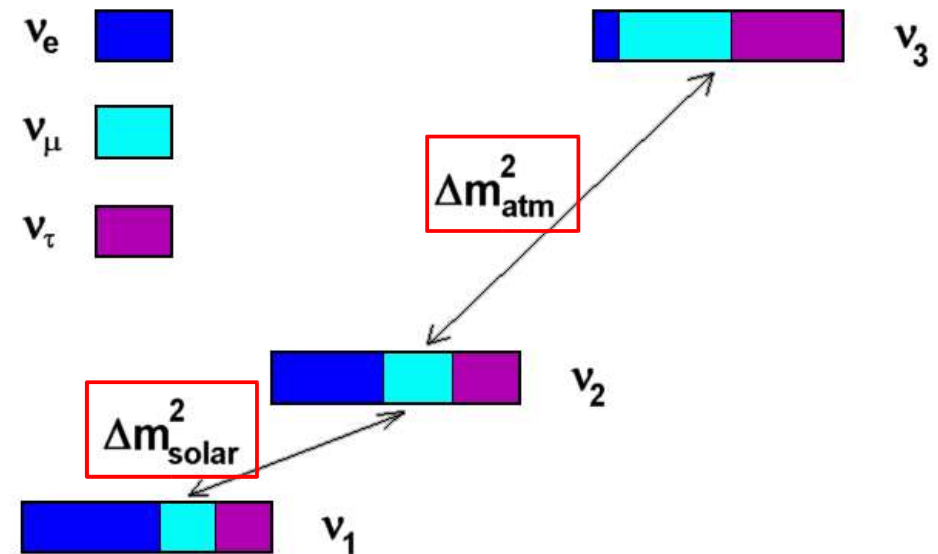
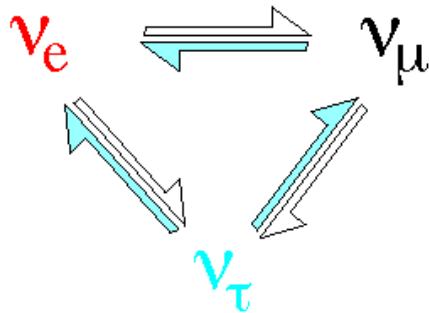
- macierz mieszania 3x3

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

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

$$s_{ij} = \sin \theta_{ij}, c_{ij} = \cos \theta_{ij}$$

- przy 3 zapachach istnieją 3 różnice mas, ale tylko 2 są niezależne



- 3 kąty mieszania θ_{12} , θ_{13} , θ_{23} , 1 faza łamania CP ϕ



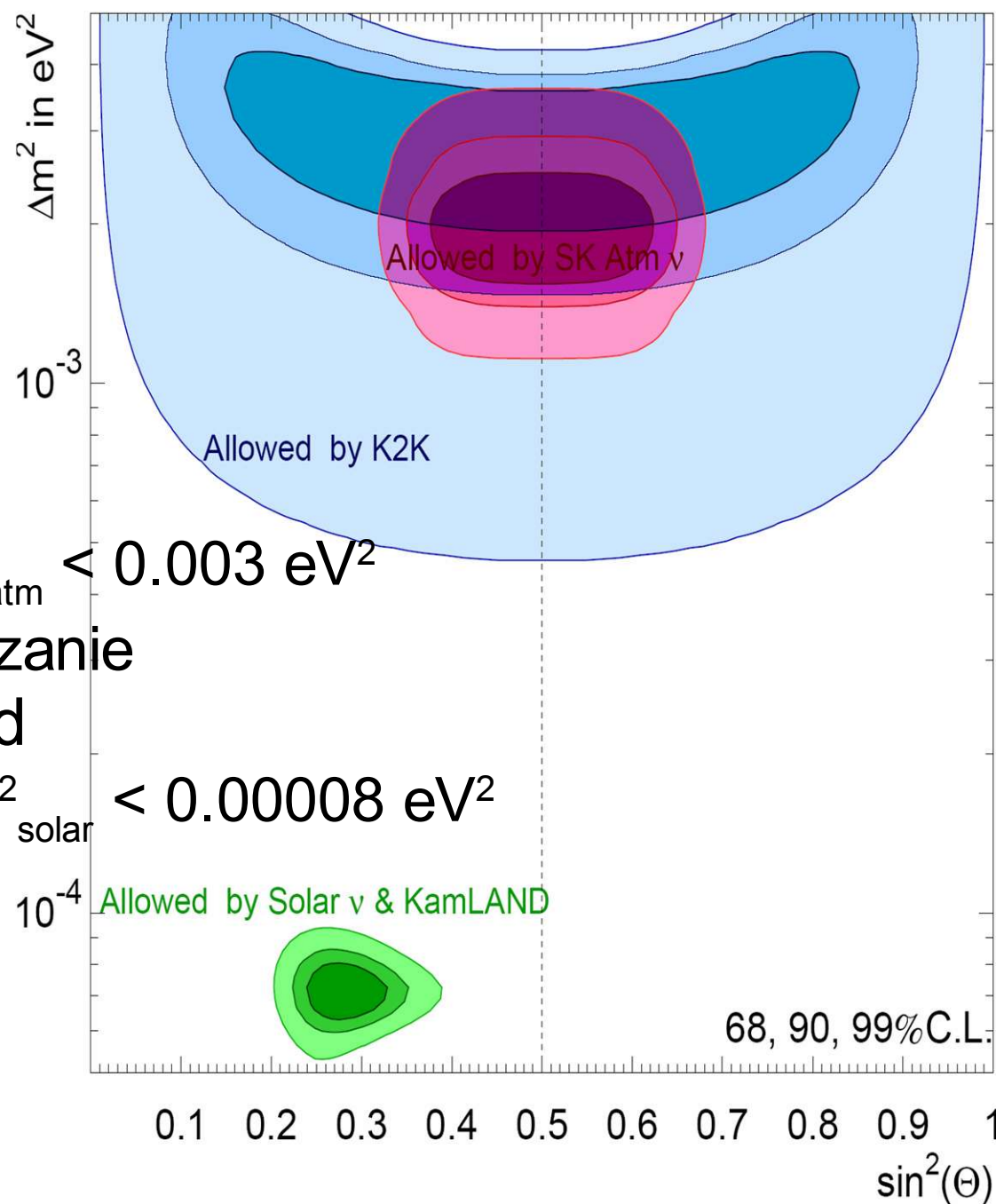
Parametry oscylacji

■ atmosferyczne:

- $0.0019 \text{ eV}^2 < \Delta m^2_{\text{atm}} < 0.003 \text{ eV}^2$
- maksymalne mieszanie

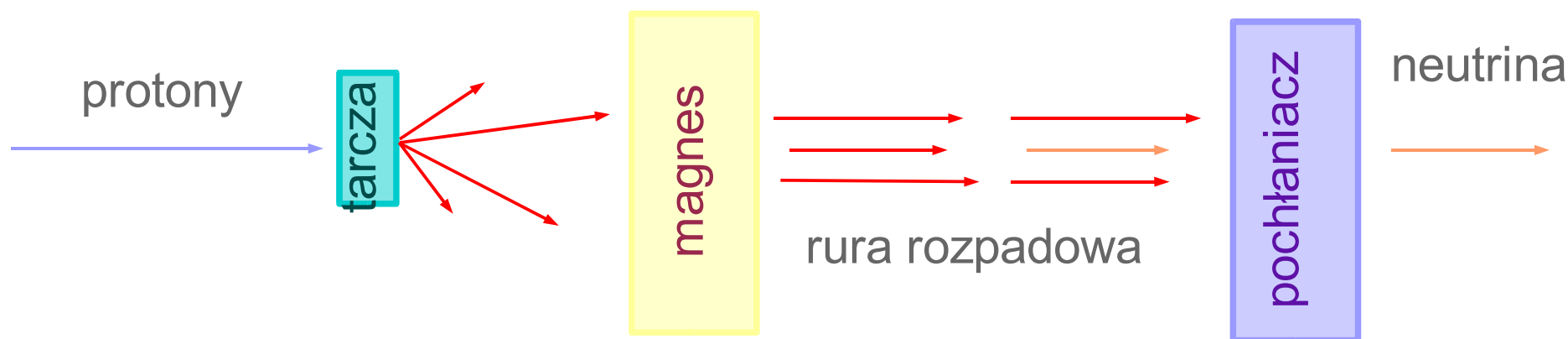
■ słoneczne i Kamland

- $0.00005 \text{ eV}^2 < \Delta m^2_{\text{solar}} < 0.00008 \text{ eV}^2$

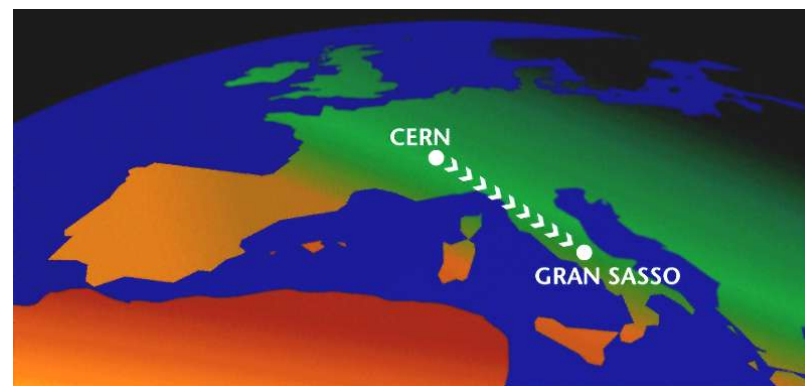




Neutrina akceleratorowe

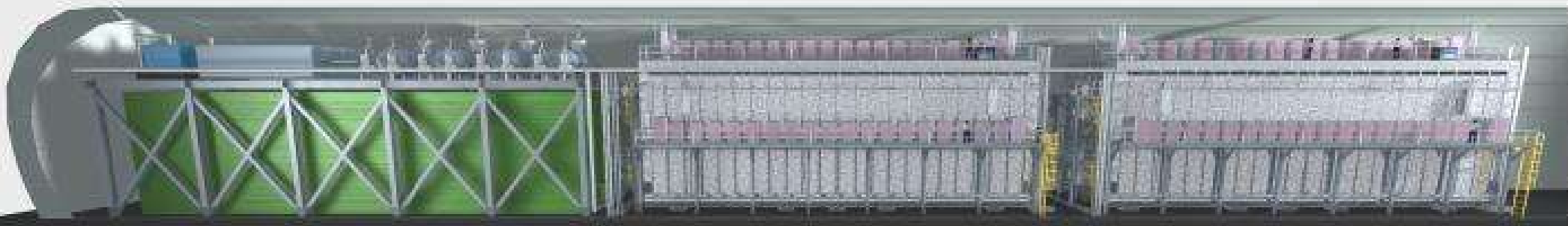


- eksperymenty mierzące ubytek ν_μ z wiązki:
 - **K2K** (Japonia), $L=250$ km, uzyskane parametry oscylacji pokrywają się z wynikami dla neutrin atmosferycznych
 - **Minos** (USA), $L=730$ km (2005)
- eksperymenty poszukujące pojawienia się ν_τ w bardzo czystej wiązce ν_μ)
 - **Icarus**, Opera (Europa), $L=730$ km (2006)





Program fizyczny Icarusa

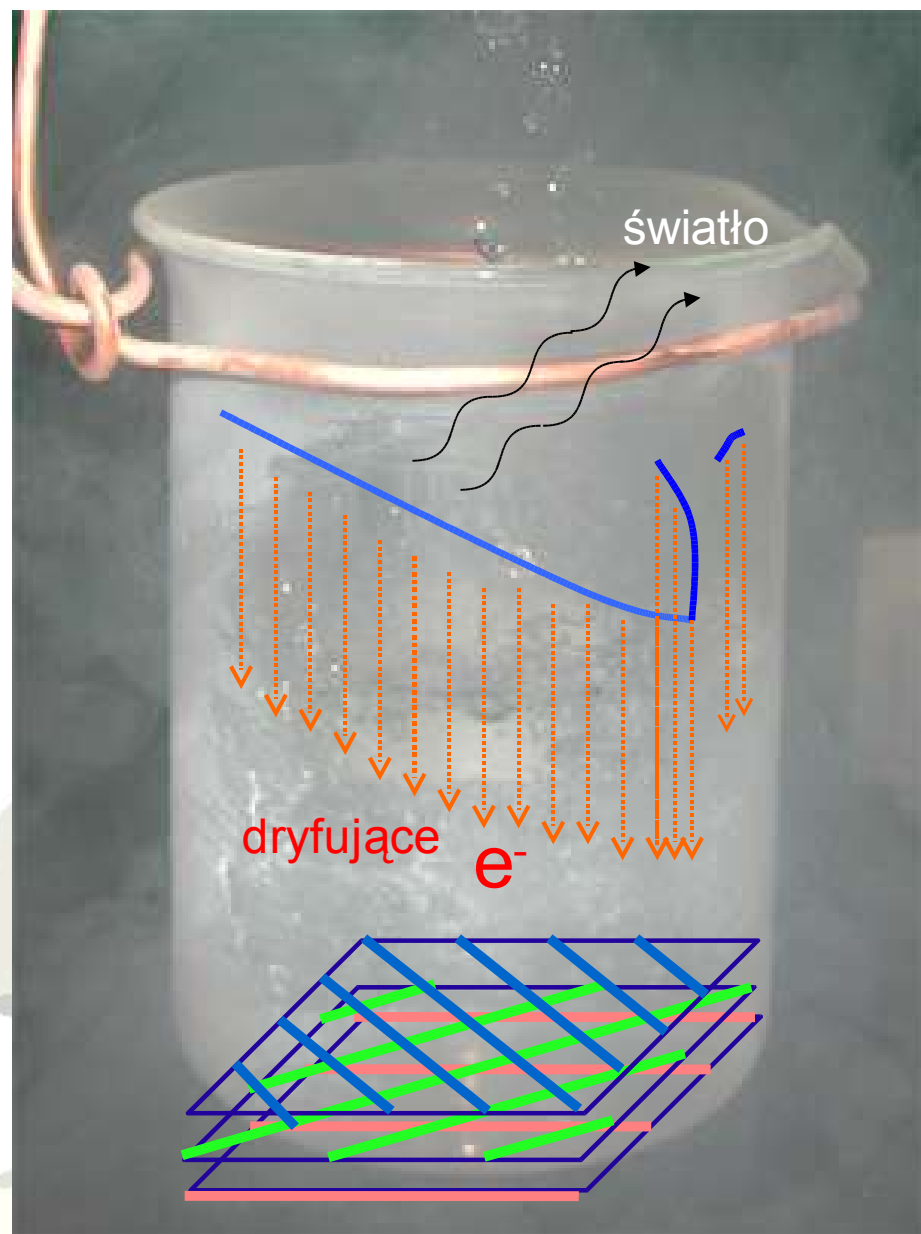


- detektor ma osiągnąć masę 3 kiloton i składać się z 5 modułów
 - poszukiwanie ν_τ w wiązce neutron z CERN
 - badanie neutron atmosferycznych
 - badanie neutron z supernowej
 - poszukiwanie rozpadu protonu
-
- pierwszy moduł jest właśnie w trakcie instalacji w laboratorium



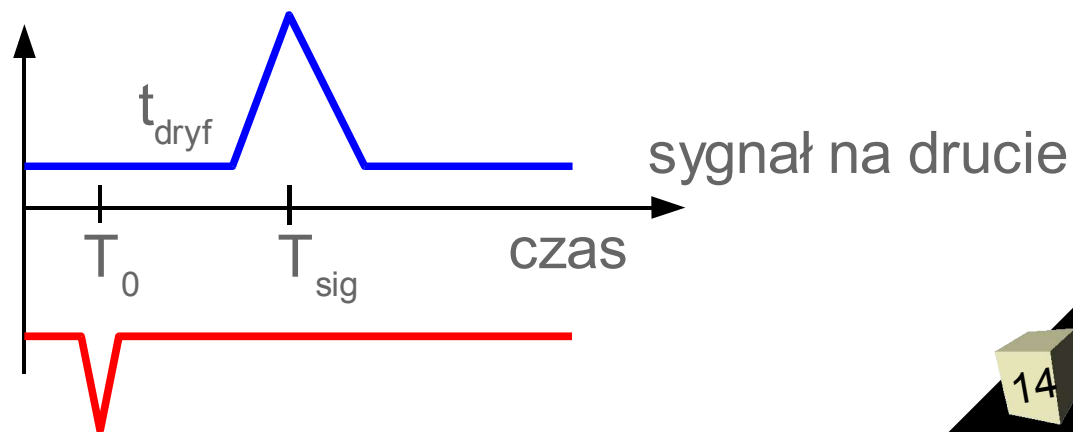


Zasada działania



sygnał
z fotopowielacza

- detektor składający się z modułów – komór typu TPC
- ciekły argon:
 - gęstość 1.4 g/cm^3
 - długość radiacyjna 14 cm
 - długość na oddziaływanie 80 cm
 - $dE/dx(\text{mip}) = 2.1 \text{ MeV/cm}$





- nowatorska technologia pozwalająca na budowanie dużych detektorów
 - wymiary modułu **20x6x4 m³**
 - wypełniony superczystym **ciekłym argonem** (aktywną tarczą) o masie **600 ton**
 - zdolność rozdzielcza porównywalna z komorami pęcherzykowymi (3x3x0.6mm³)
- technika detekcji pozwala na:
 - trójwymiarową rekonstrukcję przypadku oddziaływania
 - pomiar energii powstałych cząstek
 - identyfikację cząstek (dE/dx, rozpad)
 - stałą czułość i możliwość wyboru ciekawych zdarzeń



Carlo Rubbia (noblista z 1984r., spokesman) wewnątrz detektora



Polska grupa neutrinowa

- grupa składa się z osób z:
 - Katowic (UŚ),
 - Krakowa (IFJ, UJ, AGH),
 - Warszawy (IFD UW, IPJ, PW),
 - Wrocławia (UWr)

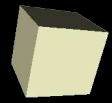




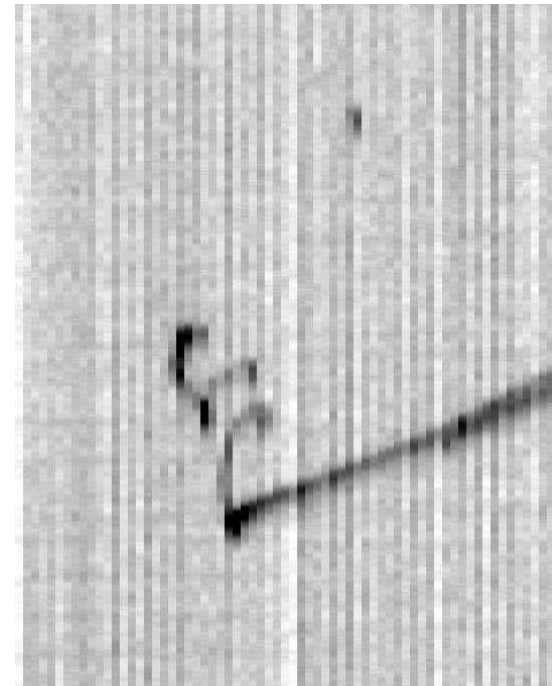
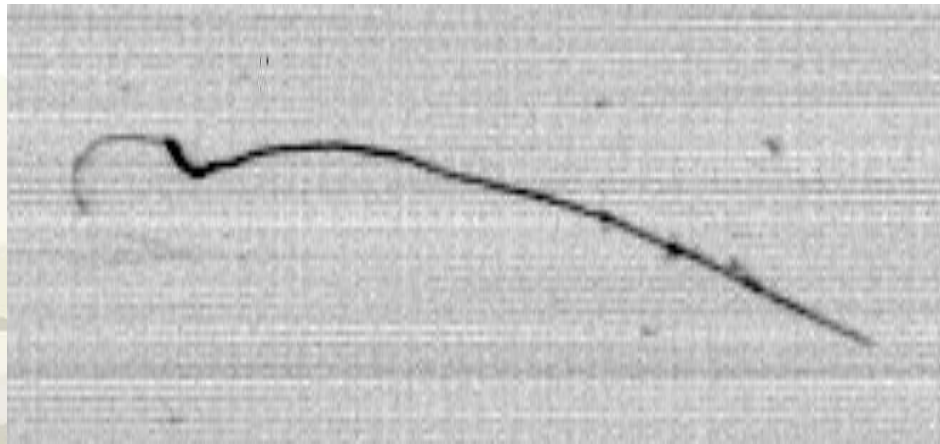
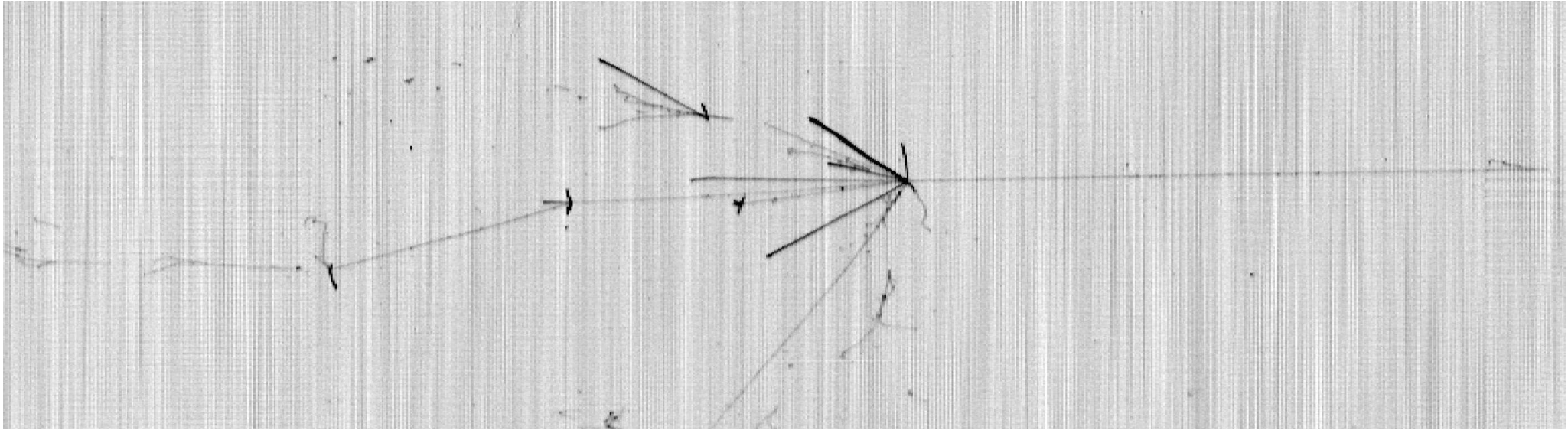
Testy detektora

- 3 miesiące w warunkach promieniowania kosmicznego
- kilka wyspecjalizowanych układów wyzwalaania
 - w tym jeden zaprojektowany w Warszawie
- zebrano ponad 28000 przypadków





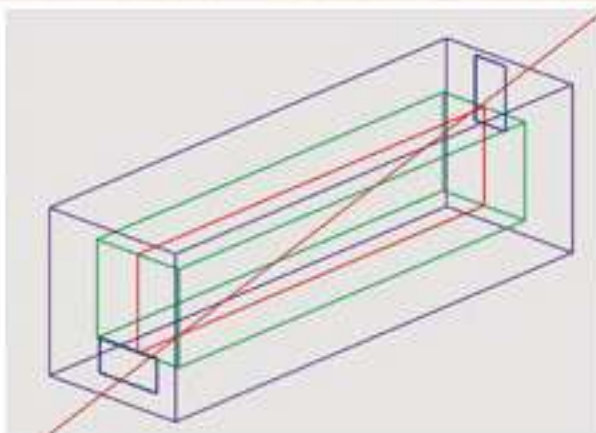
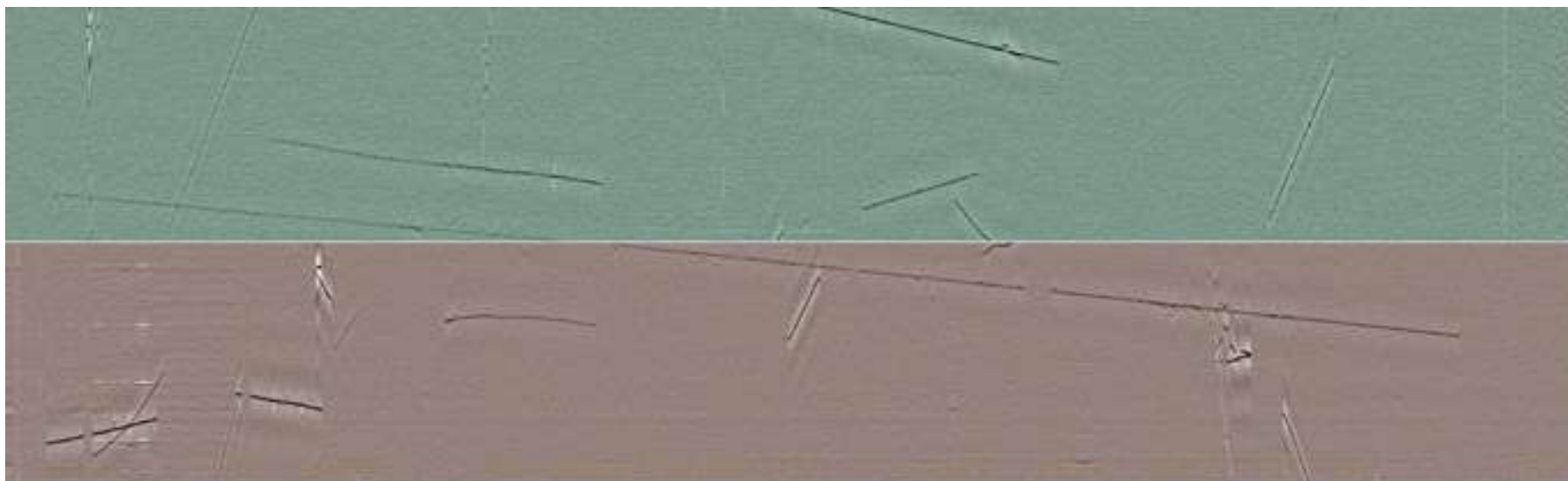
Przykłady zebranych przypadków





Długi tor mionowy

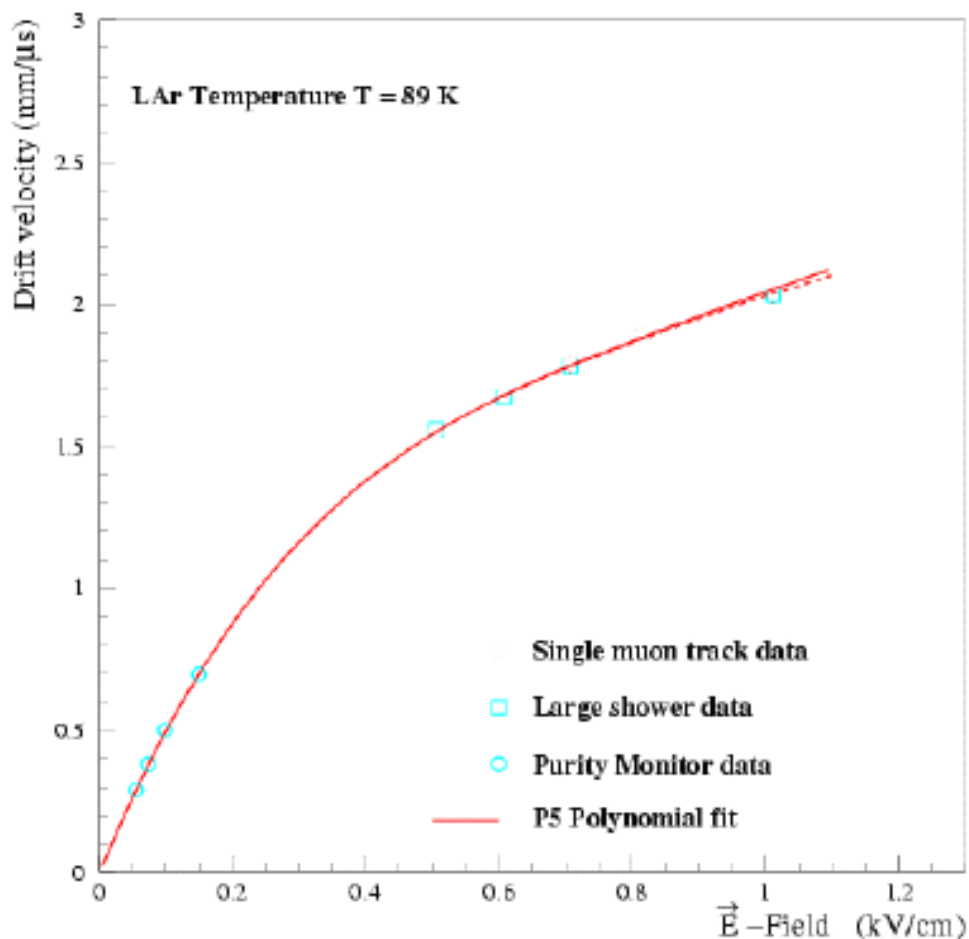
- tor mionowy przechodzący przez 2 komory
- długość 18 m





Analiza danych testowych

- poszukiwanie ciekawych zdarzeń (kaskady elektromagnetyczne i hadronowe, rozpady π^0 , długie tory mionowe)

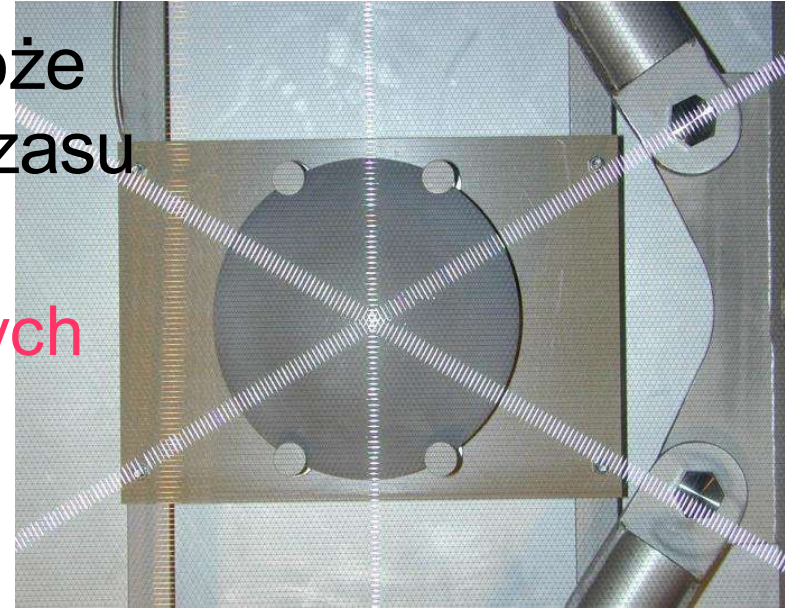


- praca nad rekonstrukcją trójwymiarową
 - pomiar prędkości dryfu elektronów w ciekłym argonie w zależności od pola elektrycznego
 - wynik 1.56 mm/ μ s używany w rekonstrukcji, Nucl. Inst. Meth., A516 (2004) 68-79



Obecna działalność

- światło scyntylacyjne argonu – może być stosowane do wyznaczania czasu zdarzenia (T_0) i wyzwalań
 - badanie sygnałów zarejestrowanych przez fotopowielacze
 - symulacje powstawania, rozchodzenia się w detektorze i detekcji światła
- przypadki z powstaniem leptonu τ – dowód na oscylacje $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$, spodziewany sygnał na poziomie 0.5%
 - zastosowanie sieci neuronowych do rozdzielania klas przypadków
 - badanie zależności od polaryzacji leptonu τ
- kalibracja energetyczna detektora



Następne moduły - wkład aparaturowy

- produkcja drutów odczytu do następnych modułów detektora
- druty o różnych długościach, do 10 m
- wymagana precyzja $10\text{ }\mu\text{m/m}$



Urządzenie do produkcji drutów wraz z głównym konstruktorem



Co dalej w fizyce neutrin?

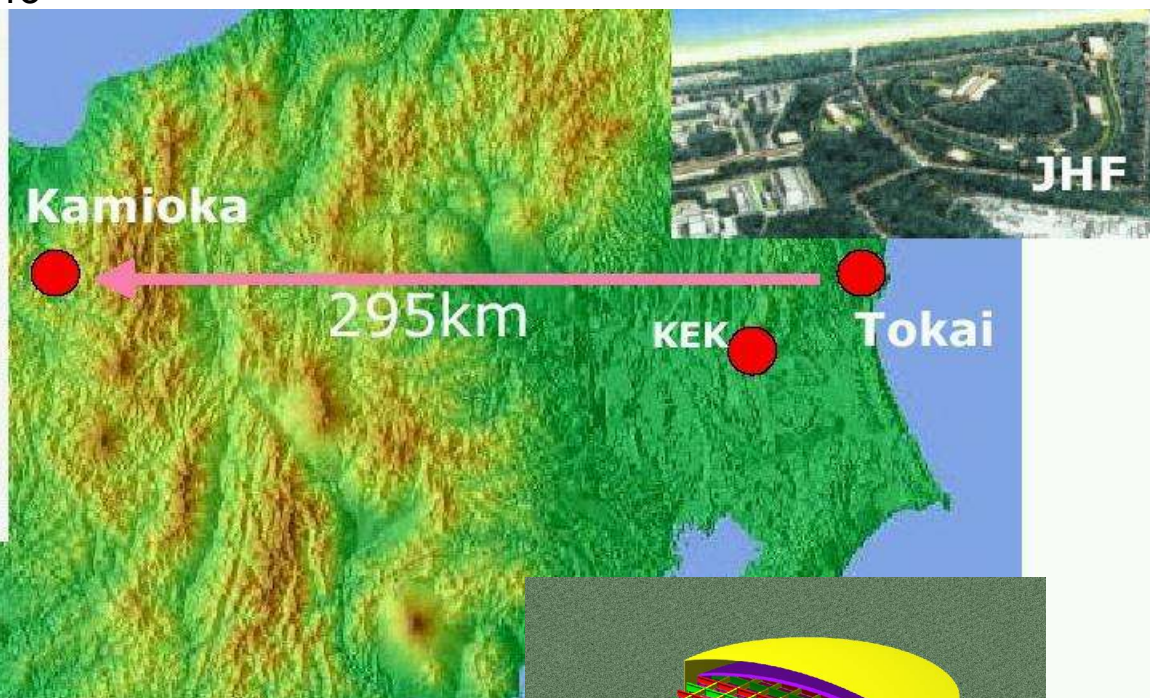
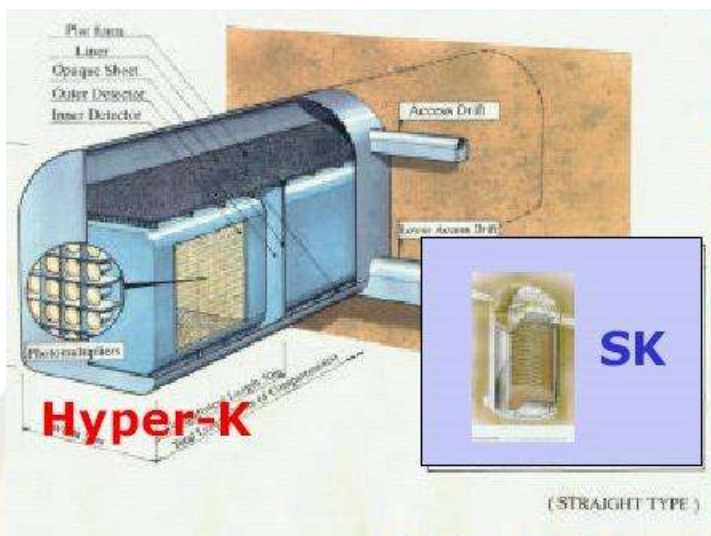
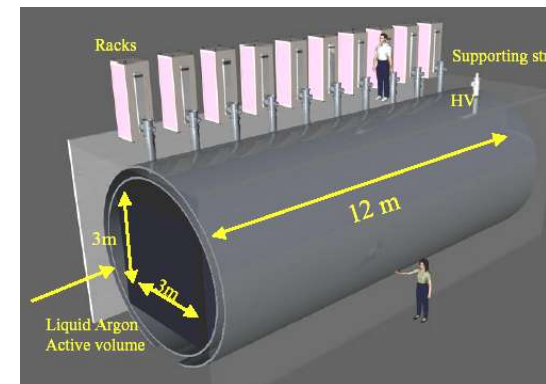
- wciąż wiele otwartych pytań, m.in.
 - pomiar brakujących parametrów mieszania neutrin (kął θ_{13} , łamanie CP)
 - pomiar absolutnych mas neutrin
 - masy neutrin a masy innych cząstek elementarnych
 - neutrina a kosmologia
 -
- projekty nowych eksperymentów
 - duże zainteresowanie **techniką ciekłoargonową**
 - obecnie trzy propozycje detektorów



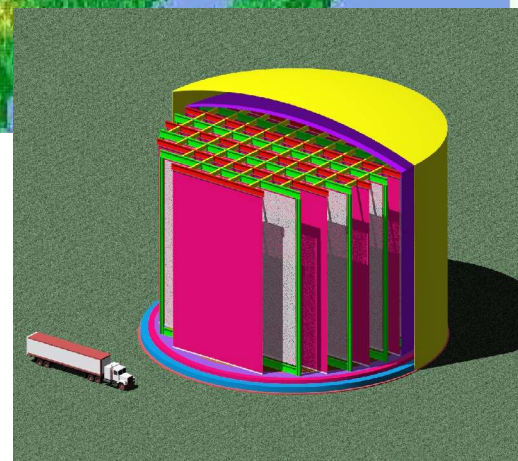


Wielkie detektory argonowe

- T2K: ok. 2008, Japonia
 - docelowo detektor HyperK (1 megatona)
 - bardzo intensywna wiązka neutron
 - łamanie CP, kąt θ_{13} , rozpad protonu



- FLARE, USA, 90 kiloton ciekłego argonu





Kopalnia w Polkowicach- -Sierszowicach

- projekt 100 kiloton ciekłego argonu
- **rozważana lokalizacja w Polsce**
- zmierzono bardzo małe natężenie tła promieniotwórczego
- możliwość powstania niskotłowego laboratorium, które może służyć także innym, nie neutronowym, eksperymentom

