

Координатно-трековая установка на дрейфовых камерах для исследования космических лучей сверхвысоких энергий

Е.А. Задеба¹, Н.В. Ампилогов¹, Н.С. Барбашина¹, А.Г. Богданов¹, А.А. Борисов^{1,2}, Н.С. Волков¹, В.С. Воробьев¹, Л.И. Душкин¹, М.А. Иващенко¹, А.С. Кожин^{1,2}, Р.П. Кокоулин¹, К.Г. Компаниец¹, В.В. Овчинников¹, А.А. Петрухин¹, В.А. Селяков¹, Р.М. Фахрутдинов^{1,2}, С.С. Хохлов¹, Д.В. Чернов¹, В.В. Шутенко¹, И.И. Яшин¹

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409 Москва, Россия

² Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий, 142281 Протвино, Россия

E-mail: EAZadeba@mephi.ru

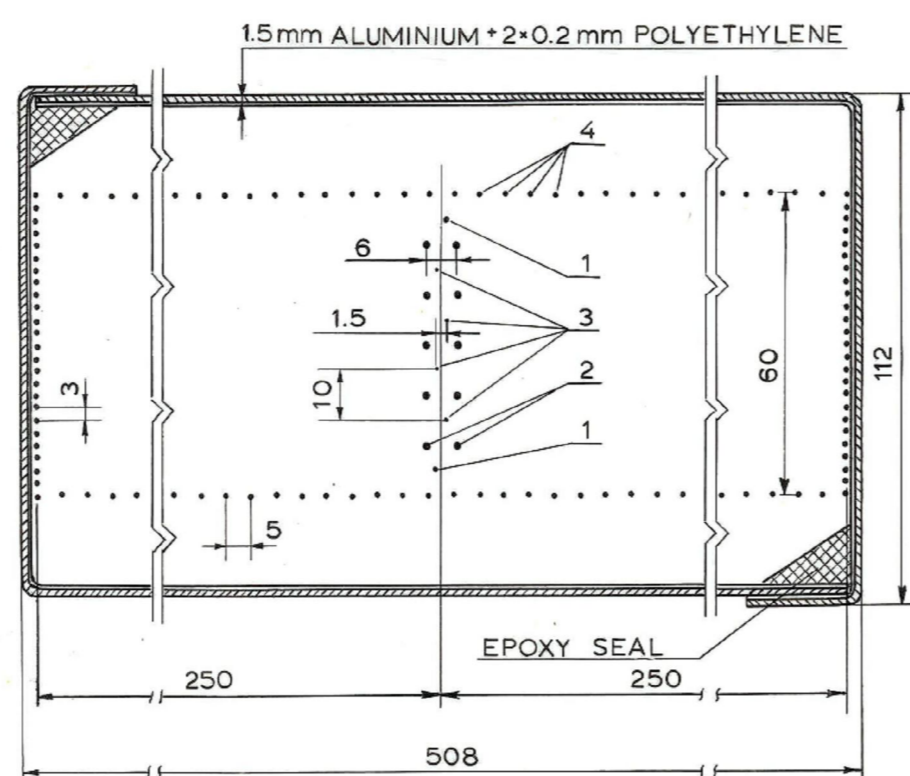
В НИЯУ МИФИ ведется разработка крупномасштабного координатно-трекового детектора для регистрации околоразностного потока мюонов космических лучей сверхвысоких энергий. Основой детектора являются дрейфовые камеры нейтринного детектора на ускорителе У-70 ИФВЭ, ключевым преимущество которых являются большая эффективная площадь (1.85 кв.м), хорошее координатное и угловое разрешение при относительно малом количестве измерительных каналов.

Проект направлен на решение проблемы в избытка групп мюонов, величина которого растет с увеличением энергии первичных космических лучей, что может быть вызвано как космофизическими, так и ядерно-физическими причинами. Единственной характеристикой, которая по-разному реагирует на изменение состава космических лучей и на включение новых физических процессов, но которая до настоящего времени практически не исследовалась, является энергия мюонной компоненты ШАЛ. Такие исследования могут быть проведены на экспериментальном комплексе НЕВОД-ДЕКОР; однако координатный детектор ДЕКОР не перекрывает всю апертуру черенковского водного детектора и не исключает возможность прохождения части мюонов между отдельными модулями детектора, а размер его ячеек ограничивает возможность разделения двух и более частиц на малых расстояниях (менее 3 см). Новая трековая установка позволит полностью перекрыть боковую апертуру черенковского водного детектора НЕВОД и существенно (в десятки раз) улучшить разрешение близких треков.

Дрейфовая камера ИФВЭ

Дрейфовая камера ИФВЭ разрабатывалась специально для нейтринного эксперимента. Камера содержит **4 сигнальных проволоки**, попеременно смещенных в направлении дрейфа на ± 0.75 мм относительно центра камеры. В перпендикулярном направлении расстояние между сигнальными проволоками равно 10 мм. **Газовое усиление** достигается за счет разницы потенциалов в **2.2 кВ** между сигнальными и 10 катодными нитями, расположенными симметрично на расстоянии 3 мм от центра камеры. Для устранения краевых эффектов введены две охранные проволоки. Однородное электрическое поле создается полеформирующими проволоками с шагом 5 мм, потенциал на которых меняется линейно от 0 до 12 кВ. Максимальное время дрейфа электронов составляет **6 мкс**. Благодаря хорошей однородности поля скорость дрейфа электронов можно считать постоянной и пользоваться линейным соотношением время дрейфа / координата, что существенно упрощает работу с камерой.

Координатное разрешение камеры составляет **1 мм**, **угловое разрешение 30 мрад**, соседние треки могут быть разделены на расстоянии до 5 мм. **Разрешение право-левой неопределенности** корректно в **98%** событий.

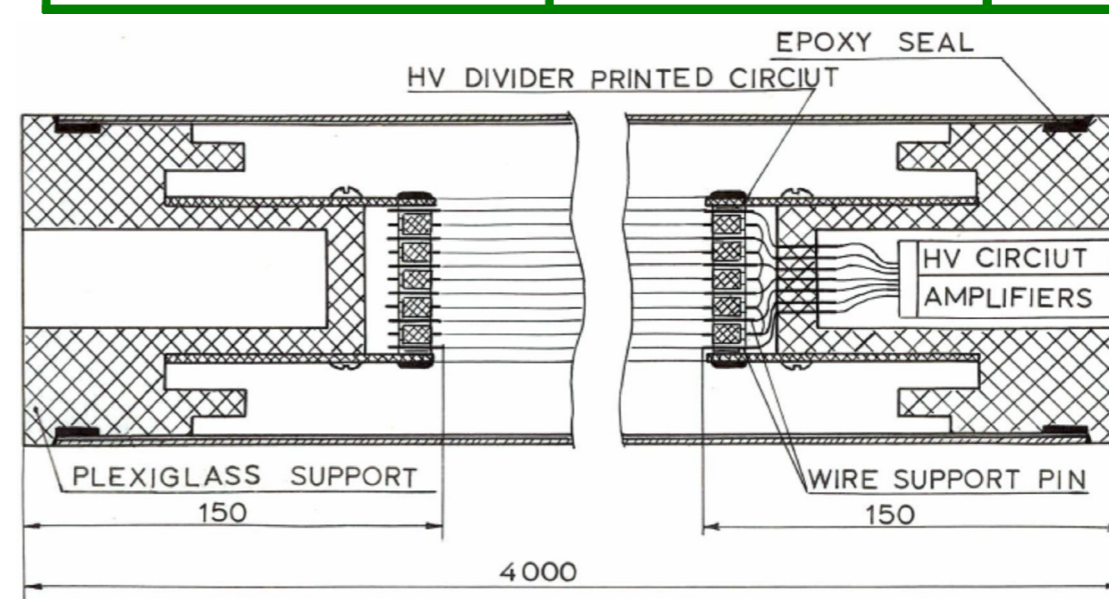


Поперечный разрез дрейфовой камеры

- 1 – Охранные проволоки
- 2 – Катодные проволоки
- 3 – Сигнальные проволоки
- 4 – Полеформирующие проволоки

Характеристики проволоки дрейфовой камеры.

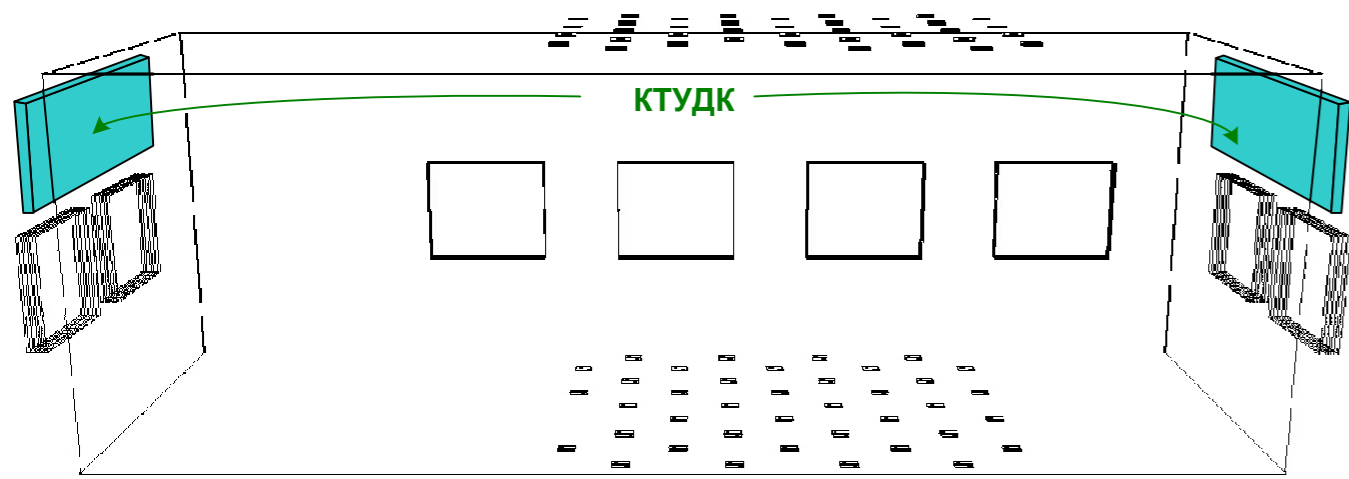
Проволоки	Материал	Диаметр, мкм	Натяжение, г	Потенциал, кВ
Сигнальные	Нерж. ст. 03X18H9T	64	400	+2.2 (+14.2)
Охранные	Нерж. ст. 03X18H9T	200	1800	+2.2 (+14.2)
Катодные	Нерж. ст. 03X18H9T	200	1800	0 (+12.0)
Полеформирующие	Cu-Be бронза БрБ2	200	700 (900)	-12→0 (0→12)



Продольный разрез дрейфовой камеры

Габаритные размеры камеры **4000x508x112 мм³**. Активная поверхность **3.7x0.5 м²** составляет 91% общей поверхности. Вес камеры 25 кг, газовый объем около 210 л. В камере используется газовая смесь, состоящая из **94% Ar** и **6% CO₂**. Импульсы тока с сигнальных проволок через конденсаторы поступают на усилитель-формирователь УД-4, порог на усилителе составляет в среднем **0,8 мкА**.

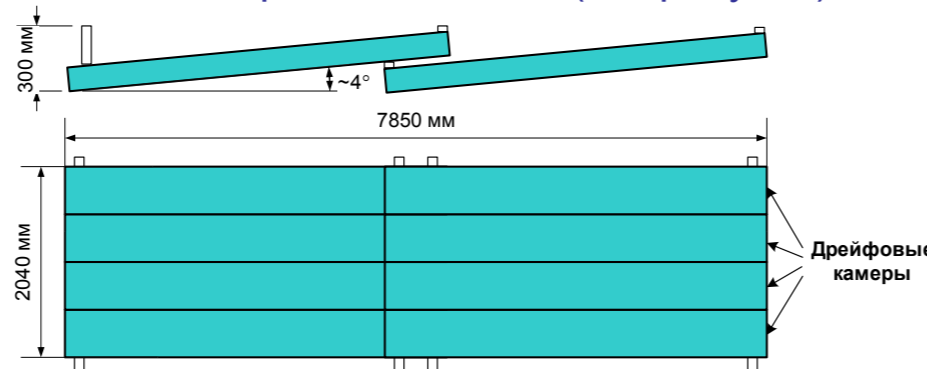
Детектор КТУДК



Помимо детектора ТРЕК разрабатывается вспомогательная установка **КТУДК** (Координатно-Трековая Установка на Дрейфовых Камерах). Она состоит из **16 дрейфовых камер** и предназначена для регистрации околоразностных мюонов, прошедших вдоль длинной стороны бассейна (см. рисунок).

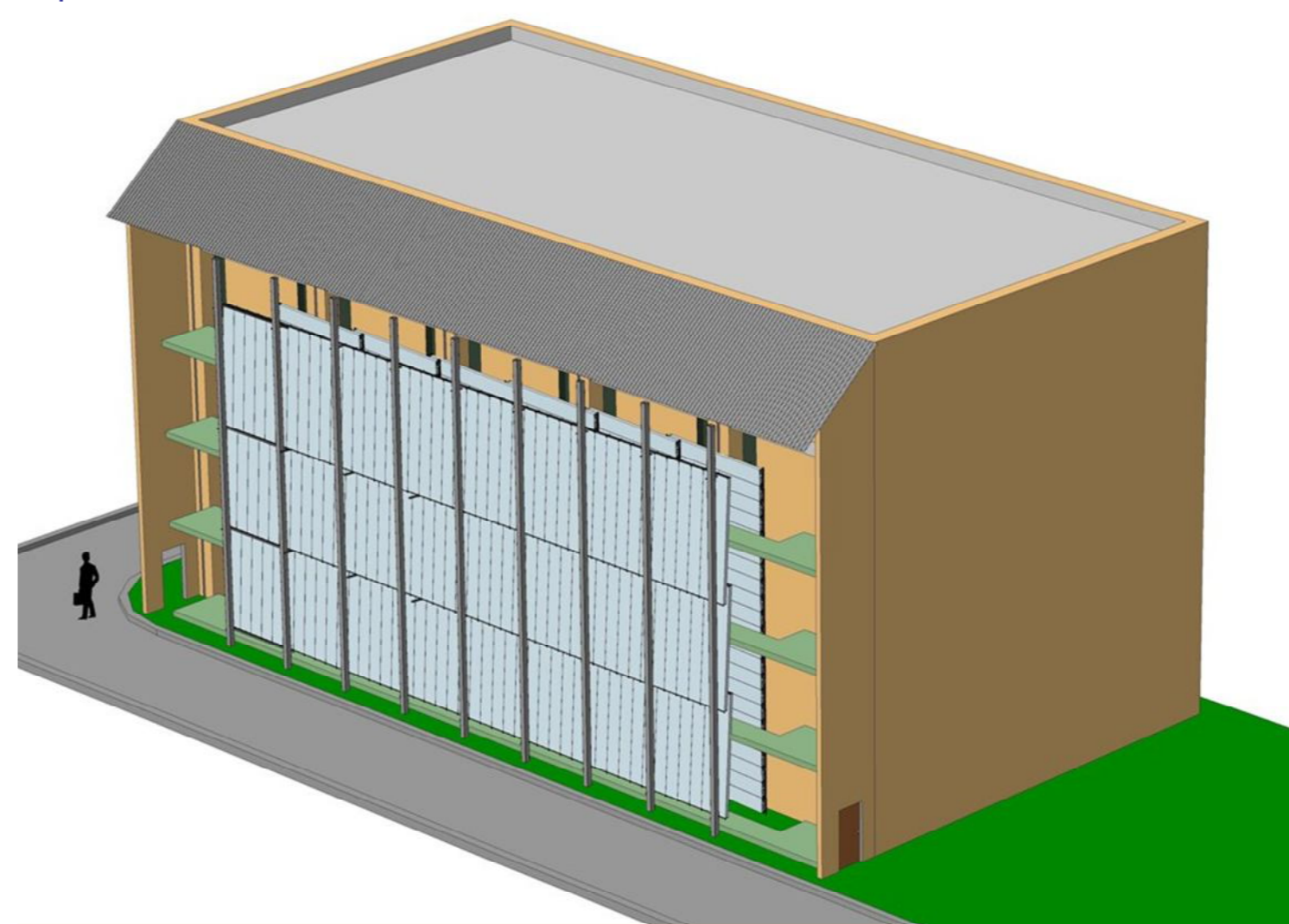
Установка представляет собой две вертикальные координатные плоскости, установленные в коротких галереях здания ЭК НЕВОД. Каждая плоскость представляет собой четыре ряда по две горизонтально расположенные внахлест камеры. Наклест камер, а также из угол по отношению к координатной плоскости будет тот же, что и в установке ТРЕК.

Активная площадь каждой плоскости порядка **14,7 м²**, а площадь двух супермодулей ДЕКОР, расположенных на этаж ниже, **17,5 м²**, так что суммарная площадь координатных детекторов для регистрации частиц вдоль бассейна возрастет почти в два раза. Также совместная работа КТУДК и ДЕКОР в два раза расширяет диапазон зенитных углов под которыми регистрируются мюоны. Одна из наиболее важных задач установки – отработка совместной работы дрейфовых камер и триггерной системы ЭК НЕВОД, включающая в себя определение оптимальных временных параметров всех систем, а также восстановление треков одновременно по данным ЧВД, ДЕКОР и ДК.



Детектор ТРЕК

Детектор ТРЕК представляет собой две координатные плоскости по **132 дрейфовые камеры**, установленные на внешней стене здания ЭК НЕВОД, в котором расположен черенковский водный детектор. Плоскости отличаются ориентацией камер: в одной они располагаются вертикально, в другой горизонтально. Между плоскостями предусмотрен проход с навесным полом, позволяющим осуществлять обслуживание и монтаж камер. Детектор расположен в защитном боксе, фактически представляющем из себя пристройку со скатной крышей, отдельным входом и системой термостабилизации.

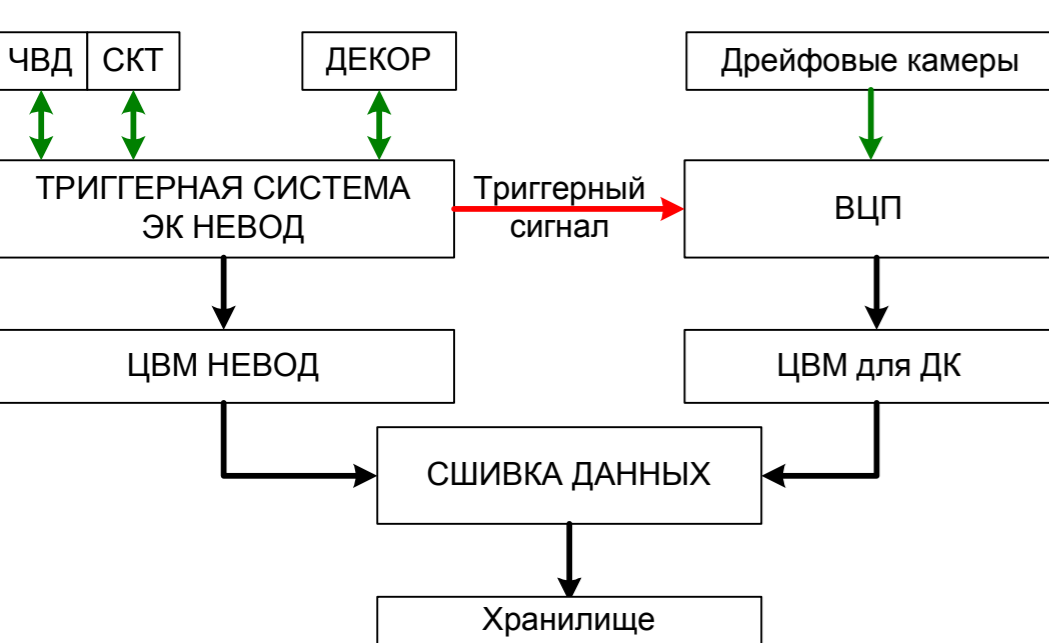


Детектора ТРЕК (внешняя стена пристройки не показана)

Для устранения зазора между активными поверхностями камер, ограниченными торцевыми пробками из оргстекла (по 15 см), камеры будут установлены внахлест на 30-40 см, из-за этого они будут находиться под углом порядка **4°** к координатным плоскостям. **Эффективная площадь детектора составит ~270 м³**. Системы высоковольтного и низковольтного питания, а также считывающая электроника будут располагаться внутри корпуса НЕВОД. В штатном режиме потребления газовой смеси составит 150 литров в час, что требует большого объема хранилища аргона.

Совместная работа с ЧВД НЕВОД

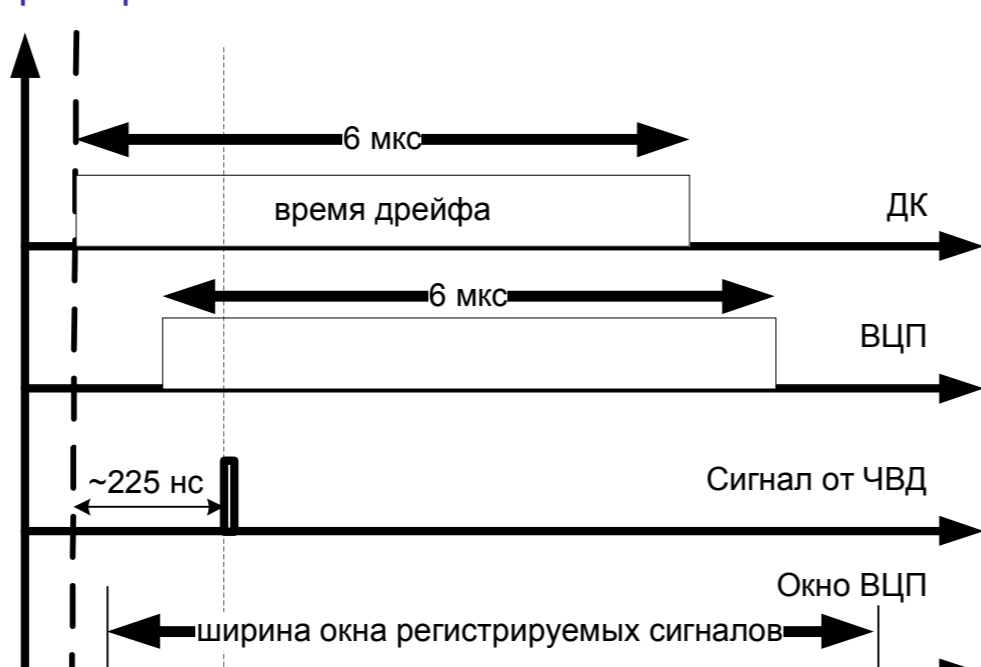
Для определения координат трека в дрейфовой камере требуется знать время прохождения частицы через нее. Обычно эту метку получают с помощью сцинтилляционных детекторов, обладающих высоким быстродействием. В случае с детектором ТРЕК такую метку можно получить от триггерной системы ЭК НЕВОД.



Триггерная система ЭК работает одновременно с сигналами ЧВД, ДЕКОР и системы калибровочных телескопов (СКТ), при выполнении любого триггерного условия (настраивается отдельно для каждой установки) система останавливает электронику всех детекторов и начинает их опрос. Система настроена так, что задержка выработки общесистемного сигнала остановки относительно момента прохождения частицы через детекторы ЭК происходит вне зависимости от типа триггерного условия и оставляет порядка **225 нс**: **100 нс** уходит на задержки в кабеле и джиттеры электроники, еще **125 нс** на срабатывание триггерной системы.

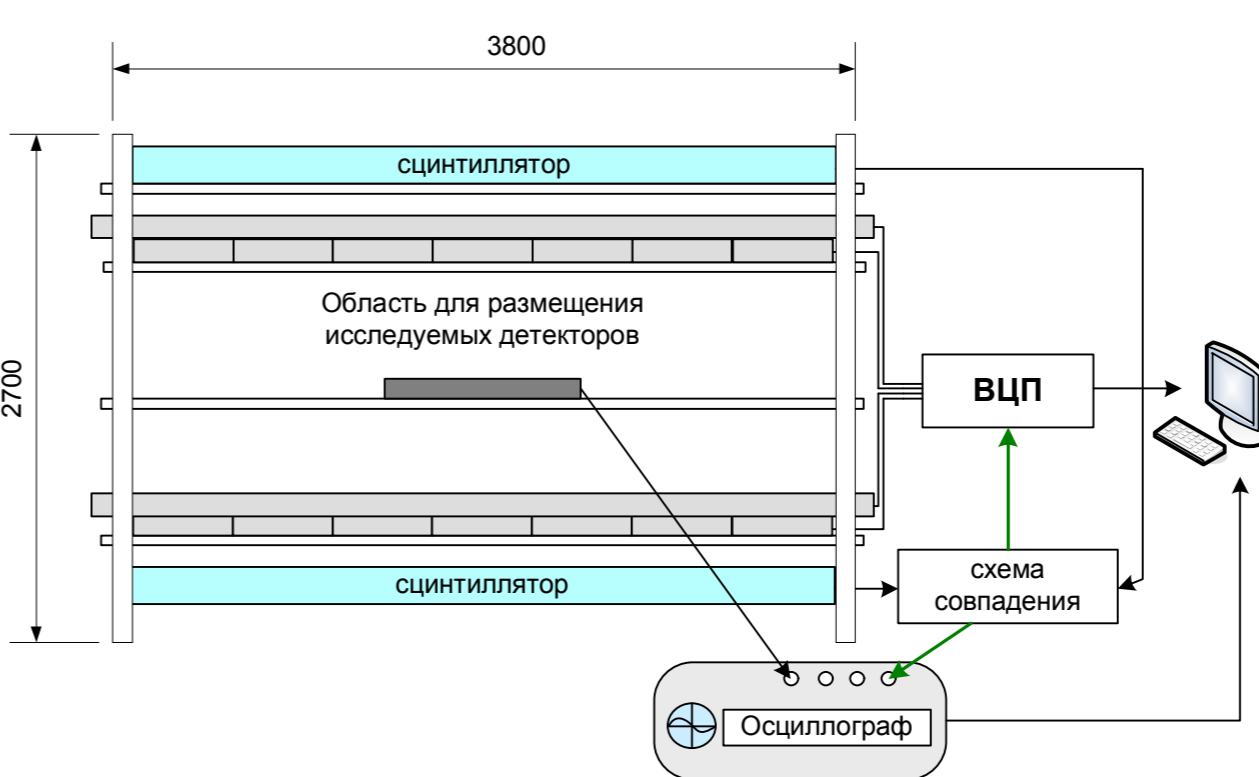
Постоянные временные характеристики делают общесистемный триггер прекрасной временной меткой для детектора на дрейфовых камерах, поскольку в современных ВЦП окно регистрируемых сигналов может быть сдвинуто как угодно по отношению к триггеру события. На рисунке выше показана схема взаимодействия триггерной системы ЧВД и детектора на дрейфовых камерах, а также временная диаграмма этого процесса. С дрейфовых камер сигнал с задержкой, определяемой длиной кабеля, передается на время-цифровой преобразователь, который зводится общесистемным триггером от ТС НЕВОД,

после чего определяется время поступления сигналов на каждый канал, а по завершении **8 мкс** (максимальное время дрейфа электронов составляет **6 мкс**) оцифрованные значения этих промежутков времени передаются по шине VME на ЦВМ. При этом, поскольку данные ЧВД и ТРЕК сохраняются отдельно, необходимо проводить последующую сшивку данных по временным меткам, ставящим события в системах в соответствие друг другу



Стенд-годоскоп для тестирования дрейфовых камер

Для тестирования дрейфовых камер и отладки электроники для работы с ними был создан специальный стенд. Он представляет собой стальную раму **3.8x3.8x2.7 м**, на которой расположены две координатные плоскости дрейфовых камер, каждая плоскость состоит из двух слоев перпендикулярно друг другу направленных камер, в каждом 7 штук. Координатные плоскости разнесены на расстояние порядка полутора метров, которое можно регулировать. Сверху и снизу от плоскостей располагаются сцинтилляционные счетчики, дающие триггер для **128-канального ВЦП**, собирающего сигналы с камер. ВЦП передает данные по шине VME через контроллер на ЦВМ.



Ключевой особенностью стенда является то, что кроме проверки камер, уложенных в координатные плоскости (**28 штук**) и между ними (до 4-х одновременно), он способен работать в режиме годоскопа и регистрировать, в зависимости от расстояния между координатными плоскостями, мюоны космических лучей под зенитными углами до **85°** (после **70°** координатное разрешение камеры существенно падает). Расположив между координатными плоскостями любой детектор заряженных частиц и считывая с него данные при каждом событии в ДК можно получить зависимость отклика такого детектора от места и угла попадания частицы в него.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-02-12207-офи-м-2013. Координатно-трековый детектор ТРЕК будет создан в рамках программы развития УНУ «Экспериментальный комплекс НЕВОД» при поддержке Минобрнауки РФ (RFMEFI59114X002) b