



Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт физики высоких энергий
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

ИФВЭ 2014–14
ОЭФ

М.Ю. Боголюбский, А.Ю. Калинин, А.Н. Креницын,
А.А. Морщинов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович

**Оптимизация работы дрейфовых трубок
трековой системы установки ФОДС**

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2014

Аннотация

Боголюбский М.Ю., Калинин А.Ю., Криницын А.Н., Морщинов А.А., Талов В.В., Турчанович Л.К. Оптимизация работы дрейфовых трубок трековой системы установки ФОДС: Препринт ИФВЭ 2014-14. – Протвино, 2014. – 21 с., 26 рис., библиогр.: 12.

На космическом излучении изучены амплитудные и временные спектры дрейфовой трубки (ДТ) при разном составе смеси Ar +CO₂ и разных напряжениях на ней. Определена зависимость времени дрейфа от концентрации CO₂. Выбран режим срабатывания ДТ в основном от первого кластера. Выбрана рабочая точка по напряжению на трубке. Показано, что пространственное разрешение ДТ трековой системы ФОДС для космических событий не зависит от протяженности переднего фронта временного спектра трубки и составляет, примерно, 0.5 мм. Трековая система установки ФОДС используется в экспериментах на ускорительном комплексе У-70.

Abstract

Bogolyubsky M.Yu., Kalinin A.Yu., Krinitsyn A.N., Morshinov A.A., Talov V.V., Turchanovich L.K. Optimization of the drift tubes tracking system of the FODS setup: IHEP Preprint 2014–14. – Protvino, 2014. – p. 21, figs. 26, refs.: 12.

Amplitude and time spectra of a drift tube (DT) were investigated in the cosmic radiation for different gas mixing Ar +CO₂ and different applied high voltage. The dependence of time drift on CO₂ concentration was studied. DT response was selected mainly from the first cluster. The work high voltage point of the tube was found. It was shown that the DT track system spatial resolution of the FODS setup for cosmic events does not depend on the duration of the front edge of a tube time spectrum and is approximately 0.5 mm.

Введение

Для изучения процессов одиночного и парного рождения адронов в жестких процессах на ускорителе У-70 в ИФВЭ (Протвино) создан двухплечевой спектрометр ФОДС (рис. 1). В настоящее время проведена модернизация установки: в два раза увеличена апертура магнита и СКОЧ, внедрена новая электроника, создана новая трековая система и др. [1]. Она состоит из дрейфовых камер (ДК) [2] (20 плоскостей размером 0.5 м х 0.5 м, 320 каналов) и дрейфовых трубок (ДТ) (их общее количество – 1200, длина каждой – 1 м, число плоскостей – 30). Последние сгруппированы в дрейфовые станции, каждая состоящая из трех плоскостей трубок, направленных вдоль одной из координатных осей (X, Y), лежащих в вертикальной плоскости. Одна из станций наклонена с углом поворота трубок 6 градусов в XY-плоскости.

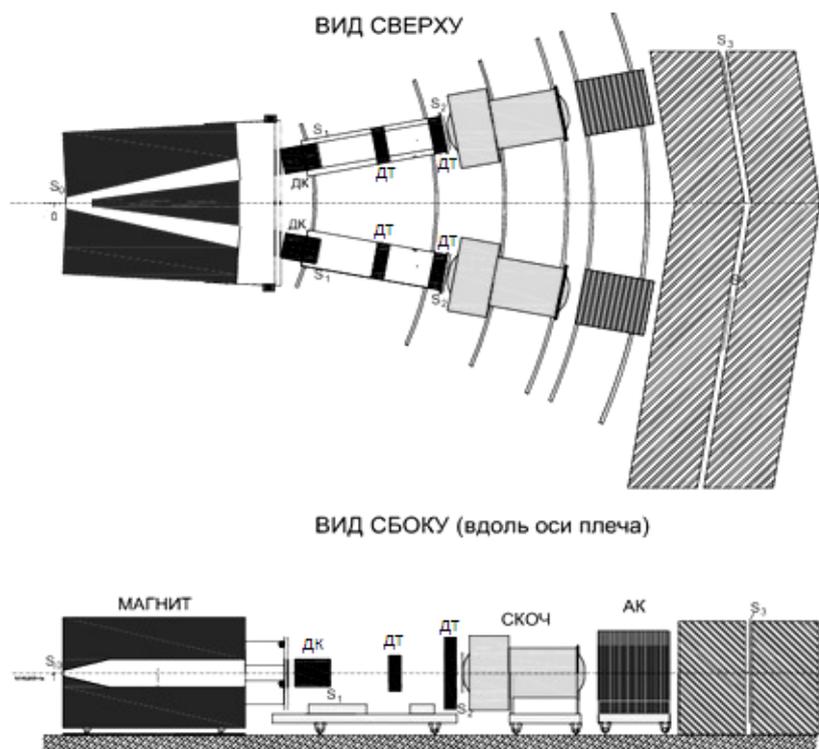


Рис. 1. Установка ФОДС: ДК – дрейфовые камеры; ДТ – камеры из дрейфовых трубок; СКОЧ – спектрометр колец черенковского излучения; АК – адронный калориметр; Si – сцинтилляционные счётчики.

Рассматриваемые дрейфовые трубки были разработаны и изготовлены в ИФВЭ (Протвино) [3] для экспериментов на Большом адронном коллайдере (ЦЕРН, Швейцария) [4]. Их отличает сравнительная дешевизна при малых погрешностях координатных измерений (несколько сотен мкм) и больших перекрываемых площадях (длина трубки может достигать 6.2 м) [5].

Детекторы на основе дрейфовых трубок находят широкое применение в современных физических установках и не только на ускорителях. В ИФВЭ разработаны томографы на космическом излучении [6-7], которые могут быть использованы, в частности, для обнаружения несанкционированного перемещения тяжелых веществ, а также просмотра внутреннего устройства объектов без всякого внешнего воздействия на сами изучаемые объекты.

Практика применения дрейфовых трубок показывает, что получение высоких точностных характеристик существенно зависит от качества взаимной геометрической привязки элементов детектора, давления и состава газовой смеси, а также правильного выбора рабочей точки по высокому напряжению. В работе [8] рассмотрено построение взаимодействия систем сбора данных и медленного контроля установки, позволяющее в автоматическом режиме при запуске детектора на дрейфовых трубках найти его рабочую точку по высокому напряжению при анализе в линию одной зависимости — счетной характеристики трубок детектора. В данной работе приведен более полный анализ оптимизации выбора рабочих характеристик детектора на дрейфовых трубках.

В установке ФОДС используется высоковольтный источник питания ISEG EHS F 030P [9] для подачи высокого напряжения на анодные проволочки трубок. Усилители электронного тракта подсоединены к проволочкам через разделительные керамические конденсаторы DEBB33F471KC4B 470 пкФ на 6.3 кВ фирмы Murata [10]. Данные конденсаторы являются единственными элементами электронного тракта усиления, находящимися под воздействием высокого напряжения, приложенного к трубкам. Заметим также, что остаточная неотфильтрованная компонента импульсных наводок от высоковольтного источника питания, проникающая на анодные проволочки, проходит через указанные разделительные конденсаторы на вход усилителей сигналов.

По измеренным координатам частиц в детекторах ФОДС проводятся траектории в точку взаимодействия, определяется импульс и сорт частиц. Трековая

система установки работает в достаточно сложных условиях: 1) большая нагрузка $\sim 10^6$ /плоскость; 2) большой фон (~ 5 срабатываний на триггер); 3) траектории частиц проводятся через магнит далеко от трековой системы; 4) сложные условия по внешним наведенным сигналам; 5) заметное количество вещества ДТ.

Первые же тестовые измерения на пучке ускорителя У-70, показали, что точность реконструкции траекторий в ДК в 6 раз лучше, чем в ДТ. Это различие не объясняется многократным рассеянием на веществе трубок. Измерения проводились при выставленных порогах на усилителях 0.6 мкА, а рабочая точка по высокому напряжению для трубок была выбрана в начале плато эффективности. Последующее изучение показало, что детектор позволяет работать при существенно более высоких напряжениях ближе к правому краю плато. Дополнительные работы по оптимизации выбираемых параметров трековой системы были выполнены для экономии пучкового времени в потоке космического излучения с предварительной проверкой электроники от генератора.

Отметим еще, что все результаты, приведенные в данной работе, соответствуют давлению газовой смеси трубок в 1 атмосферу. Для сравнения укажем, что, например, в детекторе установки ATLAS [4] давление поднято до 2–3 атмосфер, а в томографе [7] так же выбрано давление в 1 атмосферу.

1. Тестирование электроники от генератора

Так как электроника ДТ ФОДС не имеет специальных тестовых входов, то мы проверяли ее работоспособность от генератора, подавая сигналы отрицательной полярности длительностью 100 нс на все высоковольтные входы ДТ (рис. 2). Электроника спектрометра вычитывалась по триггеру от этого генератора системой сбора данных установки ФОДС. Для иллюстрации на рис. 3 приведены счета с двух плоскостей ДТ. Рассматриваемые распределения позволяют найти неработающие каналы и каналы с пониженной эффективностью регистрации.

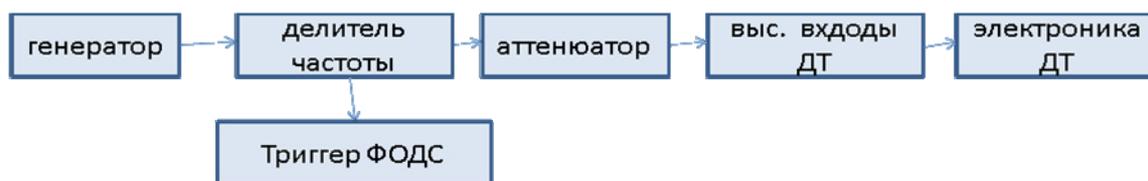


Рис. 2. Блок-схема тестирования электроники трековой системы ФОДС.

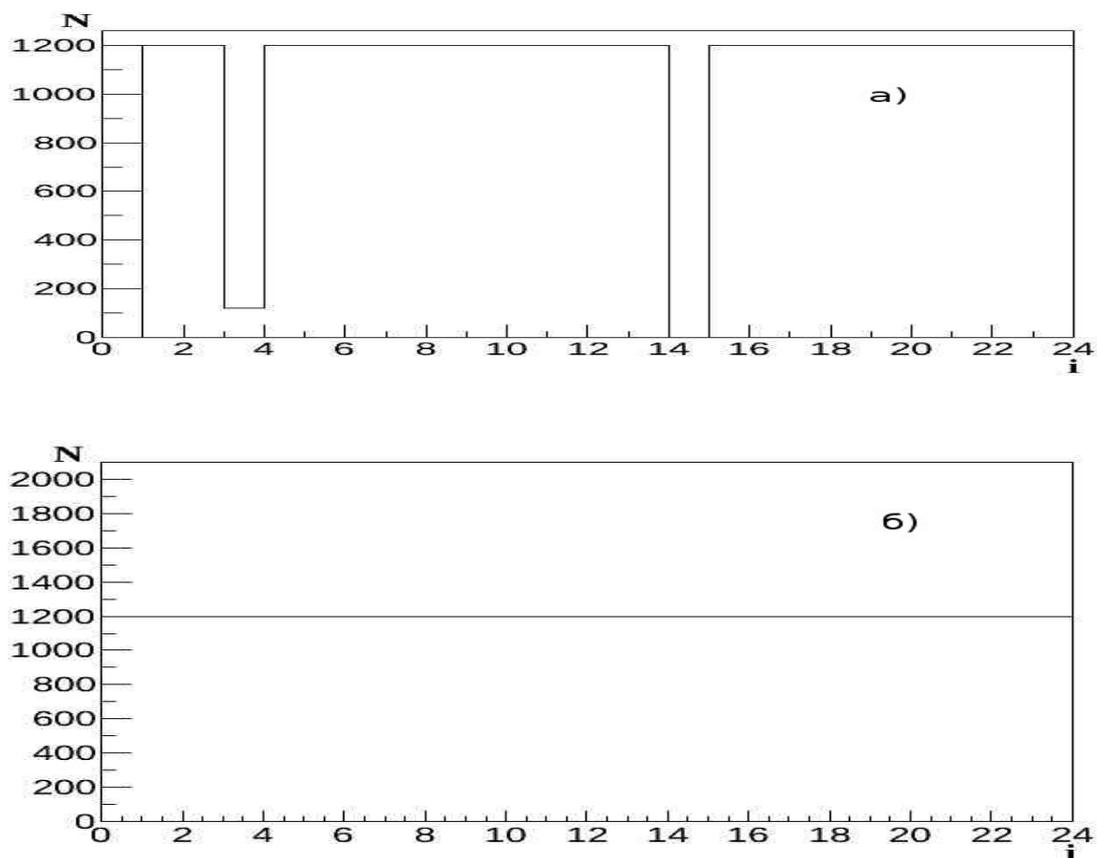


Рис. 3. Счет отклика на тестовый импульс в зависимости от номера канала i для двух плоско-стей дрейфовых трубок: а) видны два неработающих канала и один канал с пониженной эффективностью регистрации; б) все каналы работают.

2. Изучение работы одной трубки в космическом излучении

Для более глубокого понимания работы трековой системы было проведено изучение временной и амплитудной характеристик дрейфовой трубки (ТР) на специальном стенде на космическом излучении. Следует сказать, что в измерениях с одиночной трубкой мы использовали источники низковольтного питания, не имеющих в своем составе внутренних генераторов (в противном случае наблюдались большие наведенные сигналы ~ 0.2 В). Мы проверили также отсутствие указанной наводки в ансамбле всей трековой системы ФОДС.

2.1. Организация временных и амплитудных измерений

В процессе измерений дрейфовая трубка располагалась между двумя сцинтилляционными счетчиками длиной по 0.5 м и шириной 40 мм (рис. 4). Геометрическая эффективность при таком построении $\epsilon_r = 74\%$. Сигнал с ТР подавался на линейный усилитель (коэффициент усиления ~ 100) и далее по кабелю РК-50 попадал на электронику измерительного стенда. Триггер запуска обуславливался совпадением сигналов с обоих сцинтилляционных счетчиков с расширением на время дрейфа в трубке до 800 нс. Для амплитудных измерений на формирователе по триггеру генерировался специальный импульс — полка, определяющий полное время интегрирования. В измерениях с короткой полкой сигнал с ТР дополнительно включался в триггер, для чего использовался линейный разветвитель.

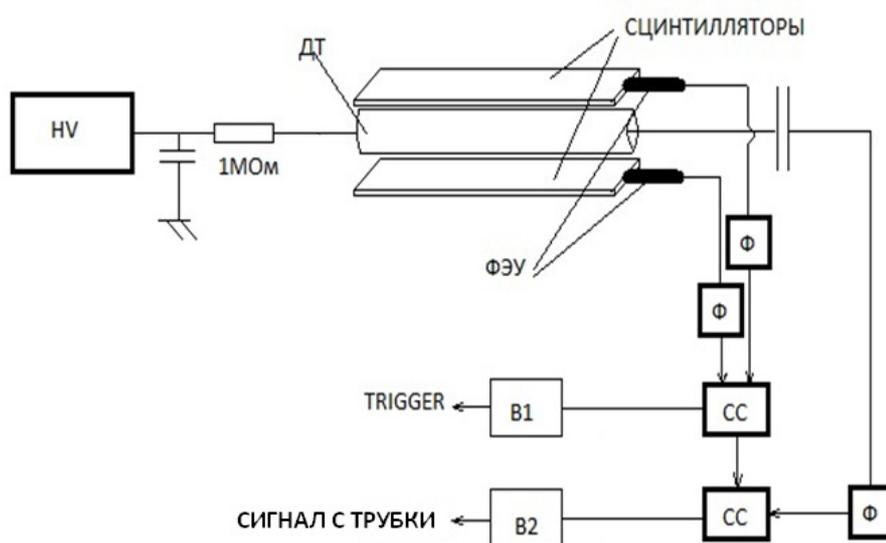


Рис. 4. Постановка измерений в космическом излучении: Ф – формирователь; СС – схема совпадения; HV – источник высоковольтного питания.

На стенде проводились измерения как временных, так и амплитудных характеристик ДТ. Блок-схема электроники показана на рис. 5. В амплитудных измерениях сигнал с ТР поступал через ослабитель на вход линейных ворот ЛВ-1. Длина полки интегрирования сигналов с трубки вырабатывалась на формирователе по триггеру и поступала на управление ЛВ-1. Далее сигнал через специальный усилитель попадал на вход АН – анализатора.

Временные измерения выполнялись по старт-стопной методике на время-амплитудном преобразователе 6К-1, который был модернизирован для работы в более широком временном интервале (~1 мкс). Старт происходил по триггеру, остановка – по сигналу с ТР. Далее сигнал с 6К-1 интегрировался в ЛВ-1 и поступал в анализатор. Дискретность оцифровки времени равна 2 нс.

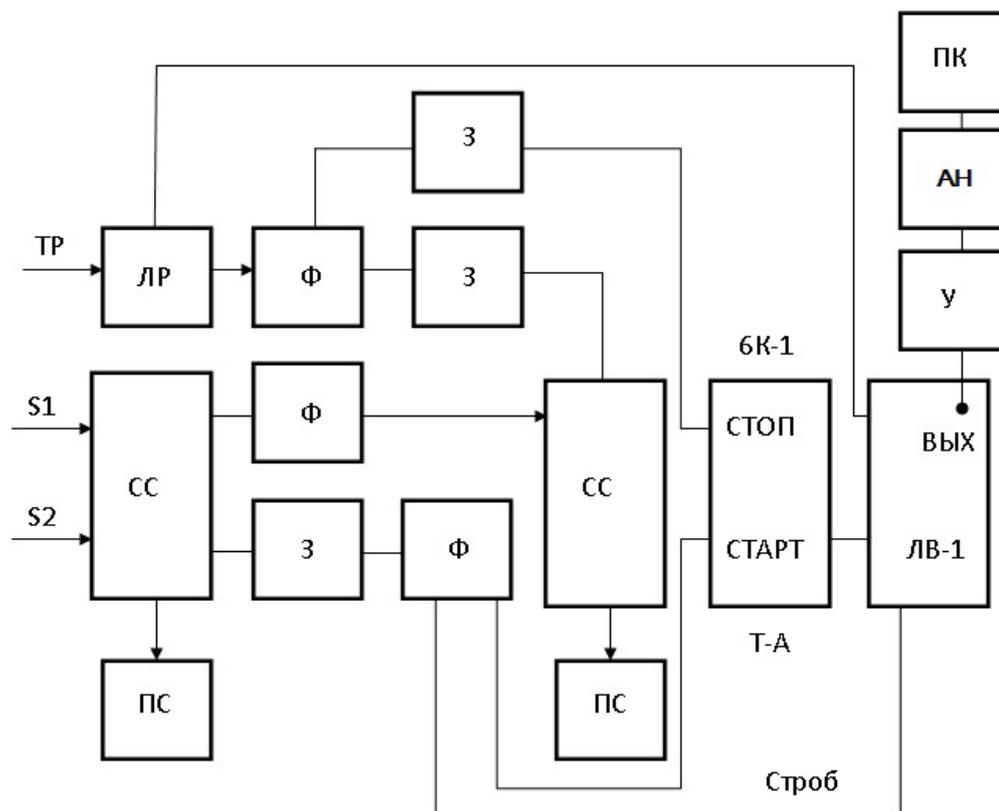


Рис. 5. Блок-схема электроники. Обозначения: ТР – дрейфовая трубка; СС – схема совпадений; S_1 и S_2 – сигналы со сцинтилляционных счетчиков; ЛВ-1 – линейные ворота; ЛР – линейный разветвитель; З – задержка; У – усилитель; ПС – пересчетная схема; АН – амплитудный анализатор; 6К-1 – время-амплитудный преобразователь; ПК – персональный компьютер.

При прохождении через ТР заряженной частицы вдоль ее траектории появляются кластеры ионизации (рис. 6), которые через промежуток времени дрейфа до анода дают импульсы на проволочке. В работе [11] приводится, что в аргоне и углекислом газе при атмосферном давлении и температуре 20°C количество рожденных ионов на 1 см пути для частицы с минимальной ионизирующей способностью составляет, соответственно,

94 и 91, т.е. среднее расстояние между ними ~ 110 мкм. Для работы программы реконструкции важен первый импульс, который определяет прицельное расстояние траектории относительно анодной проволоочки. Поэтому, например, в электронике детектора [7], предназначенного для целей томографии и работающего при малых нагрузках, принудительно вводится мертвое время 600 нс после первого импульса, что блокирует регистрацию повторных импульсов. Для электроники детектора ФОДС ввиду больших нагрузок такой метод не применим.

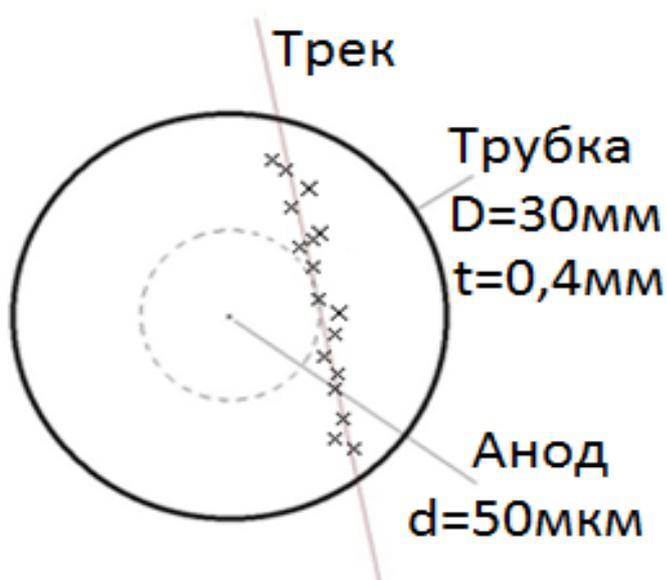


Рис. 6. Схема дрейфовой трубки: $D = 30$ мм – диаметр трубки; $d = 50$ мкм – диаметр проволоки; $t=0.4$ мм – толщина алюминиевой стенки.

2.2. Результаты измерений

Точность наших амплитудных измерений (ширина пьедестала) составила 4 отсчета. Для иллюстрации на рис. 7 приведены характерные осциллограммы откликов ТР на середине плато эффективности с одним и двумя импульсами. Анализ показывает, что в 90 % случаев первый импульс имеет наибольшую амплитуду. Длительность сигнала (определяется временем развития лавины у проволоки диаметром $d = 50$ мкм) составляет ~ 100 нс (смесь Ar + 7% CO₂).

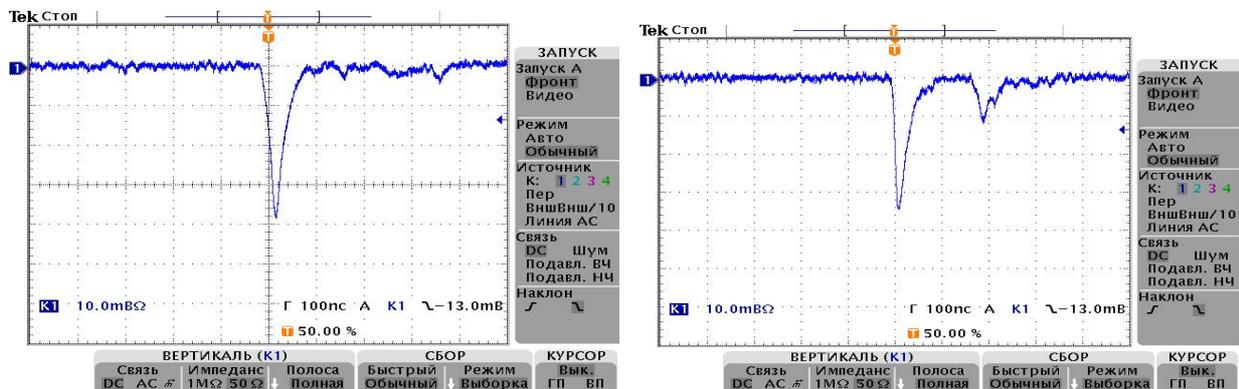


Рис. 7. Осциллограммы импульсов ТР.

Амплитудные спектры сигналов с трубки (сильно зависят от напряжения) показаны для двух смесей $Ar + CO_2$ на рис. 8. Спектры слабо зависят от состава смеси, различие амплитуд $\sim 20\%$. Число событий в пьедестале составляет $\sim 20\%$ и определяется различием размеров счетчиков и трубки и случайными совпадениями в триггере $\sim 10\%$.

Зависимость эффективности ϵ регистрации событий в ТР от высокого напряжения U показана на рис. 9 (порог усилителя – 1.1 мкА).

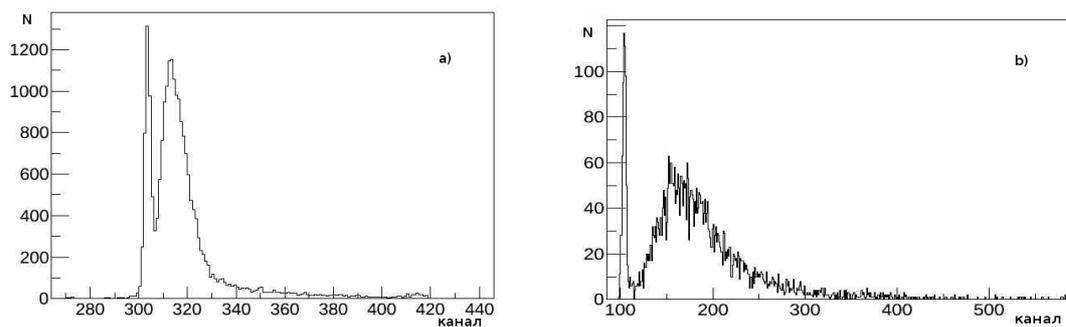


Рис. 8. Амплитудные спектры сигналов с ТР: а) $CO_2 - 7\%$, ослабление – 12 дБ, время дрейфа $T_d=400$ нс, высокое напряжение $U=2050$ В; б) $CO_2 - 10\%$, ослабление – 6 дБ, время дрейфа $T_d=445$ нс, высокое напряжение $U=2150$ В.

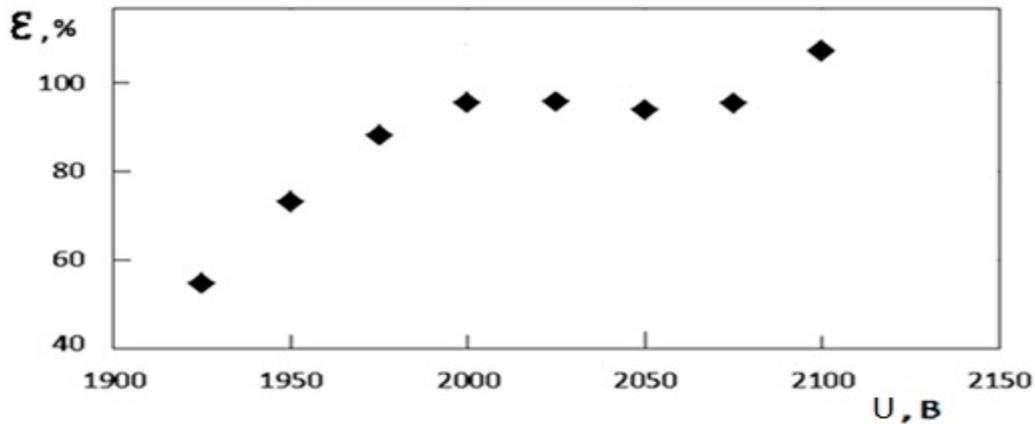


Рис. 9. Зависимость эффективности ε регистрации событий в ТР от высокого напряжения U .

Для оценки среднего количества импульсов отклика трубки (хитовость) на прошедшую частицу мы провели измерения с короткой полкой интегрирования $T_{\text{п}}=120$ нс (при высоком напряжении $U=2100$ В и концентрации CO_2 14%). Измеренный спектр амплитуд сигналов с ТР показан на рис. 10. Видна характерная 2-горбая структура с шириной 1-го (левого) пика $\Delta = 47$ отсчетов. Два пика помечены на рис. 10 как P1 и P2.

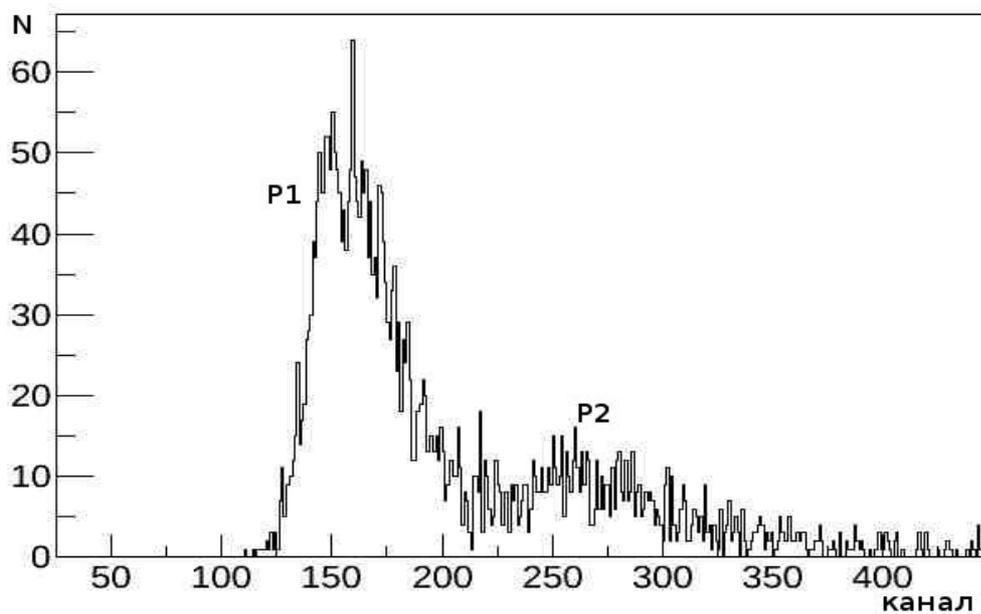


Рис. 10. Спектр амплитуд сигналов с ТР: концентрация CO_2 14%, длительность полки $T_{\text{п}}=120$ нс, значение высокого напряжения $U=2100$ В; полученное значение ширины 1-го (левого) пика $\Delta = 47$ отсчетов.

На рис. 11 показана зависимость от высокого напряжения U количества импульсов n отклика трубки на прошедшую частицу, а также относительный вклад r (в процентах) событий в первом (левом) пике P1. Газовая смесь – $Ar + 7\%CO_2$, порог усилителя – 0.6 мкА . Видна сильная зависимость результатов от U . Из представленных данных можно сделать вывод, что рабочее напряжение на ТР должно быть $\sim 2.05 \text{ кВ}$. Доля событий в пике P1 при этом (80 – 90)%. При изменении порога электроники в два раза рабочая точка смещается приблизительно на 50 В .

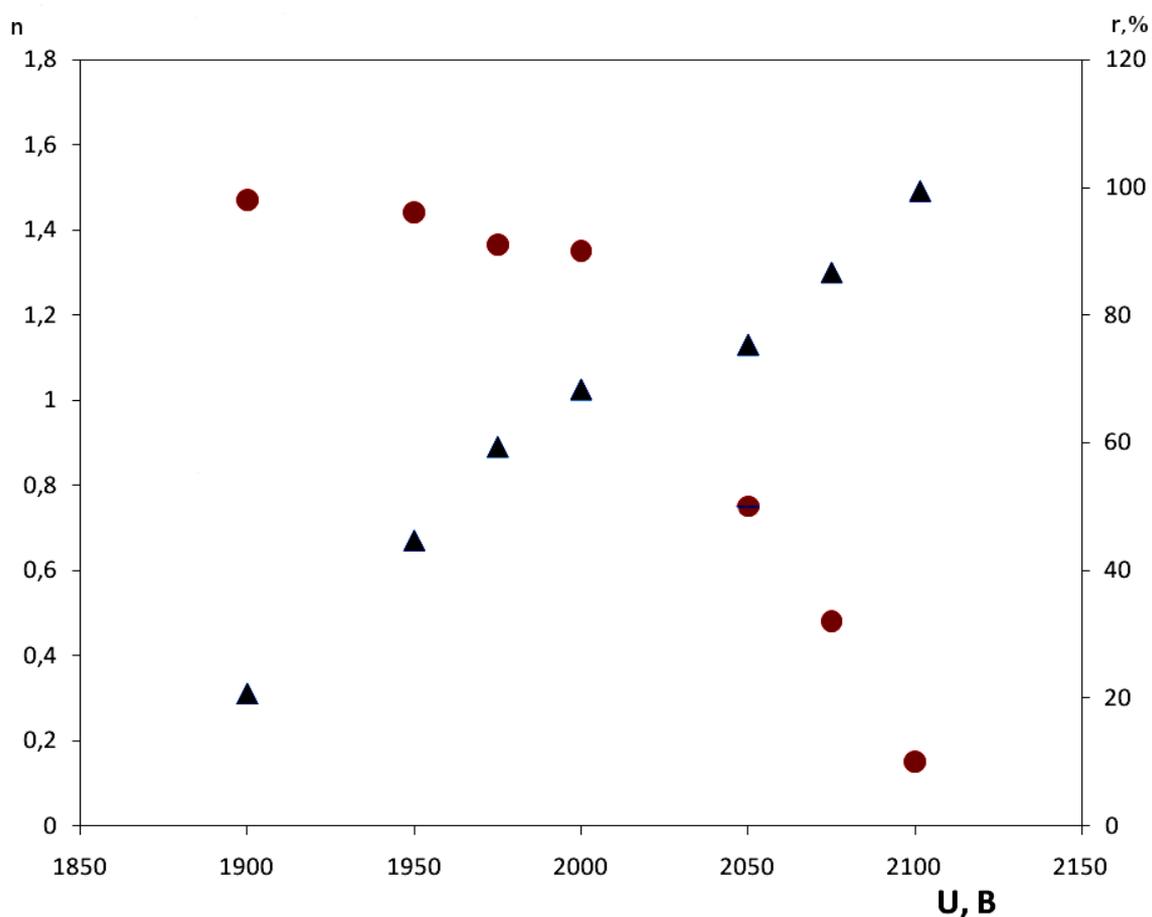


Рис. 11. Зависимость от высокого напряжения U количества импульсов n (треугольники) отклика трубки на прошедшую частицу, а также относительный вклад r (точки) событий в первом (левом) пике P1, газовая смесь – $Ar + 7\%CO_2$, порог усилителя – 0.6 мкА .

Мы провели измерения с короткой полкой интегрирования с введением мертвого времени 10 мкс после прихода первого кластера с ТР. Они позволили получить зависимость усиления в ТР от напряжения и измерить амплитуды сигналов и их ширины Δ (рис. 12). Видно, что изменением рабочего напряжения в области 100% эффективности можно менять величину сигнала с трубки в 100 раз.

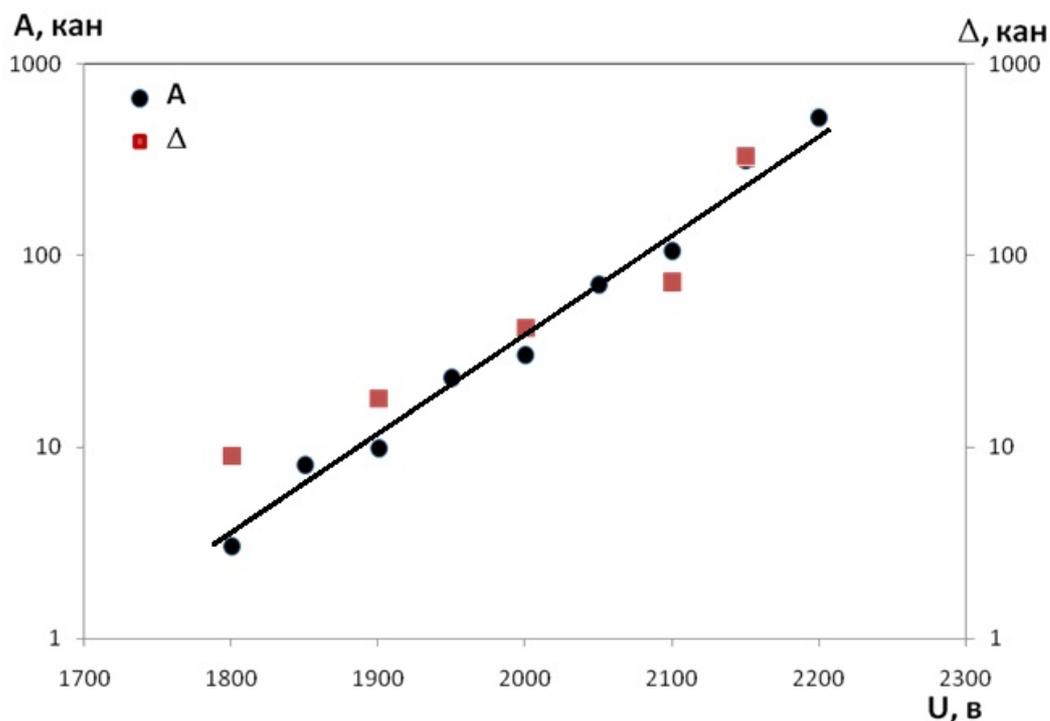


Рис. 12. Зависимость амплитуды сигналов A (точки) и их ширины Δ (квадраты) от высокого напряжения U .

2.2.1. Временные измерения

Мы изучали зависимость времени дрейфа ДТ от концентрации CO_2 в газовой смеси при разных значениях высокого напряжения U . Типичные спектры времен дрейфа показаны на рис. 13 – 17.

Время дрейфа слабо зависит от напряжения (изменения по всему рабочему плато не превышает 2 %). Зависимость времени дрейфа T_d от содержания CO_2 для середины плато эффективности показана на рис. 18. Конечно, при больших временах дрейфа

относительная точность измерений выше. Однако в условиях больших загрузок и большого фона, которые характерны для эксперимента ФОДС, мы остановились на временах дрейфа ~ 400 нс (7% CO_2). Теперь надо заметить, что величина $T_{\text{ф}}$ переднего фронта спектра сильно зависит от U (рис. 19). Далее мы изучим влияние $T_{\text{ф}}$ на точность определения траекторий частиц.

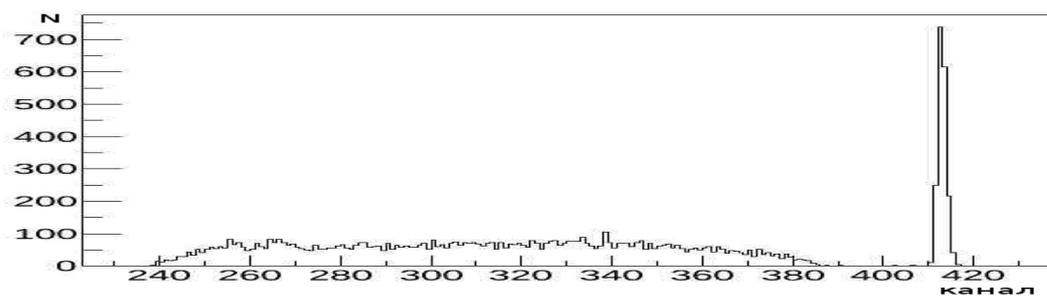


Рис. 13. Спектр времен дрейфа с ТР: $\text{CO}_2=7\%$, $T_{\text{д}}=410$ нс, $U=2050$ В.

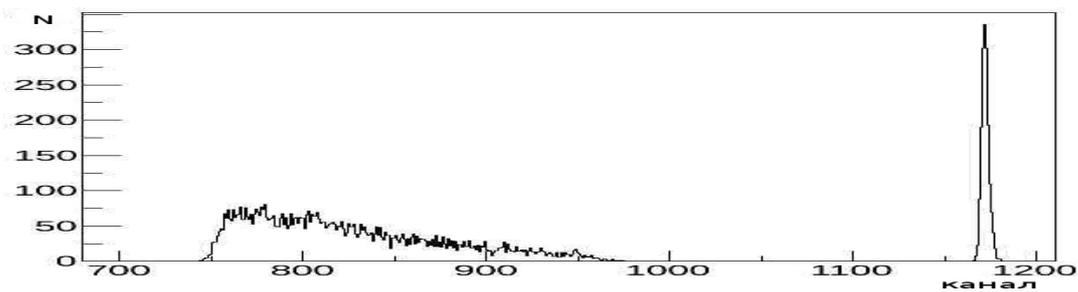


Рис. 14. Спектр времен дрейфа с ТР: $\text{CO}_2=10\%$, $T_{\text{д}}=446$ нс, $U=2150$ В.

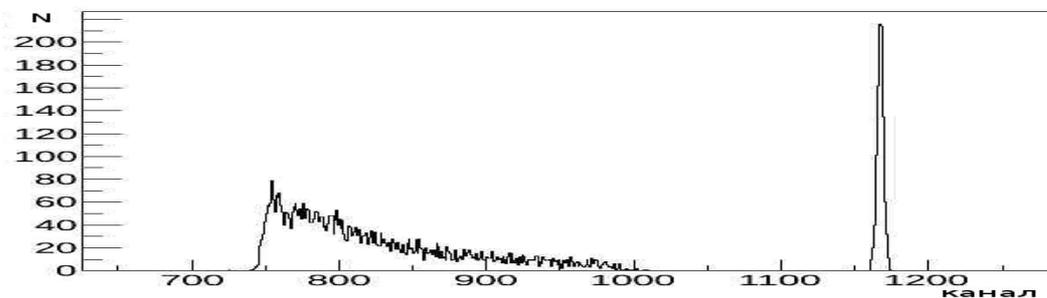


Рис. 15. Спектр времен дрейфа с ТР: $\text{CO}_2=14\%$, $T_{\text{д}}=536$ нс, $U=2250$ В.

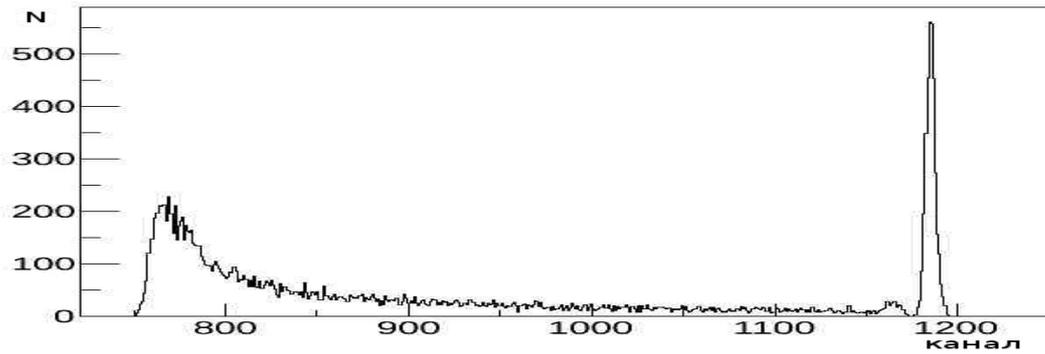


Рис. 16. Спектр времен дрейфа с ТР: $\text{CO}_2=28\%$, $T_d=840$ нс, $U=2500$ В.

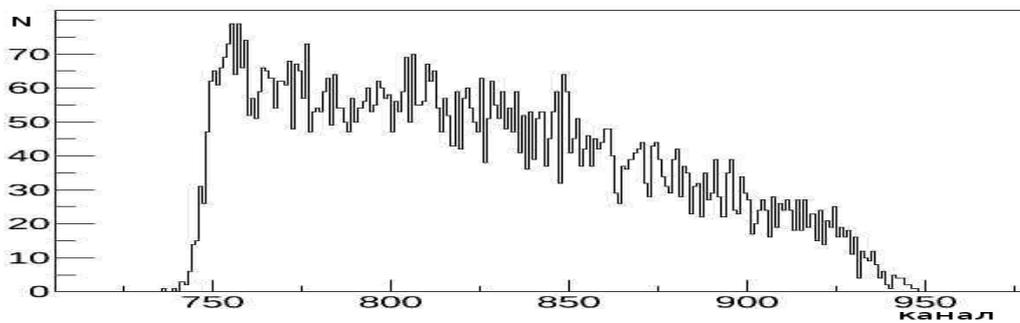


Рис. 17. Спектр времен дрейфа с ТР: $\text{CO}_2=7\%$, $T_d=410$ нс, $U=2150$ В.

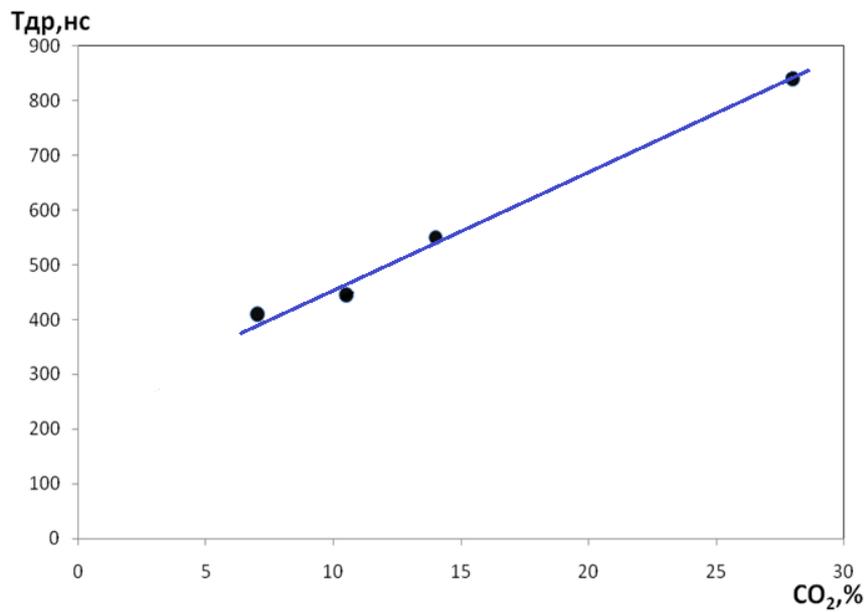


Рис. 18. Зависимость времени дрейфа T_d от концентрации CO_2 .

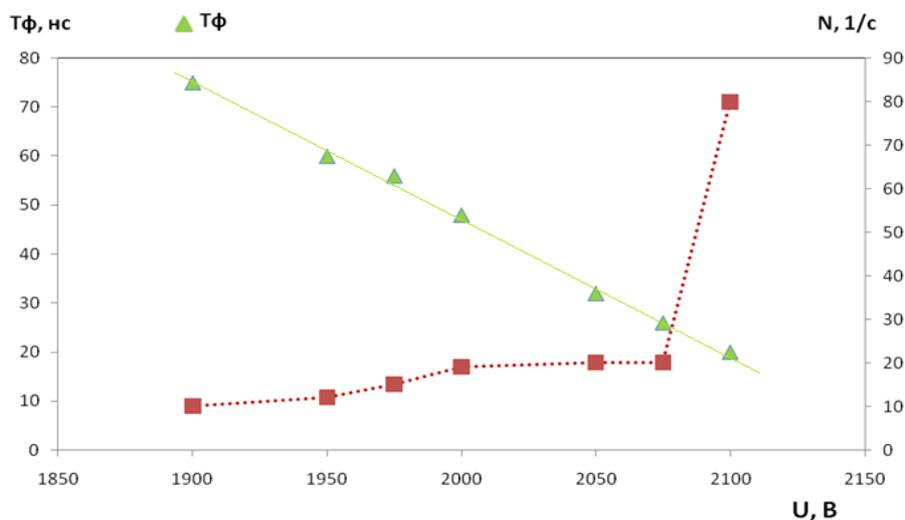


Рис. 19. Зависимость переднего фронта спектра T_ϕ и шума N трубки от высокого напряжения U .

3. Измерения траекторий частиц в трековой системе ФОДС на наклонном космическом излучении

Постановка измерений в наклонной компоненте космического излучения для части трековой системы ФОДС, состоящей из трубок, схематично изображена на рис. 20. Триггер формировался совпадением сцинтилляционных счетчиков S_1 и S_2 размерами $0.5 \text{ м} \times 0.5 \text{ м}$, расположенных под зенитным углом $\sim 65^\circ$. Число срабатываний составляло 0.3 частиц/с.



Рис. 20. Схема постановки измерений на наклонном космическом излучении: S_1 и S_2 – сцинтилляционные счетчики; обозначения X, Y соответствуют измеряемой координате, V – указывает на наклонные трубки.

Вначале мы провели измерения для оценки уровня шумов в детекторе, а также роли наводок, в том числе и перекрестных, возникающих в процессе обработки сигнала в одном канале и влияющих на другие каналы. Для этого по триггерному запуску анализировались индивидуальные счета каждого канала. Такие измерения были сделаны при разных значениях высокого напряжения U . Результаты представлены на рис. 21 в виде зависимости от U счета 5 (типичных) каналов за один триггер. Видно, что с ростом U интенсивность счета падает и, практически, обращается в ноль в рабочей точке детектора по высокому напряжению.

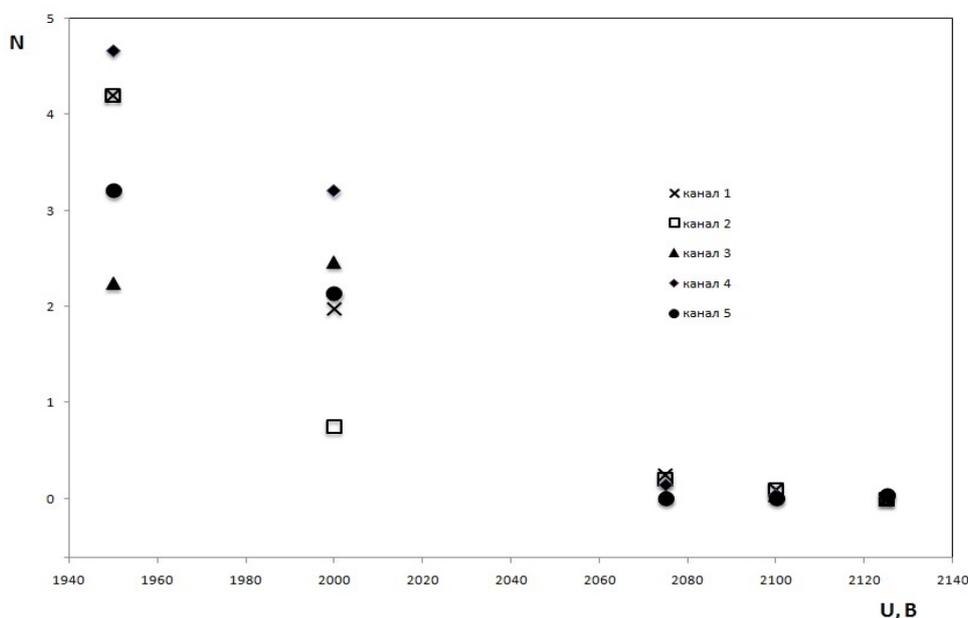


Рис. 21. Зависимость счета 5 (типичных) каналов за один триггерный запуск от приложенного к трубке высокого напряжения U .

Зависимость эффективности регистрации треков $\varepsilon = N_e/N_t$, (N_e – число срабатываний плоскости, N_t – число триггеров) для трех плоскостей ДТ от U представлена на рис. 22. Данные приведены для двух значений порогов усилителей (0.6 мкА и 1.1 мкА). Неэффективность обусловлена случайными событиями в триггере. При уменьшении порога регистрации в 2 раза плато расширилось на $\sim 20\%$. Величина плато составляет ~ 200 В.

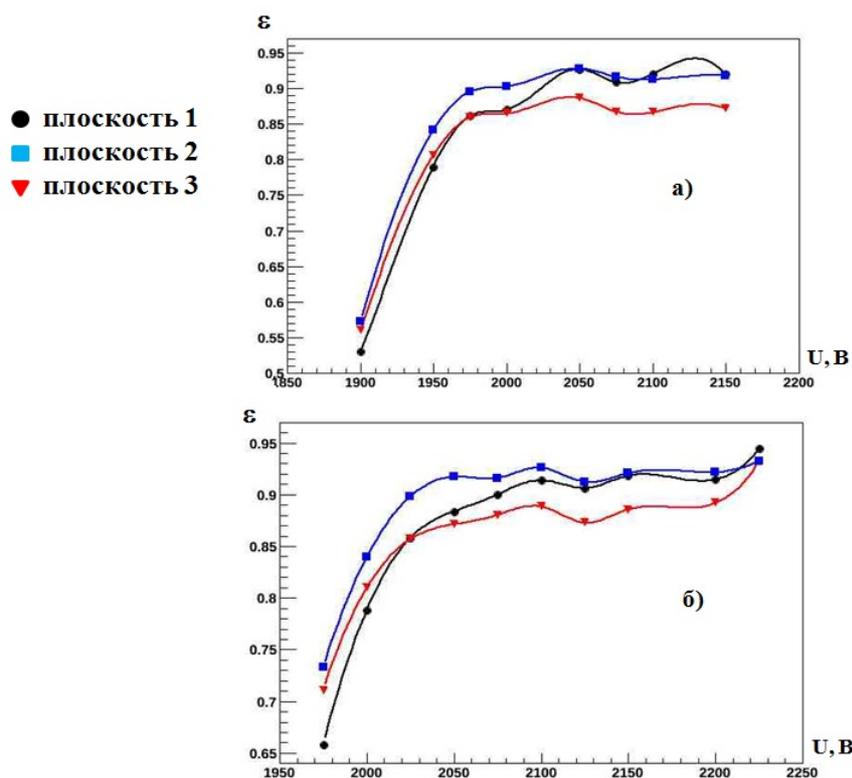


Рис. 22. Зависимость эффективности регистрации ε для трех плоскостей ДТ от высокого напряжения U при разных порогах усилителей: а) 0.6 мкА; б) 1.1 мкА.

Все следующие измерения проводились при помощи электроники трековой системы ФОДС со считыванием данных посредством штатной системы сбора данных. Последняя является дальнейшим развитием ее версии, опубликованной в работе [12]. Восстановление траекторий частиц осуществлялось программой геометрической реконструкции установки. Полученные временные спектры сигналов с одной из плоскостей трубок детектора представлены на рис. 23 для различных значений высокого напряжения. Отметим, что в этих распределениях видна фоновая подложка, вклад которой уменьшается с ростом U и становится близким к нулю в рабочей точке детектора по высокому напряжению. Форма пространственного распределения падающих космических частиц для одной из плоскостей ДТ показана на рис. 24.

Следует сделать замечание о выборе напряжения на трубках. При высоких значениях U со стенок ДТ выбиваются электроны, они видны как посторонний пик на спектре времен дрейфа (рис. 23 г). Работать при таких напряжениях нежелательно.

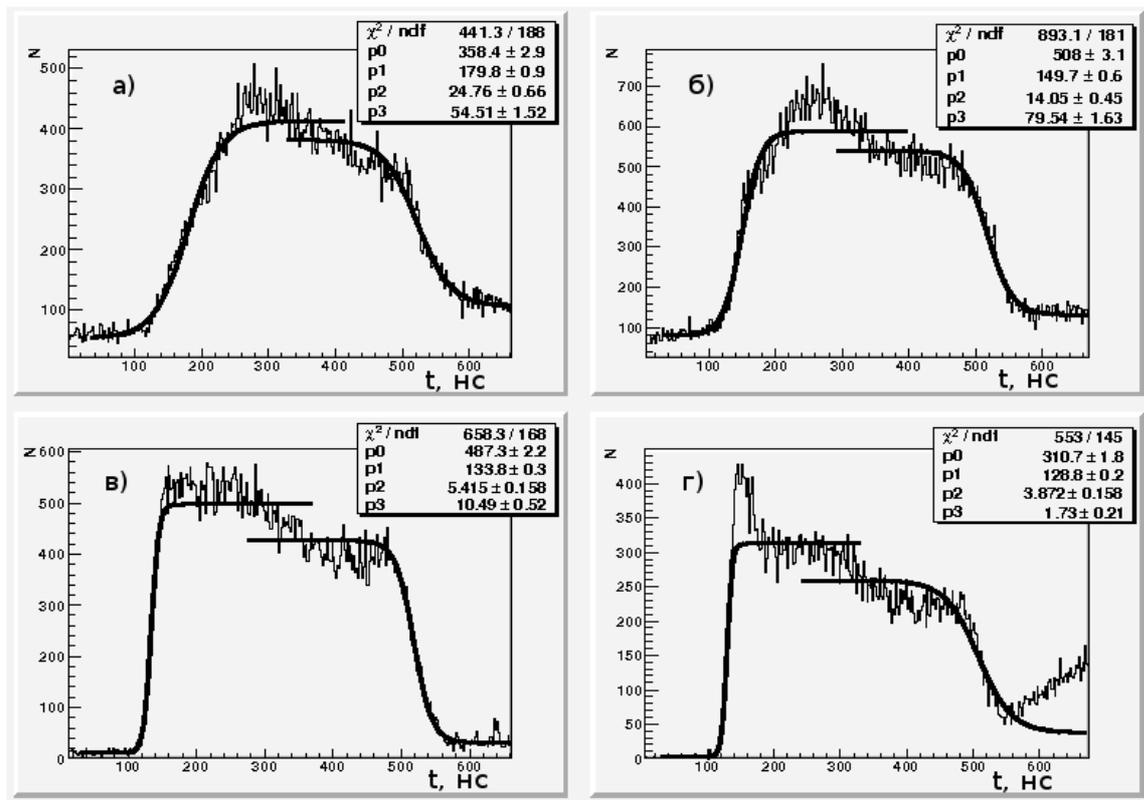


Рис. 23. Временные спектры сигналов с одной из плоскостей трубок установки ФОДС в космическом излучении при различных значениях высокого напряжения U : а) $U=1960$ В; б) $U=2010$ В; в) $U=2090$ В; г) $U=2140$ В.

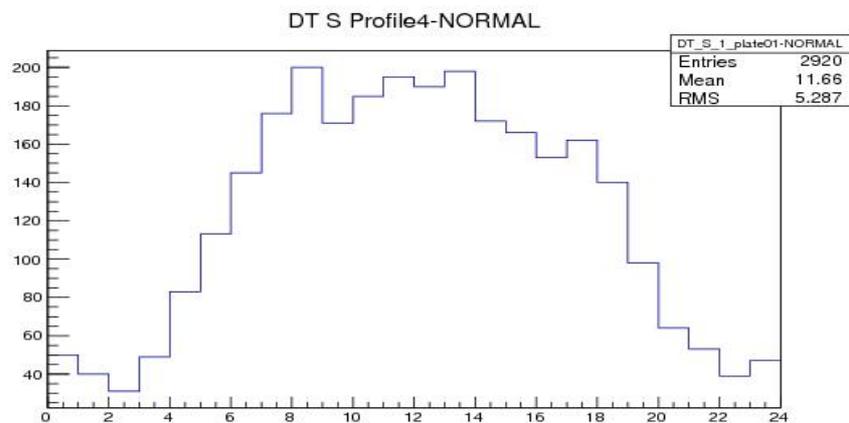


Рис. 24. Форма пространственного распределения падающих космических частиц для одной из плоскостей ДТ.

Для изучения точности пространственного разрешения ДТ реконструировались траектории частиц в XZ- и YZ-плоскостях. В измерениях мы не имели большой статистики. Однако дрейфовые трубки и их электроника по изготовлению с высокой точностью однородны. Поэтому времена задержек T_0 и $R(t)$ -зависимость определялись для всей плоскости ДТ. По номеру сработавшей трубки и времени дрейфа в ней T_d находилась координата частицы в каждой плоскости. Зависимость эффективности регистрации реконструированных событий ε от U представлена на рис. 25. Трубки перекрывают всю площадь счетчиков, так что неэффективность обусловлена случайными совпадениями в триггере.

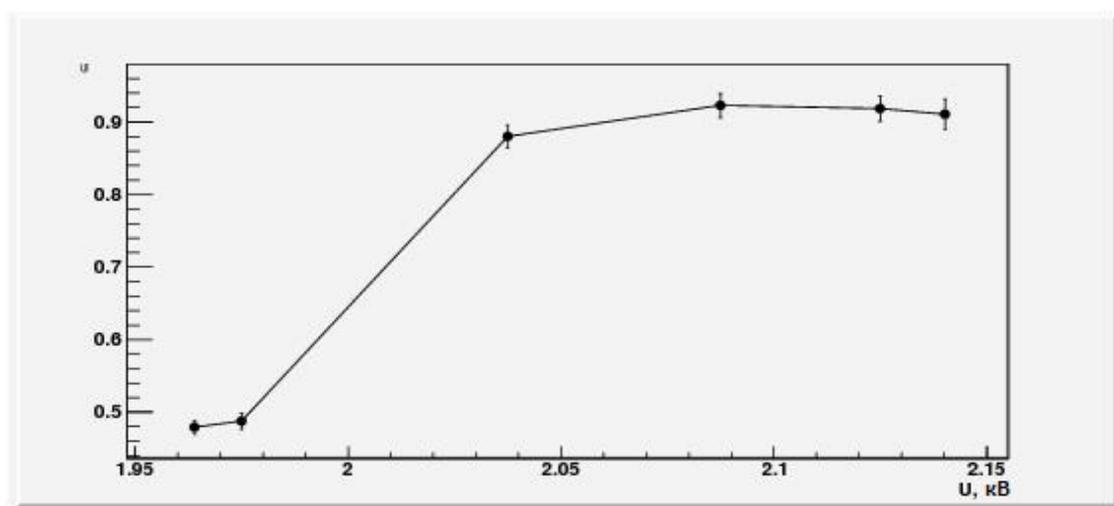


Рис. 25. Зависимость эффективности регистрации реконструированных событий ε от высокого напряжения U .

Далее проводились треки и находились отклонения координат частиц от оптимальной траектории. Зависимость от U усредненных по всем трубкам величин этих отклонений σ для XZ- и YZ-плоскостей приведена на рис. 26, они находятся в пределах, соответственно, 0.5 мм и 0.7 мм. Различие обусловлено, в первую очередь, в 2 раза большим количеством вещества на пути частиц (9.2 мм Al) для YZ-плоскости.

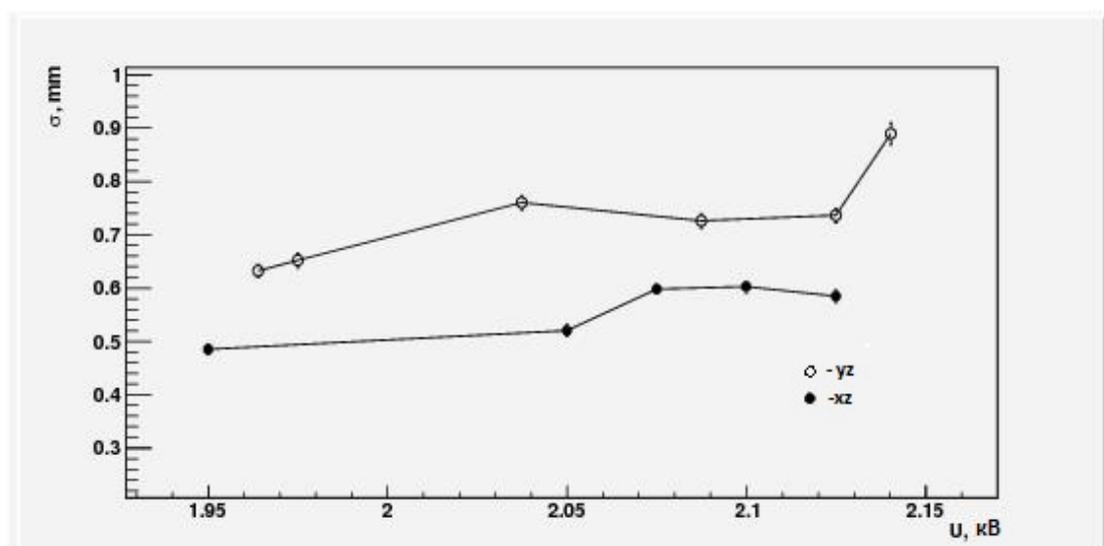


Рис. 26. Зависимость пространственного разрешения σ от приложенного высокого напряжения U .

Видно, что величина пространственного разрешения ДТ трековой системы ФОДС для космических событий не зависит от напряжения U и, следовательно, от переднего фронта временного спектра T_{ϕ} . Вместе с тем, эффективность реконструкции падает с уменьшением U . Различие в пространственной точности ДК и ДТ при начальных пучковых тестах может быть объяснено выбором в указанных измерениях недостаточно большого напряжения ДТ для эффективной реконструкции реальных событий с большим фоном, высокой множественностью и сложностью топологии.

Заключение

Для оптимальной работы дрейфовых трубок трековой системы установки ФОДС рекомендованы следующие условия:

1. Газовая смесь $Ar + 7\% CO_2$. Усиление слабо зависит от концентрации CO_2 . Время дрейфа $T_d = 400$ нс. При 30% концентрации CO_2 $T_d = 820$ нс.
2. Напряжение на ДТ $V = 2075$ В, при этом длина плато $\Delta V = 100$ В, вклад событий от первого кластера – 85%, среднее количество импульсов в сигнале с трубки (хитовость) равно 1.2.
3. Пространственное разрешение в ДТ трековой системы ФОДС составляет

$\sigma = 0.5$ мм. Для космических событий оно не зависит от высокого напряжения U и, следовательно, от переднего фронта временного спектра. Вместе с тем, наблюдается падение эффективности реконструкции с уменьшением U .

4. Порог усилителей ДТ можно выбрать равным 1 мкА. Детектор работает устойчиво с минимальным уровнем шумов и наводок вплоть до правого края плато по эффективности при напряжениях $U = 2.1$ кВ.

Список литературы

1. Балдин А.А., Бердников Я.А., Берлёв А.И., Бордановский А.Ю., Борзунов Ю.Т., Волков А.А., Ефремов В.П., Иванов А.Е., Ким В.Т., Константинов А.В., Калинин А.Ю., Кораблёв А.В., Корешев В.И., Криницын А.Н., Крышкин В.И., Кудашкин И.В., Кулагин Н.В., Логинов А.А., Мурзин В.А., Орешкин В.А., Плеханов Е.Б., Скворцов В.В., Талов В.В., Турчанович Л.К., Шиманский С.С. Программа корреляционных исследований при взаимодействии адронов и ядер при больших X_t . – Препринт ИФВЭ 2011-32 ОЭФ, Протвино, 2011.
2. Алексеев А.В., Балдин Б.Ю., Битюков С.И., Бушнин Ю.Б., Глебов В.Ю., Дунайцев А.Ф., Коноплянников А.К., Крышкин В.И., Кульман Н.Ю., Ланщиков Г.И., Мяслицин В.К., Рыбаков В.Г., Суляев Р.М., Сытин А.Н., Турчанович Л.К. Система дрейфовых камер спектрометра ФОДС. – Препринт ИФВЭ 78-70, Серпухов, 1978; ПТЭ, № 4, с. 38.
3. J. Bensinger, N. Vojko, A. Borisov., R. Fachroutdinov, S. Goryatchev, V. Goryatchev, V. Guschin, K. Hashemi, A. Kojine, A. Kononov, A. Larionov, E. Paramoshkina, A. Pilaev, N. Skvorodnev, A. Tchougouev, H. Wellenstein, Nucl. Instr. Meth. A, 494 (2002) 480-486.
4. ATLAS Muon collaboration, Technical Design Report, CERN/LHC 97-22, Geneva, 1997.
5. A. Borisov, R. Fachroutdinov, A. Kojine, A. Larionov, A. Pilaev, V. Rybatchenko, Yu. Salomatin, Nucl. Instr. Meth. A 494 (2002) 214-217.
6. Боголюбский М.Ю., Божко Н.И., Борисов А.А., Исаев А.Н., Кожин А.С., Козелов А.В., Плотников И.С., Сенько В.А., Солдатов М.М., Фахрутдинов Р.М., Шаланда Н.А., Ющенко О.П., Якимчук В.И. Патент RU 00122191 U1, 25.05.2012, страна регистрации – Россия.
7. Борисов А.А., Боголюбский М.Ю., Божко Н.И., Исаев А.Н., Кожин А.С., Козелов А.В., Плотников И.С., Сенько В.А., Солдатов М.М., Фахрутдинов Р.М., Шаланда Н.А., Ющенко О.П., Якимчук В.И. – Препринт ИФВЭ 2011-7, Протвино, 2011; ПТЭ, 2012, № 2, с. 5-14.

8. Боголюбский М.Ю., Исаев Н.А., Кожин А.С., Козелов А.В., Плотников И.С., Сенько В.А., Солдатов М.М., Шаланда Н.А., Якимчук В.И., Кузьмин Н.А., Петухов Ю.А. – Препринт ИФВЭ 2012-14, Протвино, 2012; ПТЭ, 2013, № 2, с. 39-48.
9. <http://www.iseg-hv.com>
10. <http://www.murata.com/en-us/products/capacitor>
11. Adam Boyarski, Don Briggs and Patricia R. Burchat, SLAC-PUB-5745, February 1992 (1); <http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-5745.pdf>
12. Волков А.А., Ефремов В.П., Калинин А.Ю., Карпеков Ю.Д., Кораблёв А.В., Крилицын А.Н., Крышкин В.И., Кулагин Н.В., Скворцов В.В., Солдатов М.М., Талов В.В., Турчанович Л.К., Шаланда Н.А., Якимчук В.Б. – Препринт ИФВЭ 2011-16, Протвино, 2011; ПТЭ (2012), № 4, с. 35-42.

Рукопись поступила 10 ноября 2014 г.

М.Ю. Боголюбский, А.Ю. Калинин, А.Н. Креницын, А.А. Морщинов, В.В. Талов,
Л.К. Турчанович

Оптимизация работы дрейфовых трубок трековой системы установки ФОДС.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 18.11.2014. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.

Печ.л. 1,5. Уч.– изд.л. 2,21. Тираж 80. Заказ 20. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2014-14,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2014
