

83112

К-959

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13-91-131

КУЧИНСКИЙ
Николай Александрович

УДК 539.1.075

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА СПЕКТРОМЕТРА АРЕС
И ПОИСКИ РЕДКОГО ПРОЦЕССА $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$

Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1991

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из главных задач физики элементарных частиц является исследование их редких распадов. Такие эксперименты, наряду с другими исследованиями, позволяют глубоко проникать в понимание законов природы, получать информацию о тонких эффектах взаимодействий, способствуют созданию единой физической картины мира.

К числу процессов, вызывающих постоянный интерес физиков, относятся редкие и запрещенные распады $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$, $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$, $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$, $\pi^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e$. Изучение этих процессов позволяет получить сведения о фундаментальных свойствах пионов и лептонов: проверить справедливость закона сохранения лептонного числа, получить информацию о структуре пиона, различии физических свойств мюона и электрона. Позволяет получить сведения, выходящие за рамки стандартной модели, свидетельствующие о наличии "новой физики".

Ограничения на верхнюю границу вероятности запрещенных процессов дает возможность проверить различные теоретические модели на данном классе процессов, отвергнуть их или дать ограничения на их параметры.

С изучением редких процессов связана проблема создания соответствующей регистрирующей аппаратуры, способной эффективно регистрировать процессы на уровне относительной вероятности $10^{-12} - 10^{-13}$ и ниже. Этим требованиям отвечают спектрометры с 4π геометрией, к которым относится созданный в ЛЯП ОИЯИ магнитный широкоапертурный универсальный спектрометр АРЕС (Анализатор Редких Событий). Спектрометр способен изучать кинематику процессов в большом телесном угле, обладает высокой загрузочной способностью. Это обусловлено использованием в детектирующей системе цилиндрических многопроволочных камер с соответствующей регистрирующей электроникой.

Цель работы. Создание системы регистрирующей электроники пропорциональных камер спектрометра АРЕС, предназначенного для исследования редких процессов распада мюонов и пионов, а также проведения широкой программы исследований в области взаимодействия их с веществом. Проведение на данном спектрометре

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук С.М.Коренченко

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.И.Селиванов

кандидат физико-математических наук В.Д.Лаптев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерной физики Сибирского отделения АН СССР (Новосибирск)

Защита диссертации состоится "___" _____ 1991 г.

в "___" часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Автореферат разослан "___" _____ 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета

доктор физико-математических наук Ю.А.Батусов

поиска трехэлектронного безнейтринного распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ с целью установления верхней границы относительной вероятности распада на уровне $R_{\mu 3e} < 10^{-11}$.

Научная новизна. Создан широкоапертурный магнитный спектрометр АРЕС - уникальная установка для проведения широкой программы исследований, включая изучение редких распадов пионов и мюонов. Создана регистрирующая электроника пропорциональных камер на основе специально разработанной микросхемы К405ХП1 с общим числом каналов регистрации 16 тыс. Предложена и реализована схема компактного размещения электроники в специально разработанных каркасах. Связь между камерами и каркасами выполнена с помощью оригинальных ленточных кабелей изготовленных для данного эксперимента.

На созданном спектрометре АРЕС проведен поиск распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. Получена оценка верхней границы относительной вероятности распада на уровне $R_{\mu 3e} < 3,6 \cdot 10^{-11}$.

Практическая ценность. Создана установка с широкими возможностями, имеющая детектирующий объем диаметром 1040 мм и длиной 600 мм, обеспечивающая большой телесный угол регистрации ($0,7 \cdot 4\pi$ стерад), высокое временное (1 нсек), пространственное (1 - 2 мм) и энергетическое разрешение (1 - 5%).

Разработана и реализована эффективная система регистрирующей электроники пропорциональных камер, способная работать при нагрузках более 10^6 событий/сек. Эксплуатация ее в течении длительного времени (часть электроники эксплуатируется более 10 лет) показала ее высокую стабильность и надежность.

Возможности установки АРЕС в целом и регистрирующей электроники пропорциональных камер в частности подтверждаются проведением эксперимента по поиску распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$, только во время которого аппаратура проработала более 800 часов.

Опыт создания и эксплуатации спектрометра АРЕС может быть использован в исследованиях по физике частиц. Разработка и создание спектрометра АРЕС инициировало работы, положившие начало современному этапу исследований редких процессов на мезонных фабриках.

Автор защищает:

1. Разработку и создание регистрирующей электроники пропор-

циональных камер детектирующей части широкоапертурного магнитного спектрометра на ~ 16 тысяч каналов регистрации.

2. Разработку и создание методики настройки каналов регистрации пропорциональных камер и контроля их параметров.
3. Результат экспериментального исследования распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$

Апробация работы и публикации. Диссертация написана на основе научных работ, выполненных с участием автора в ЛЯП ОИЯИ в период с 1978 по 1990 г. Основные результаты диссертации докладывались на III Международном Совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978 г.), XII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дубна, 1985 г.), III Международной конференции по низким активностям (Братислава, 1985 г.), XIV Международной конференции по низким активностям (Братислава, 1990 г.), на рабочих совещаниях и семинарах и опубликованы в 7 работах: сборниках трудов международных совещаний и конференций, журнале Nucl. Instr. and Meth. и сообщениях ОИЯИ [1-8].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и содержит 110 страниц текста, включая 6 таблиц, 45 рисунков и список цитируемой литературы из 108 наименований.

2 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели работы и описывается структура диссертации.

В первой главе обсуждаются вопросы актуальности исследования редких процессов, в частности распадов $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$, $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$, $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$, $\pi^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e$. Учитывая очень малые относительные вероятности изучаемых процессов, формулируются требования к соответствующей аппаратуре: максимально высокое временное, пространственное и энергетическое разрешение, большой телесный угол регистрации, способность работать при высокоинтенсивных пучках частиц.

К числу установок удовлетворяющих таким требованиям относится широкоапертурный магнитный спектрометр АРЕС (Анализатор РЕдких Событий). Основу трековой системы спектрометра составляет набор из 18 цилиндрических коаксиально расположенных пропорциональных камер диаметром от 128 мм до 629 мм и высотой от 360 мм до 600 мм. Высокое временное разрешение установки обеспечивается тремя сцинтилляционными годоскопами диаметрами 110, 240 и 663 миллиметра. Количество счетчиков в годоскопах соответственно 4, 8 и 24. Ниже приводятся основные характеристики спектрометра АРЕС:

1. Детектирующий объем: диаметр - 1060 мм, высота - 600 мм;
2. Количество каналов регистрации 15 тыс;
3. Количество сцинтилляторов в годоскопе 36 шт;
4. Напряженность магнитного поля до 1,8 Тл;
5. Телесный угол регистрации $0,7 \cdot 4\pi$ стерад;
6. Пространственное разрешение 1 - 2 мм;
7. Временное разрешение 1 нс;
8. Точность определения энергии электронов (70 МэВ) 2,0%;

Общий вид спектрометра показан на рис.1. В состав установки также входит система триггера, системы съема и обработки информации.

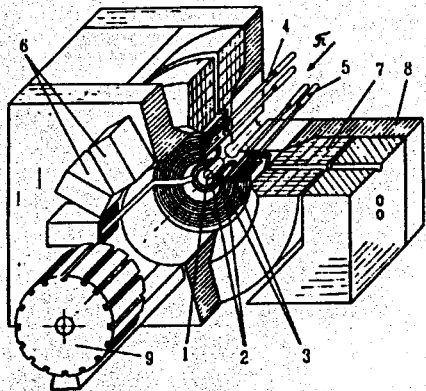


Рис.1. Общий вид спектрометра АРЕС: 1 - мишень; 2 - цилиндрические пропорциональные камеры; 3 - сцинтилляционные счетчики; 4 - световоды; 5 - ФЭУ; 6 - обмотки магнита; 7 - ярмо магнита; 8 - полюса магнита; 9 - электроника камер; 10 - термостабилизированное помещение.

Цилиндрическая геометрия спектрометра:

- обеспечивает большой телесный угол регистрации изучаемых процессов;

- позволяет эффективно использовать рабочий объем магнитного поля;

- обуславливает изотропию свойств спектрометра в плоскости $R-\phi$, что в свою очередь позволяет упростить системы триггера, реализовать быстрые программы фильтрации.

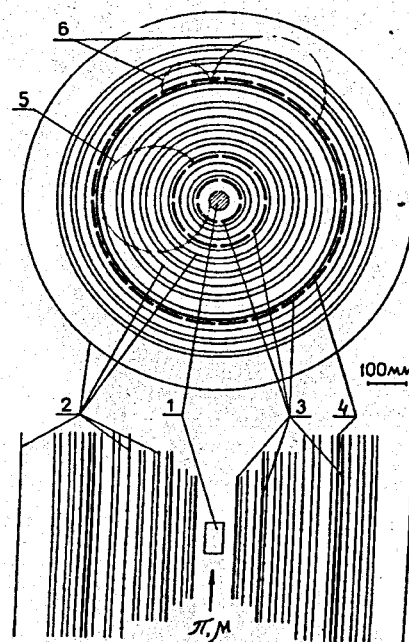


Рис.2. Схема детектирующей части спектрометра.

1 - мишень; 2 - пропорциональные камеры; 3 - сцинтилляторы; 4 - конвертор гамма - квантов; 5 - трек позитрона (электрона); 6 - треки электрон - позитронной пары.

Вторая глава отведена описанию триггера спектрометра. Система запуска установки включает в себя быструю логику использующую сигналы от сцинтилляционных годоскопов и информацию с пропорциональных камер. В связи с тем, что количество элементов детектирующей системы велико, а события многочастичные, использовалась мажоритарная логика. Для отбора по комбинациям сработавших элементов использованы схемы быстрой программируемой памяти K500PE149. Это позволило экономно реализовать логику, которую с помощью стандартных элементов совпадений и антисовпадений организовать очень трудно. При этом значительно сокращается общая задержка триггера.

Очень важно использование детальной информации с пропорци-

ональных камер. Она поступает в быструю логику с выходов БЫСТРОЕ ИЛИ регистрирующей электроники через мажоритарные схемы совпадений. Использование информации с пропорциональных камер в системе триггера для изучения распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ позволило примерно в 300 раз уменьшить число запусков.

В системе триггера важное место занимают спецпроцессоры быстрого отбора событий, поскольку после быстрой логики поток информации, в основном фоновый, еще слишком велик для записи и последующей обработки в ЭВМ. Реализован электронный и программный варианты спецпроцессора. Принцип работы обоих основан на поиске необходимого числа треков с нужной кривизной в событии отобранном быстрой логикой. При этом электронный прибор быстрый (15 мкс) но более грубый, а программный спецпроцессор медленный (5 – 30 мс) но обладает высокой эффективностью идентификации треков.

В третьей главе рассматривается система регистрации и считывания информации с пропорциональных камер спектрометра АРЕС. Регистрирующая электроника пропорциональных камер установки разработана на основе Большой Гибридной Интегральной Схемы (БГИС) К405ХП1. Данная БГИС была разработана в ОИЯИ специально для спектрометра АРЕС и освоена промышленностью. Она представляет собой два независимых полных канала регистрации в одном корпусе, в состав которых входят усилитель, дискриминирующий одновибратор, одновибратор задержки и триггер памяти.

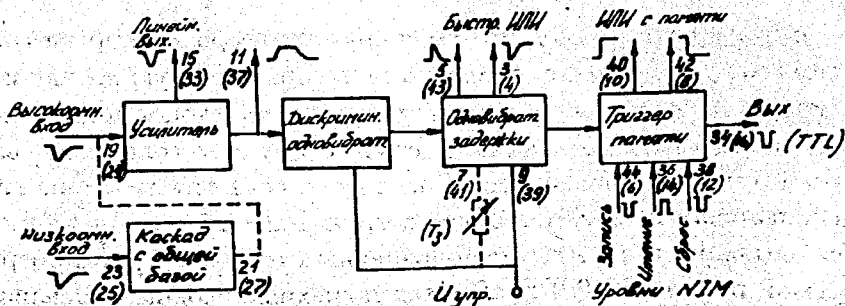


Рис.3. Блок-схема БГИС К405ХП1.

Используя БГИС К405ХП1, разработана плата электроники на

32 канала (ПСИ-32), ставшая основой системы регистрации. Входные сигналы от камер к электронике поступают по специальному ленточному кабелю длиной около 2,5 м. На плате регистрации имеются индивидуальные выходы с триггеров памяти - "координатный тракт", выход с триггеров памяти с объединением проводочек - "спецпроцессорный тракт" и выход БЫСТРОЕ ИЛИ. Сигналы БЫСТРОЕ ИЛИ идут на мажоритарные схемы совпадений быстрой логики, а "спецпроцессорный тракт" предназначен для системы РАСТР.

Платы ПСИ-32 устанавливаются в каркасы. Всего используется 15 каркасов на 35 плат каждый. Блок-схема платы ПСИ-32 и каркаса электроники пропорциональных камер показана на рис.4 и 5.

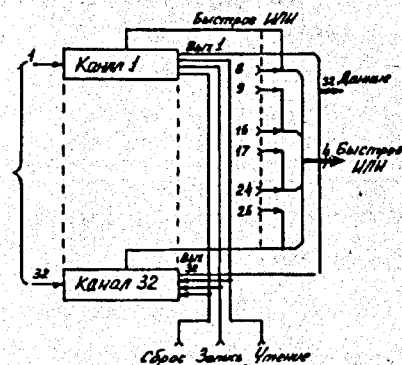


Рис.4. Блок-схема платы ПСИ-32.

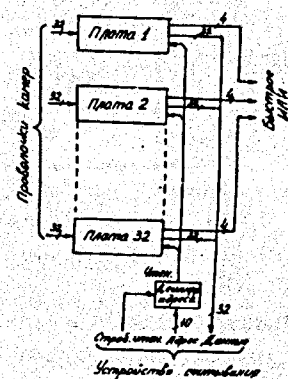


Рис.5. Блок-схема каркаса электроники пропорциональных камер.

Считывание информации с триггеров памяти в блок кодирования КИ018 производится группами по 32 проводочки или поплатно. Чтение идет последовательно по мере возрастания номера камеры. Поскольку информация с одной камеры разбросана по разным каркасам, что определяется техническими условиями, то для организации последовательного опроса камер создана специальная система. Она позволяет обеспечить любую последовательность чтения плат

регистрации либо по наперед заданной программе, либо с управлением от ЭВМ. На рис.6 показана общая схема вывода информации из спектрометра.

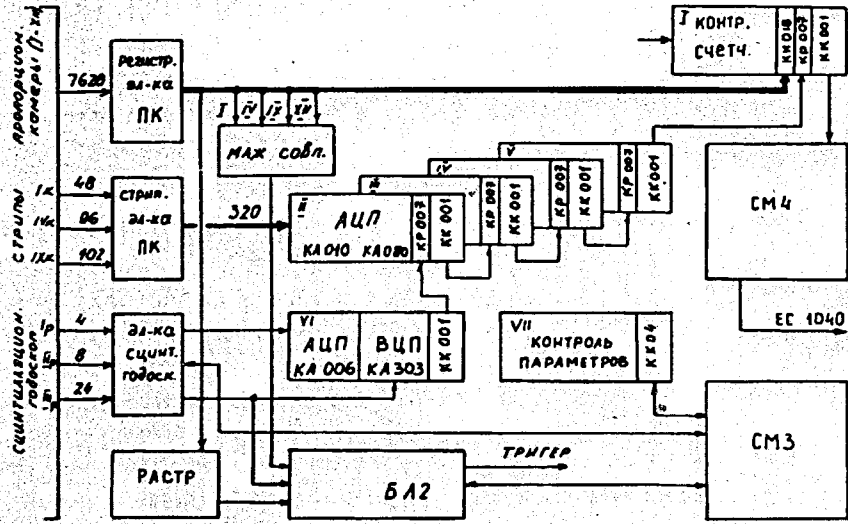


Рис.6. Общая схема организации вывода информации в спектрометре АРЕС.

Четвертая глава отведена рассмотрению вопросов наладки и диагностики регистрирующей электроники пропорциональных камер спектрометра АРЕС. Созданы стенды для определения установки и порогов каналов регистрации с использованием Генераторов Импульсов Нарастающей Амплитуды (ГИНА). Блок-схема такой системы показана на рис.7.

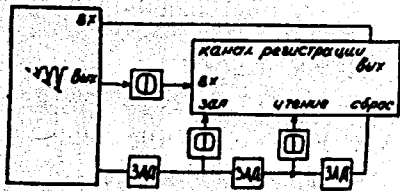


Рис.7. Блок-схема системы для определения порога срабатывания канала регистрации с использованием ГИНА.

Для определения задержек и настройки каналов регистрации по длительности использованы как система работающая в автономном режиме, так и автоматизированный стенд работающий с управлением от ЭВМ. Блок-схема автоматизированного стенда показана на рис.8. Автоматизированный стенд позволяет также определять и пороги срабатывания каналов.

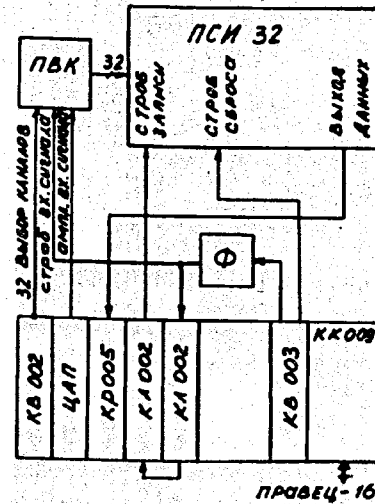


Рис.8. Блок-схема автоматизированного стенда для определения задержек и порогов срабатывания.

Вся информация о характеристиках регистрирующей электроники сохраняется в памяти ЭВМ и используется при необходимости.

В результате проделанной работы каналы регистрации имели порог срабатывания $2 \pm 0,5$ мкА и задержку 550 ± 10 нс при значении управляющего потенциала 1,50 В.

Создан комплекс программ для определения эффективности камер и кривой задержанных совпадений перед и во время набора статистики.

Весь комплекс аппаратуры обеспечил надежную и стабильную работу электроники пропорциональных камер и всего спектрометра во время сеансов по поиску распадов $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$.

Пятая глава посвящена описанию эксперимента по поиску распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. Эксперимент выполнен в ЛЯП ОИЯИ на спектрометре АРЕС. Схема канала пучков и расположение на нем спек-

тронметра показано на рис.9.

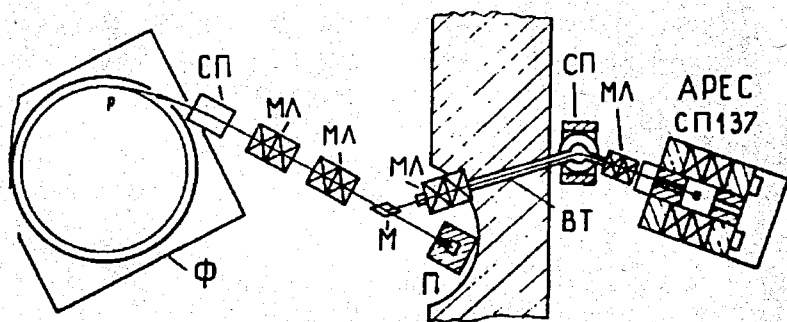


Рис.9. Схема расположения спектрометра АРЕС на пионном пучке фазотрона. Ф - фазотрон; СП - поворотный магнит; МЛ - магнитные линзы; М - мезонообразующая мишень; П - поглотитель; ВТ - вакуумный тракт.

Для проведения эксперимента использовалась сборка из 12 пропорциональных камер с соответствующей электроникой на ~ 8 тыс. каналов. Сечение детектирующей части спектрометра в варианте поиска распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ показано на рис.10. Место, предназначенное 13–18 камерам, заполнено поглотителем для уменьшения фона.

Измерения проводились на пучке пионов с импульсом 170 МэВ/с. Всего было проведено 9 сеансов общей длительностью более 800 часов, из них 500 часов набора статистики. Средняя интенсивность остановок пионов с последующим распадом $\pi \rightarrow \mu\nu$ и остановкой мюона в мишени составила $5,8 \cdot 10^5$ сек. Всего в мишени остановилось и распалось $1,15 \cdot 10^{12}$ мюонов. После отбора быстрой логикой и проверки на наличие электронного трека, производилась запись события на магнитную ленту. Скорость набора статистики составила 1 – 2 в секунду.

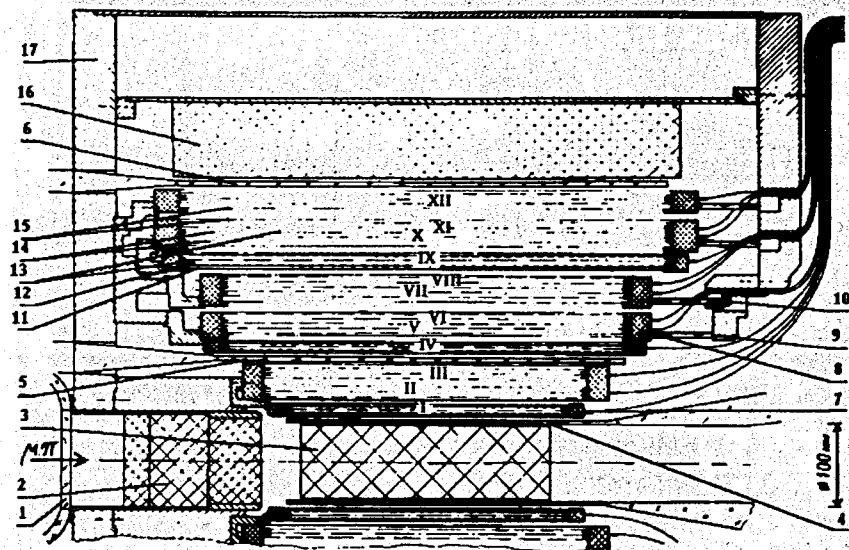


Рис.10. Сечение детектирующей части спектрометра АРЕС в варианте для поиска $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. 1, 4, 5, 6 - сцинтилляционные счетчики; 2 - замедлитель; 3 - мишень; 7, 8 - камеры; 9 - кабели; 10 - юстировочный узел; 11 - опорный цилиндр самоподдерживающейся камеры; 12 - стриповая поверхность; 13 - анодные проволоки; 14 - проволочные катоды; 15 - газовые оболочки; 16 - поглотитель; 17 - общий бокс.

Процесс обработки статистики проходил в несколько этапов. Сначала проверялось соответствие зарегистрированного события триггеру и определялись параметры треков. Третий и четвертый этапы заключались в определении наличия общей вершины для всех частиц в $R - \phi$ плоскости (перпендикулярной оси камер) и в пространстве.

Среди оставшихся примерно 10 тыс. событий больше половины представляют собой баба-рассеяние. Были отброшены и все события в которых было более трех треков или помимо треков имелось более 12 случайно расположенных сработавших проволочек.

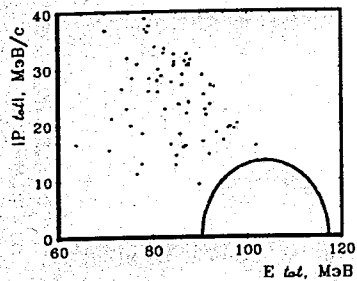


Рис.11. Распределение событий, удовлетворяющих кинематике распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$, по суммарной энергии и импульсу.

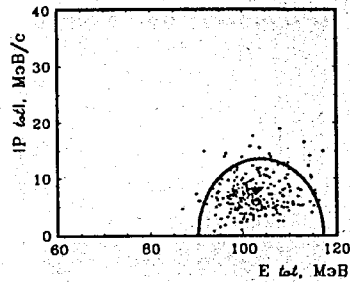
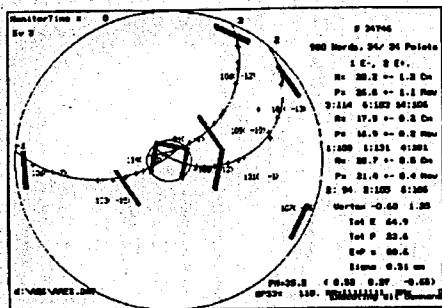
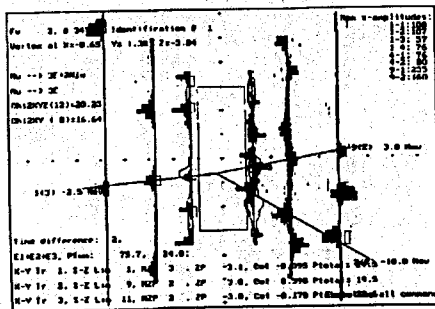


Рис.12. Распределение моделированных событий $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ по суммарной энергии и импульсу.

Оставшиеся 65 событий проверялись на соответствие гипотезам распадов $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ и $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$. На рис.11 и 12 представлены распределения по энергии и импульсу оставшихся и моделированных событий $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. Контуром обозначена область, в которую попадает 90% моделированных событий и которая принята, как область детектирования распада.



а



б

Рис.13. Пример события принимаемого как распад $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$. а) плоскость $R - \phi$, б) плоскость $R - Z$.

Из рис.11 следует, что оставшиеся события это распады $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$ и фон случайных совпадений. Ни одно зарегистрированное событие не может быть интерпретировано как распад $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. На рис.13 приведено одно из событий прошедшее все этапы обработки, которое отнесено к распаду $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$.

Оценка верхней границы относительной вероятности распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ на уровне 90% -ной достоверности, сделанная для случая, когда искомое событие не наблюдается:

$$R_{\mu 3e} = \frac{W(\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+)}{W(\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu)} = \frac{\ln 10}{\epsilon_{\mu 3e} * N_\mu} = 3,6 * 10^{-11}$$

где $\epsilon_{\mu 3e}$ - эффективность регистрации распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ (5,6%) N_μ - число распадов мюонов в мишени ($1,15 * 10^{12}$).

Полученный результат в 50 раз улучшает оценку, сделанную ранее в Дубне, и находится на уровне современных мировых достижений.

Из полученных результатов следует, что наблюдаемое количество распадов $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$ составляет 44. Это соответствует значению вероятности распада $R_{\mu 3e 2\nu} = (3,1 \pm 0,5) * 10^{-5}$.

Данное значение вероятности распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$ находится в согласии с теоретической оценкой ($3,54 * 10^{-5}$) и значением ($3,3 * 10^{-5}$), полученным в работе [27].

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Разработана и создана регистрирующая электроника цилиндрических многопроволочных пропорциональных камер для широкоапертурного магнитного спектрометра АОЕС с общим количеством каналов 15 тысяч. При ее создании использована специально разработанная для целей спектрометра БГИС К405ХП1. Спектрометр представляет собой первую в СССР физическую установку с цилиндрическими камерами и предназначен для проведения широкой программы исследований по физике элементарных частиц и атомного ядра.
2. Создана параллельно-последовательная система считывания с программируемой последовательностью опроса информационных карт.

3. Создана автоматизированная система наладки и диагностики регистрирующей электроники пропорциональных камер.
4. Созданный комплекс аппаратуры использован в эксперименте по поиску распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. За время эксперимента регистрирующая электроника надежно и эффективно проработала более 800 часов на пучке ускорителя.
5. Зарегистрированное в одной экспозиции с $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ количество распадов $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$ соответствует вероятности распада $(3,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$ и находится в согласии с теоретической оценкой $R_{\mu 3e2\nu} = 3,54 \cdot 10^{-5}$ и экспериментом $R_{\mu 3e2\nu} = 3,3 \cdot 10^{-5}$.
6. На основании набранной информации о распавшихся в мишени $1,15 \cdot 10^{12}$ мюонов, в результате обработки сделана оценка верхней границы относительной вероятности (R) распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$ на уровне $R_{\mu 3e} < 3,6 \cdot 10^{-11}$. Этот результат соответствует уровню мировых достижений.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Баранов В.А., Ванко Ю., Евтухович П.Г., Зязюля Ф.Е., Коренченко А.С., Коренченко С.М., Костин Б.Ф., Кравчук Н.П., Кучинский Н.А., Мжавия Д.А., Моисеенко А.С., Некрасов К.Г., Смирнов В.С., Филиппов А.И. и Хомутов Н.В., Система запуска и съема информации спектрометра АРЕС. В сб.: XII Международный симпозиум по ядерной электронике. Д13-85-793, Дубна, ОИЯИ, 1985, с.310.
2. Баранов В.А., Журавлев Н.И., Иленбург Р., Коренченко С.М., Корнев В.И., Кучинский Н.А., Медведь С.В., Синаев А.Н., Чуринов И.Н. и Шварценберг Ф., Система сбора и первичной обработки информации, получаемой на С-детекторе спектрометра АРЕС. Сообщение ОИЯИ, 13-81-162, Дубна, 1981.
3. Баранов В.А., Евтухович П.Г., Зязюля Ф.Е., Иленбург Р., Комаров В.И., Коренченко А.С., Коренченко С.М., Косарев Г.Е., Костин Б.Ф., Кравчук Н.П., Кучинский Н.А., Мжавия Д.А., Мицельмахер Г.В., Моисеенко А.С., Некрасов К.Г., Смирнов В.С., Филиппов А.И., Фурсов А.П., Русакович Н.Л., Хомутов Н.В.; Детек-

тор заряженных частиц спектрометра АРЕС. Сообщение ОИЯИ, 13-81-381, Дубна, 1981.

4. Баранов В.А., Журавлев Н.И., Коренченко А.С., Коренченко С.М., Корнев В.И., Кравчук Н.П., Косарев Г.Е., Кучинский Н.А., Мжавия Д.А., Моисеенко А.С., Некрасов К.Г., Смирнов В.С., Филиппов А.И., Автоматизированный стенд для испытания цилиндрических пропорциональных камер. Сообщение ОИЯИ, 13-12631, Дубна, 1979.

5. Коренченко С.М. и Кучинский Н.А., Плата электроники для регистрации сигналов пропорциональных камер. Сообщение ОИЯИ, Р13-11561, Дубна, 1978.

6. Коренченко С.М. и Кучинский Н.А., Плата ПСИ-32, В сб.: Труды III Международного совещания по методике проволочных камер. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, стр.278.

7. Баранов В.А., Ванко Ю., Глазов А.А., Евтухович П.Г., Зязюля Ф.Е., Кисель И.В., Коренченко А.С., Коренченко С.М., Костин Б.Ф., Кравчук Н.П., Кучинский Н.А., Моисеенко А.С., Мжавия Д.А., Некрасов К.Г., Повинец П., Сарка Я., Смирнов В.С., Филиппов А.И., Фурсов А.П., Хомутов Н.В., Цамалаидзе Э.Б., Чернявский Н.Н., Яковлев С.И. Поиски распада $\mu^+ \rightarrow e^+e^-e^+$. Сообщение ОИЯИ, Р1-90-464.

8. Baranov V.A., Evtukhovich P.G., Filippov A.I., Fursov A.P., Korenchenko A.S., Korenchenko S.M., Kostin B.F., Kravchuk N.P., Khomutov N.V., Kuchinsky N.A., Moiseenko A.S., Mzhavia D.A., Nekrasov K.G., Povinets P., Szarka J., Smirnov V.S., Vanko J., Zyazyulya F.E., ARES spectrometer. NIM, 1986, v.B17, p.438.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 марта 1991 года.