

Р-712

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 11433

РОНЖИН
Анатолий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ
С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ
И ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКАХ УСКОРИТЕЛЕЙ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединённого института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат технических наук З.ЦИСЕК

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Д.М.КАЗАРИНОВ,
кандидат физико-математических наук В.И.КРЫШКИН.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Московский инженерно-физический институт.

Защита диссертации состоится " " _____ 1978 года
в _____ часов на заседании Специализированного совета Д-56/3
при Лаборатории ядерных проблем Объединённого института
ядерных исследований, Дубна, Моск. обл.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1978 года

Учёный секретарь Специализированного совета
кандидат физико-математических наук Д.А.БАТУСОВ.

Актуальность проблемы. Одним из основных условий проведения ряда экспериментов на ускорителях является возможность работы аппаратуры с высокой интенсивностью пучков частиц. Это требует разработки методов, способных подавлять влияние загрузок на характеристики детекторов. Экспериментальные возможности физических установок, их предельные параметры определяются, в основном, детекторами. Поэтому улучшение характеристик детекторов является актуальной задачей. Современные экспериментальные установки содержат, как правило, по несколько сот детекторов и блоков наносекундной электроники. Разработка методов, позволяющих сократить время настройки, а также контролировать стабильность работы аппаратуры во время продолжительных экспозиций, является весьма важной задачей.

Основная цель работы. Исследование сцинтилляционных детекторов с высоким временным и пространственным разрешением в экспериментах на интенсивных пучках ускорителей.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1) впервые в реальных условиях физических экспериментов исследовано влияние интенсивности и структуры пучков частиц на временные и амплитудные характеристики сцинтилляционных счётчиков. Разработана методика, позволяющая при статистических нагрузках сцинтилляционных счётчиков до $2 \cdot 10^7$ част/с измерять временные интервалы с точностью до 0,2 - 0,3 нс;

2) исследованы характеристики координатных детекторов больших размеров (длины сцинтилляторов до пяти метров, сечения 10×10 см²) с жидкими сцинтилляторами. В отличие от детекторов с малыми размерами сцинтилляторов временное и пространственное разрешение координатных детекторов в значительной мере определяется количеством света, попадающего на фотокатоды ФЭУ в результате отражения от боковых граней сцинтилляторов. Пространственное разрешение детектора, в котором светосбор осуществляется посредством полного внутреннего отражения (ПВО), составляет 2,5 см (размеры жидкого сцинтиллятора детектора $130 \times 10 \times 10$ см³, энерговыделение в детекторе 30 МэВ). Разрешение детектора по времени пролёта 0,25 нс.

3) впервые реализован способ компенсации влияния размеров

Объединённый институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

сцинтилляторов счётчиков в методике измерений по времени пролёта с помощью пропорциональной камеры;

4) разработано быстродействующее устройство для автоматического измерения кривых совпадений (антисовпадений). Параметры устройства: диапазон изменения задержки 100 нс, мёртвое время — 35 нс + текущее значение задержки, интегральная нелинейность 0,5%;

5) впервые экспериментально показана и аналитически объяснена сильная зависимость формы кривых антисовпадений от загрузки счётчиков антисовпадений. Приведено решение канала антисовпадений, обеспечивающее максимальное подавление фона с минимальными потерями эффективности регистрации полезных событий из-за случайных сигналов в антисовпадательных счётчиках, работающих в условиях больших загрузок;

6) предложен способ контроля аппаратуры, предназначенной для поиска редких событий с помощью реперных π -мезонных и антидейтонных событий;

7) разработанные аппаратурные узлы и проведенные методические исследования способствовали успешному выполнению экспериментов по поиску новых тяжёлых частиц и наблюдению ядер антитрития на протонном синхротроне ИФВЭ, экспериментов по выбиванию ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$ из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Практическая значимость

1) Разработанная нами методика для временного анализа нашла применение в ряде физических установок на ускорителях, т.к. в экспериментах, выполняемых на этих установках, требуется точное спектрометрирование временных интервалов в условиях высоких интенсивностей пучков частиц;

2) разработаны конструкции координатных детекторов больших размеров с жидкими сцинтилляторами, в которых светосбор осуществляется посредством ПВО. На основе разработанных конструкций можно создавать координатные детекторы больших размеров с повышенными пространственно-временными характеристиками при относительно невысокой стоимости детекторов (по сравнению с использованием твердотельных сцинтилляторов);

3) приведенные результаты экспериментального исследования способов компенсации влияния размеров сцинтилляторов счётчиков на их временное разрешение позволяют выбрать оптимальный способ компенсации для конкретной задачи;

4) разработанное быстродействующее устройство для автоматического измерения кривых совпадений (антисовпадений) позволяет ускорить процесс настройки установок, содержащих много детекторов и блоков наносекундной электроники;

5) выполненное аппаратурное решение канала антисовпадений позволяет при заданном уровне подавления минимизировать потери эффективности регистрации из-за случайных сигналов в антисовпадательных счётчиках, работающих при больших загрузках;

6) предложенный способ контроля аппаратуры в эксперименте по поиску новых тяжёлых частиц и антиядер обеспечил возможность: а) осуществить непрерывный экспрессный контроль за работой установки в ходе эксперимента, б) подавить влияние долговременных нестабильностей на точность измерения временных интервалов спектрометром по времени пролёта, в) получить при обработке результатов данные об эффективности регистрации установкой искомых редких событий, определить влияние действия различных критериев на эффективность отбора полезных событий;

7) выполненные методические исследования и разработки способствовали успешному завершению экспериментов по поиску новых тяжёлых частиц и наблюдению ядер антитрития на протонном синхротроне ИФВЭ, экспериментов по выбиванию ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$ из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Материал, изложенный в диссертации, содержит конкретные рекомендации для практического использования.

Автор защищает:

1) положение о возможности измерения временных интервалов при загрузках сцинтилляционных счётчиков до $2 \cdot 10^7$ част/с с точностью 0,2–0,3 нс;

2) результаты исследования параметров ряда жидких органических сцинтилляторов; результаты исследования характеристик жидкостных сцинтилляционных координатных детекторов, для которых разработаны конструкции, обеспечивающие светосбор по принципу ПВО;

3) способ компенсации влияния геометрических размеров сцинтилляторов счётчиков в методике измерений по времени пролёта с помощью пропорциональной камеры;

4) быстродействующее устройство для автоматического измерения кривых совпадений (антисовпадений);

5) решение канала антисовпадений, позволяющее одновременно получить высокий уровень подавления и эффективность регистрации полезных событий при больших нагрузках антисовпадательных счётчиков;

6) способ контроля аппаратуры, предназначенной для поиска редких событий, с помощью частиц, содержащихся в пучке в достаточной мере;

7) результаты исследований ряда детекторов и аппаратурных узлов, связанных с созданием, настройкой и контролем установки для поиска новых тяжёлых частиц и антиядер на синхротроне ИФВЭ, исследования, вызванные поиском варианта и разработкой спектрометра по времени пролёта для экспериментов по выбиванию ^3He , ^3H из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Материал диссертации изложен на 100 страницах, содержит 55 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Общая тенденция развития экспериментальной физики на ускорителях состоит в переходе к изучению процессов и явлений, которые характеризуются всё меньшими и меньшими сечениями. Это, в свою очередь, предъявляет всё большие требования к детекторам — для наблюдения редких процессов необходимо работать при высоких интенсивностях пучков. При больших нагрузках, если не принять специальных мер, детекторы начинают давать сбои.

В 1968 году в период подготовки аппаратуры для экспериментов на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и на протонном синхротроне ИФВЭ перед нами стояла задача — обеспечить измерение временных интервалов с точностью 0,2–0,3 нс в условиях высоких интенсивностей пучков частиц. В литературе (к 1968 г.) имелся ряд экспериментальных данных об изменениях коэффициента усиления, долговременной нестабильности ФЭУ в условиях высоких световых нагрузок фотокатода, которые были получены на импульсных световых или на радиоактивных источниках. Практически отсутствовали экспериментальные данные по временным и амплитудным характеристикам сцинтилляционных счётчиков, полученные в условиях высокой интенсивности на пучках частиц ускорителей. Это побудило провести исследования, на основе которых были разрабо-

таны счётчики, обеспечившие возможность измерения временных интервалов с точностью 0,2–0,3 нс при интенсивности пучка частиц в канале $2,5 \cdot 10^6$ част/с и нагрузке отдельных счётчиков до $2 \cdot 10^7$ част/с. Те же счётчики использовались и в экспериментах, проводимых на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В связи с этим требовалось подобрать такие режимы питания счётчиков, которые обеспечивали бы возможность извлечения неискажённой временной и амплитудной информации от счётчиков независимо от временной структуры пучков частиц. Исследования, выполненные на пучках различных ускорителей и на импульсных световых источниках, показали, что можно обеспечить измерение временных интервалов с точностью 0,2–0,3 нс при величинах среднего анодного тока испытанных типов ФЭУ не более 5 мА. Эффекты нагрузок (изменение усиления и задержки появления выходных сигналов от ФЭУ) в значительной мере можно подавить включением подпитки четырёх последних междинодных промежутков ФЭУ от высокоточных стабилизированных источников напряжения. Для полного исключения эффектов нагрузок в экспериментах нами были приняты следующие дополнительные меры:

1. Во всех сцинтилляционных и черенковских детекторах применялись фотомножители с пониженной величиной темнового тока.
2. Напряжения на счётчиках устанавливались такими, чтобы средняя величина амплитуды выходных сигналов от ФЭУ не превышала 1 В на сопротивлении 100 Ом.
3. Применялись формирователи с низким порогом чувствительности (20 – 50) мВ. Часть формирователей располагалась в непосредственной близости от детекторов, что позволило уменьшить напряжения питания счётчиков и в связи с этим уменьшить средний анодный ток ФЭУ, определяющий нагрузочные характеристики счётчиков.

Измерения, выполненные при различной интенсивности $2 \cdot (10^5 - 10^7)$ част/с, а также при стробировании различных участков длительностей циклов интенсивности, показали, что в этих условиях влияние нагрузки на временные и амплитудные характеристики детекторов исключаются. Результаты этих исследований составляют содержание первой главы.

Во второй главе приводятся результаты исследований характеристик координатных детекторов и двойных сцинтилляционных счётчиков (сцинтиллятор просматривается двумя ФЭУ) со сцинтилляторами на мягкой и твёрдой основе. Для координатных детекторов в качестве рабочего вещества были выбраны мягкие сцинтилляторы, т.к. по

прозрачности они существенно превосходят твердотельные. Были изготовлены и испытаны различные конструкции жидкостных сцинтилляционных координатных детекторов (длины сцинтилляторов 0,7 - 5 метров, сечения $10 \times 10 \text{ см}^2$). Экспериментально показано^{3/}, что разрешение координатных детекторов в значительной мере определяется количеством собранного непрямого света, в отличие от детекторов с малыми размерами сцинтилляторов, разрешение которых определяется прямым светом.^{13/} Оптимальные характеристики получены с детектором, в котором светосбор в жидком сцинтилляторе осуществляется с помощью полного внутреннего отражения. Сцинтилляторы двойных счётчиков имели относительно малые поперечные размеры (около 10 см) поэтому в них применялись только твердотельные пластики.

В детекторах с большими размерами сцинтилляторов существенным является временной разброс, обусловленный зависимостью времени появления выходного сигнала ФЭУ от координаты прохождения частицы через сцинтиллятор. В такой ситуации для получения временного разрешения 0,2-0,3 нс необходимо компенсировать влияние размеров сцинтилляторов счётчиков на временное разрешение спектрометров по времени пролёта.^{13, 14/}

В ряде экспериментов влияние размеров сцинтилляторов счётчиков на временное разрешение спектрометров по времени пролёта компенсировалось нами суммированием аналоговых сигналов время-амплитудных преобразователей. Измеренная точность компенсации по этому методу составляет 0,1 нс при изменении координаты прохождения частицы через детектор на величину порядка 1 метра. Нами был реализован способ компенсации геометрии сцинтилляторов счётчиков в методике измерений по времени пролёта с помощью пропорциональной камеры.^{5/} Экспериментально показано, что способ позволяет в значительной мере исключить влияние размеров сцинтилляторов счётчиков на их временное разрешение. В ряде экспериментов^{8, 9/} применялся способ компенсации с помощью схем компенсации геометрии (СКГ). Точность компенсации составляет около 0,1 нс при линейных размерах сцинтилляторов порядка одного метра.^{13/}

Опыт работы с рассмотренными методами компенсации позволяет сделать некоторые выводы об их преимуществах и недостатках. Наиболее простым и надёжным является способ суммирования сигналов время-амплитудных преобразователей, т.к. реализуется на основе стандартных блоков электроники. Способ является также и наиболее удобным с точки зрения возможности контроля основных

узлов время-пролётных спектрометров. Важным преимуществом схемного способа компенсации является быстрое действие (задержка выходного сигнала относительно входных около 50 нс). Схемный способ позволяет получить сигнал от счётчика (с длиной сцинтиллятора порядка метра), с точностью 0,2-0,3 нс, привязанный к моменту прохождения частицы через сцинтиллятор. Необходимость в таком сигнале может возникнуть при запуске других трековых детекторов (дрейфовых камер, сцинтилляционных годоскопов на годоскопических ФЭУ и т.д.). И, наконец, способ компенсации с помощью пропорциональных камер позволяет получить максимально возможную точность компенсации. Это связано с тем обстоятельством, что известны две координаты точки входа частицы в детектор. В остальных способах компенсируется, как правило, один из поперечных размеров сцинтилляторов, обычно максимальный.

Третья глава посвящена методам временного согласования сигналов от детекторов, работающих при больших нагрузках. При настройке современных установок, создаваемых для проведения экспериментов по физике высоких энергий, как правило, возникает задача временного согласования сигналов от детекторов частиц и подбора задержек сигналов в схемах электронной логики. Эти процедуры иногда требуют значительных затрат времени, если их производить вручную. Для уменьшения затрат времени было разработано и применялось устройство для автоматического измерения кривых совпадений (антисовпадений).^{4/} Параметры устройства: диапазон изменения задержки 100 нс, максимальное мёртвое время 135 нс, интегральная нелинейность не хуже 0,5%. Скорость набора информации определяется быстродействием кодировщика и, например, при работе с кодировщиком БАП-6 данное устройство за несколько секунд позволяет определить положение центра тяжести кривой совпадений с точностью 0,2 нс при разрешающем времени 10 нс.

При проведении экспериментов в условиях больших нагрузок нередко возникает необходимость реализации эффективных антисовпадений. Эффективными назовём антисовпадения, которые позволяют получить максимальное подавление (относительная скорость счёта в минимуме кривой антисовпадений) с минимальной потерей эффективности регистрации полезных событий из-за случайных сигналов в счётчике антисовпадений (относительная скорость счёта вне пределов разрешающего времени кривой антисовпадений). Рассмотрим задачу получения эффективных антисовпадений на примере экспери-

мента по поиску новых тяжёлых частиц и антиядер. Одна из проблем в эксперименте заключалась в получении эффективного триггера, запускающего установку на регистрацию однозарядных частиц ($z = -1$) с импульсом 25 ГэВ/с и массой, превышающей массу антипротона. Для этой цели использовались два газовых пороговых черенковских счётчика, давление в которых устанавливалось так, чтобы они эффективно регистрировали все "лёгкие" частицы, масса которых меньше массы антидейтона. Доля "лёгких" частиц в пучке более, чем на шесть порядков величины, превышала долю антидейтонов. Интенсивность по монитору, состоящему из семи сцинтилляционных счётчиков, составляла $2,5 \cdot 10^6$ част/с, загрузка пороговых счётчиков, включённых на антисовпадения с монитором, достигала 10^7 част/с. Необходимо было обеспечить подавление "лёгких" частиц до уровня 10^{-6} с минимальными потерями эффективности регистрации полезных событий.

Максимально достижимый уровень подавления в схемах антисовпадений определяется физической и схемной неэффективностью. Физическая неэффективность антисовпадений задаёт предельный уровень подавления, который может быть достигнут в данных условиях опыта. В нашем случае этот уровень определялся случайными совпадениями в мониторе и долей антидейтонов в пучке. Если предположить, что физическая неэффективность отсутствует, то уровень подавления, который достигается в схемах антисовпадений, определяется схемной неэффективностью. К моменту проведения наших исследований было показано, что использование в каналах антисовпадений устройств, формирующих сигналы по амплитуде и длительности, позволяет ликвидировать причины схемной неэффективности антисовпадений, если длительность выходных сигналов формирователей превышает их мёртвое время. В таких схемных условиях были измерены кривые антисовпадений при малой загрузке счётчиков. Измеренные кривые имеют обычный вид, т.е. склоны кривых определяются фронтами сформированных сигналов и разбросом времён их появления, а область плато в минимуме кривых примерно соответствует разности длительностей сформированных сигналов в канале антисовпадений и в мониторе. С увеличением интенсивности измеренные в тех же схемных условиях кривые антисовпадений становятся существенно асимметричными. При интенсивности по монитору $2,5 \cdot 10^6$ част/с и загрузке пороговых счётчиков 10^7 част/с скорость счёта изменяется на одном склоне кривой антисовпадений на

порядок величины с изменением задержки в мониторе на 0,5 нс, а на другом – на 4 нс. Анализ формы кривых антисовпадений показал, что характер изменения крутого склона кривой обусловлен разбросом времён появления сигналов в пороговом черенковском счётчике и в мониторе, а пологого – статистикой временного распределения сигналов в пороговом черенковском счётчике. С увеличением длительности сформированного сигнала в канале антисовпадений (при фиксированном мёртвом времени) уровень счёта в минимуме кривых антисовпадений уменьшается, но одновременно уменьшается и относительная скорость счёта вне пределов разрешающего времени кривых антисовпадений (т.е. растут потери эффективности регистрации полезных событий).

Результаты анализа формы кривых антисовпадений при больших загрузках детекторов показали, что для получения эффективных антисовпадений необходимо минимизировать длительность и разброс времён появления сформированных сигналов монитора и пороговых черенковских счётчиков. Кроме того, необходимо, чтобы продлевание сформированного сигнала антисовпадений происходило только в его части (величина которой равна разности длительности и мёртвого времени), которая должна быть достаточной для прикрития длительности и разброса времён появления сигналов монитора.

Применение разработанных сцинтилляционных счётчиков с высокими временными и загрузочными характеристиками, соответствующих черенковских счётчиков, а также соответствующее схемное решение канала антисовпадений позволило в эксперименте по поиску новых тяжёлых частиц и наблюдению ядер антитрития получить следующие результаты. Подавление, полученное с помощью двух черенковских счётчиков составило 10^{-6} , а потери эффективности регистрации из-за случайных сигналов в пороговых черенковских счётчиках не превышали 15% при интенсивности по монитору $2,5 \cdot 10^6$ част/с и загрузке черенковских счётчиков до 10^7 част/с.

В четвёртой главе рассмотрены применения разработанной методики в экспериментах на ускорителях: поиск варианта и разработка время-пролётного спектрометра, применявшегося в экспериментах по выбиванию ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$ из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне ЛЯП ОИЯИ, а также аппаратура в установке для экспериментов по поиску новых тяжёлых частиц, наблюдению ядер антитрития на протонном синхротроне ИФВЭ. Рассмотрен ряд специальных приёмов и аппаратурных узлов, применявшихся для настройки уста-

новки и контроля её работоспособности в ходе выполненных экспериментов.

Для эксперимента по выбиванию ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$ из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне ЛЯП ОИЯИ требовалось разработать время-пролётный спектрометр, обладающий большой светосилой, хорошим разделением по скорости частиц во всём требуемом диапазоне импульсов, а также вносящий в пучок минимально допустимое количество вещества. Выполненные исследования позволили создать время-пролётный спектрометр с временным разрешением 0,35 нс при загрузках базовых счётчиков до 10^7 част/с (толщина по пучку сцинтиллятора первого базового счётчика 5 мм, поперечные размеры 60×50 мм²). С помощью этого спектрометра были измерены импульсные спектры ядер ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$, испускаемых при взаимодействии протонов с энергией 670 МэВ с ядрами.

Эксперименты по поиску новых тяжёлых частиц и антиядер были выполнены в пучке отрицательно заряженных частиц, генерируемых протонами с энергией 70 ГэВ на внутренней мишени ускорителя. Для проведения эксперимента была создана установка, позволяющая регистрировать частицы с зарядом $Z = -1$ в диапазоне масс 2 - 10 масс протона в условиях высокой фоновой загрузки "лёгкими частицами" (π , K , p). Идентификация частиц по массе производилась двумя независимыми методами: путём измерения времени пролёта и угла черенковского излучения при фиксированном импульсе. Чтобы обеспечить надёжное выделение тяжёлых частиц ($m_x \geq 3m_p$) среди 10^{11} - 10^{12} более лёгких частиц, производилась многократная очистка пучка анализирующими магнитами, двукратное определение импульса частиц, измерение скорости частиц несколькими независимыми детекторами, а также контроль каждого события по большому числу параметров. Установка работала на линии с ЭВМ, которая обеспечивала возможность обработки данных и контроля основных узлов установки в реальном времени, что является необходимым условием при выполнении длительных прецизионных измерений на ускорителе.

Установка содержала следующие основные узлы: магнитооптический канал; системы мониторинга пучка и предварительного отбора событий (триггер); спектрометр по времени пролёта (СВП); многоканальный и дифференциальный черенковские счётчики (МЧС и ДЧС); система амплитудно-временного анализа; аппаратура сопряжения с ЭВМ.

Проходящие через канал частицы регистрировались монитором,

состоящим из семи сцинтилляционных счётчиков, расположенных по каналу равномерно на базе длиной 100 метров. Три счётчика монитора были выполнены двойными и использовались также в системе амплитудно-временного анализа. Для предварительной дискриминации лёгких частиц на антисовпадения с монитором включались два газовых пороговых черенковских счётчика C_1 и C_3 , образуя триггер $\overline{MC_1C_3}$. В двух других пороговых черенковских счётчиках давление устанавливалось так, чтобы они эффективно регистрировали все лёгкие частицы, а также антидейтоны.

Триггеры $\overline{MC_1C_3}$ поступали на запуск время-пролётного спектрометра, многоканального и дифференциального черенковских счётчиков и системы амплитудно-временного анализа. Измерение скоростей частиц производилось с помощью СВП (содержащего три счётчика V_1 , V_2 , V_3) на полной базе (102 метра) и двух полубазах (52 и 50 метров). С целью исключения эффектов загрузок сцинтиллятор счётчика V_1 , расположенного в начале канала, был разделён на две изолированные друг от друга по свету части, каждая из которых просматривалась своим ФЭУ. Для улучшения временного разрешения каждый из сцинтилляторов счётчиков V_2 и V_3 просматривался четырьмя фотоумножителями. Разрешение спектрометра по времени пролёта было не хуже 0,3 нс по всем базам при интенсивности пучка частиц в канале $2,5 \cdot 10^6$ част/с.

Независимое определение скорости частиц производилось с помощью МЧС (в интервале масс $1,6m_p \leq M_x \leq 3,3m_p$) и ДЧС, настроенного на регистрацию антитрития.

Во всех детекторах в установке (кроме МЧС) использовались ФЭУ ХР 1020 и ХР 1023, оптимизированные по временному разрешению и загрузочным характеристикам.

В каждом событии по триггеру $\overline{MC_1C_3}$ в системе амплитудно-временного анализа регистрировалась следующая информация: временные отметки и амплитуды сигналов от двойных сцинтилляционных и пороговых черенковских счётчиков, времена пролёта СВП на полной базе и двух полубазах, временные отметки и амплитуды сигналов от ФЭУ ДЧС, координаты от годоскопических ФЭУ МЧС, амплитуды сигналов от базовых счётчиков, а также до 40 логических признаков. Вся принятая информация с помощью аппаратуры сопряжения передавалась в ЭВМ.

В данной постановке опыта частица, идентифицируемая как антиядро или новая тяжёлая частица, должна пройти через весь канал

с заданной постоянной скоростью, вызвать срабатывание монитора, не сопровождаемая срабатыванием ни одного порогового счётчика, в сцинтилляционных счётчиках вызвать сигнал, соответствующий прохождению релятивистской однозарядной частицы, и не сопровождаемая другими частицами в пределах разрешающего времени нашей аппаратуры. Отбор таких частиц производился по ряду критериев. Одним из эффективных критериев отбора оказалось требование постоянства скорости частиц на участке канала между двойными счётчиками. Эффективность данного критерия отбора по отношению к истинным частицам составила 99%, а коэффициент подавления фона - 20. Применение ко всей набранной статистике данного критерия отбора в сочетании с информацией о срабатывании только одной из половин счётчика V_1 и информацией от пороговых черенковских счётчиков C_1-C_4 , оставило 28 событий (из $5 \cdot 10^5$ зарегистрированных триггеров $M\bar{C}_1\bar{C}_3$). Использование информации от СВП (даже если не привлекать информацию от МЧС и ДЧС) позволило однозначно идентифицировать 24 события, как антидейтоны и 4 - как ядра антитрития. Среди $3,75 \cdot 10^{11}$ частиц, пропущенных через установку в ходе эксперимента, не было зарегистрировано ни одной новой тяжёлой частицы с массой, превышающей массу ядер антитрития.

Проведение длительных прецизионных временных измерений в условиях высокой интенсивности пучка предъявило повышенные требования к долговременной стабильности аппаратуры и контролю основных условий эксперимента. Для выполнения этих требований был предпринят ряд специальных мер, которые заключались в следующем:

I. В качестве теста для проверки установки, предназначенной для поиска редких событий, были выбраны события, отвечающие прохождению через установку π^- -мезонов. Эти события, в количестве 3 - 5 штук за цикл подмешивались к триггерам $M\bar{C}_1\bar{C}_3$, содержащим антидейтоны с примесью фона. Разница в массах π^- -мезона и антидейтона является абсолютной величиной. Это обстоятельство и использовалось нами как основной тест для проверки и контроля правильности работы аппаратуры (например, в спектре по времени пролёта постоянная разница в массах π^- -мезона и антидейтона должна обеспечивать постоянство измеряемого временного интервала $t_d - t_{\pi^-}$). Информация от реперных π^- -мезонов позволяла экспрессно контролировать работу всей установки в ходе эксперимента, а при обработке полученных результатов подавить влияние долговременных нестабильностей (изменений температуры, напряже-

ния в сети и т.д.) на точность измерения временных интервалов СВП. Информация от реперных π^- -мезонных событий позволила также получить данные об эффективности регистрации установкой искомым редких событий.

2. Дополнительный контроль трактов амплитудно-временных измерений осуществлялся на π^- -событиях, для которых сигнал монитора, открывающий линейные ворота, задерживался на 70 нс. При этом в случае отсутствия сигнала на входе линейных ворот регистрировался пьедестал, а при наличии случайного сигнала - некоторое значение амплитуды A . Таким образом непрерывно регистрировался узкий реперный пик пьедесталов, по которому контролировалась стабильность нулевых уровней в трактах для амплитудных измерений и накапливалась статистика случайных срабатываний детекторов.

3. Для автоматического контроля и измерения потерь эффективности из-за случайных сигналов в антисовпадетельных счётчиках была разработана и применялась управляемая электронная задержка, которая по сигналу от ЭВМ (1 раз в час) изменяла временную отметку сигнала монитора на фиксированную величину.

4. Для устранения возможных перегрузок аппаратуры, обусловленных флуктуациями интенсивности, регистрировались показания 30 пересчётных приборов, длительность и абсолютное время каждого цикла интенсивности, время внутри цикла интенсивности для каждого отобранного события, а также интенсивность во временном интервале I мкс до и после каждого отобранного события.

5. Все детекторы в установке были снабжены импульсными световыми источниками. Сигналы от световых источников скоррелированы по времени и амплитуде так, чтобы имитировать прохождение через установку π^- -мезона. Как правило, установка работала от световых источников во время вынужденных остановок ускорителя, что позволяло дополнительно контролировать долговременный дрейф аппаратуры, а также держать установку в постоянной готовности к работе.

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

I. Впервые исследовано влияние интенсивности и структуры пучков частиц на временные и амплитудные характеристики сцинтилляционных счётчиков. Изложенный в диссертации механизм изменения усиления и времени появления сигналов от счётчиков, работающих в условиях больших нагрузок, подтверждается расчётом и экспериментальными данными. Экспериментально исследованы способы, позволя-

щие подавить влияние больших нагрузок на характеристики сцинтилляционных счётчиков. Разработана методика, позволяющая при нагрузках сцинтилляционных счётчиков до $2 \cdot 10^7$ част/с измерять временные интервалы с точностью 0,2–0,3 нс.

2. Исследованы параметры ряда жидких органических сцинтилляторов. Разработаны и испытаны координатные детекторы больших размеров (длины сцинтилляторов до пяти метров, сечения 10×10 см²) с жидкими сцинтилляторами. Экспериментально исследовано влияние условий светособирания на пространственное и временное разрешение жидкостных сцинтилляционных координатных детекторов. Показано, что в отличие от детекторов с малыми размерами сцинтилляторов (< 10 см) разрешение координатных детекторов в значительной мере определяется количеством собранного прямого света. Разработаны конструкции жидкостных сцинтилляционных координатных детекторов, в которых светосбор осуществляется по принципу ПВО. Результаты по временному и пространственному разрешению, полученные на примере жидкостного координатного детектора с размерами сцинтиллятора $130 \times 10 \times 10$ см³, являются лучшими в мировой практике для детекторов подобного типа.

3. Впервые реализован способ компенсации размеров сцинтилляторов счётчиков в методике измерений по времени пролёта с помощью пропорциональной камеры.

4. Разработано устройство для автоматического измерения кривых совпадений (антисовпадений). Параметры устройства: диапазон изменения задержки 100 нс, мёртвое время 35 нс + текущее значение задержки, интегральная нелинейность не хуже 0,5%.

5. Впервые экспериментально показана и аналитически объяснена зависимость формы кривых антисовпадений от загрузки счётчиков антисовпадений. Приведено аппаратное решение канала антисовпадений, позволяющее при больших нагрузках счётчиков антисовпадений получить максимальный уровень подавления с минимальными потерями эффективности регистрации полезных событий.

6. Предложен и применён в эксперименте способ контроля аппаратуры, предназначенной для поиска редких событий, с помощью реперных π -мезонных и антинейтральных событий.

7. Разработанные аппаратные узлы и проведенные методические исследования способствовали успешному выполнению экспериментов по поиску новых тяжёлых частиц и наблюдению ядер антитрития на протонном синхротроне ИФВЭ, а также экспериментов по вы-

биванию ^3He , ^3H из ядер протонами с энергией 670 МэВ на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий (Дубна, 1970 г.), на XV Международной конференции по физике высоких энергий (Київ, 1970 г.), на III Международном симпозиуме по физике высоких энергий и элементарных частиц (Синая, Румыния, 1974 г.), на XVII Международной конференции по физике высоких энергий (Лондон, 1974 г.) и опубликованы в работах /1 – 14/.

1. М. Ю. Казаринов, Р. Ляйсте, Ю. П. Мерекон, В. И. Петрухин,

А. И. Ронжин, Н. Н. Хованский, З. Цисек. ПТЭ, I, 81, 1973.

2. Б. Ю. Балдин, А. И. Ронжин, З. Цисек. ОИЯИ 13-7859, Дубна, 1974.

3. Б. Ю. Балдин, Л. С. Вертоградов, З. В. Крумштейн, М. А. Мусин, В. И. Петрухин, А. И. Ронжин, С. Л. Смирнова, Й. Шялер. ОИЯИ 13-10241, Дубна, 1976 г.

4. B. Yu. Baldin, Z. Cisek, A. Kosciuk, A. I. Ronzhin, M. Szawłowski. Nucl. Instr. and Meth., 105, 157, 1972.

5. Z. Cisek, V. Peshekhonov, A. I. Ronzhin, M. Turala, Yu. Zanevski. Nucl. Instr. and Meth., 93, 493, 1971.

6. Я. В. Гришкевич, З. В. Крумштейн, Р. Ляйсте, Ю. П. Мерекон, З. Мороз, Нго Куанг Зуй, В. И. Петрухин, А. И. Ронжин, Н. Н. Хованский, З. Цисек, М. Шавловски, Г. А. Шелков, Н. К. Вишневецкий, В. Г. Лапшин, В. И. Рыкалин, В. П. Хромов. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий ОИЯИ, Д-5805, Дубна, 1971, стр. 29.

7. В. Боткин, Я. В. Гришкевич, З. В. Крумштейн, Р. Ляйсте, Ю. П. Мерекон, З. Мороз, Нго Куанг Зуй, В. И. Петрухин, А. И. Ронжин, Н. Н. Хованский, З. Цисек, М. Шавловски, Г. А. Шелков, Н. К. Вишневецкий, В. Г. Лапшин, В. И. Рыкалин, В. И. Соляник, В. П. Хромов. Труды XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970.

8. Б. Ю. Балдин, Л. С. Вертоградов, Я. В. Гришкевич, З. В. Крумштейн, Р. Ляйсте, Ю. П. Мерекон, В. И. Петрухин, Д. Позе, А. И. Ронжин, И. Ф. Саменкова, В. М. Суворов, Г. Хемниц, Б. А. Хоменко, Н. Н. Хованский, М. Шавловски, Г. А. Шелков, Й. Шялер, Н. К. Вишневецкий, М. И. Грачёв, В. Г. Лапшин, В. И. Рыкалин, В. И. Соляник, Ю. С. Ходырев, В. П. Хромов ЯФ, 20, 694, 1974.

9. Б. Ю. Балдин, Л. С. Вертоградов, З. В. Крумштейн, Р. Ляйсте, Ю. П. Мерекон, Нго Куанг Зуй, В. И. Петрухин, Д. Позе, А. И. Ронжин, И. Ф. Саменкова, В. М. Суворов, Г. Хемниц, Н. Н. Хованский, Б. А. Хоменко,

- З.Цисек, М.Шавловски, Г.А.Шелков, Й.Шюлер, Н.К.Вишневский, В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, В.И.Соляник. ЯФ, 22, 512, 1975.
10. Л.С.Ажгирей, О.Д.Далькаров, З.В.Крумштейн, Ю.П.Мереков, З.Мороз, Нго Куанг Зуй, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Г.А.Шелков, З.Цисек. *Nucl.Phys.* A195, 581, 1972.
11. Б.Ю.Балдин, В.А.Васильев, Л.С.Вертоградов, В.Клюге, П.Конц, З.В.Крумштейн, Ю.П.Мереков, Нго Куанг Зуй, Д.Позе, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Г.А.Шелков, З.Цисек. Труды IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. ОИЯИ, Д1-5988, Дубна, 1971, стр.52.
12. Б.Ю.Балдин, В.А.Васильев, Л.С.Вертоградов, П.Конц, З.В.Крумштейн, Ю.П.Мереков, Нго Куанг Зуй, Д.Позе, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Г.А.Шелков, З.Цисек. Труды IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. ОИЯИ, Д1-5988, Дубна, 1971, стр.53.
13. Н.К.Вишневский, М.И.Грачёв, И.И.Карпов, В.Г.Лапшин, А.И.Ронжин, В.И.Рыкалин, В.И.Соляник, В.П.Хромов. *ИФВЭ*, 71-86, Серпухов, 1971.
14. Н.К.Вишневский, И.И.Карпов, В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, А.И.Ронжин, В.И.Соляник, В.П.Хромов. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. ОИЯИ, Д-5805, Дубна, 1971, стр.779.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 марта 1978 года.