

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В НЕЙТРИННОМ ДЕТЕКТОРЕ С ПОМОЩЬЮ GEANT4

Руководитель НИР

д.ф.-м.н.,
ведущий научный сотрудник,
НИЦ “Курчатовский институт” - ИФВЭ
Соколов А.А.
Гавва О.Д.

Студент

Москва 2022

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является моделирование нейтринных взаимодействий в детекторе с помощью программного комплекса GEANT4.

АКТУАЛЬНОСТЬ

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных тем исследований в современной физике является изучение свойств нейтрино. Основной причиной этого можно считать невозможность описать наличие массы и осцилляций нейтрино с помощью Стандартной Модели частиц. С помощью моделирования нейтринных взаимодействий в детекторе с использованием пакета GEANT4 можно изучить соответствующие события. Можно будет выделить взаимодействия различных типов нейтрино (ν_μ , ν_e , ν_τ), а также различные типы их взаимодействий (взаимодействия через заряженный ток, через нейтральный ток). Статистический анализ измеренных событий позволит извлечь значения параметров матрицы смешивания нейтрино.

ОПИСАНИЕ ПАКЕТА GEANT4

GEANT4 — это набор инструментов для моделирования прохождения частиц через вещество. Он включает в себя полный набор функций, включая отслеживание, геометрию, физические модели и хиты.

Типичная программная система содержит компоненты:

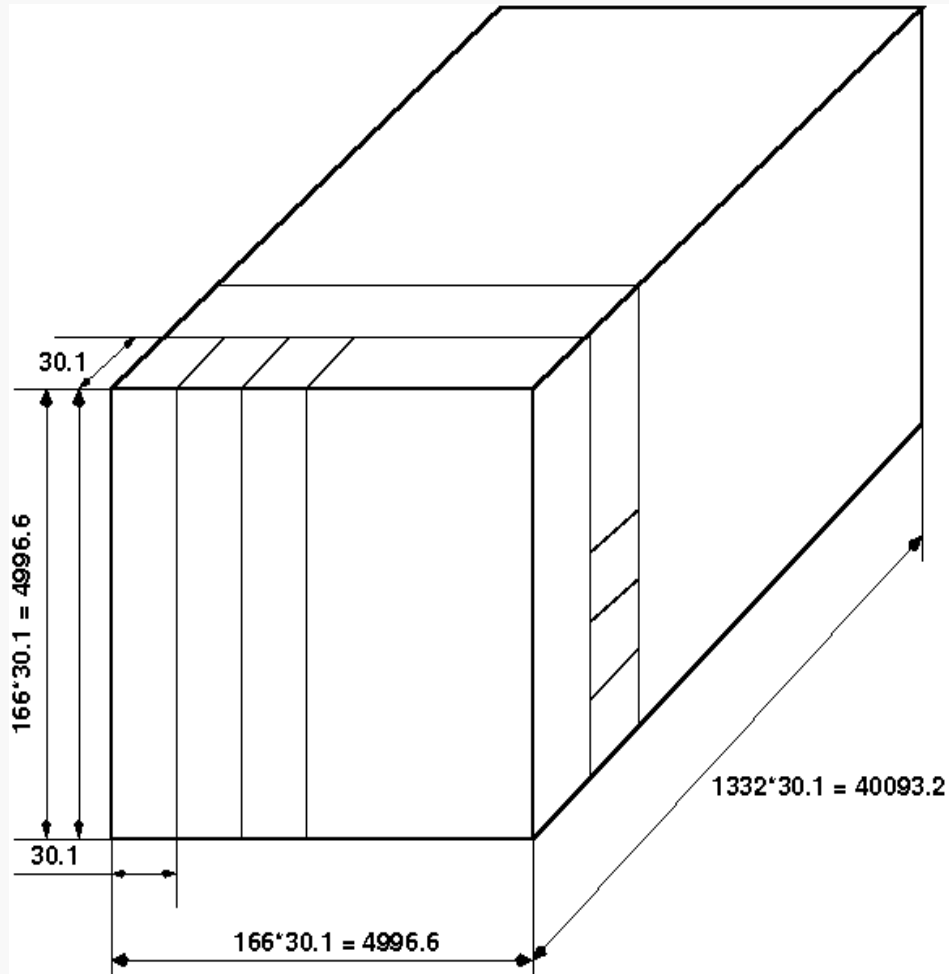
- генератор событий;
- моделирование детектора;
- реконструкцию и анализ, — которые можно использовать по отдельности или в комбинации.



Сцинтилляционные детекторы

- **Сцинтилляционный детектор** представляет собой **сцинтиллятор**, в котором ионизирующие частицы вызывают вспышку люминесценции, фотоэлектрического тока, и электронной системы, регистрирующей эти электрические импульсы.
- Вспышка света, вызванная прохождением частицы через сцинтиллятор, может быть преобразована в электрич. сигнал или графич. изображение при помощи **фотоприёмника** (ФЭУ, фотодиода, фотокамеры).
- Свойства такого детектора в значительной степени **определяются свойствами сцинтиллятора**.
- **Сцинтилляторами могут служить** углеводородные соединения (напр., прозрачные пластмассы, кристаллы антрацена и стильбена, раствор паратерфенила в ксилоле или толуоле), неорганич. монокристаллы (напр., NaI, CsI, BaF₂), прозрачные керамики на основе оксидов MgO, BeO, Al₂O₃, Y₂O₃ и др., а также благородные газы.

Геометрия детектора



Детектор - последовательно чередующиеся X- и Y- плоскости.

Общее количество плоскостей – **1332**.

Первая плоскость детектора - X-плоскость.

X-плоскость - **166** вертикально расположенных сцинтилляционных **баров**.

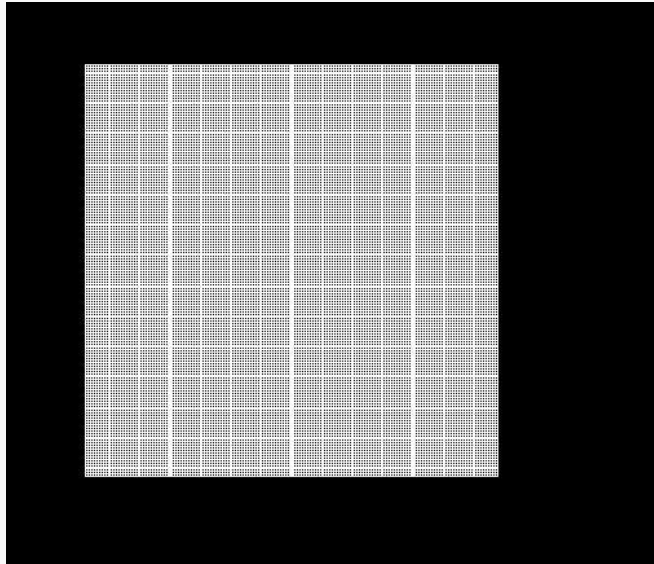
Y-плоскость - **166** горизонтально расположенных сцинтилляционных **баров**.

Каждый **бар** - сцинтилляционный параллелепипед размером **30 x 30 x 4996.6 мм³**, обернутый майларом толщиной 50 мкм.

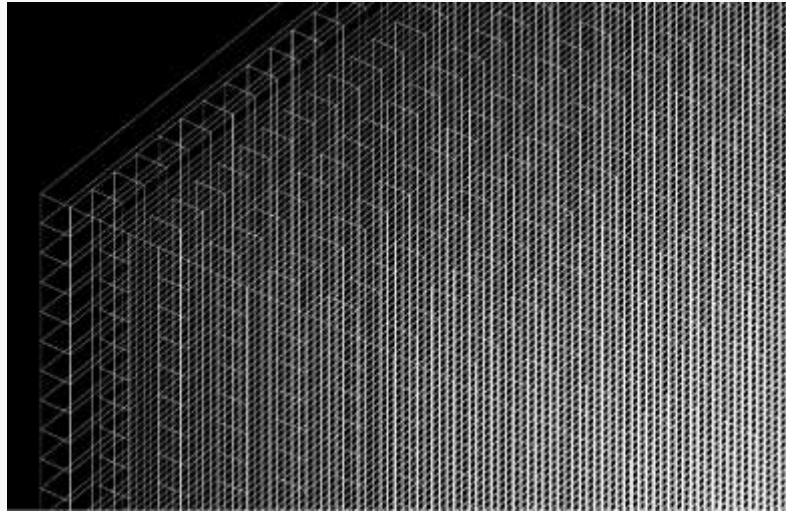
В центре сцинтиллятора - WLS фибер диаметром 1.5 мм.

Полный физический **размер бара** составляет **30.1 x 30.1 x 4996.6 мм³**.

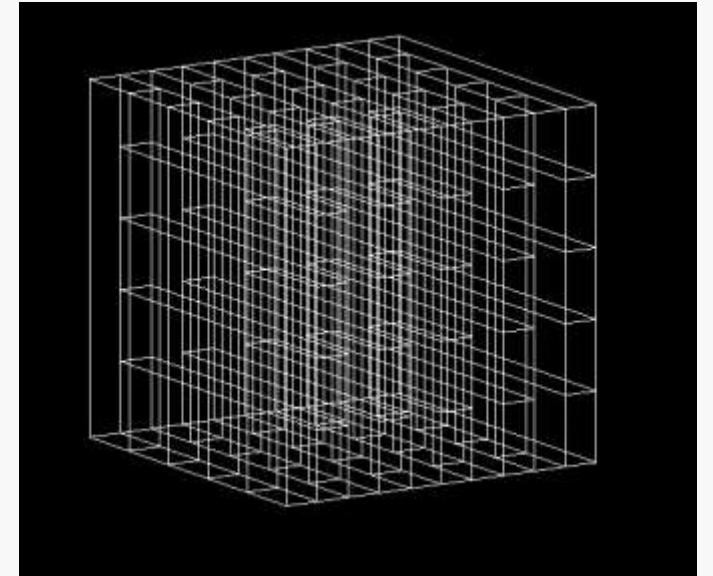
Визуализация детектора в GEANT4



Вид сверху

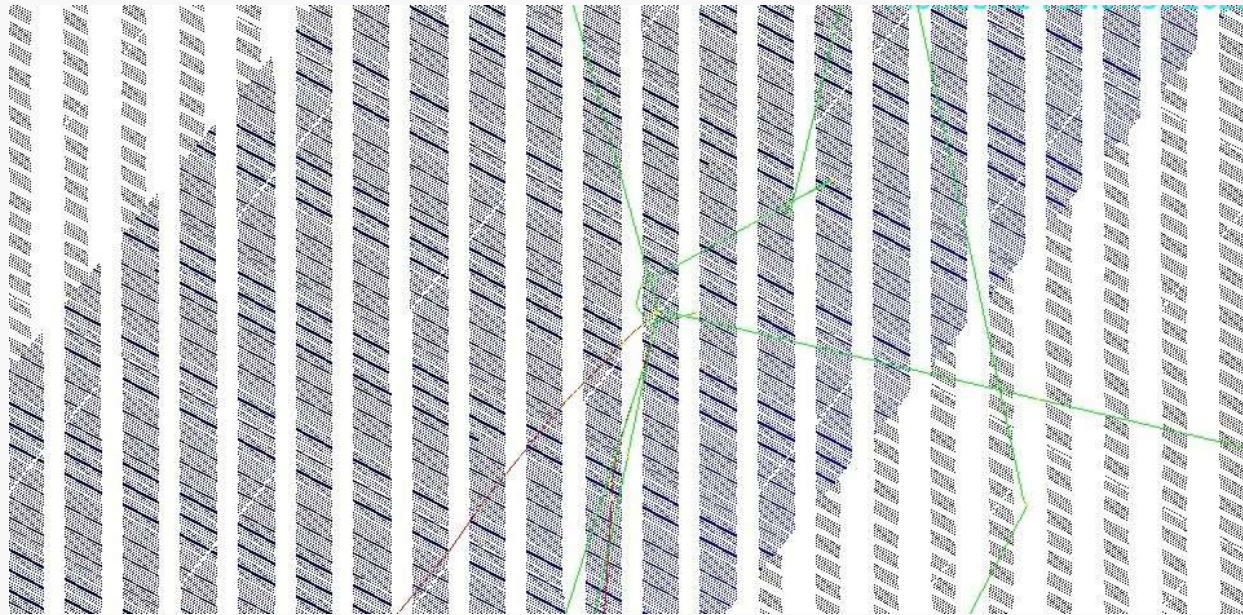


Вид сбоку



Тот же детектор
меньших размеров
и параметров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ДЕТЕКТОР

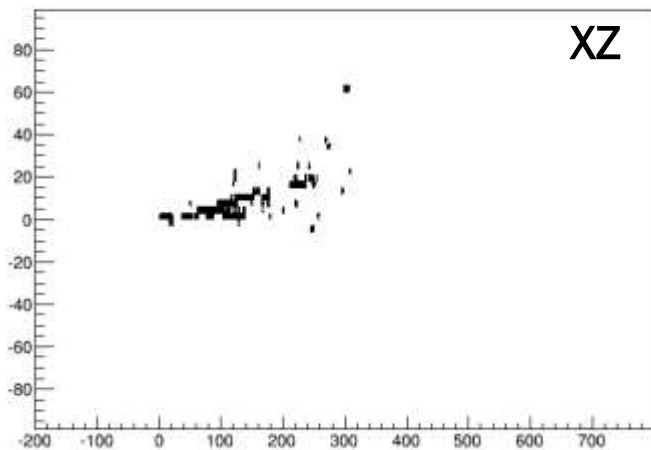


Визуализация
прохождения частицы
через детектор на
примере μ^-

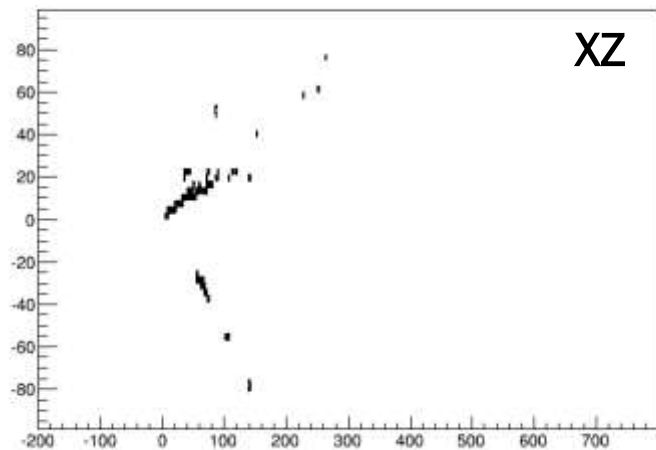
Далее были получены проекции взаимодействия различных
частиц в материале детектора

Регистрация частиц

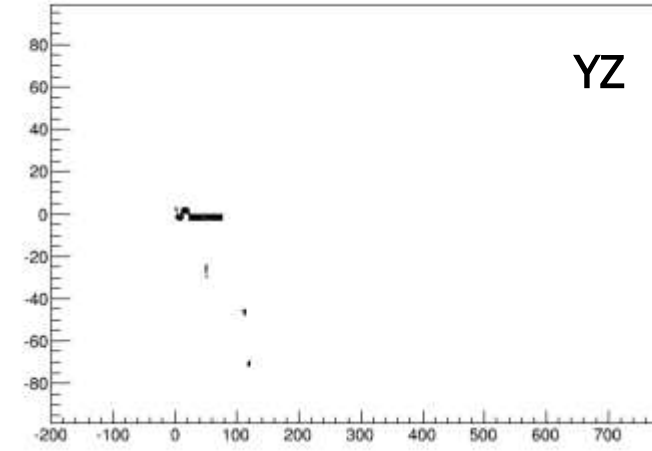
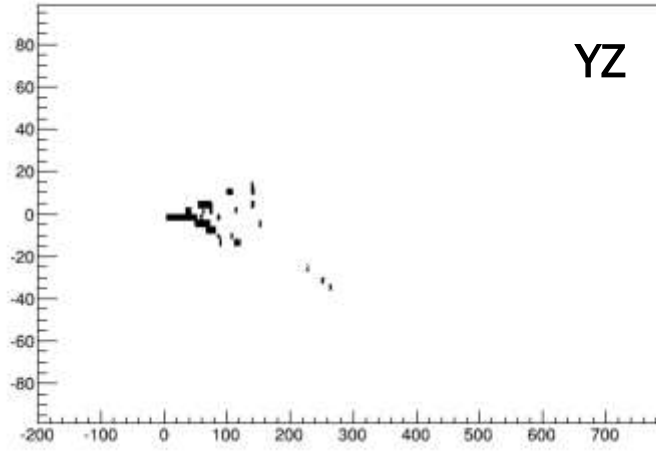
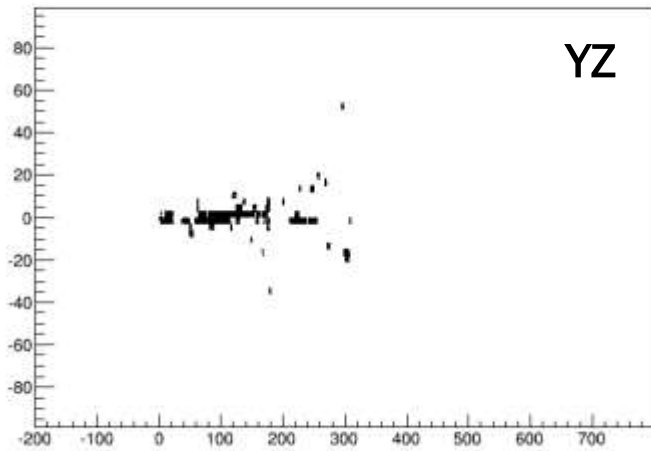
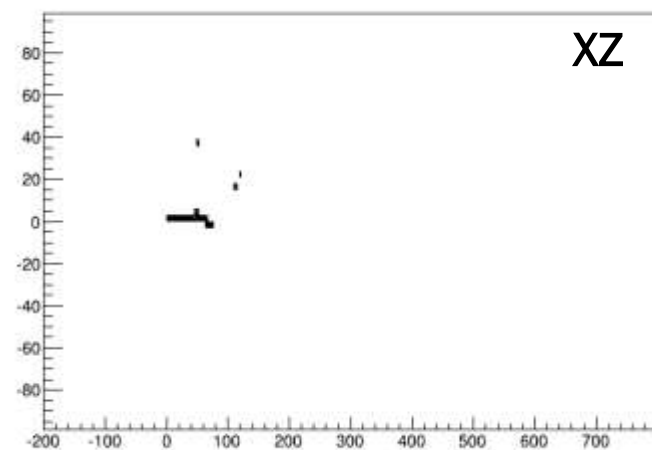
e^-



π^0

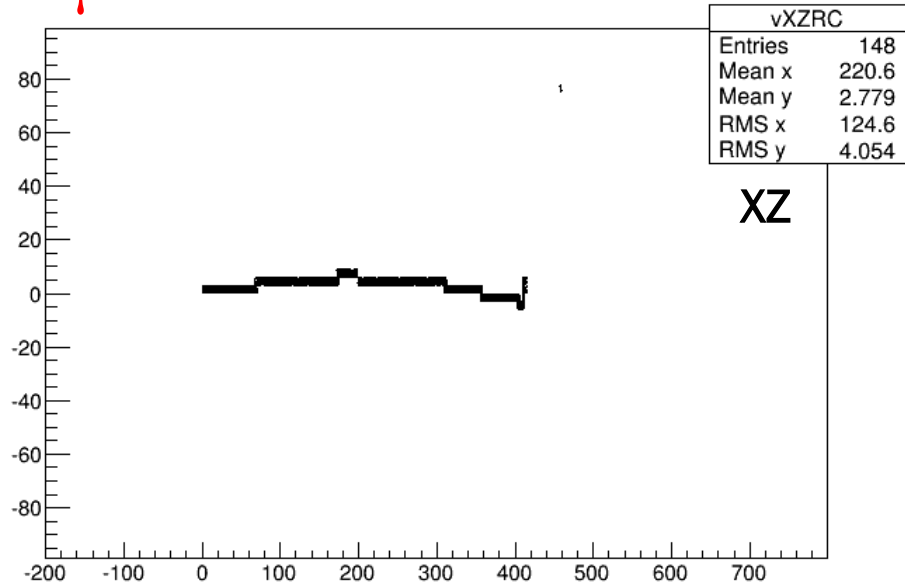


π^-

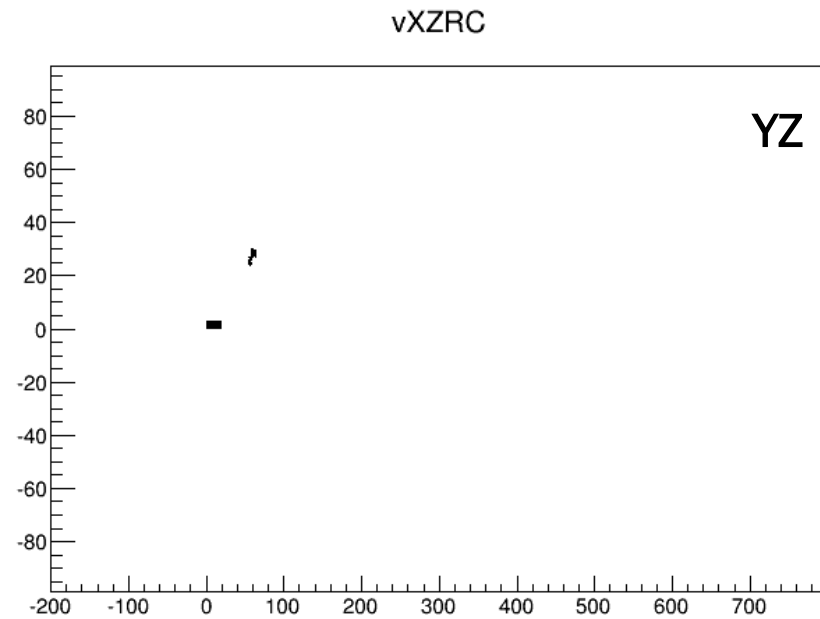
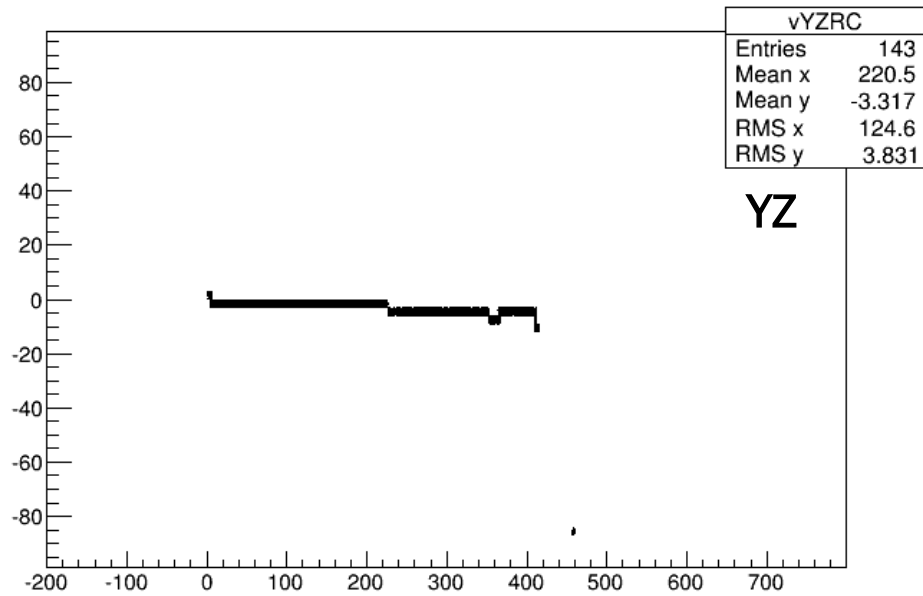
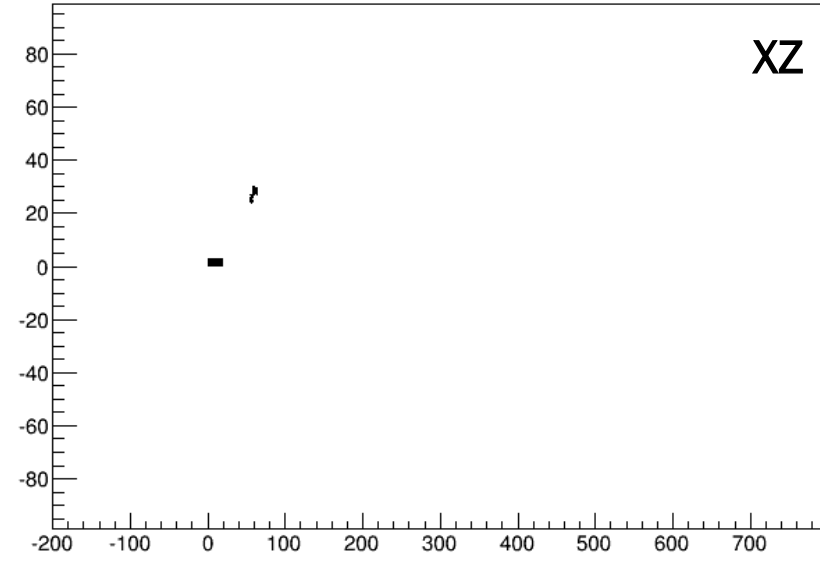


Регистрация частиц

μ^-

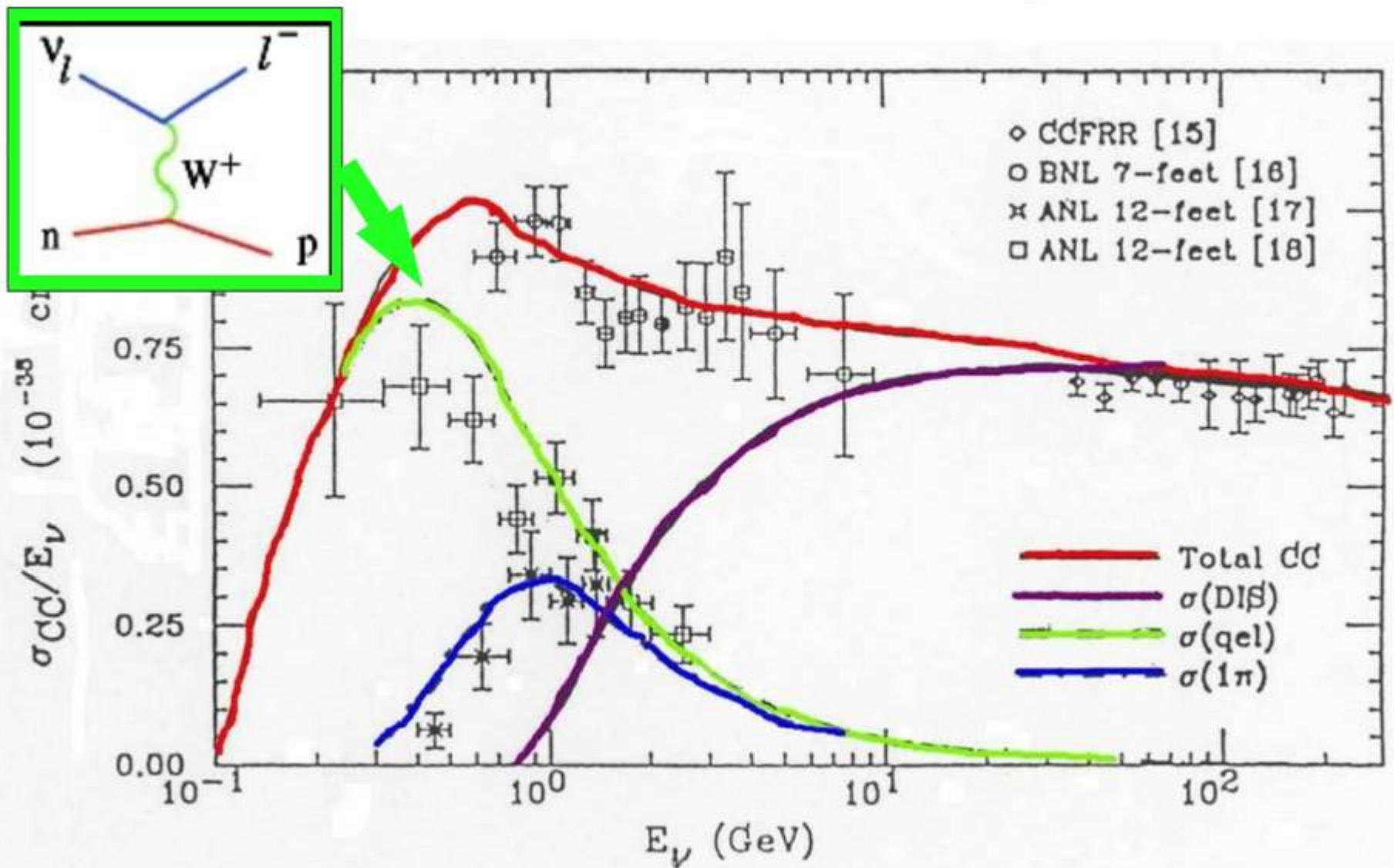


p



$E_\nu = 2 \text{ ГэВ}$

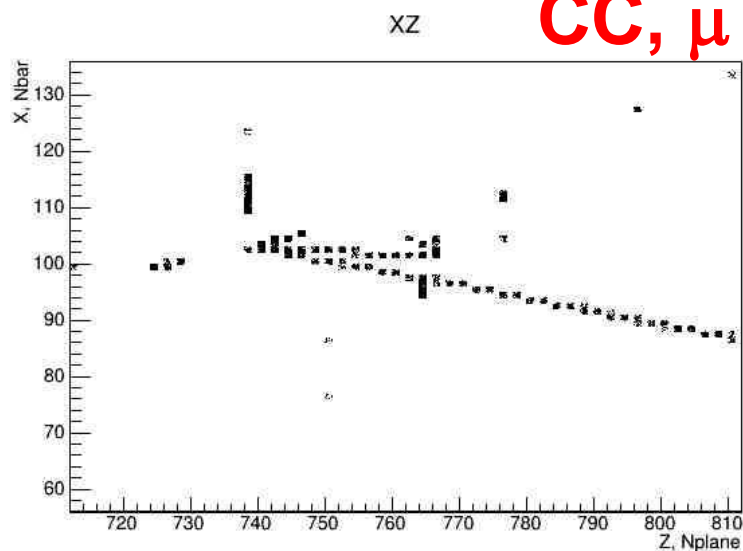
Взаимодействие нейтрино



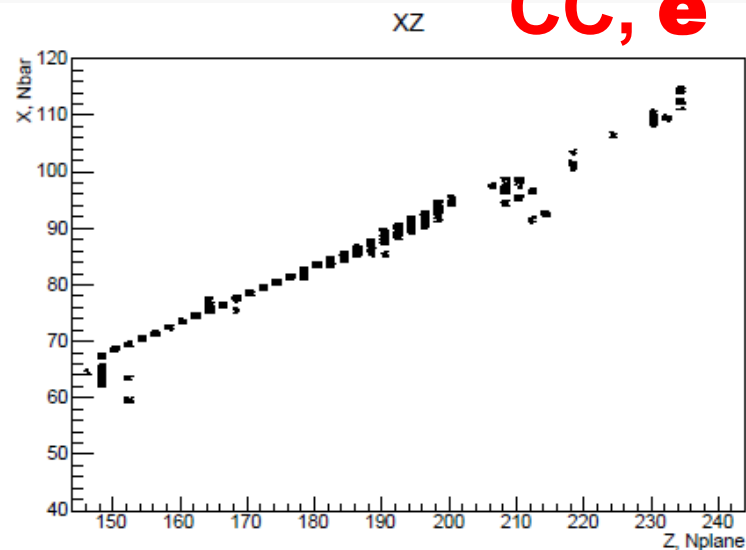
Классификация μ , e , NC событий

$E_\nu = 2$ ГэВ

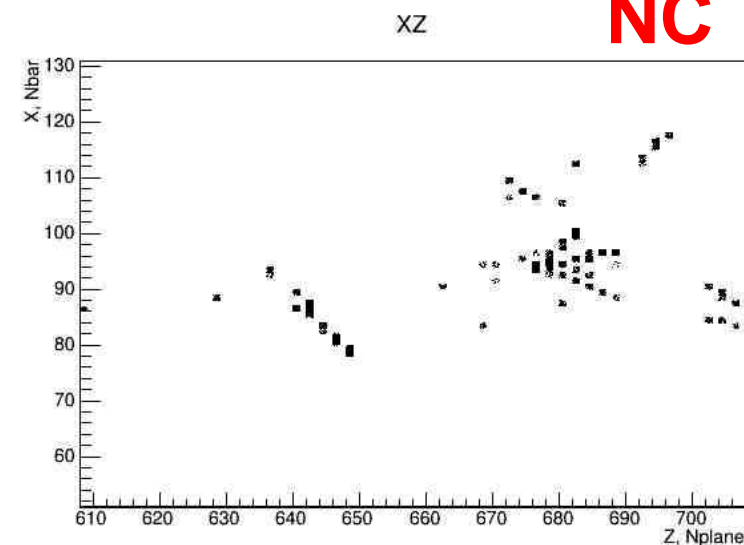
СС, μ



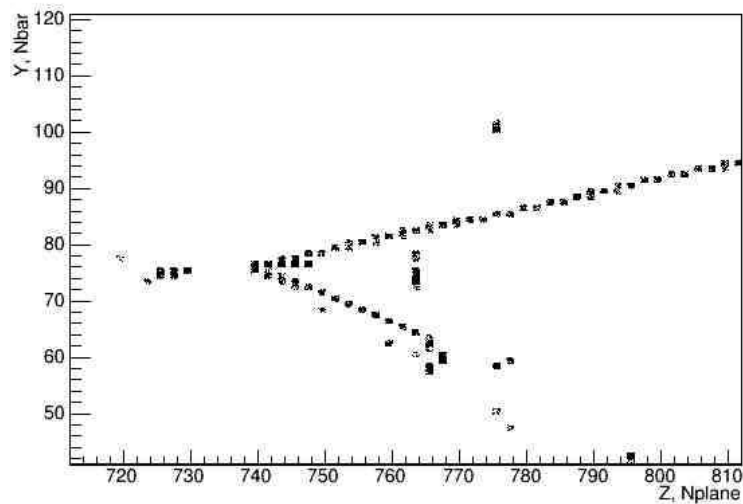
СС, e



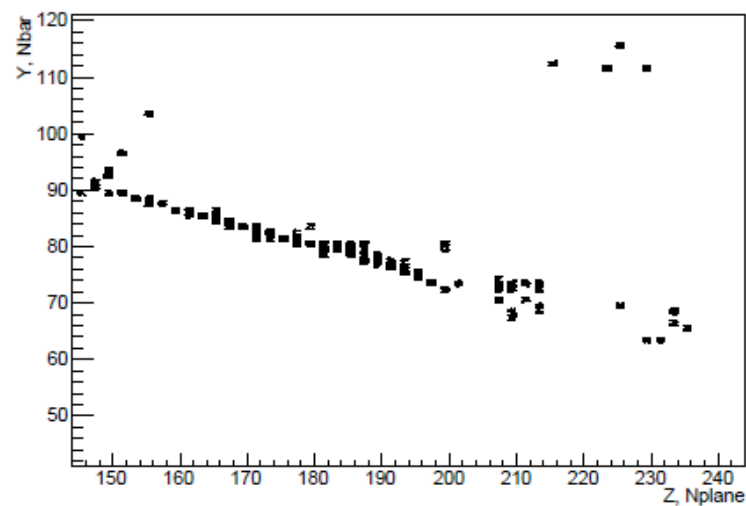
NC



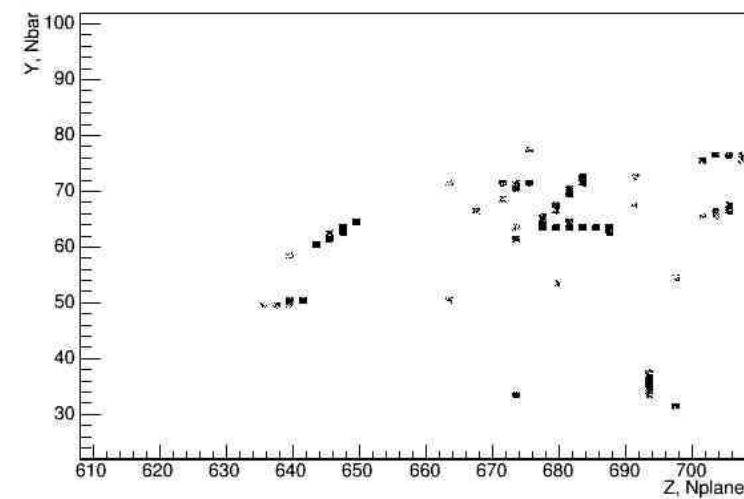
YZ



YZ



YZ



Заключение

В ходе работы:

- установлен программный комплекс GEANT4 на персональный компьютер (операционная система Ubuntu);
- освоены основные элементы работы с этим пакетом;
- создана геометрия нейтринного сцинтиляционного детектора;
- промоделировано прохождение и регистрация в детекторе частиц различных типов;
- промоделирована регистрация в детекторе нейтринных реакций различных типов $\nu_{\mu}N$, ν_eN через заряженный ток и через нейтральный ток.

Приложение

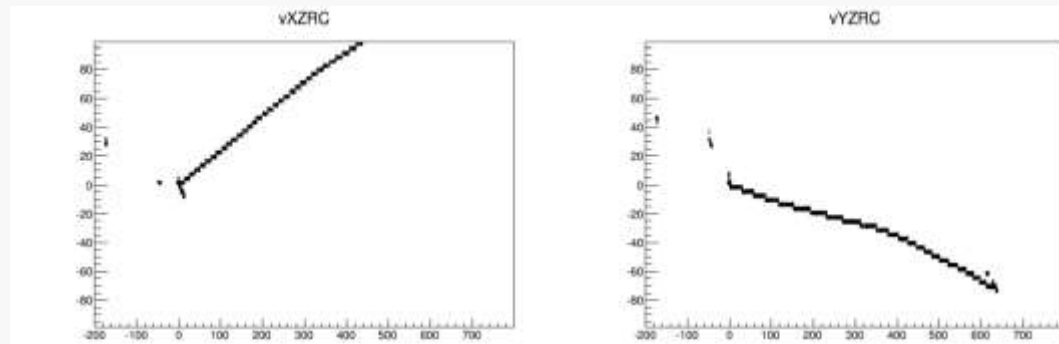


Рис.30 Пример реакции.

```
nu_mu C12 (44.828000 fB) -->
  mu- P = 0.366000 -0.155000 1.527000 1.581000
  proton P = -0.327000 -0.063000 0.433000 1.086000
  pi+ P = -0.037000 -0.020000 0.033000 0.149000
  proton P = 0.161000 0.430000 -0.014000 1.045000
```

Реакция $\nu_{\mu}N$ через заряженный ток

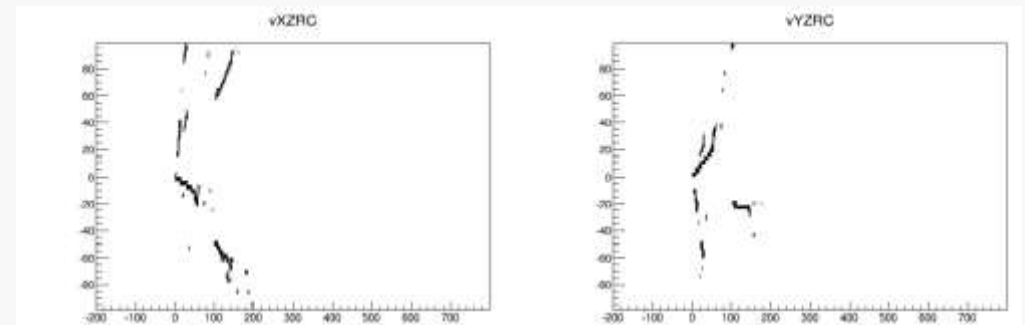


Рис.31 Пример реакции.

```
nu_mu C12 (4.465900 fB) -->
  nu_mu P = 0.013000 -0.544000 0.546000 0.771000
  proton P = -0.205000 0.365000 0.979000 1.419000
  pi0 P = 0.243000 -0.122000 0.199000 0.363000
  proton P = 0.022000 0.055000 0.079000 0.943000
  pi0 P = -0.069000 0.222000 0.237000 0.358000
```

Реакция $\nu_{\mu}N$ через нейтральный ток

Приложение

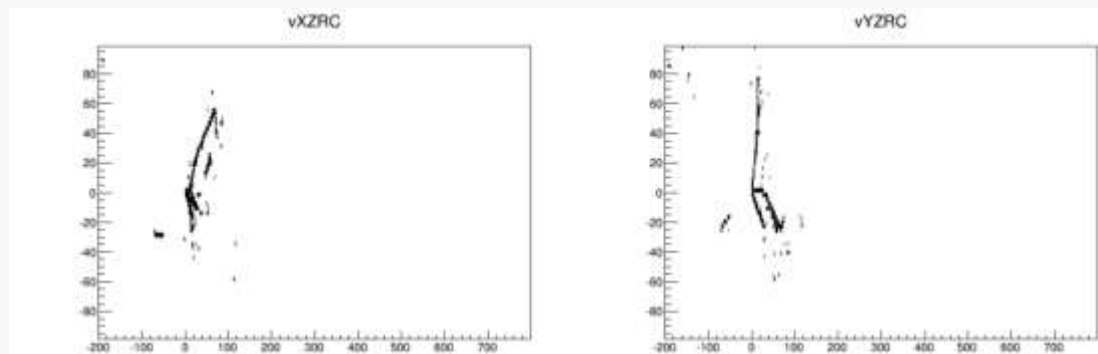


Рис.3 Пример реакции.

```
nu_e  proton  (2.895300 fB) -->
      e-    P = -0.086000 0.298000 0.088000 0.322000
      proton P = -0.220000 -0.490000 0.576000 1.225000
      pi+   P = 0.306000 0.193000 1.336000 1.391000
```

Реакция $\nu_e N$ через заряженный ток

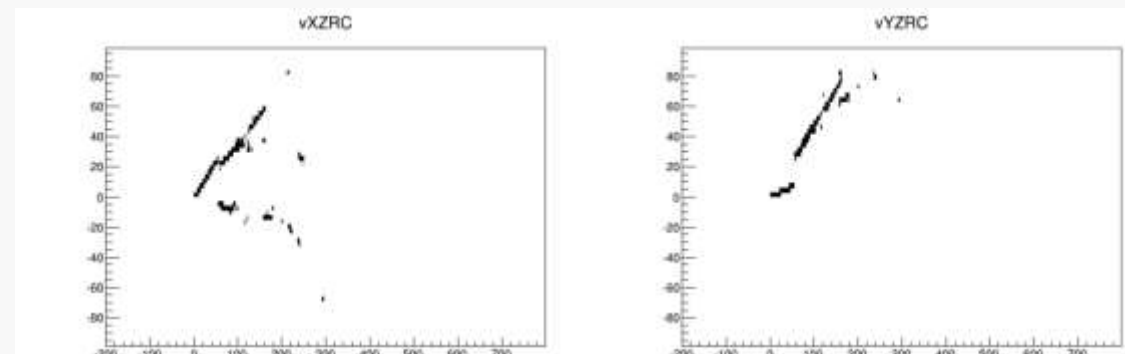


Рис.5 Пример реакции.

```
nu_e  C12  (10.468000 fB) -->
      nu_e  P = -0.420000 -0.331000 0.783000 0.948000
      proton P = 0.356000 0.121000 0.768000 1.270000
      pi0   P = 0.112000 0.290000 0.618000 0.704000
```

Реакция $\nu_e N$ через нейтральный ток

The image features two large, thick black L-shaped brackets. One is positioned in the top-left corner, and the other is in the bottom-right corner. They are oriented towards each other, framing the central text.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**