

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Метод расчета чувствительности эксперимента Р2О

Выполнил: ст. гр. Б19-102 Т. В. Махкамов

Руководитель: А. А. Соколов

Москва

2023

Изучить процесс осцилляций нейтрино различных типов в вакууме и веществе. На примере нейтринного канала на ускорителе У-70 ИФВЭ рассмотреть схему формирования нейтринных пучков на ускорителе. Рассмотреть проект P20 по изучению осцилляций нейтрино в ускорительном эксперименте с длинной базой. Изучить программный пакет GLoBES, предназначенный для изучения чувствительности нейтринных экспериментов с длинной базой.

Осцилляции нейтрино

Три массовых состояния нейтрино ν_1, ν_2, ν_3 с массами m_1, m_2, m_3 соответственно и три флейворных состояния нейтрино ν_e, ν_μ, ν_τ связаны через унитарную матрицу смешивания U :

$$\begin{pmatrix} \nu_{e,L} \\ \nu_{\mu,L} \\ \nu_{\tau,L} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix}}_U \begin{pmatrix} \nu_{1,L} \\ \nu_{2,L} \\ \nu_{3,L} \end{pmatrix}$$

, где матрица U параметризованная матрица ПМНС:

$$U_{PMNS} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & e^{-i\delta_{cp}} s_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ -e^{i\delta_{cp}} s_{13} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $s_{\alpha\beta} = \sin \theta_{\alpha\beta}$, $c_{\alpha\beta} = \cos \theta_{\alpha\beta}$, $\alpha, \beta = \overline{1, 3}$.

В вакууме:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\theta_{13} \cdot \sin^2 \theta_{23} \cdot \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{23}^2 \frac{L}{E} \right),$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta_{23} \cdot \cos^4 \theta_{13} \cdot \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{23}^2 \frac{L}{E} \right) - P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e),$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2 2\theta_{13} \cdot \cos^2 \theta_{23} \cdot \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{23}^2 \frac{L}{E} \right),$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{13} \cdot \sin^2 \left(1.27 \Delta m_{23}^2 \frac{L}{E} \right).$$

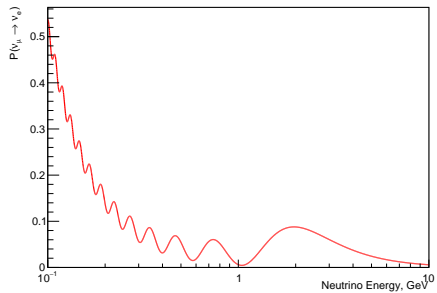
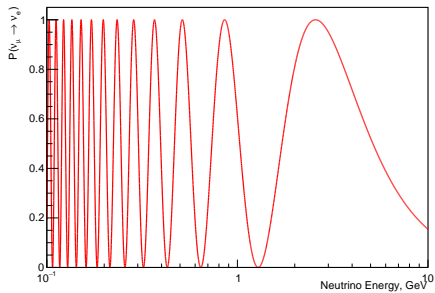
Осцилляции нейтрино в вакууме и веществе

В веществе:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 \theta_{23} \cdot \sin^2(2\theta_{13}) \cdot \frac{\sin^2(\Delta_{31} - aL)}{(\Delta_{31} - aL)^2} \Delta_{31}^2 +$$
$$+ \sin(2\theta_{23}) \cdot \sin(2\theta_{13}) \cdot \sin(2\theta_{12}) \cdot \frac{\sin(\Delta_{31} - aL)}{(\Delta_{31} - aL)} \cdot \frac{\sin(aL)}{(aL)} \cdot \Delta_{21} \cdot \cos(\Delta_{31} + \delta_{CP}) +$$
$$+ \cos^2 \theta_{23} \cdot \sin^2(2\theta_{12}) \cdot \frac{\sin^2(aL)}{(aL)^2} \cdot \Delta_{21}^2,$$

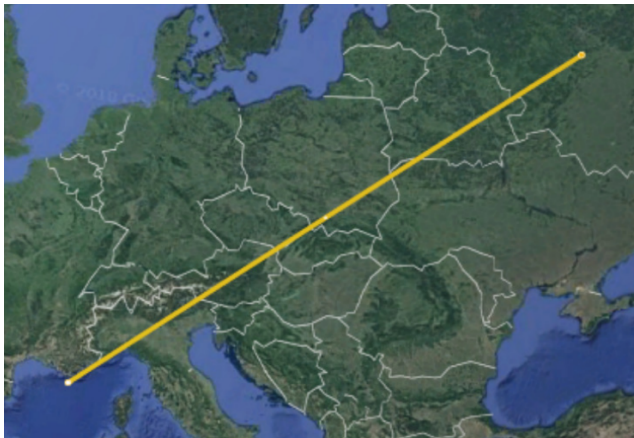
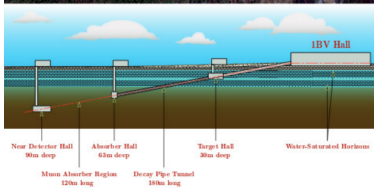
где $\Delta_{ij} = 1,27 \cdot \Delta m_{ij}^2 L / E (i, j = 1, 2, 3)$, $a = G_F N_e / \sqrt{2}$ - эффект вещества.

Осцилляции нейтрино в вакууме и веществе

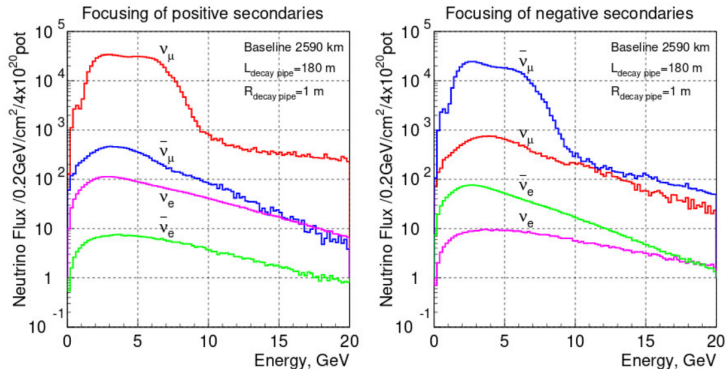


Проект P20

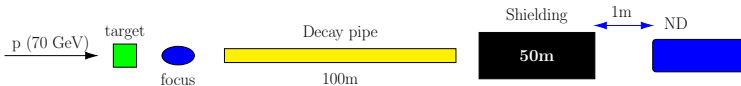
Наиболее амбициозным проектом, предложенным на сегодняшний день, является проект P20 (Protvino to ORCA)



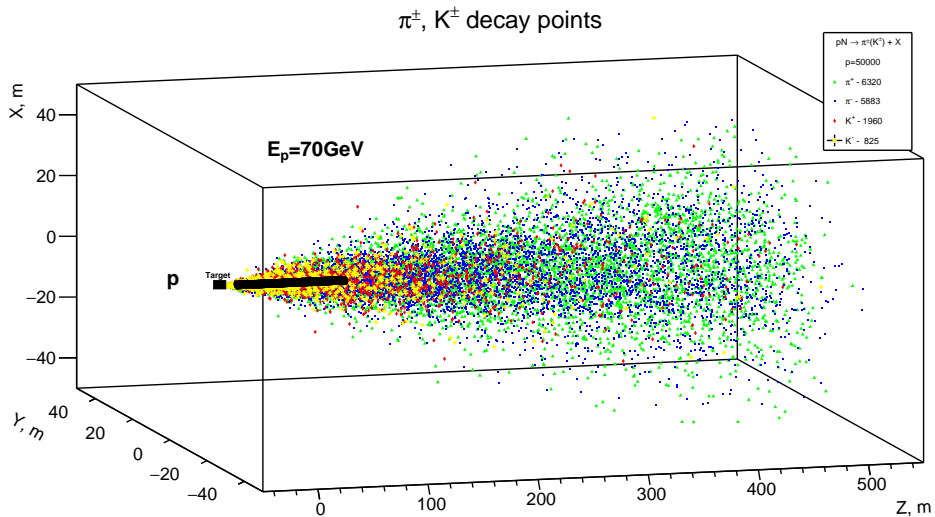
Смоделированный спектр нейтринных пучков направленных на ORCA в режиме работы нейтрино (слева) и антинейтрино (справа)



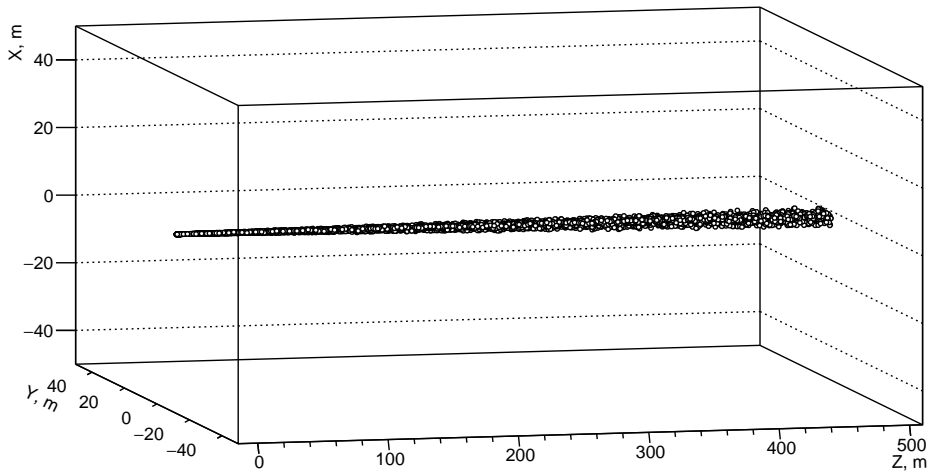
Модель в GEANT4



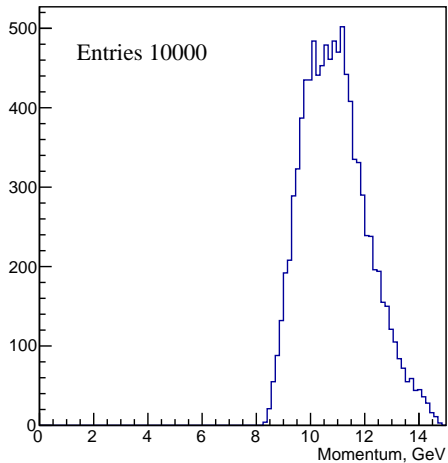
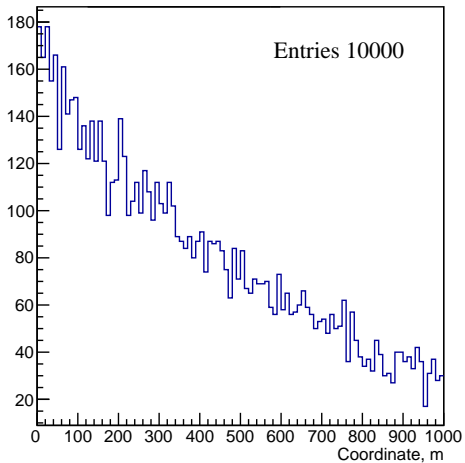
- ParticleGun - генератор частиц, находящийся в начале координат, из которого вылетает пучок протон с энергией 70 ГэВ;
- Target - медная цилиндрическая мишень, на которую налетает пучок протонов, с длиной 50 см и радиусом 0.25 мм;
- focus - фокусирующая установка;
- Decay Pipe - вакуумная трубка в которой летит сгенерированная частица, длиной 100 м и радиусом 1 м;
- Shielding - бетонный слой, длиной 50 м;
- ND - детектор, для регистрации нейтрино, радиусом 1 м, и длиной 50 м, отстоящий на 1 метр от Shielding слоя;



Decay point for π^\pm



Сфокусированный пучок



Заключение

В работе был изучен

1. процесс осцилляций нейтрино различных типов в вакууме и веществе;
2. на примере нейтринного канала на ускорителе У-70 ИФВЭ рассмотрена схема формирования нейтринных пучков на ускорителе;
3. рассмотрен проект P2O по изучению осцилляций нейтрино в ускорительном эксперименте с длинной базой;

На основе программного пакета GEANT была:

- создана модель формирования нейтринного пучка для эксперимента P2O;
- изучен состав вторичного пучка π^\pm и K^\pm мезонов после взаимодействия с мишенью выведенного пучка протонов;
- рассмотрены характеристики π^\pm и K^\pm мезонов в полученном пучке;
- рассмотрено влияние фокусирующей системы на сформированный