

Czy istnieją sterylne neutrina ?



- W latach 90-tych eksperyment LSND z Los Alamos National Laboratory zaobserwował nadwyżkę antyneutrino elektronowych wążce antyneutrino mionowych
- Wynik LSND można zinterpretować jako efekt istnienia co najmniej jednego sterylnego neutrina



Neutrino - cząstka zaproponowana w 1930 r jako sposób na utrzymanie zasady zachowania energii w promieniotwórczych rozpadach β

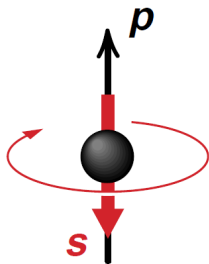


Wolfgang Pauli

- Neutrino mają zerowy ładunek elektryczny
- Oddziałują bardzo słabo (średnia droga na oddziaływanie neutrino o energii 10 MeV przechodzącego przez Ziemię: $\lambda \simeq 2.5 \times 10^{13}$ km) (**oddziaływania słabe, grawitacyjne do zaniedbania**)

Neutrino - Wprowadzenie

- Znamy trzy rodzaje (zapachy) neutrin: ν_e , ν_μ i ν_τ



- Oddziaływaniom słabym podlegają tylko cząstki lewoskrętne.
- Gdyby istniały prawoskrętne neutrino, to byłyby **sterylne** $\Rightarrow$ nie oddziałujące słabo.
- Znane neutrino są wyłącznie lewoskrętne. Dla bezmasowych neutrin $\equiv$ rzut spinu na kierunek pędu = -1

OSCYLACJE NEUTRIN

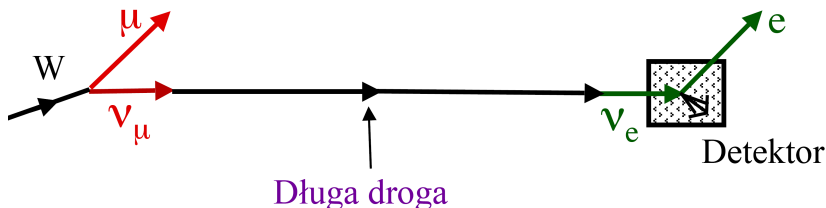
Soudan Underground Laboratory

Fermilab

Oscylacje neutrin

- WIEMY:

Neutrino ν_e , ν_μ , ν_τ mogą zmieniać zapach w czasie propagacji w przestrzeni. (Nagroda Nobla z Fizyki w 2015)



- PYTANIA:

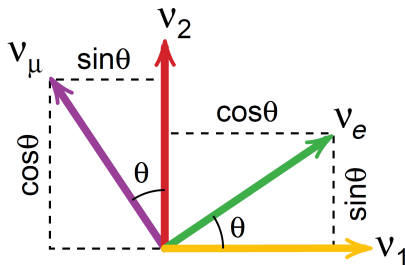
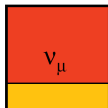
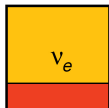
- Oscylacje na krótkiej drodze ?
- Oscylacje w neutrina sterylne ?

Oscylacje neutrin dla 2 zapachów

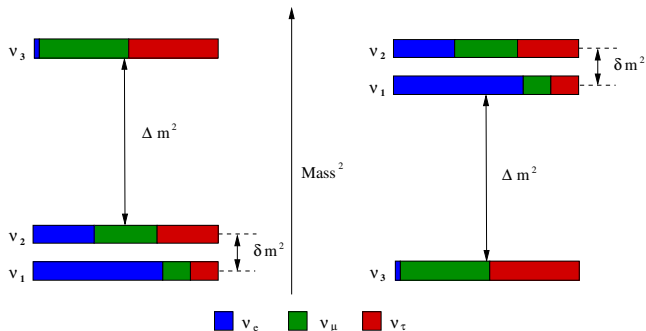
Neutrino o określonym zapachu są kombinacją stanów o określonej masie.

Przykład dla dwóch rodzajów neutrin, ν_e i ν_μ :

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



Model oscylacji z trzema zapachami neutrin



Z pomiarów wiemy:

$$\Delta m^2 \gg \delta m^2$$

$$\Delta m^2 \sim 2.4 \times 10^{-3} \text{eV}^2$$

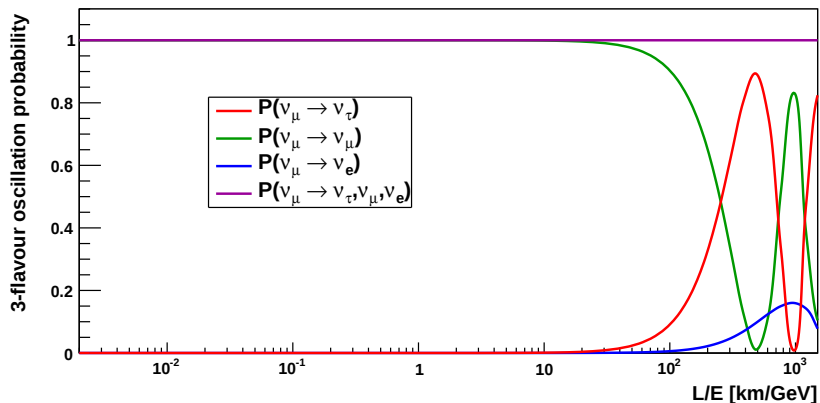
$$\delta m^2 \sim 7.5 \times 10^{-5} \text{eV}^2$$

W sytuacji gdy widmo mas neutrin ma efektywnie tylko 2 poziomy:

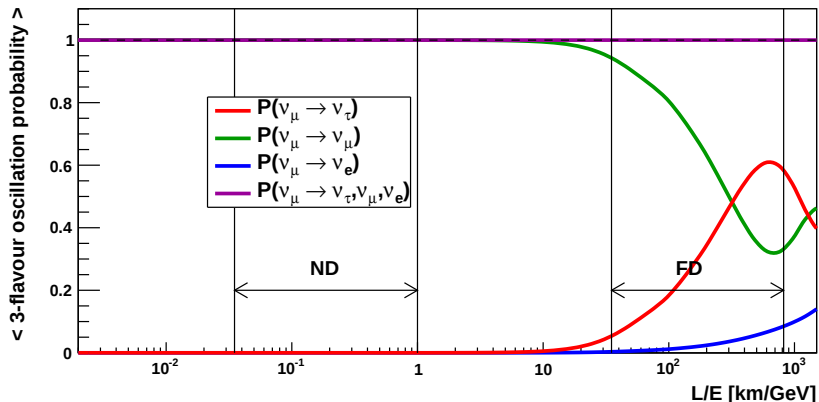
$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) \simeq \sin^2 2\theta_{\alpha\beta} \sin^2 \left[\frac{\Delta m^2 L}{4E_\nu} \right]$$

$$\Delta m_{kj}^2 \equiv m_k^2 - m_j^2$$

Prawdopodobieństwo oscylacji neutrin (3 rodzaje ν) dla jednej energii neutrina



Prawdopodobieństwo oscylacji neutrin (3 rodzaje ν) dla ciągłego widma energii



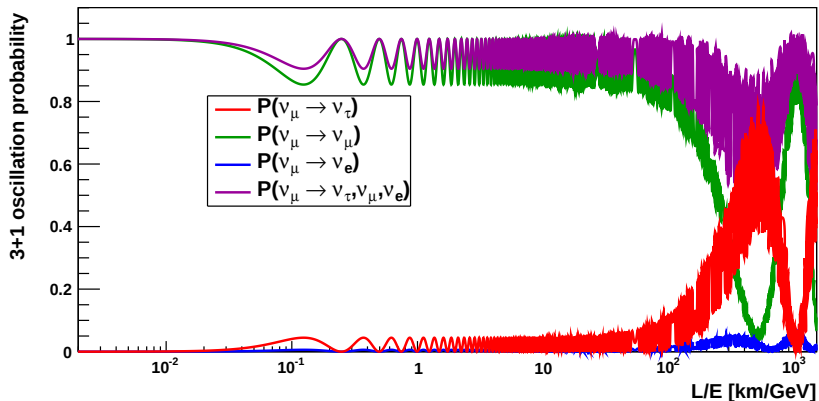
- ND - Bliski Detektor eksperymentu MINOS (1 km od źródła neutrin)
- FD - Daleki Detektor eksperymentu MINOS (735 km od źródła neutrin)

OSCYLACJE NEUTRIN w obecności sterylnego neutrina

Soudan Underground Laboratory

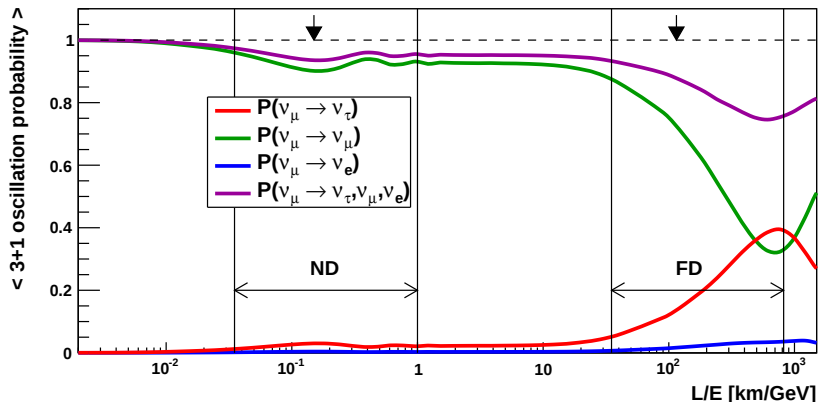
Fermilab

Prawdopodobieństwo oscylacji neutrin (4 rodzaje ν) dla jednej energii neutrina



- Nie ma ograniczeń na liczbę i masy sterylnych neutrin.

Prawdopodobieństwo oscylacji neutrin (4 rodzaje ν) dla ciągłego widma energii



- ND - Bliski Detektor eksperymentu MINOS (1 km od źródła neutrin)
- FD - Daleki Detektor eksperymentu MINOS (735 km od źródła neutrin)

WYNIKI MINOS + DAYA BAY

Soudan Underground Laboratory

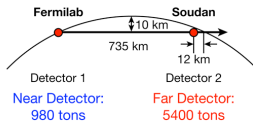
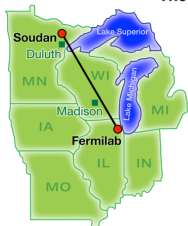
Fermilab

Eksperymenty MINOS i Daya Bay

MINOS - neutrina z akceleratora



The MINOS Experiment



Daya Bay - neutrina z reaktora



Macierz mieszania neutrin
jeśli są neutrina sterylne

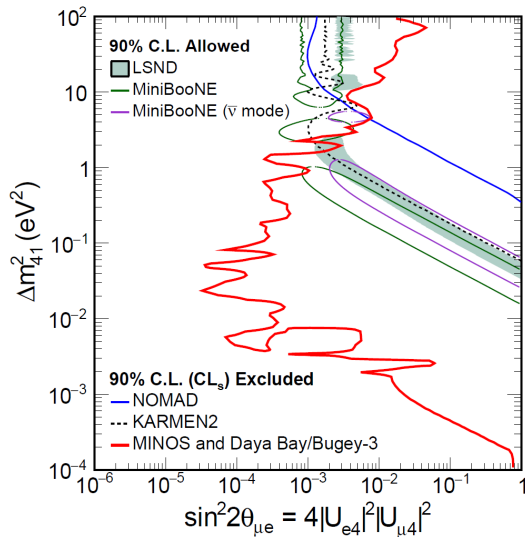
$$\begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} & U_{e4} & \dots \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} & U_{\mu 4} & \dots \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} & U_{\tau 4} & \dots \\ U_{s1} & U_{s2} & U_{s3} & U_{s4} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

Możliwe wytłumaczenie wyniku LSND:

$$P_{\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e}(L/E) \sim 4|U_{e4}|^2|U_{\mu 4}|^2 \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{41}^2 L}{4E} \right)$$

- Element $|U_{e4}|^2$ - ograniczenia z badania zanikania $\bar{\nu}_e$ (Daya Bay)
- Element $|U_{\mu 4}|^2$ - ograniczenia z badania zanikania $\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$ (MINOS)

Wynik połączonych analiz MINOS i Daya Bay



Obszar wykluczony przez MINOS+Daya Bay po prawej stronie od czerwonej krzywej.

- MINOS+Daya Bay → Bardzo silne ograniczenie hipotezy że wynik LSND jest rezultatem istnienia sterylnych neutrin
- Kolejne dane analizowane przez oba eksperymenty
- Całkowite wykluczenie wyniku LSND nie oznaczałoby że sterylne neutrina nie istnieją, ale że nie mogą wyjaśnić zagadki LSND.