

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.Ломоносова

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В.Скобелева

На правах рукописи
УДК 539.1.074.55

Лефлат Александр Карлович

Система синхронизации и запуска установки
«Спектрометр с Вершинным Детектором» для
исследования образования очарованных частиц.

Специальность: 01.04.23 – физика высоких энергий,

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 2008

Работа выполнена в отделе экспериментальной физики высоких энергий Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель:

Ермолов Павел Федорович
профессор, доктор физико-математических наук
НИИЯФ МГУ

Официальные оппоненты:

Новиков Лев Симонович
профессор, доктор физико-математических наук,
отдел ядерных и космических исследований, НИИЯФ МГУ

Васильев Александр Николаевич
доктор физико-математических наук
ГНЦ «Институт физики высоких энергий», г. Протвино

Ведущая организация:

Лаборатория физики высоких энергий
им. В.И. Векслера и А.М. Балдина
ОИЯИ (г. Дубна).

Защита состоится « 10 » октября 2008 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д501.001.77 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ, корпус 19, ауд. 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан « 01 » сентября 2008 г.

Ученый секретарь совета Д501.001.77
профессор

Страхова С.И.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Со времени открытия адронов, состоящих из тяжелых кварков (1974г.) их исследования интенсивно продолжаются на крупнейших ускорителях. В экспериментах, проведенных в CERN и FNAL, получены данные по рождению очарованных частиц в адронных взаимодействиях при энергиях свыше 200 Гэв, которые хорошо согласуются с предсказаниями квантовой хромодинамики. Ситуация в околопороговой области энергий ($p_{\text{lab}} \approx 70\text{Гэв}$) иная. По ряду причин, приводящих к необходимости коррекции пертурбативной КХД вблизи порога [1-3], а также непертурбативных эффектов, связанных с возможным механизмом внутреннего очарования [4], и с особенностями фрагментации, характеристики $c\bar{c}$ -рождения могут существенно меняться, что представляет интерес для теории КХД [5].

В 1984 г. Сотрудничеством институтов ИФВЭ-НИИЯФ МГУ-ОИЯИ-ТГУ был предложен эксперимент E-161 [6] по изучению рождения очарованных частиц в пучке протонов ускорителя У-70. Для проведения эксперимента была разработана и создана новая экспериментальная установка гибридного типа – Спектрометр с Вершинным Детектором (СВД). Было решено, что создание этой установки будет разбито на две очереди, соответствующие двум этапам эксперимента E-161. На первом этапе в качестве прецизионного вершинного детектора была использована быстроциклирующая жидководородная пузырьковая камера (БЦПК) с триггерной системой, а из спектрометрической части были изготовлены только широкоапертурный магнитный спектрометр с пропкамерами и годоскопический детектор гамма-квантов (СВД-1). На втором этапе быстроциклирующая жидководородная пузырьковая камера была заменена на прецизионный вершинный детектор, основанный на электронной методике, и проведено развитие спектрометрической части установки для того, чтобы существенно (примерно в 100 раз) увеличить темпы набора статистики.

В течение 1990–1994 гг. были полностью смонтированы и отлажены быстроциклирующая пузырьковая камера, система триггирования и магнитный спектрометр, и на установке в таком составе были проведены два сеанса по набору статистики. Завершена отладка детектора гамма-квантов, и первый этап эксперимента E-161 в настоящее время завершен, хотя из-за изменившихся внешних обстоятельств и с меньшей, чем ожидалось, ($\approx 20\%$) статистикой. Результаты, полученные на первом этапе эксперимента, были опубликованы в журнале «Ядерная Физика» [7].

За это время также была разработана конструкция и спроектирована электроника прецизионного вершинного детектора на основе микроstriповых кремниевых детекторов, и завершено проектирование элементов второй очереди спектрометрической части установки. Прототип Вершинного Детектора [8] и системы запуска для установки СВД-2 были

испытаны на тестовом сеансе ускорителя У-70 ИФВЭ в 1999 г. В 2002 года на установке СВД-2 был проведен сеанс по набору статистики с применением триггерной системы, разработанной автором.

Использование нового вершинного детектора и модернизация установки позволили значительно увеличить темп набора статистики и, кроме дальнейшего изучения свойств очарованных частиц, провести поиск экзотического Θ^\pm бариона [9]. В настоящее время коллаборация СВД проводит новый эксперимент по изучению динамики многочастичных процессов с выделением событий с множественностью заряженных частиц $n_{зар} \geq 15$. Для выполнения этой задачи создана специальная жидководородная мишень и разработана новая логика системы запуска.

За время своего существования установка СВД существенно модифицировалась три раза. Табличный (Look Up Table) метод аппаратной обработки данных, широко применяемый в экспериментах по физике высоких энергий, получил свое развитие во всех трех системах запуска установки. **Целью данной диссертационной работы** является представление систем синхронизации и запуска для всех трех модификаций установки СВД.

В данной диссертации получены следующие основные результаты:

1. Разработана и изготовлена система модулей наносекундной электроники, способная решать различные задачи запуска для физической установки.
2. Данная система, реализующая табличный метод, применена в установке СВД-1 на двух сеансах по набору статистики в 1992 и 1994 гг, в течение которых было получено около 310 тыс снимков. В результате проведенного эксперимента были получены величина полного сечения $\sigma(c\bar{c})$ парного рождения очарованных адронов и средние величины заряженной компоненты $\langle |\chi_F| \rangle$, поперечного импульса $\langle |p_T| \rangle$ и лабораторного импульса $\langle |p_{лаб}| \rangle$ D-мезонов.
3. Разработана и изготовлена система синхронизации и запуска для установки СВД-2, примененная на сеансе 2002 г. по набору статистики эксперимента E-161.
4. Разработана и изготовлена система запуска установки для проведения эксперимента по исследованию коллективного поведения частиц в процессе множественного рождения в pp взаимодействии (проект «Термализация»), примененная на сеансах 2006 и 2007 гг. по набору статистики.

Научная новизна и практическая ценность разработок состоят в следующем:

1. При разработке систем синхронизации и запуска установки СВД-1 был использован табличный (Look Up Table) метод аппаратной обработки данных. Среди трех методов быстрой обработки данных (использование комбинационной логики, табличный метод и применение систем с распределенным интеллектом) по универсальности и сложности применения табличный метод занимает промежуточное положение. Это позволяет относительно быстро и с небольшими затратами применить его в задачах системы запуска физической установки.
2. Для реализации табличного метода была разработана система модулей наносекундной электроники, обладающая достаточной гибкостью, чтобы решать различные задачи при запуске установок. Представленная триггерная система наносекундной логики была использована в двух сеансах по набору статистики на установке гибридной установке СВД-1 в 1992 и 1994 гг.
3. Табличный метод обработки данных был развит и применен при проектировании триггерной электроники установки СВД-2, которая является полностью электронной и полностью отличается в части системы запуска. Новая, полностью компьютеризированная, система синхронизации и запуска была применена на сеансе по набору статистики на установке СВД-2 в 2002 году.
4. Для проведения эксперимента с выделением событий с большой множественностью система запуска СВД-2 была незначительно изменена в части электроники, реализующей табличный метод, что позволило снизить стоимость проекта.

Личный вклад автора. Автор настоящей диссертационной работы принимал участие в разработке, изготовлении и пуске электроники синхронизации, запуска и части системы регистрации установки СВД-1, а также, является разработчиком электроники синхронизации и запуска установки СВД-2. Поскольку вершинный детектор установки СВД-2 полностью отличается от вершинного детектора установки СВД-1, это привело к полной переработке системы синхронизации и запуска установки. Незначительно модернизированная электроника системы запуска применена в эксперименте по изучению событий с большой множественностью.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 36 наименований. Объем диссертации составляет 120 страниц, 33 рисунка и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность проблемы, указывается цель работы, показана новизна и практическая ценность диссертации. Сформулированы основные положения, выносящиеся на защиту.

В первой главе подробно описана экспериментальная установка СВД-1.

Схема использовавшейся в данном эксперименте установки приведена на рис.1. Она состоит из вершинного детектора БЦПК (быстроциклирующая пузырьковая камера), широкоапертурного магнитного спектрометра с большими пропорциональными камерами, детектора гамма-квантов, а также системы мониторинга пучка и триггирования событий, в разработке и изготовлении которой автор принимал непосредственное участие.

Быстроциклирующая пузырьковая камера.

Корпус камеры представлял из себя параллелепипед длиной (вдоль пучка) 150 мм, глубиной 50 мм и высотой 200 мм, изготовленный целиком из поликарбоната LEXAN, за исключением металлических вводов трубок. Расширение рабочего объема осуществлялось за счет хода мембран, выполненных в форме двух круговых утоньшений в лексановых боковых стенках корпуса камеры, расположенных непосредственно над фотографируемым объемом высотой 70 мм. Мембраны управлялись поршнями системы расширения,двигающимися в противоположные от корпуса камеры стороны. Такая оппозитная система расширения позволяла избежать смещения корпуса камеры в цикле расширения и обеспечивала устойчивую работу камеры с частотой 30÷40 Гц в течении времени медленного вывода протонного пучка из ускорителя У-70 (около 1 сек). Рабочий объем камеры фотографировался по принципу «светлого поля» на 50 мм неперфорированную пленку двумя объективами высокого разрешения в масштабе 1:1. Из-за необходимости фотографировать пузырьки диаметром 20 мкм, глубина резкости составляла 2 мм. Для уменьшения размеров изображения пузырька на пленке, камера освещалась импульсным эксимерным лазером.

Широкоапертурный магнитный спектрометр.

Для определения импульса вторичных заряженных частиц в составе СВД1 использовался широкоапертурный магнитный спектрометр [10] с проволочными пропорциональными камерами (ПК), выполненный на основе магнита МС-7А. Этот магнит имеет длину (вдоль направления пучка) полюсов 3 метра и апертуру 1.8 м (ширина) и 1.3 м (высота). При импульсе первичных протонов не более 70 Гэв/с этот магнит работал при пониженном токе ($I=4$ кА) и имел в рабочем объеме достаточно однородное поле величиной около 1.18 Тесла. Перед и за магнитом (вдоль пучка) выступают отогнутые вверх и вниз обмотки, создающие сильное рассеянное магнитное поле, величина которого на расстоянии 1.5 м от ярма магнита составляет 0.3 Тесла.

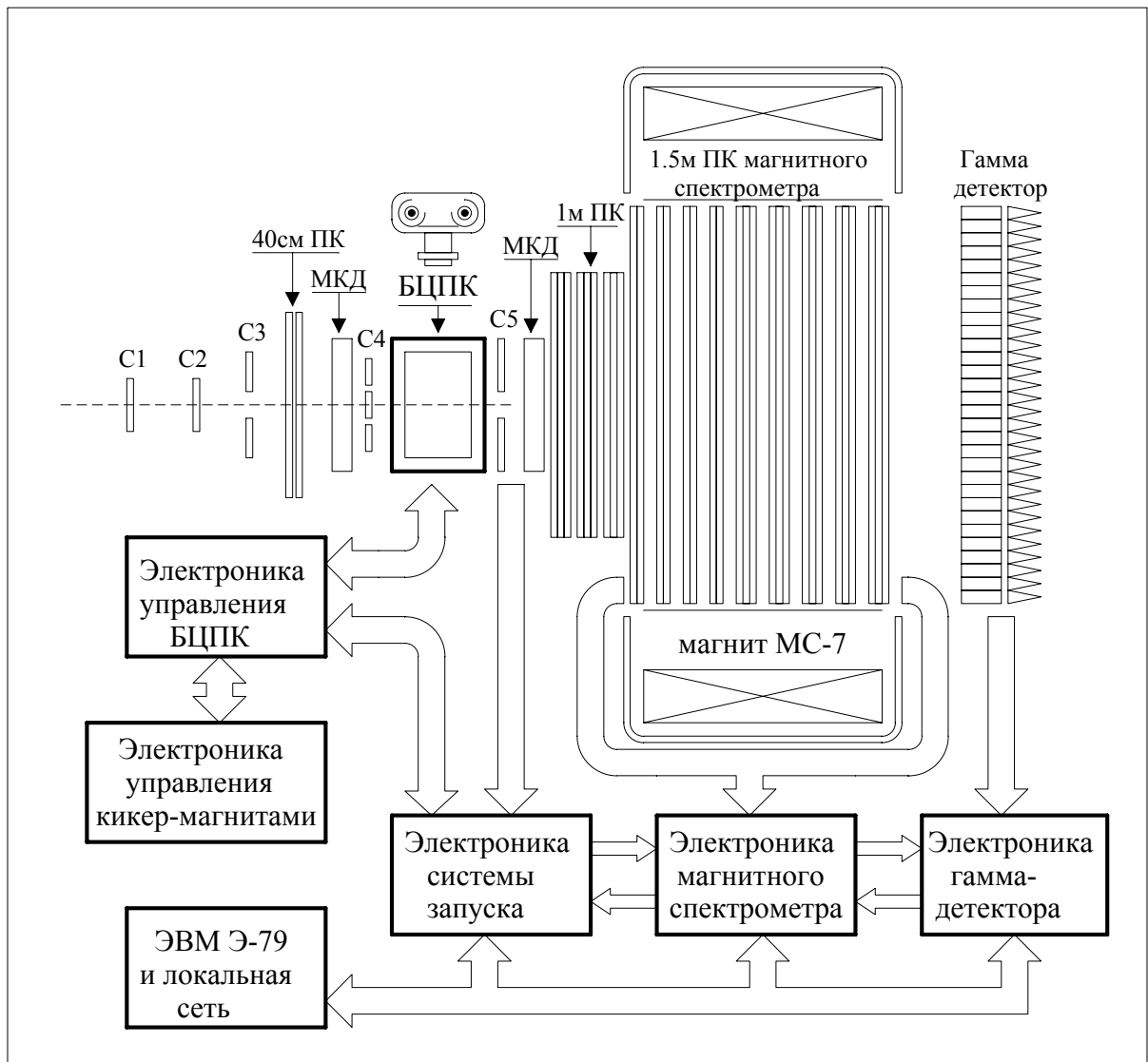


Рис.1. Детекторы и системы регистрации установки СВД-1.

С функциональной точки зрения магнитный спектрометр СВД-1 является двухступенчатым. Его первую ступень образует передний блок из 12 плоскостей ПК, расположенный перед магнитом в его рассеянном поле, который служит, в частности, для измерения малых импульсов частиц, испущенных под большими углами. Входящие в этот блок ПК с шагом проволок 2 мм и рабочей областью 1 м² объединены в три квадруплета с ориентацией проволок UYVX, где Y – вертикальные проволочки, X – горизонтальные, U и V наклонены по отношению к вертикальной оси под углами 10.5°. Общее число сигнальных анодных проволок в этих камерах достигает 5424. Плоскости X предназначались также для выработки триггера второго уровня [14].

Центральный блок, расположенный в апертуре магнита, состоит из 19 ПК с шагом проволок 2 мм и рабочей площадью 1.0 x 1.5 кв.м. [15]. Передние четыре камеры объединены в дуплеты UY и VY, а остальные 15 камер сгруппированы в виде триплетов UYV. Эти камеры составляют вторую

ступень спектрометра и обеспечивают измерение импульсов частиц, попавших в магнит. Суммарно они содержат 12608 проволок.

Усилители сигналов расположены непосредственно на ПК и представляют собой 64 и 32-канальные сборки на основе ИМС «Кобальт» и «УИ-5» с длительностью выходного сформированного сигнала менее 1 мкс. Сигналы с усилителей через соединительные кабели, длиной 30÷40 м, передаются на 64-канальные модули регистрации РПК-213. Электронная аппаратура системы регистрации магнитного спектрометра работает по протоколу КАМАК-КОМПЕКС. По сигналу запуска от триггерной электроники контроллеры крейтов вырабатывают серию импульсов управления, длительностью 10 мкс, по которым модули регистрации отбирают задержанные выходные сигналы в пределах разрешающего времени 200 нс, отстоящие на заданное цифровым образом время опережения, около 800 нс от запускающего сигнала, кодируют их локальные номера и заносят их в свои буферы. Чтение промежуточных буферов производится ЭВМ последовательно через центральный крейт с темпом 3 мкс/слово. Вся электроника регистрации включает в себя 4 ветви по 7 крейтов каждая, объединенных в центральном крейте.

Система синхронизации и мониторинга пучка.

В установку включены разные по быстродействию и характеру получаемой информации детекторы. Это накладывает определенные условия на систему синхронизации. Системы регистрации магнитного спектрометра и триггерная электроника выполнены в стандарте КАМАК-КОМПЕКС. Информация от них считывается в ЭВМ «Электроника-85», находящиеся в каждом из трех экспериментальных домиков, накапливается за время сброса ускорителя и передается по локальной сети в главную ЭВМ в паузах между сбросами. С БЦПК получается фильмовая информация, ее необходимо "сшивать" с данными со всех систем регистрации по номеру пленки и номеру кадра. Эти данные передаются из пультовой БЦПК в параллельном коде в систему синхронизации Мониторированием параметров пучка занимается отдельная ЭВМ «Электроника-85», не включенная в локальную сеть, что обеспечивало автономность мониторинга вне зависимости от операций, производимых на установке.

Необходимым условием системы синхронизации является возможность автономной работы всех систем регистрации и электроники БЦПК во время проведения наладочных работ, предшествовавших основному набору статистики.

В связи с применением в установке БЦПК возникает необходимость "банчирования" пучка протонов. Эту задачу выполняют ударные кикер-магниты, находящиеся в головной части канала, обслуживающего установку. Для обеспечения такого импульсного режима работы на трассе была поставлена специальная система модуляции интенсивности пучка (СМИП) Пучок протонов выводится с оси канала постоянным корректирующим магнитом. По сигналу "СЕРИЯ", который вырабатывается с частотой до 30 Гц электроникой БЦПК, первый ударный магнит вбрасывает пучок на ось

канала. Сигналы "СЕРИЯ" передаются также в ССЗ. По ним, в соответствии с конкретной задачей, вырабатываются малые временные ворота "g", и, по их окончанию, сигнал на включение второго ударного магнита, выбрасывающего пучок с оси канала. За время сброса ускорителя вырабатывается до 30 банчей с интенсивностью внутри банча, не превышающей 2×10^6 протонов/сек. Сечение пучка вытянуто в вертикальном направлении и имеет размеры 2×40 мм.

Система запуска установки.

Применяемая в установке мишень являлась довольно прозрачной (вероятность неупругого взаимодействия составляет $0,03 \div 0,06$), поэтому на триггер первого уровня (TR1), предназначенный для выделения частиц, испытавших взаимодействие, накладываются жесткие требования по подавлению прямого пучка. Стандартное решение этой проблемы, предполагающее использование окна в сцинтилляционном счетчике, не дает полностью удовлетворительных результатов, т.к. при этом возникают ложные срабатывания от δ -электронов, сопровождающих пучковую частицу. Лучшие результаты получаются при применении в триггерной электронике данных с микростриповых кремниевых детекторов (МКД).[11]. Применение спецпроцессора, реализующего табличный метод обработки информации с триггерных детекторов, обеспечивает гибкость системы по сравнению с обычной быстрой логикой, а применение элементной базы на основе ЭСЛ - необходимое быстроедействие.

Сигнал триггера 1-го уровня в установке вырабатывается согласно следующей логике:

$$TR1 = C1 \times C2 \times \overline{C3} \times C4 \times g \times MKD1_i \times \overline{MKD2_i} \times [MKD2_j + T_{soft}], \quad i \neq j,$$

где $C1, C2, C3, C4$ - сигналы от сцинтилляционных счетчиков,

g - малые временные ворота,

$MKD1_i$ - сигнал наличия частицы в 1-м МКД,

$MKD2_i, MKD2_j$ - сигналы наличия частицы во 2-м МКД, а

$$T_{soft} = C1 \times C2 \times \overline{C3} \times C4 \times g \times [C5L + C5R] .$$

Возможно применение

$$Thard = C1 \times C2 \times \overline{C3} \times C4 \times g \times C5L \times C5R .$$

Сигнал $C3$ вырабатывался согласно:

$$C3 = C1 \times C3L + C1 \times C3R .$$

Сцинтилляционные счетчики С1, С2 и С4 имеют размеры 80x80, 80x80, 6x40 мм², С3 имеет отверстие для пропускания частиц и состоит из двух счетчиков С3L и С3R, С5 состоит из двух счетчиков С5L и С5R, также имеющих отверстие для прохождения непроходящего пучка и перекрывающих площадь 150x150 мм.

Модули наносекундной потенциальной логики.

Электронная система, разработанная в рамках проекта СВД для решения задачи запуска установки, является функциональным аналогом систем MBNIM и ECL-CAMAC [12] и предназначена для создания быстродействующих устройств отбора событий ядерно-физического эксперимента – быстродействующих спецпроцессоров. Собственное временное разрешение системы находится на уровне 1÷2 нс. Система может работать с незакодированными сигналами с детекторов, что снижает время подготовки данных, и позволяет параллельно обрабатывать всю совокупность сигналов с координатных детекторов. Система может работать с двоичными кодами координат или амплитуд сигналов. Важной особенностью является возможность использования быстрых табличных методов поиска решений[13].

Задание алгоритма обработки данных в системе осуществляется коммутацией магистралей данных и сигналов управления. Данные передаются между модулями посредством 16-разрядных магистралей через многоконтактные разъемы на передних панелях. Управляющие сигналы, задающие логику работы, передаются индивидуальными витыми парами через те же разъемы. Данные и сигналы управления передаются в уровнях ЭСЛ, для обеспечения помехоустойчивости и логической гибкости принята парафазная передача сигналов. Модули работают асинхронно: модуль запускается при совпадении нескольких (до четырех) входных управляющих сигналов, по завершении обработки выдается выходной управляющий сигнал готовности, служащий стартом работы следующего модуля. Такой режим позволяет достичь максимального быстродействия. Запись данных в таблицы и регистры всех модулей производится по протоколу КАМАК-КОМПЕКС. В состав системы входят следующие модули наносекундной потенциальной логики: Селектирующий регистр (СР-211), Суммирующий поразрядный преобразователь (СПП-231), Оперативное Запоминающее Устройство (ОЗУ-511), арифметико-логическое устройство (АЛУ-251), блок регистрации (БР-214), а также трансляторы уровней. Полная задержка на принятие решения системой составляет 230 нс относительно строба записи БР-214 и 400 нс относительно момента прохождения частицы через плоскости МКД. Сигнал *TR1* используется для организации запроса в триггерную ЭВМ, кроме того, он рассылается в домики 1 и 3 на системы регистрации магнитного спектрометра и гамма-детектора, а также в пультовую БЦПК на запуск фотоаппарата. Сигнал (*нет_TR1*) аппаратно сбрасывает блокировку ССЗ на прохождение запускающих импульсов, а

также производит быстрый сброс всех БР-214 и СР-211, используемых в системе запуска.

Аппаратура мониторинга пучка, синхронизации и системы запуска установки была размещена в трех крейтах КАМАК. Функциональная схема электроники триггера первого уровня показана на рис.2.

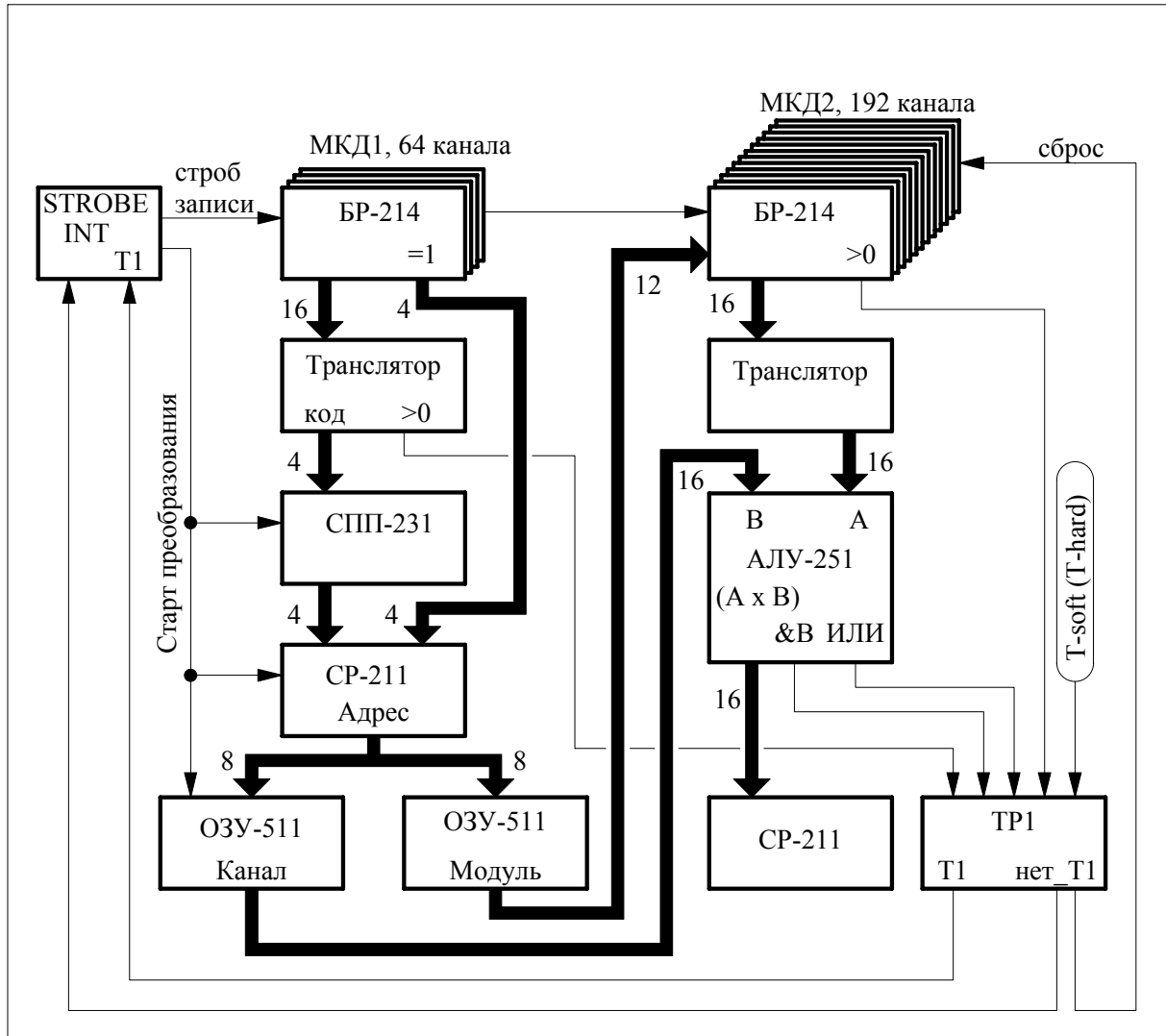


Рис.2. Функциональная схема электроники триггера на взаимодействие.

Основные физические результаты.

Всего за время работы установки СВД-1 в БЦПК было зарегистрировано 109 тыс. неупругих pp -взаимодействий с множественностью $n_{зар} \geq 4$, что соответствует статистике 4.96 соб/мкбн [7]. На фотоснимках найдено 3 трехлучевых распада вблизи первичной вершины, 2 из которых зарегистрированы в спектрометре. Эти события были идентифицированы как распады D^- -мезонов. Два нейтральных распада, зарегистрированные одновременно в БЦПК и спектрометре, были идентифицированы как распады анти D^0 -мезонов. После учета всех погрешностей и эффективности установки была получена оценка полного сечения образования пар $c\bar{c}$ -частиц в области

феймановской переменной $-1 < X_F < +1$, равная $\sigma(c\bar{c}) = 1.6 \pm_{0.7}^{1.1}(\text{стат}) \pm 0.3(\text{сист})$ мкбн. К началу подготовки данного эксперимента при энергиях ускорителя ИФВЭ (60-70 ГэВ) имелись только первые результаты, полученные на установке БИС [16] и в серии beam-dump экспериментов [17]. Следует отметить, что в этих экспериментах вершина распада короткоживущих частиц не регистрировалась.

Полученная в данном эксперименте величина $\sigma(c\bar{c})$ не противоречит верхним оценкам $\sigma(c\bar{c})$, полученным в beam-dump экспериментах, и почти на порядок меньше сечения, полученного по данным БИС-2. Следует отметить, что полученная оценка $\sigma(c\bar{c})$ не противоречит общей энергетической зависимости сечения образования очарованных частиц, полученной в рамках пертурбативной КХД, и экспериментальным данным в области 200-800 ГэВ.

Во второй главе описана установка СВД-2, изложено применение табличного метода для организации триггера. Представлено описание системы синхронизации и запуска установки. Приведены результаты испытания системы синхронизации и запуска в тестовом сеансе, а также результаты применения триггера на рабочем сеансе и основные физические результаты.

Новые детекторы в установке СВД-2.

В 1999 г. СВД-объединение приняло решение о модернизации установки с целью измерения полного сечения образования очарованных частиц, измерения А-зависимости полного сечения на ядрах кремния, свинца, углерода и других элементов, а также поиска эффектов, связанных с механизмом высвобождения внутреннего очарования в протоне. Все перечисленные задачи потребовали многократного увеличения набираемой статистики, и, как следствие, значительного увеличения быстродействия установки [15]. Электроника регистрации магнитного спектрометра после определенной модернизации могла принимать до 500 событий за сброс ускорителя. Что касается быстроциклирующей пузырьковой камеры, то было решено заменить ее на прецизионный вершинный детектор с электронным съемом информации. Система регистрации детектора гамма-квантов была также полностью переделана.

Для второго этапа эксперимента СВД-2 потребовалось подготовить следующие новые детекторы:

Прецизионный вершинный детектор с высоким быстродействием на основе микростриповых кремниевых детекторов (МКД) и активную мишень (АМ), также состоящую из сегментированных на полоски слоев кремния, чередующегося со слоями углерода и свинца. Прецизионный вершинный детектор [9] состоит из следующих элементов:

- пучковый телескоп (ПТ) из трех пар МКД с ортогональной организацией стрипов, измеряющих вертикальную (Y) и горизонтальную (X) координаты пучковой частицы.
- активную мишень (АМ) из пяти МКД размером 8x8 мм и шагом стрипа 1 мм, расположенных на расстоянии 2÷4 мм друг от друга и включенных в триггерную систему первого уровня.
- вершинный телескоп (ВТ), включающий три пары Y,X – МКД, имеющие возможность работать в триггерной системе 2-го уровня и оснащенные микросхемами GASSIPLEX, и квадруплет YXUV, функционально относящийся к трековой части СВД-2 и оснащенный микросхемами VIKING.

Блок минидрейфовых трубок. Для сопряжения треков частиц в ПВД и треков, зарегистрированных в пропкамерах магнитного спектрометра, и повышения точности измерения углов вылета заряженных частиц вводится дополнительный блок минидрейфовых трубок (МДТ). Он представляет собой систему из цилиндрических пленочных счетчиков (трубок), объединенных в четыре двуслойных планарных модуля. Для повышения точности измерения использовалось катодное считывание сигнала, так что счетчики фактически работают как пропорциональные газовые трубки. Для этого на наружной поверхности трубок нанесено кольцевое металлическое покрытие. Ширина кольца равна 6 мм, расстояние между кольцами (кольцевой промежуток) равен 1.5 мм. В целом каждый модуль состоит из 61 трубки длиной 500 мм, перекрывает площадь $480 \times 480 \text{ мм}^2$ и содержит 64 шины катодного считывания. Вся система состоит из четырех модулей, объединенных в квадруплет UYVX. Полная система содержит 256 каналов катодного считывания. Сигналы после усиления считываются ВЦП. Точность определения координаты составляет 150 мкм.

Пороговый черенковский счетчик. Для идентификации заряженных частиц используется многоканальный пороговый газовый черенковский счетчик (ПЧС), размещенный между магнитом МС-7 и сцинтилляционным годоскопом. Этот счетчик состоит из двух секций длиной 3 м с входной апертурой 177 x 130 см. В задней части располагаются 4 горизонтальных ряда прямоугольных сферических зеркал по 8 штук в каждом. Размеры зеркала $42 \times 33 \text{ см}^2$ с радиусом кривизны $R=200 \text{ см}$. Полная поверхность, перекрываемая зеркалами, составляет $265 \times 155 \text{ см}^2$ в проекции на плоскость, перпендикулярную оси счетчика. Объем счетчика просматривается 32-мя ФЭУ-125 с диаметром фотокатода 140 мм, дополненными светосборниками Винстона.

Сцинтилляционный годоскоп (СГ) размещенный на подвижной платформе гамма-детектора на расстоянии примерно 8.3 м от мишени и состоит из двух плоскостей сцинтилляционных счетчиков, направленных горизонтально и вертикально. Горизонтальная плоскость имеет 12 счетчиков со

сцинтилляторами, изготовленных методом экструзии с термопластической формовкой световода на конце. Размер рабочего поля сцинтиллятора счетчика 200 x 2400 мм при толщине 10 мм. Вертикальная плоскость состоит из 14 счетчиков с размером рабочего поля сцинтиллятора 200 x 1400 мм. Информация, получаемая с СГ, использовалась в триггере первого уровня.

Для новых детекторов СВД-2 требовалось разработать электронику системы запуска и синхронизации, а также систему сбора и представления данных с современными быстрыми средствами связи и новым поколением компьютеров. Общая схема детекторов установки СВД-2 приведена на рис.3.

Система синхронизации. Подробно система синхронизации описана в [18,19,21]. Для описания системы автор считает нужным ввести следующую терминологию:

Локальная система - система, включающая локальную ЭВМ, контроллер крейта КАМАК и, как правило, ветвь КАМАК. ЭВМ содержит ETHERNET карту. Центральный крейт локальной системы содержит свой собственный модуль СИНХРОН (INTERRUPT), принимающий сигнал начала цикла ускорения и сигнал триггера и организующий запрос на обслуживание, а также 32-разрядный входной регистр номера событий. Установка СВД-2 содержит шесть локальных систем: TRIGGER (содержит счетчик вместо регистра номера событий), VERTEX, VIKING, SPECTRO, DEGA, DRIFT. Локальная система может собирать данные с одного или нескольких детекторов установки, например, локальная система TRIGGER собирает данные со сцинтилляционных счетчиков пучка, детекторов АМ и ПЧС. Каждая локальная система может принимать и организовывать запрос по четырем синхронизированным сигналам: НС, начало синхронизированное; М, монитор, триггер нулевого уровня; Т1, триггер первого уровня; Т2, триггер второго уровня, может выдавать сигнал блокировки, а также принимать все сигналы автономной и совместной работы.

ИНКРЕМЕНТ – сигнал, вырабатываемый в локальной системе TRIGGER, служит для инкрементации счетчика номера событий и записи удаленных регистров номера событий в каждой локальной системе.

Локальная ЭВМ – электронно-вычислительная машина, находящаяся в локальной сети ETHERNET и обслуживающая одну локальную систему.

Коллектор - ЭВМ, находящаяся в локальной сети ETHERNET, и отвечающая за накопление информации и запись данных на носители.

Работа системы синхронизации проиллюстрирована на рис.4. Все электронные модули системы разработаны автором. Модули СИНХРОН и INTERRUPT имеют одинаковый протокол обмена по магистрали КАМАК, что позволяет использовать однотипное ONLINE программное обеспечение для всех локальных систем, как во время набора статистики, так и при проведении методических сеансов.

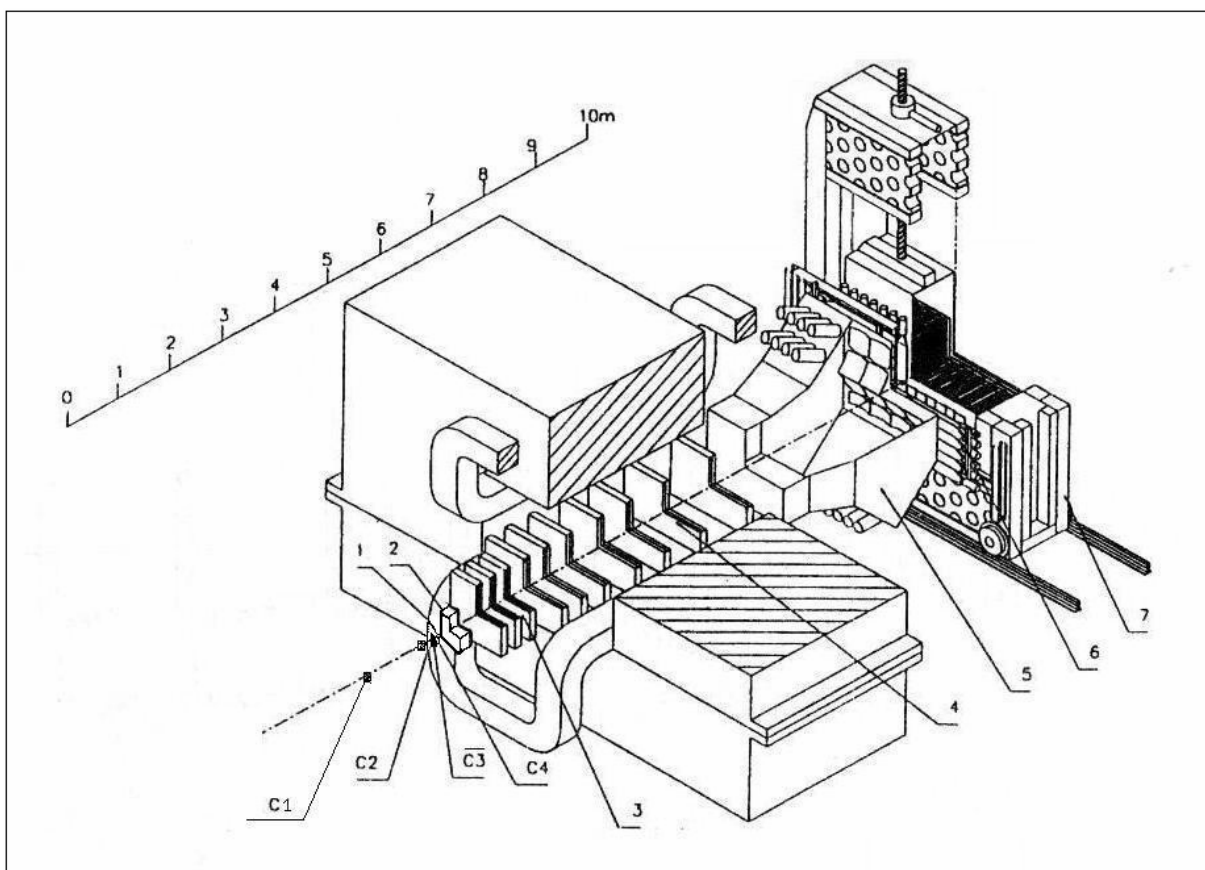


Рис.3. Детекторы установки СВД-2.

Цифрами обозначены: 1 – активная мишень; 2 – прецизионный вершинный детектор; 3 – блок минидрейфовых трубок; 4 - магнитный спектрометр; 5 – черенковский детектор; 6 - сцинтилляционный годоскоп; 7 – детектор γ -квантов.

Система запуска установки. На первом этапе эксперимента E-161 (СВД-1) было показано, что при наличии МКД до и после мишени можно организовать эффективный отбор событий на взаимодействие по принципу выбывания пучковой частицы. На втором этапе эксперимента (СВД-2) этот триггер заменен триггером на взаимодействие, основанном на быстрой оценке амплитуд сигналов с кремниевых детекторов АМ. Такая оценка позволяет также определить Z-координату взаимодействия в рабочем объеме мишени.

Далее, как показали расчеты, проведенные в [14,15], если вторичные частицы регистрировать в горизонтальных полосах Сцинтилляционного Годоскопа, расположенных на некотором удалении от оси пучка, то можно обеспечить быстрый отбор событий, имеющих вторичные частицы с большим поперечным импульсом. Это позволяет выделить события с $c\bar{c}$ -парами уже на первом уровне запуска установки. Поэтому аппаратно триггер Т1 разбит на две части, вырабатывающие сигнал параллельно:

- Триггер на основании отсчетов с пучковых сцинтилляционных счетчиков и данных об ионизации в АМ ;

- Триггер на основании отсчетов с крайних пластин сцинтилляционного годоскопа.

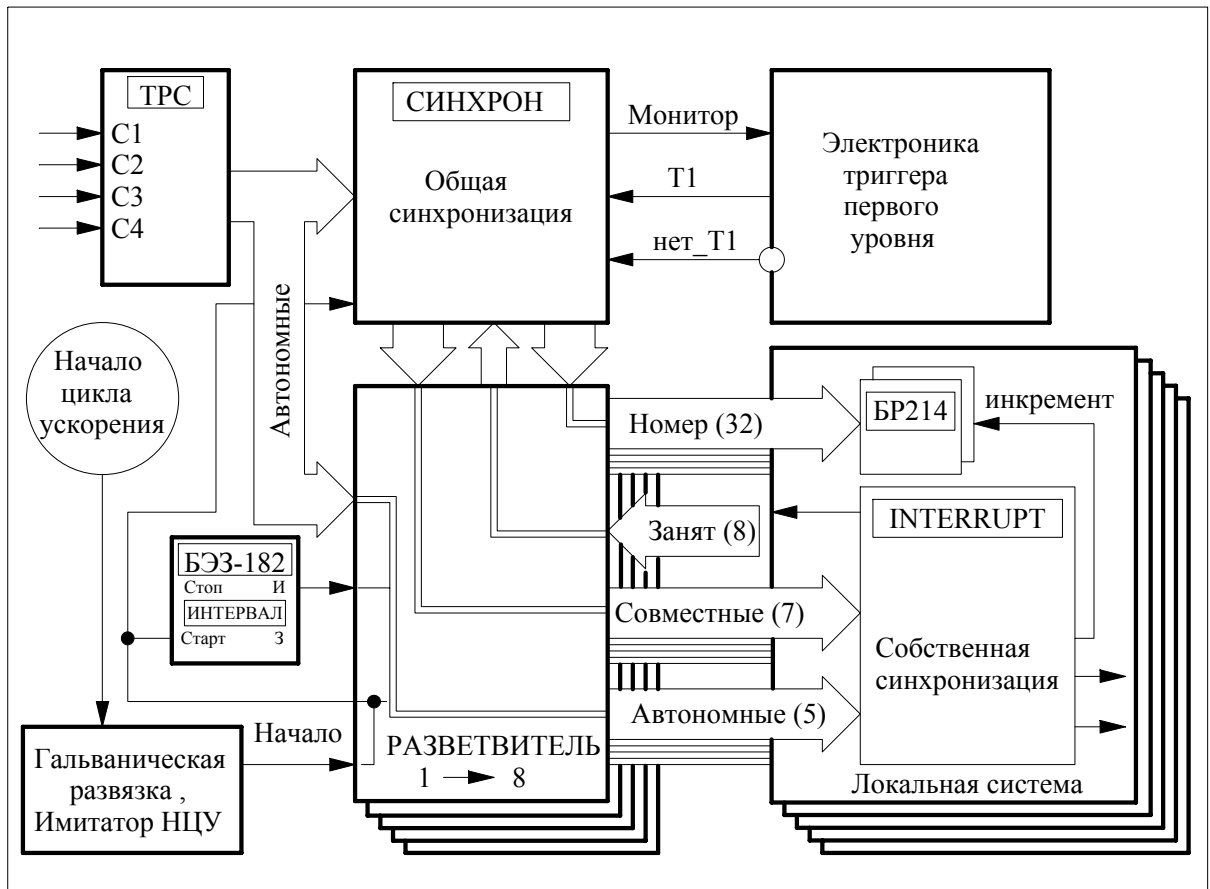


Рис.4. Функциональная схема взаимодействия модулей системы синхронизации.

Моделирование показало, что эффективность триггера T1 для событий с очарованными частицами равна 0.5 , а для фоновых событий 0.16 , т.е. достигается трехкратное обогащение выборки.

Время от момента прохождения частицы через АМ до прихода триггерного сигнала в локальную систему ДЕГА не должно превышать 400 нс. Это самое критичное из условий работы системы запуска.

Электронику запуска можно условно подразделить на четыре части.

1. FrontEnd электроника, включающая в себя предусилители, расположенные в непосредственной близости от детекторов активной мишени, а также промежуточные усилители, расположенные вблизи АМ. Последний каскад промежуточного усилителя имеет прямой и инверсный выходы. Сигнал с положительного выхода поступает на вход модулей ААМ (трехуровневый компаратор) и участвует в выработке триггерного сигнала. Сигнал с отрицательного выхода приходит на вход модулей АЦП, информация с которых поступает в общий поток данных, предназначенных для последующей OFF-LINE обработки.

2. Электроника регистрации, включает в себя модули АЦП П-276К и генератор тактовых импульсов Г-42К. 16-канальный 12-разрядный модуль аналого-цифрового преобразования предназначен для оцифровки сигналов, поступающих с отрицательной ветви промежуточных усилителей. Информация с АЦП использовалась для последующей OFF-LINE обработки.
3. Электроника быстрого анализа, состоит из пяти модулей ААМ (Анализатор Активной Мишени), предназначенных для усиления и быстрой амплитудной дискриминации сигналов, поступающих с положительной ветви промежуточных усилителей.
4. Электроника реализации табличного метода, состоящая из модулей, Т-НОД (Триггер Годоскопа) и ТРМ-2 (Триггер Мишени), разработанных автором.

Схема взаимодействия модулей системы запуска приведена на рис.5.

Результаты применения триггера на рабочем сеансе 2002 г.

Перед началом набора статистики с участием всех детекторов установки, когда скорости сбора данных каждого из детекторов были известны из предыдущих пуско-наладочных сеансов, были проведены расчеты, позволяющие оптимизировать скорость набора. При средней множественности события $M=6$ локальная система VERTEX тратила 3.5 мс на обработку одного триггера, локальная система SPECTRO – 2.5 мс, локальная система DEGA – 5.5 мс, а локальная система TRIGGER тратила 1.4 мс. «Прозрачность» мишени, используемой в сеансе, составляла 0.55%, т.е. триггер срабатывал примерно на каждый 200-й входной протон. При интенсивности входного пучка 10^6 протонов/сек и длительности сброса 1.2 сек, триггер мог бы пропустить около 6000 событий за сброс, если бы не мертвое время, требующееся на опрос крейтов и передачу данных в компьютеры. Если локальная система TRIGGER работает автономно, то при данной интенсивности она может набирать за сброс до 700 событий.

Основная статистика на сеансе 2002 года была набрана при триггере, требующем наличие трех и более частиц в любой из пяти плоскостей активной мишени и наличие двух и более частиц в следующей за ней плоскости. Модули ААМ имели динамический диапазон, соответствующий пяти частицам. Пороги ААМ были настроены на одну, две и три частицы соответственно. Первая плоскость мишени не объявлялась охранной, поэтому в статистке редко, но встречаются события с вершиной в последних пучковых плоскостях ПВД.

Всего на установке в составе вершинного детектора, магнитного спектрометра, детектора гамма-квантов, черенковского детектора и сцинтилляционного годоскопа за 30 суток работы было набрано около 56 млн. событий с неупругими pN -взаимодействиями, что соответствует чувствительности экспериментальной установки 1600 событий/мкбн [20].

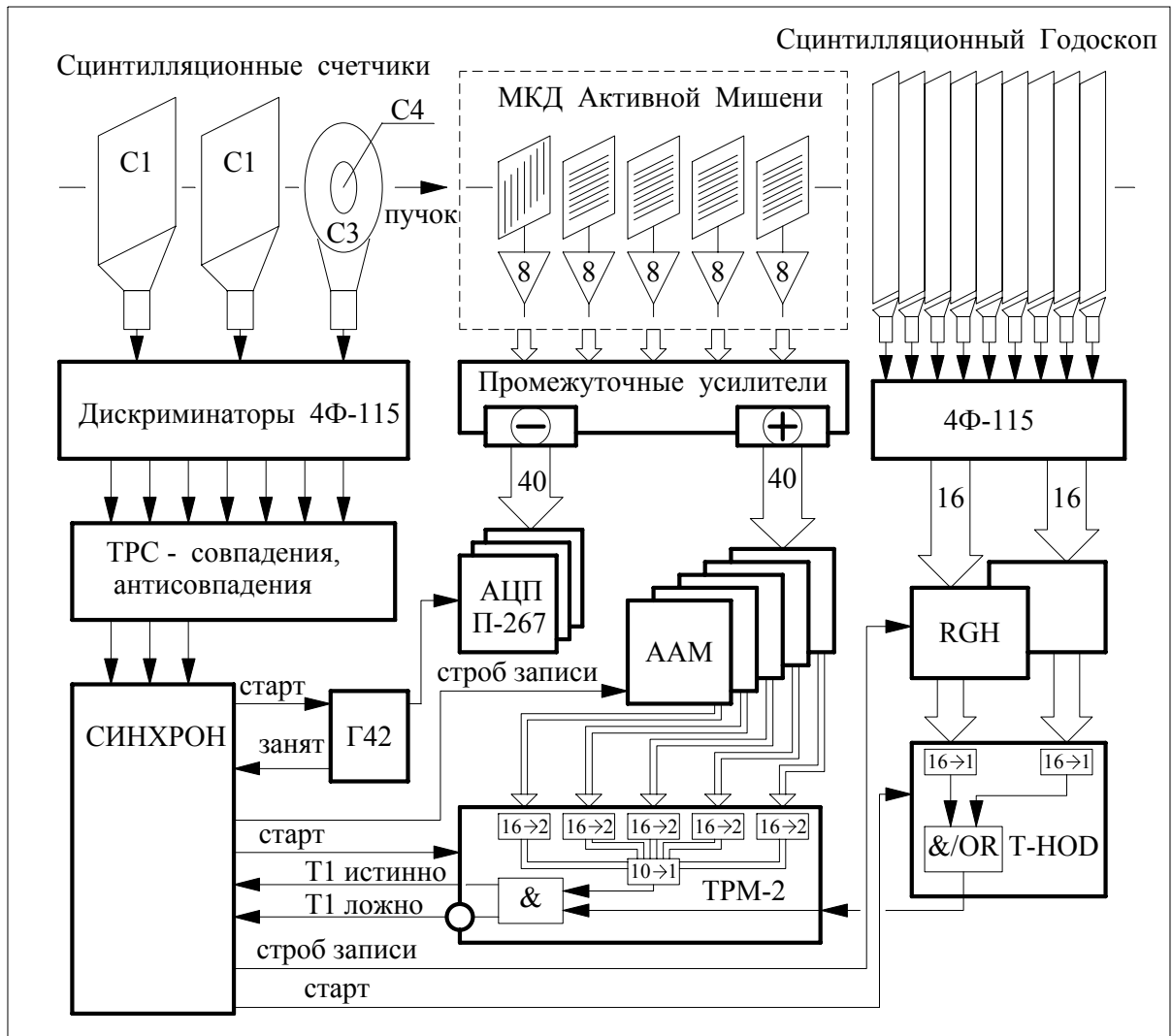


Рис.5. Схема взаимодействия модулей системы запуска.

На рис.6. показано пространственное распределение вдоль оси Z вершин взаимодействия, полученное с помощью восстановленных в ПВД треков. Явно видны взаимодействия как в пластинах кремния, так и в пассивных мишенях углерода и свинца, в соответствии с количеством вещества в этих слоях [21].

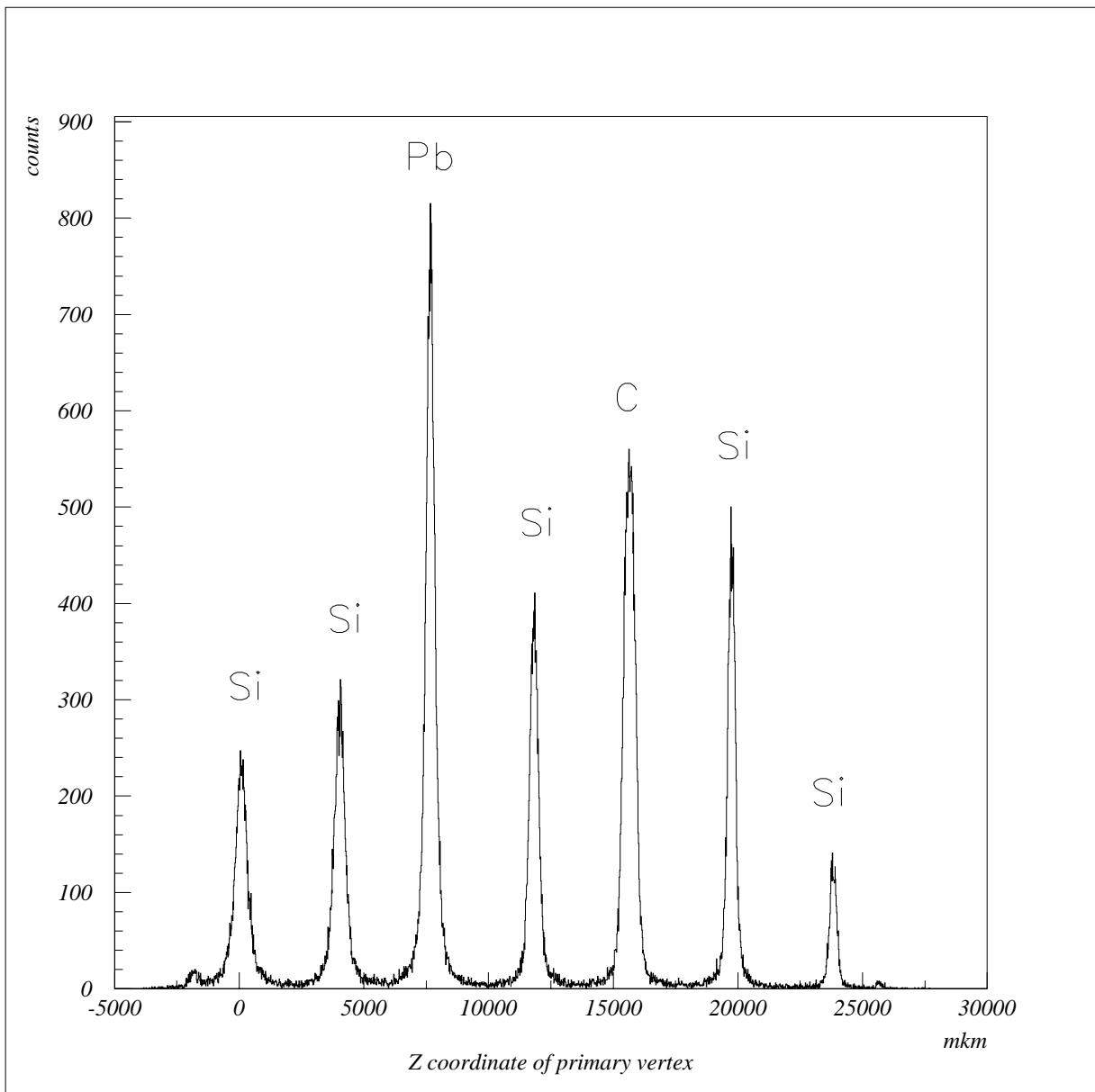


Рис.6. Пространственное распределение вершин взаимодействия вдоль оси Z в активной мишени.

В третьей главе описано применение системы запуска для отбора событий с большой множественностью на жидководородной мишени. Задачей триггера первого уровня в проекте «ТЕРМАЛИЗАЦИЯ» является выделение событий в водородной мишени с большой (больше 20) множественностью при интенсивности пучка первичных протонов порядка $5 \times 10^6 - 1 \times 10^7$ частиц за сброс, используя для запуска информацию со сцинтилляционных счетчиков пучка, а также данные об ионизации с триггерного детектора, построенного из девятнадцати сцинтилляционных пластинок в виде лепестков толщиной 1.8 мм. В центре детектора имелось отверстие диаметром 3.2 мм для прохождения пучка. Этот детектор

располагался непосредственно за водородной мишенью. Из опыта предыдущих сеансов следовало, что простое измерение ионизации в триггерных плоскостях не дает точного ответа относительно множественности события и, кроме того, большим источником фона являются ядерные события с медленными частицами, дающие большую ионизацию и относительно малое число релятивистских частиц. В задачу триггера 1-го уровня входил быстрый подсчет числа вторичных частиц, прошедших в апертуру триггерного детектора.

В целях экономии средств было принято решение адаптировать модули быстрого амплитудного анализа к динамическому диапазону сигналов с триггерного детектора путем применения промежуточных усилителей-трансляторов, а также применения нового триггерного модуля, реализующего табличный метод. Усилители-трансляторы и триггерный модуль были разработаны автором для проведения сеансов 2006-2007 гг.

На рис.7 представлено распределение восстановленных Z -координат вершин взаимодействий. В правой части распределения наблюдаются два пика, первый из которых соответствует стенке водородной мишени, а второй – самому триггерному детектору.

Взаимодействия, произошедшие в триггерном детекторе, не представляют интерес и должны быть исключены, насколько это возможно. Для исключения таких событий потребовалось применение более сложных алгоритмов отбора, реализуемых табличным методом.

На сеансе 2006 года было набрано 2 млн. событий, примерно половина из которых не имеет вершину в объеме водородной мишени. При обработке данных сеанса 2006 года удалось выяснить, что если число каналов триггерного детектора, имеющих тройную ионизацию превышает число каналов с одинарной ионизацией, то с вероятностью 95% взаимодействие произошло в триггерном детекторе или в стенке водородной мишени. В сеансе 2007 года этот критерий был учтен при организации триггерных таблиц, и взаимодействия в триггерном детекторе были практически подавлены до 5%.

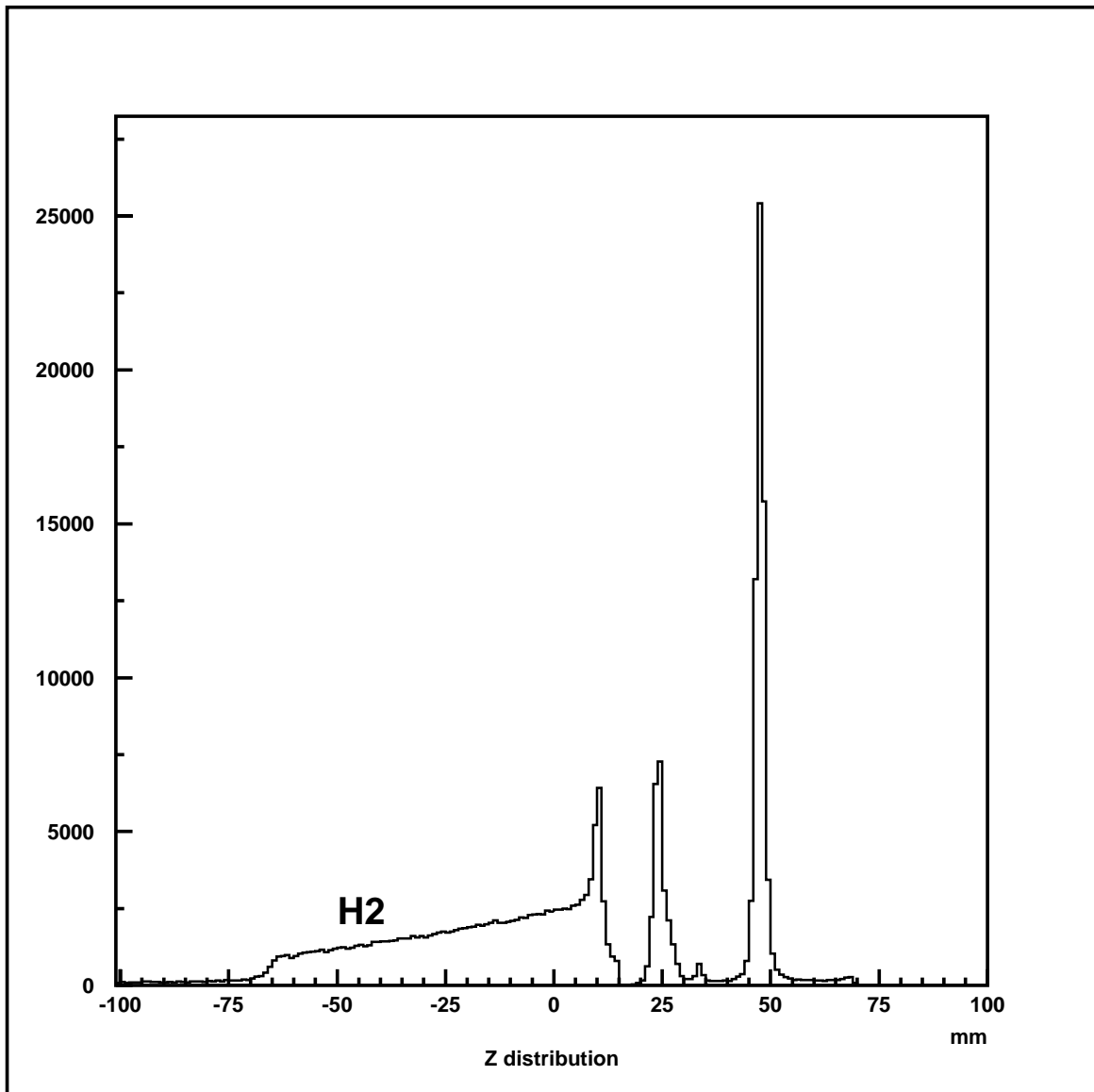


Рис. 7. Распределение восстановленных вершин взаимодействий вдоль оси Z , набранное по триггеру с порогом 2 вторичные частицы.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертационной работы. В диссертации представлено описание системы синхронизации и запуска установки СВД-1 (эксперимент E-161), предназначенной для исследования околопорогового рождения очарованных адронов в pp -взаимодействиях при энергии пучка 70 ГэВ на ускорителе У-70 ИФВЭ.

Эксперимент проводился в рамках сотрудничества ИФВЭ-НИИЯФ МГУ-ОИЯИ-ТГУ в 1984-1994 гг. В результате эксперимента было накоплено более 100 тыс. снимков событий с неупругими взаимодействиями.

В диссертации представлено описание системы синхронизации и запуска установки СВД-2. Эксперимент проводился в рамках сотрудничества ИФВЭ-НИИЯФ МГУ-ОИЯИ в 1999-2007 гг. В результате эксперимента было набрано более 50 млн. событий с неупругими взаимодействиями.

Диссертация является обобщением работ, выполненных автором в рамках сотрудничества СВД в 1984 – 2007 гг. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах [10,11,12,13,14,15,18,19,21], выполненных автором совместно с участниками СВД-объединения и опубликованных в виде препринтов НИИЯФ МГУ, ИФВЭ, ОИЯИ и в журналах.

Результаты работы докладывались на международных конференциях [20], а также на научных семинарах и рабочих совещаниях СВД-объединения, и опубликованы в [7,9,22].

Цитируемая литература.

- [1] Mangano M., Nason P., Ridolfi G. // Nucl. Phys. 1993. V. B405. P. 507.
- [2] Frixione S., Mangano M., Nason P., Ridolfi G. Preprint CERN-TN/97-16, 1997.
- [3] Boniani R., Catani S., Mangano M., Nason P. Preprint CERN-TN/98-31, 1998.
- [4] Brodsky S., Hoyer P., Peterson C., Sakai N. // Phys. Lett. 1980. V. B93. P. 451
Brodsky S., Peterson C. // Phys. Rev. 1981. V. D23. P. 2745.
Brodsky S. // Nucl. Phys. 1995. V. B438. P. 261.
Литвин В.А., Лиходед А.К. // ЯФ. 1999. Т. 62. С. 1
- [5] Beneke M. Preprint CERN-TN/98-202, 1998.
Pineda A., Soto J. // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 1998. V. 64. P. 428.
Beneke M., Smirnov V. A. Preprint CERN-TN/97-315, 1997.
- [6] Андришин А.М., Ардашев Е.Н., Бабинцев В.В. и др.
Препринт ИФВЭ 84-3, Серпухов 1984.
- [8] П.Ф.Ермолов, А.П.Воробьев, С.Н.Головня и др. «Точностные характеристики микрострипового вершинного детектора установки СВД-2» в сб. «Университеты России – Фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра». Издательство МИФИ, М. 2002, с. 89.
- [16] А.Н.Алеев и др. (БИС-2 коллаборация) ЯФ, 1982, т. 35, с. 1175;
ЯФ, 1983, т. 37, с. 1474.
- [17] С.А.Бунятов, Ю.А.Нефедов, ЯФ, 1997, т. 60, с. 1045; В.В.Аммосов и др.
ЯФ, 1991, т. 53, с. 999.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- [7] СВД-объединение. «Экспериментальная оценка сечения образования очарованных частиц в pp-взаимодействиях при 70 ГэВ/с на установке СВД» ЯФ, 2001, т. 64, №5, с. 958-968.
- [9] СВД-объединение. «Изучение узкого барионного резонанса, распадающегося по каналу pK_s^0 в pA-взаимодействиях при 70 ГэВ/с на установке СВД-2». ЯФ, 2005, т. 68, №6, с. 1040-1047; hep-ex/0401024.

- [12] Басиладзе С.Г., Буклей А.Е., Ларичев А.Н., Лефлат А.К. «Система наносекундной потенциальной логики для отбора событий», ПТЭ, 1985, N 6, с.68.
- [19] Е.Н.Ардашев, В.В.Бабинцев, Г.А.Богданова, М.Ю.Волков, А.К.Лефлат, Ю.П.Петухов, А.Г.Холоденко, Ю.П.Цюпа, Н.А.Шаланда. «Прототип системы синхронизации и запуска эксперимента E-161 (СВД-2, спектрометр с вершинным детектором)» ПТЭ, 2001, №4, с.31-37.
- [20] A. Leflat, A. Kubarovsky, V. Mayorov, P. Nomokonov, V. Popov, L. Tikhonova, S. Golovnya, Yu. Tsyupa. «STATUS OF THE EXPERIMENT ON CHARM PRODUCTION IN pp AND pA INTERACTIONS AT 70-GEV WITH SVD-2 SETUP AT IHEP ACCELERATOR.» Nucl.Phys.A699:352-355, 2002.
- [22] «Observation of narrow baryon resonance decaying into $p K^0(S)$ in pA interactions at 70-GeV/c with SVD-2 setup.»
By SVD Collaboration. NPI-MSU-2004-4-743, Jan 2004.
Phys.Atom.Nucl.68:974-981, 2005, Yad.Fiz.68:1012-1019, 2005.

Технические аспекты диссертационной работы опубликованы также в:

- [10] Г.А.Богданова, А.М.Вишневская, В.Ю.Волков, Я.В.Гришкевич, В.А.Крамаренко, А.Н.Ларичев, А.К.Лефлат, С.В.Орфаницкий, С.М.Рузин. «Многопроволочные пропорциональные камеры установки СВД» Препринт НИИЯФ МГУ.97-8/459.Москва, 1997.
- [11] М.Ю.Боголюбский, Л.Л.Курчанинов, А.К.Лефлат и др. «Микростриповые кремниевые детекторы в системе мониторинга и триггирования эксперимента E-161». Препринт ИФВЭ 91-172 ОЭФ. Протвино 1991.
- [13] Г.А.Богданова, М.Ю.Боголюбский, В.Ю.Волков, А.К.Лефлат, С.М.Рузин. «Система синхронизации и триггирования установки "Спектрометр с Вершинным Детектором" (E-161)». Препринт НИИЯФ МГУ-92-32/281. Москва 1992 г.
- [14] Г.А.Богданова, М.Ю.Боголюбский, И.В.Богуславский, В.Ю.Волков, А.К.Лефлат. «Оптимизированный 2-уровневый триггер для выделения событий с очарованными частицами в адрон-адронных взаимодействиях». Сообщение ОИЯИ P1-95-451, Дубна 1995.
- [15] СВД-объединение. «Предложение эксперимента по изучению механизмов образования очарованных частиц в pA -взаимодействиях при 70 ГэВ и их распадов» Препринт НИИЯФ МГУ-99-28/586. Москва 1999 г.
- [18] Е.Н.Ардашев, В.В.Бабинцев, Г.А.Богданова, М.Ю.Волков, А.К.Лефлат, Ю.П.Петухов, А.Г.Холоденко, Ю.П.Цюпа, Н.А.Шаланда. «Система синхронизации и запуска установки СВД-2». Препринт НИИЯФ МГУ 2000-25/629, Москва 2000.
- [21] Е.Н.Ардашев, Г.А.Богданова, В.Ю.Волков, А.В.Кубаровский, А.К.Лефлат, А.Г.Холоденко. «Система синхронизации и запуска установки СВД-2». Препринт НИИЯФ МГУ-2005-14/780. Москва 2005.

СВД-объединение

Институт физики высоких энергий (Протвино)

Ардашев Е.Н., Боголюбский М.Ю., Булгаков Н.К., Буртовой В.С., Васильев М.В., Воробьев А.П., Гавлицкий А.С., Галяев Н.А., Головкин В.Ф., Еремченко Е.Н., Зайцева О.С., Запольский В.Н., Зубков Н.В., Змушко В.В., Иванова Н.А., Кирюнин А.Е., Клочков Б.И., Клюхин В.И., Константинов В.В., Максимов В.В., Минаенко А.А., Моисеев А.М., Платонов В.Г., Плескач А.В., Попов А.И., Роднов Ю.В., Рядовилов В.Н., Холоденко А.Г., Цюпа Ю.П., Чекулаев С.В., Чмиль В.Г.

Институт физики высоких энергий ТГУ

Амаглобели Н.С., Чиладзе Б.Г., Треков И.Ю., Деметрашвили Л.Г.

НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобеляцина МГУ им. М.В.Ломоносова

Басиладзе С.Г., Богданова Г.А., Вишневская А.М., Волков В.Ю., Гришкевич Я.В., Гришина О.В., Ермолов П.Ф.¹, Зверев Е.Г., Зоткин С.А., Козлов В.В., Крамаренко В.А., Кубаровский С.В., Ларичев А.Н., Лефлат А.К., Лютов С.И., Меркин М.М., Орфаницкий С.В., Рыбников В.М., Селиков А.В., Тихонова Л.А.

Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)

Авдейчиков В.В., Богуславский И.В., Бычков В.Н., Гаврищук О.П., Дикусар Н.Д., Еремеев Р.В., Иванов В.Г., Иваньшин Ю.И., Казаренко Е.Н., Кекелидзе Г.Д., Киреев В.И., Косарев И.П., Кокоулина Е.С., Кутов А.Я., Коломийченко А.В., Лобастов С.П., Лысан В.М., Медведь К.А., Мисютин С.И., Никитин В.А., Новиков В.А., Олейник А.А., Петухов Ю.П., Пешехонов В.Д., Руфанов И.М., Самсонов В.А., Сычков С.Я., Толмачев В.Т., Топурия Т.П., Шалыгин А.Б., Шафранов М.Д., Юкаев А.И.

¹ Руководитель эксперимента

Работа поступила в ОНТИ «02» сентября 2008 г.
Цифровая печать. Тираж 100 экз.
Заказ №

Отпечатано в типографии КДУ.
Тел.: (495) 939-40-36. E-mail: press@kdu.ru