

Задача №1 «Ядерная физика»

от НОЦ НЕВОД

В рамках работы участникам предстоит обработать экспериментальные данные, полученные в эксперименте по регистрации космических лучей, научиться реконструировать треки заряженных частиц по данным дрейфовых камер и построить угловое распределение потока мюонов космических лучей.

Введение. О чём речь и почему это круто.

В экспериментальном комплексе НЕВОД создаётся крупнейший в мире координатный детектор ТРЕК (рисунок 1) для регистрации окологоризонтального потока мюонов от первичных космических лучей (КЛ) сверхвысоких энергий. В качестве основного детектирующего элемента выступают многопроволочные дрейфовые камеры, первоначально разработанные для нейтринных экспериментов на ускорителе У-70 в ИФВЭ.



Рисунок 1. Основное здание экспериментального комплекса НЕВОД, внешняя пристройка бежевого цвета – защитный бокс детектора ТРЕК.

Детектор ТРЕК располагается в отдельной пристройке к зданию ЭК НЕВОД и включает 2 координатные плоскости (внутренняя и внешняя), каждая из которых состоит из 132 дрейфовых камер (рисунок 2). Плоскости отличаются ориентацией камер: в одной они располагаются вертикально, а в другой – горизонтально.

Эффективная площадь детектора составит около 250 м^2 . Между плоскостями детектора предусмотрены проходы с навесными полами, позволяющие осуществлять монтаж и обслуживание камер. Согласно результатам, полученным на прототипе будущего детектора – установке КТУДК [1]

(2015-2017 гг.), координатная точность составит 1 мм, угловая – 1.5° , а двухтрековое разрешение – 3 мм.

Совместно с черенковским водным детектором на 2000 тонн дистиллированной воды детектор ТРЕК позволит впервые исследовать энергию и множественность мюонов, которые рождаются в результате взаимодействия космических лучей сверхвысоких энергий (в миллион раз более высоких, чем на LHC). Такие исследования дадут ответ о причинах возникновения избытка мюонов космических лучей («мюонная загадка»), который наблюдается в крупнейших мировых экспериментах (IceCube, Pierre Auger Observatory), а также позволят заглянуть в процессы формирования кварк-глюонной плазмы при взаимодействии КЛ с ядрами атмосферы Земли.

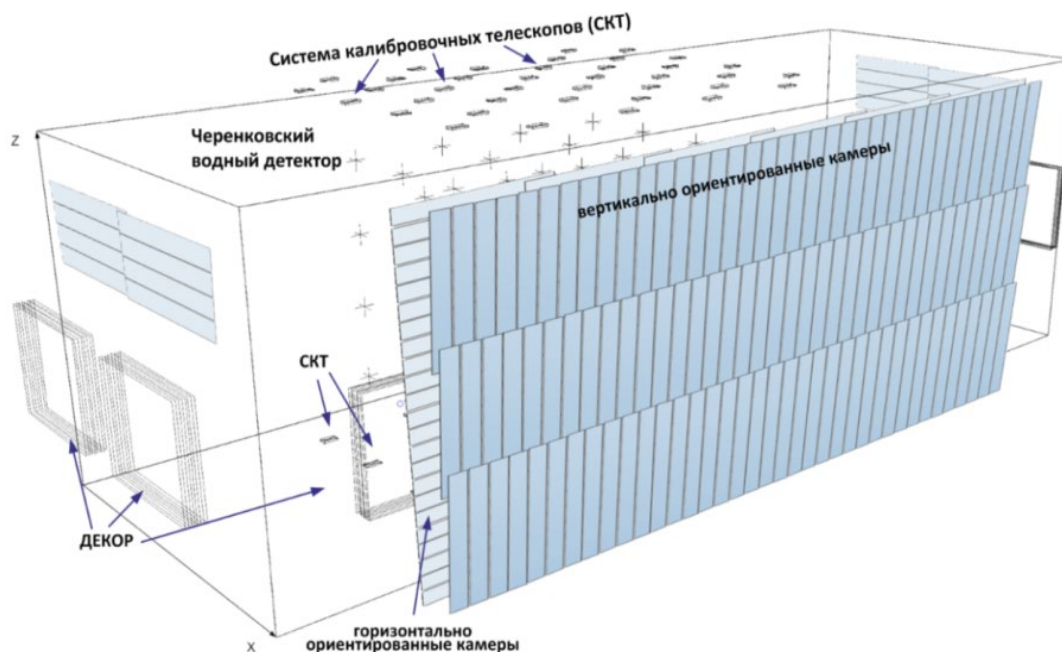


Рисунок 2. Плоскости координатного детектора ТРЕК относительно бассейна черенковского водного детектора НЕВОД.

Как устроена дрейфовая камера

Дрейфовая камера (ДК) — это прибор для регистрации и реконструкции треков заряженных частиц. В Прототипе используются многопроволочные дрейфовые камеры, разработанные в ИФВЭ [10]. Сечение ДК, представлено на рисунках 3 и 4. Габаритные размеры камеры $4000 \times 508 \times 112 \text{ мм}^3$, активная поверхность $3.7 \times 0.5 \text{ м}^2$ составляет 91% общей поверхности. Вес камеры 25 кг, газовый объем почти 210 л.

ДК содержит 4 сигнальных проволоки, они регистрируют проекцию трека в камере (на рисунок 3 под номером 3), проволоки попеременно смещены в направлении дрейфа на $\pm 0.75 \text{ мм}$ относительно центра камеры, это необходимо для решения лево-правой неопределенности, то есть с какой стороны относительно центра камеры прошла частица. В перпендикулярном направлении расстояние между сигнальными проволоками 10 мм. Однородное электрическое поле создается полеформирующими

проводами с шагом 5 мм, потенциал на этих проводах меняется линейно от 0 до максимального значения в -12 кВ.

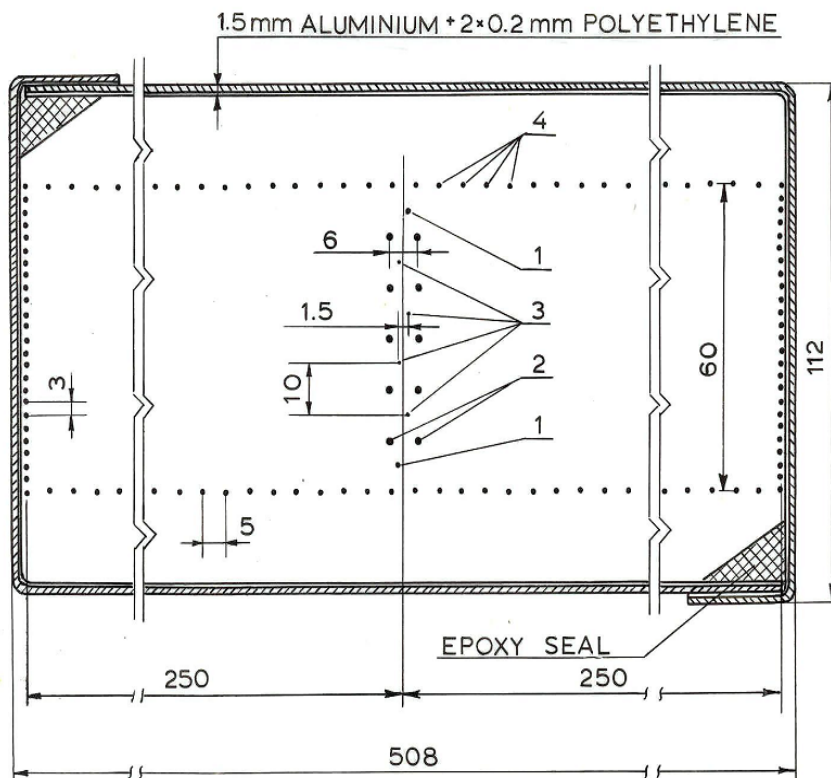


Рисунок 3. Схема дрейфовой камеры, поперечное сечение: 1 – охранные, 2 – катодные, 3 – сигнальные, 4 – полеформирующие проволоки.

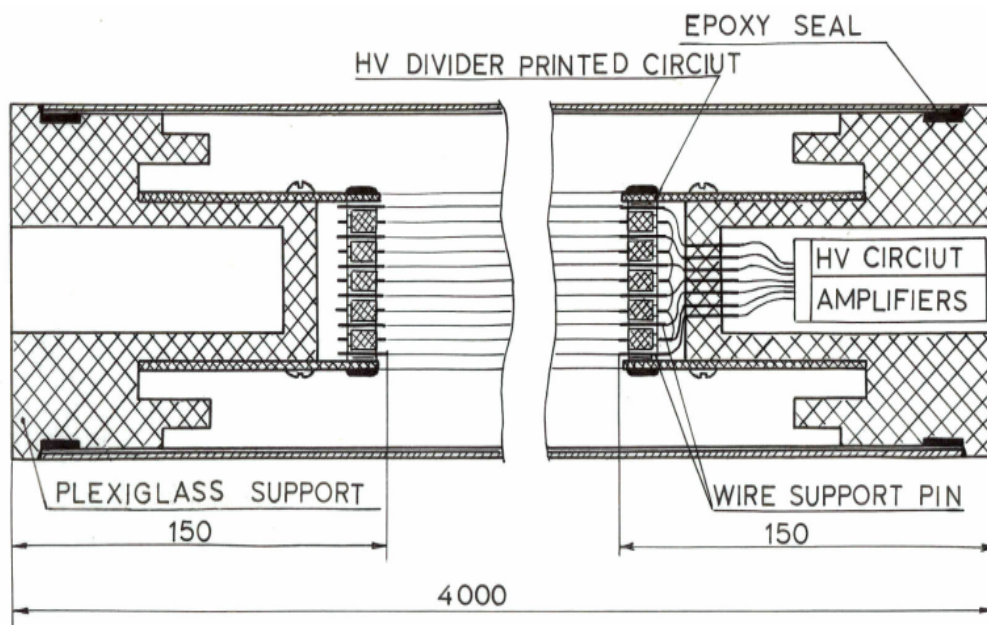


Рисунок 4. Схема дрейфовой камеры, продольное сечение.

Полеформирующие проволоки создают в камере однородное электрическое поле напряжённостью примерно 500 В/см. В ДК используется газовая смесь 94% Ar и 6% CO₂, при

напряжении 500 В/см скорость дрейфа составляет около 4.5 сантиметров за микросекунду. В центре камеры в области сигнальных проволок напряженность поля уже свыше 7000 В. При такой напряженности электроны, попавшие в эту область, разгоняются и вторично ионизуют газ, на один дрейфующий электрон в лавине высвобождается около миллиона вторичных.

Принцип работы дрейфовой камеры

Детектирование частиц при помощи ДК основывается на том, что при прохождении частицы через рабочий объем детектора вдоль её трека газ ионизируется. Под действием постоянного электрического поля высвободившиеся электроны движутся к сигнальным проволокам. Сторонним детектором определяется момент времени прохождения частицы, а с помощью время-цифрового преобразователя определяется время дрейфа электронов от точки ионизации к сигнальным проволокам. Если известна скорость дрейфа и время дрейфа, то можно определить точки, в которых произошла ионизация, а затем по этим точкам реконструируется трек частицы (рисунок 5).

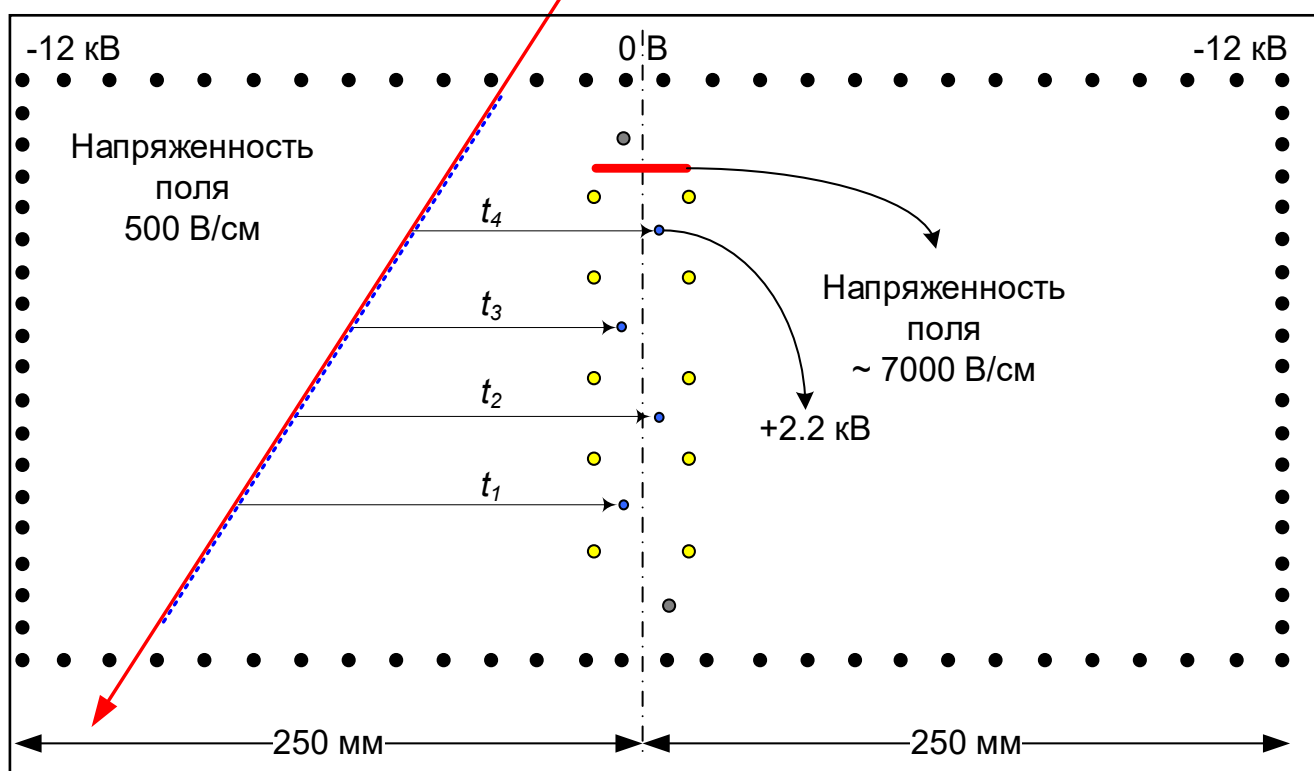


Рисунок 5. Принцип регистрации заряженной частицы в дрейфовой камере.

Задача

Предлагаемая вам работа имеет два уровня сложности, первый очень прост и не займет много времени, второй действительно сложен, если вы его не выполните, но вам интересно довести дело до победного конца – приходите в ЭК НЕВОД и мы вас этому научим.

Первый уровень: статистически обработать экспериментальные данные, определив точку отсчёта времени дрейфа и скорость дрейфа электронов.

Второй уровень (со звёздочкой): реконструировать с помощью метода наименьших квадратов треки частиц и построить распределение этих треков по углам.

1. Статистическая обработка

Вам предоставляется файл, который содержит тысячи событий, зарегистрированных в дрейфовой камере. Каждая строка это событие, колонкам соответствуют времена дрейфа (в пикосекундах) до первой, второй, третьей и четвертой сигнальным проволокам. Ваша задача построить для каждой проволоки статистический график, подобный тому, что приеден на рисунке 6. Время-цифровой преобразователь измеряет широкий диапазон времен относительно момента прохождения частицы через камеру. Поэтому точка отсчёта времени дрейфа оказывается не в нуле. Для дальнейшей реконструкции из графика следует определить точку отсчёта, как показано на рисунке 6.

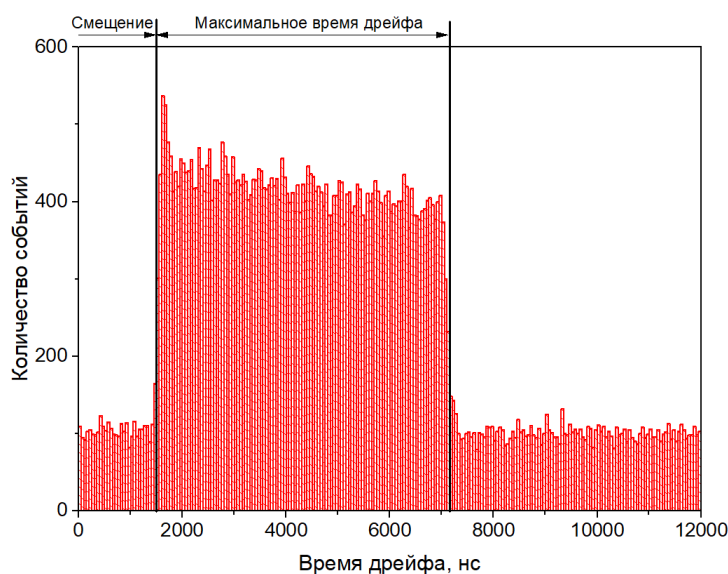


Рисунок 6. Распределение событий по величине времени дрейфа электронов на одной сигнальной проволоке дрейфовой камеры.

Скорость дрейфа определяется как отношение максимального расстояния дрейфа в 250 мм (смотри рисунок 5) к максимальному времени дрейфа. И обычно находится в пределах от 43 до 47 мм за микросекунду. Построить такие распределение и определить для каждой сигнальной проволоки эти величины – первое задание.

2. Реконструкция треков

Сигнальные проволоки расположены посередине ДК, когда вы будете откладывать расстояния от проволоки до точки ионизации нет определенности, куда именно ставить точку – справа или слева от проволоки (рисунок 7). Это называется право-левая неоднозначность. Сигнальные проволоки в ДК смещены на 0.75 мм относительно центра, поэтому если выбрать сторону неверно, то точки лягутся на прямую значительно хуже.

Самый простой способ реконструировать трек частицы – расставить точки относительно центра всеми возможными способами. Для каждого набора точек методом наименьших квадратов строится трек, истинным считается тот, для которого сумма отклонений наименьшая. Пример реконструкции одиночного события представлен на Рисунке 8.

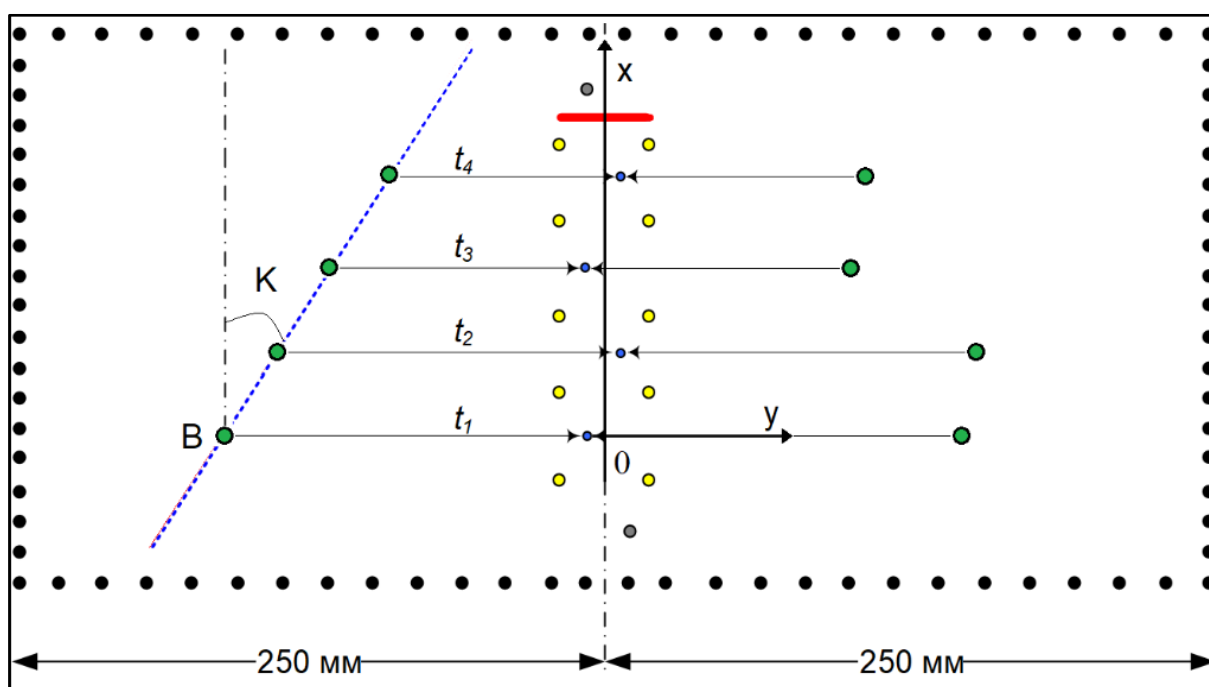


Рисунок 7. Схематичное представление реконструкции трека заряженной частицы в дрейфовой камере.

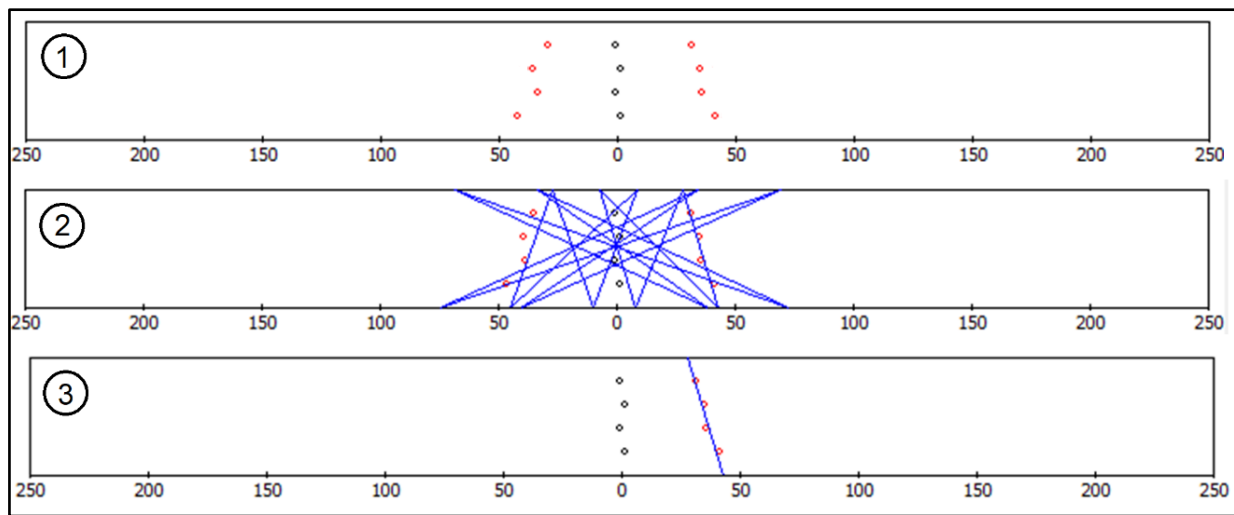


Рисунок 8. Этапы реконструкции одиночного события по данным дрейфовой камеры. 1) Точки ионизации справа и слева от проволок. 2) Все возможные треки при реконструкции. 3) Конечная реконструкция.

В рамках второго задания вам нужно визуализировать реконструкцию десяти событий, зарегистрированных в дрейфовой камере (например, взяв первые десять строк из файла). Результат должен получиться примерно так, как на рисунке 8-3.

Если алгоритм реконструкции работает верно, что видно по полученным вами иллюстрациям, то необходимо построить распределение всех треков, которые записаны в файле по значению угла между треком и вертикалью (на рисунке 7 показан его угловой коэффициент K).

Если вы владеете программированием, то особенно полезным будет написать просмотрщик данных, который визуализирует по нажатию кнопки каждый следующий трек в файле.

Доцент ИЯФиТ, с.н.с НОЦ НЕВОД
Задеба Е.А.