



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

97-46
На правах рукописи

Беликов Сергей Викторович

**СБОР И ON-LINE ОБРАБОТКА ДАННЫХ
С БОЛЬШОГО ЖИДКОАРГОНОВОГО
СПЕКТРОМЕТРА БАРС**

01.04.23–физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 1997

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – член-корреспондент РАН С.П. Денисов.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук А.А. Деревцов, кандидат физико-математических наук О.Я. Зельдович.

Ведущая организация – Московский инженерно-физический институт (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 1997 г. в _____ часов на заседании диссертационного Совета при ИФВЭ по адресу: 142284, г. Протвино Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 1997 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1997

Общая характеристика работы

Актуальность темы

За последние годы было выполнено много экспериментов по изучению нейтринных взаимодействий при ускорительных энергиях. Это позволило заметно расширить наше понимание слабого взаимодействия лептонов и адронов. Однако в настоящий момент мы находимся на таком уровне, когда дальнейший прогресс в этой области не может быть достигнут без коренного изменения постановки нейтринных экспериментов.

В современных экспериментах возникают две трудноразрешимые проблемы.

Во-первых, неизвестен достоверно тип нейтрино. Это особенно важно при изучении взаимодействия нейтрино по каналу нейтрального тока.

Во-вторых, даже в дихроматических пучках траектория и энергия нейтрино известны с недостаточной точностью.

Обе проблемы можно решить, если одновременно с регистрацией нейтринного взаимодействия измерить характеристики остальных частиц, образовавшихся при распаде родительского мезона. По этим данным и известному импульсу мезона возможно с хорошей точностью восстановить энергию, траекторию и точку образования нейтрино.

Очевидно, что для организации такого эксперимента необходимо иметь:

- нейтринный детектор;
- растянутый во времени сфокусированный пучок мезонов с малым разбросом по импульсу;
- специальную станцию мечения, способную с высоким пространственным и временным разрешением регистрировать продукты распада мезонов.

Бесспорно важной частью такого комплекса является нейтринный детектор. Он должен обладать:

- достаточно большим весом, необходимым для эффективной регистрации нейтринных взаимодействий;
- высоким пространственным и энергетическим разрешением;
- возможностью выработки триггерного сигнала с высоким временным разрешением для временной “привязки” событий в нейтринном детекторе и станции мечения.

Высокое пространственное и энергетическое разрешение невозможно достичь без высокой сегментации, что в сочетании с большими размерами детектора означает необходимость большого количества каналов электроники.

Ясно, что эффективность работы такого детектора во многом зависит от организации системы сбора данных, контроля работы электроники и on-line анализа полученной информации.

Цель диссертационной работы

Основная задача работы заключалась в разработке и создании систем регистрации событий, сбора и передачи данных, калибровки и контроля электроники, on-line анализа информации, поступающей с большого жидкоаргонового спектрометра БАРС, используемого в качестве нейтринного детектора в Комплексе Меченых Нейтрино (КМН) на ускорителе ИФВЭ.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Разработанная сцинтилляционная триггерная система, обладающая высокой эффективностью и высоким временным разрешением, которая позволяет не только выделять нейтринные события в детекторе, но и подавлять фон от мюонов благодаря наличию системы мюонной режекции.
2. Разработанный метод режекции событий при помощи селективного отбора ионизационных сигналов регистрирующей электроники и быстрого анализа их амплитуд.
3. Организация системы сбора данных, обеспечивающая высокоэффективную работу детектора (мертвое время установки $\leq 3\%$).
4. Методика подготовки программного обеспечения для микрокомпьютеров, позволяющая минимизировать размер загружаемых программ и максимально оптимизировать их по скорости.
5. Система контроля всей электроники установки, позволяющая проверять правильность передачи данных даже в случае однонаправленного потока информации.
6. Результаты калибровки БАРС пучками частиц различной энергии.
7. Первые результаты эксперимента по регистрации нейтринных взаимодействий и методика отбора и реконструкции нейтринных событий.
8. Предварительные результаты исследования энергетического спектра горизонтальных космических мюонов, полученные при помощи новой методики — парметра.
9. Возможности использования детектора БАРС для исследования широких атмосферных ливней частиц.

Научная новизна и практическая ценность

Спектрометр БАРС в настоящее время является самым большим в мире жидкоаргоновым детектором и самой крупной установкой в ИФВЭ: он имеет 28320 каналов низкошумящих усилителей и амплитудных анализаторов. Благодаря распараллеливанию процессов оцифровки данных, их передачи и накопления, время, необходимое для принятия одного события, не превышает 500 мкс.

Разработанная система триггера второго уровня имеет ряд преимуществ перед аналогичными стандартными системами. Во-первых, селективный отбор сигналов для формирования аналоговой суммы значительно улучшает соотношение сигнал/шум. Во-вторых, одновременный анализ суммарных сигналов трех проекций позволяет избежать влияния случайных синфазных наводок и коррелированных шумов в одной из проекций. В результате ширина порога на порядок уже, чем при стандартном подходе, а значение пороговой энергии можно установить на уровне $\leq 0,5$ ГэВ. Использование триггера второго уровня при исследовании нейтринных взаимодействий позволяет практически полностью подавить фон от проходящих через детектор пучковых и космических мюонов. В результате мертвое время установки даже при общей загрузке $\geq 10^4$ частиц/с составляет $\leq 3\%$.

Разработанная методика подготовки программного обеспечения для микрокомпьютеров позволяет значительно уменьшить размер программ (а следовательно, и время их загрузки) и максимально оптимизировать их по скорости.

Благодаря тому, что считывание данных в оперативную память микрокомпьютера производится одновременно с анализом новых событий, работа процессора увеличивает суммарное время приема полезного события всего на 20%. Параллельная передача данных в главный компьютер и сканирующий режим их чтения позволяют достигать скорости приема информации в 2 Мбайт/с — почти вдвое быстрее, чем стандартная (на момент создания БАРС) система *Ethernet*.

Несмотря на большое количество каналов, разработанная система контроля электроники позволяет непрерывно проверять состояние всей аппаратуры и тестировать правильность передачи информации даже в том случае, когда поток данных является однонаправленным. Благодаря этому, а также благодаря высокому сервису программного обеспечения, становится возможным проведение длительных экспериментов при участии минимального числа обслуживающего персонала (один человек в смене).

Созданные программы on-line анализа данных позволяют сразу в ходе сеанса оценить его эффективность и следить за условиями проведения эксперимента.

Предварительные результаты исследований спектров космических мюонов с помощью новой методики параметра показали его высокую эффективность при измерении энергий, недоступных для стандартных магнитных спектрометров.

Использование спектрометра БАРС для изучения широких атмосферных ливней позволит со значительно лучшей точностью измерить их характеристики.

Апробация результатов и публикации

Диссертация написана на основе работ, выполненных в Отделе нейтринной физики ИФВЭ с 1985 по 1997 гг. при разработке и создании большого жидкоаргонового спектрометра БАРС. Работы [1-6], составляющие основное содержание диссертации, опубликованы в виде препринтов ИФВЭ, в журналах “Приборы и техника эксперимента” и их переводных дубликатах, а также докладывались на международных совещаниях по проекту КМН и на международных конференциях (“The Fourth International Conference of Calorimetry in High Energy Physics”, La Biodola, Isola d’Elba, Italy 19-25 September 1993; “Frontier Detectors for Frontier Physics”, 7th Pisa Meeting on advanced detector, La Biodola, Isola d’Elba, Italy, 25-31 May, 1997).

Объем и структура диссертации

Работа изложена на 97 страницах, состоит из введения, 8 глав и заключения, содержит 28 рисунков, 7 таблиц и список цитируемой литературы из 46 наименований.

Содержание работы

В первой главе кратко описан Комплекс меченых нейтрино (КМН), изложены особенности формирования пучка и методики мечения.

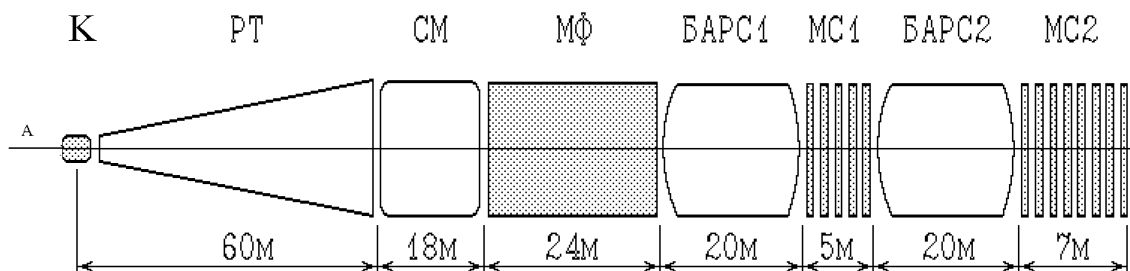


Рис. 1. Комплекс меченых нейтрино. Обозначения: А – адронный пучок; К – коллиматор; РТ – распадная труба; СМ – станция мечения; МФ – мюонный фильтр; БАРС1, БАРС2 – нейтринный детектор; МС1, МС2 – магнитный спектрометр.

Комплекс меченых нейтрино состоит из следующих основных систем (рис. 1):

- канала формирования пучка вторичных адронов с системой мониторинга;
- распадной трубы (РТ);
- станции мечения (СМ);
- мюонной защиты: стального поглотителя длиной 26 метров по пучку и сцинтилляционной вето-плоскости;
- нейтринного детектора, состоящего из жидкоаргонового калориметра и мюонного магнитного спектрометра.

Пучок протонов с интенсивностью до 10^{13} р/цикл отклоняется тремя магнитами на мишень канала меченых нейтрино. Система из семи квадрупольных линз и двух магнитов формирует пучок вторичных адронов и транспортирует его в распадную трубу РТ. При положительной полярности вторичного пучка и импульсе частиц 35 ГэВ от распадов $\pi_{\mu 2}$, $K_{\mu 2}$, $K_{\mu 3}$ и $K_{e 3}$ образуется $\sim 1.6 \times 10^8 \nu_{\mu}$ и $\sim 5 \times 10^6 \nu_e$.

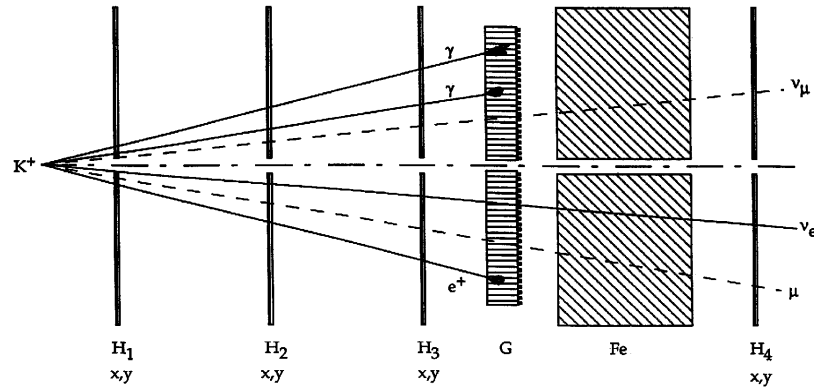


Рис. 2. Станция мечения. Н1, Н2, Н3, Н4 – двух координатные сцинтилляционные годоскопы (x, y); G – электромагнитный калориметр ГЕПАРД; Fe – 3-метровый железный поглотитель адронов.

Остальные продукты распада попадают в станцию мечения (рис. 2), состоящую из четырех координатных годоскопов Н1-Н4 и электромагнитного калориметра полного поглощения ГЕПАРД. Во избежание взаимодействий адронного пучка в центре всех детекторов СМ имеется отверстие диаметром 20 см. Кинематические свойства распадов π -мезонов таковы, что образующиеся мюоны вылетают под очень малым углом и все проходят в это отверстие. Поэтому станция мечения регистрирует в основном только распады К-мезонов. Принцип мечения основан на том, что по приходу триггерного сигнала, сигнализирующего о наличии взаимодействия в нейтринном детекторе, элементы СМ регистрируют продукты распада каона, ассоциированного с этим взаимодействием. Восстановив параметры частиц в станции мечения, можно определить траекторию, тип и энергию провзаимодействовавшего нейтрино.

Расчеты дают следующие результаты для точностей восстановления параметров нейтрино:

- Среднеквадратичная погрешность $\sigma(E_{\nu})$ в определении энергии нейтрино не зависит от E_{ν} и составляет 0,75 ГэВ для ν_e и 1,15 ГэВ для ν_{μ} .
- Среднеквадратичная ошибка в восстановлении угла нейтрино равна 0,4 мрад для ν_e и 0,6 мрад для ν_{μ} .
- Вершина $K_{e 3}$ -распада определяется со средней погрешностью $\sigma(Z_d) = 0,8$ м; для $K_{\mu 2}$ -распада — с погрешностью $\sigma(Z_d) = 1,6$ м.
- Среднее расстояние между измеренной вершиной нейтринного взаимодействия и предсказанной по информации с детекторов станции мечения составляет 14 см для ν_e и 17 см для ν_{μ} .

Во второй главе подробно описана конструкция нейтринного детектора БАРС [1].

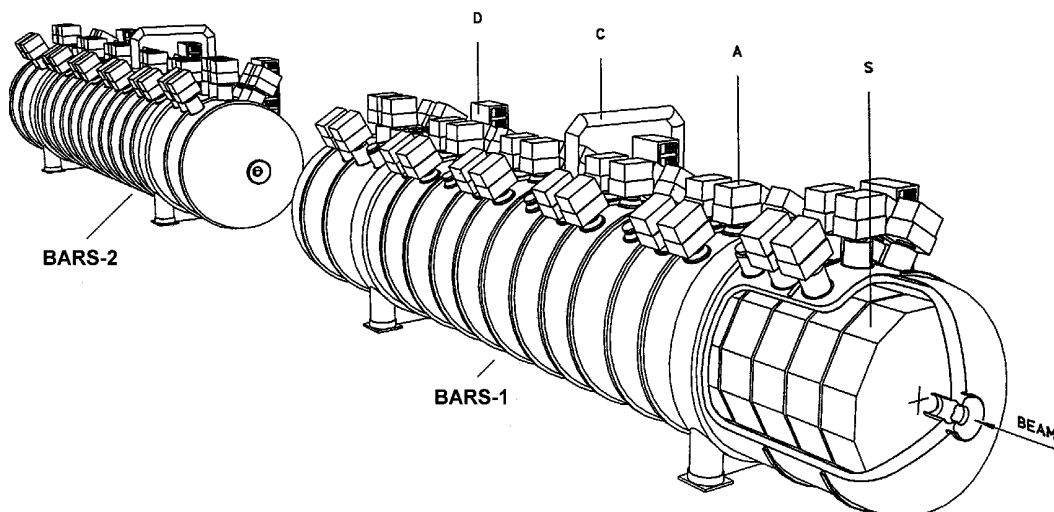


Рис. 3. Большой жидкоаргоновый спектрометр БАРС. S – секции ионизационных камер; A – боксы с РЭ электроникой; C – трубопровод для аварийного сброса газообразного аргона; D – стойки электроники ССД.

Большой жидкоаргоновый спектрометр состоит из двух одинаковых криостатов — БАРС-1 и БАРС-2, расположенных один за другим вдоль оси пучка и заполненных жидким аргоном (рис. 3). Внутри каждого криостата расположены 24 секции ионизационных камер, перемежающиеся сцинтилляционными триггерными детекторами (рис. 4).

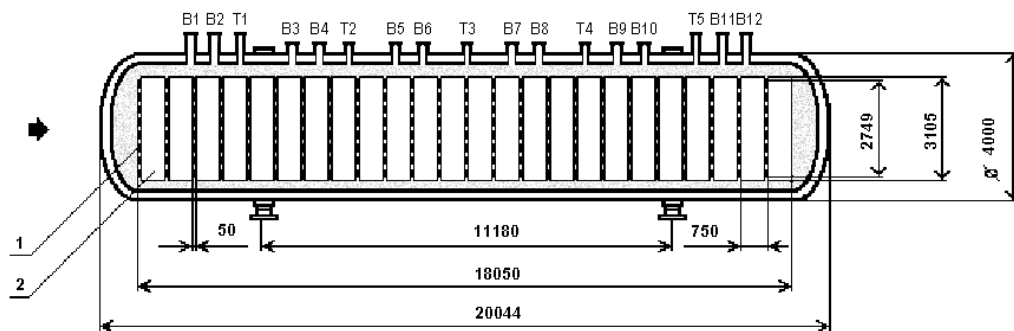


Рис. 4. Расположение детекторов внутри криостата. 1 – триггерная плоскость; 2 – секция ионизационных камер; B1, ..., B12 – выводные фланцы для ионизационных сигналов; T1, ..., T5 – выводные фланцы для сигналов триггерных счетчиков. Все размеры указаны в миллиметрах.

Ионизационные камеры используются для сбора ионизационного заряда, образующегося при прохождении заряженных частиц через жидкий аргон. Анализ амплитуд сигналов от всех элементов камер позволяет реконструировать энергетические и геометрические параметры произошедшего взаимодействия.

Триггерная система должна обеспечить высокоэффективную регистрацию нейтринных взаимодействий в детекторе БАРС и вырабатывать быстрый триггерный сигнал для всех детекторов КМН. Точное согласование по времени регистрации нейтринного взаимодействия с регистрацией частиц, образованных в результате распада родительского мезона, требует также и высокого (≤ 5 нс) временного разрешения триггерных детекторов.

Спектрометр БАРС представляет собой самостоятельную систему, включающую в себя выработку триггера и полный цикл преобразования и накопления данных. С остальными элементами комплекса БАРС связан лишь несколькими коаксиальными кабелями.

Криогенная система детектора основана на замкнутом цикле хранения аргона, который постоянно поддерживается в жидкой фазе либо в 6 емкостях хранилища, расположенного за пределами экспериментального зала, либо в криостатах БАРС. Последние охлаждаются жидким азотом, при этом избыточное давление паров аргона поддерживается в пределах $0,4 \div 0,7$ атм.

Для тепловой изоляции криостатов используется вакуумная рубашка с внутренним майларовым отражателем.

Основные параметры детектора представлены в табл. 1.

Таблица 1

Общие параметры БАРС.

Общий вес жидкого аргона	432,6 тонны
Масса жидкого аргона в полезном объеме	308 тонн
Масса системы электродов	118 т
Масса пластического скintиллятора	6,6 т
Средняя плотность	1,6 г/см ³
Средняя радиационная длина	13,1 см
Средняя ядерная длина	72,7 см
Средний мольеровский радиус	8,25 см
Расход жидкого азота для стабилизации Ar в БАРС	2 т/ день
Расход жидкого азота для стабилизации Ar в хранилище	0,1 т/день
Скорость захолаживания	5° К/час
Скорость заполнения БАРС	10 т/час
Скорость аварийного слива	50 т/час

Секции ионизационных камер внутри БАРС-1 и БАРС-2 состоят из расположенного вдоль оси пучка ряда идентичных элементарных двухзазорных структур (бигэп). Бигэп представляет собой три параллельные алюминиевые пластины, толщиной 3 мм каждая, разнесенные друг от друга на 24 мм. Первая и третья пластины заземлены, а на вторую, являющуюся сигнальным электродом, подается высокое напряжение. Каждый сигнальный электрод сегментирован в поперечном направлении на 48 стрипов шириной 61 мм каждый; зазор между стрипами — 2 мм. Ориентация стрипов такова, что в каждом последующем бигэпе они повернуты на 120° по отношению к предыдущему (рис. 5).

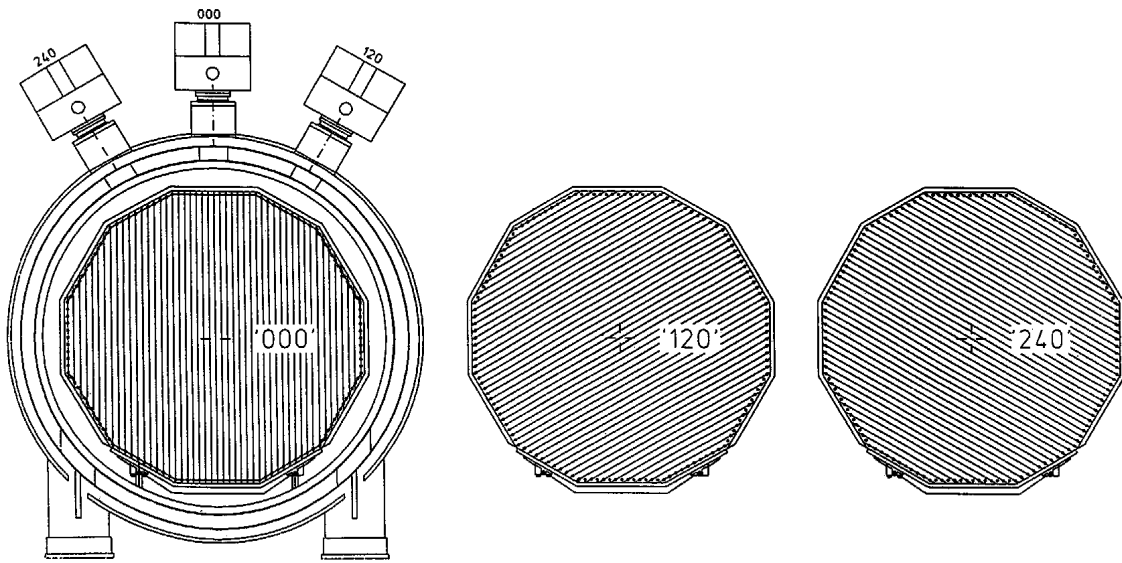


Рис. 5. Ориентация стрипов в X-, U-, V-проекциях.

Таким образом формируется система трех координат X, U, V. Внутри каждого из криостатов электроды сгруппированы в 24 секции. Секция включает в себя 12 бигэпов (по четыре для каждой координаты), образуя таким образом 576 сигнальных стрипа. Сигналы с электродов снимаются через высоковольтные блокировочные конденсаторы, выполненные в виде печатных плат из стеклотекстолита. На каждой плате расположены 4 блокировочных и 4 калибровочных конденсатора, используемые для инжектирования калибровочного заряда. Из детектора сигналы выводятся витыми парами через герметизированные многоконтактные разъемы, установленные на выводных фланцах криостата. Секции смонтированы попарно на 12 алюминиевых подвижных платформах. Такая конструкция получила название “вагон”.

Триггерная логика первого уровня основана на сигналах от 48 сцинтилляционных плоскостей [2], расположенных перед каждой секцией системы электродов (рис. 4). Каждая плоскость состоит из 8 горизонтальных сцинтилляционных пластин шириной 334 мм и толщиной 22 мм. Формы пластин подобраны так, что плоскость представляет собой шестнадцатиугольник с общей площадью 5,7 м², перекрывая 80% площади электродов (рис. 6).

Свет от сцинтилляторов транспортируется к 14 ФЭУ семью пластическими переизлучателями сечением 20×10 мм², расположенными между сцинтилляционными пластинами. Каждый переизлучатель просматривается с обоих концов двумя ФЭУ 84-3. Все триггерные плоскости вместе с ФЭУ и их высоковольтными делителями находятся непосредственно в жидком аргоне. Высоковольтные и сигнальные кабели счетчиков выведены на фланцы триггерной системы детектора БАРС через герметичные разъемы. Измерения, выполненные при регистрации проходящих через БАРС мюонов, показали, что эффективности триггерных плоскостей составляют $\geq 90\%$, а их временное разрешение — ~ 4 нс.

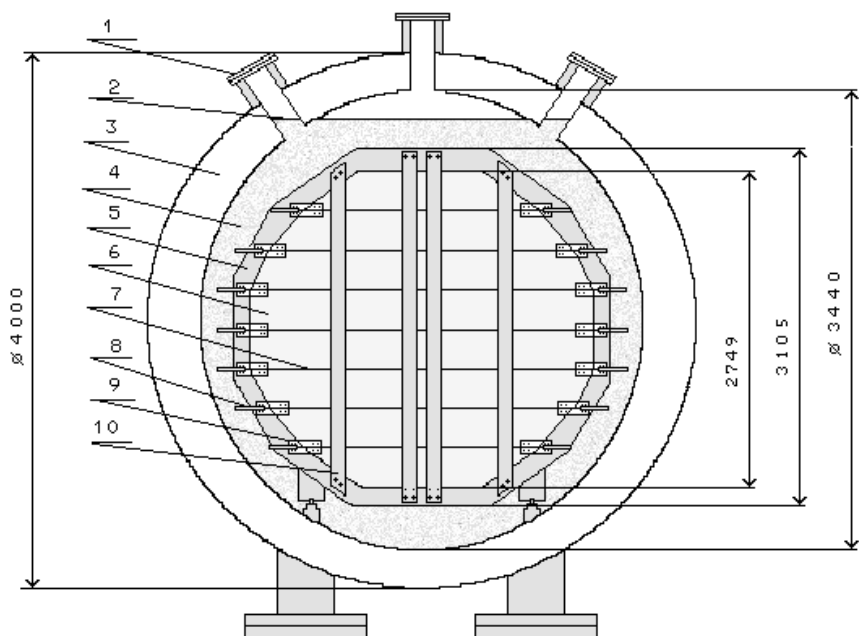


Рис. 6. Вид плоскости сцинтилляционной триггерной системы, закрепленной на внешней стороне ионизационной камеры, внутри криостата БАРС. 1 – фланцы для выведения высоковольтных и сигнальных кабелей триггерных счетчиков; 2 – уровень заполнения криостата аргоном; 3 – вакуумная полость криостата; 4 – внутренняя полость криостата; 5 – ионизационная камера; 6 – полоса сцинтиллятора; 7 – переизлучатель света; 8 – ФЭУ в кожухе из нержавеющей стали; 9 – накладки из оргстекла для крепления кожуха ФЭУ к полосам сцинтилляторов; 10 – полосы из дюралюминия для крепления плоскости сцинтилляционного триггера к ионизационной камере.

В третьей главе диссертации приводится описание электроники установки БАРС. Электроника БАРС состоит из 4 связанных между собой систем:

- 1) электроники быстрого сцинтилляционного триггера [3], используемой для выработки триггера первого уровня и контроля работы системы быстрого триггера;
- 2) регистрирующей электроники (РЭ) [1], предназначенной для сбора и обработки ионизационной информации;
- 3) электроники системы сбора данных (ССД) [1], выполняющей анализ поступающих триггерных сигналов, выработку команд для РЭ, считывание и накопление цифровой информации;
- 4) электроники ССД второго уровня [1], обеспечивающей прием данных от всей цифровой электроники обоих детекторов БАРС и передачу этой информации в главный компьютер, а также управление режимами работы системы сбора данных.

Организация электроники БАРС показана на рис. 7.

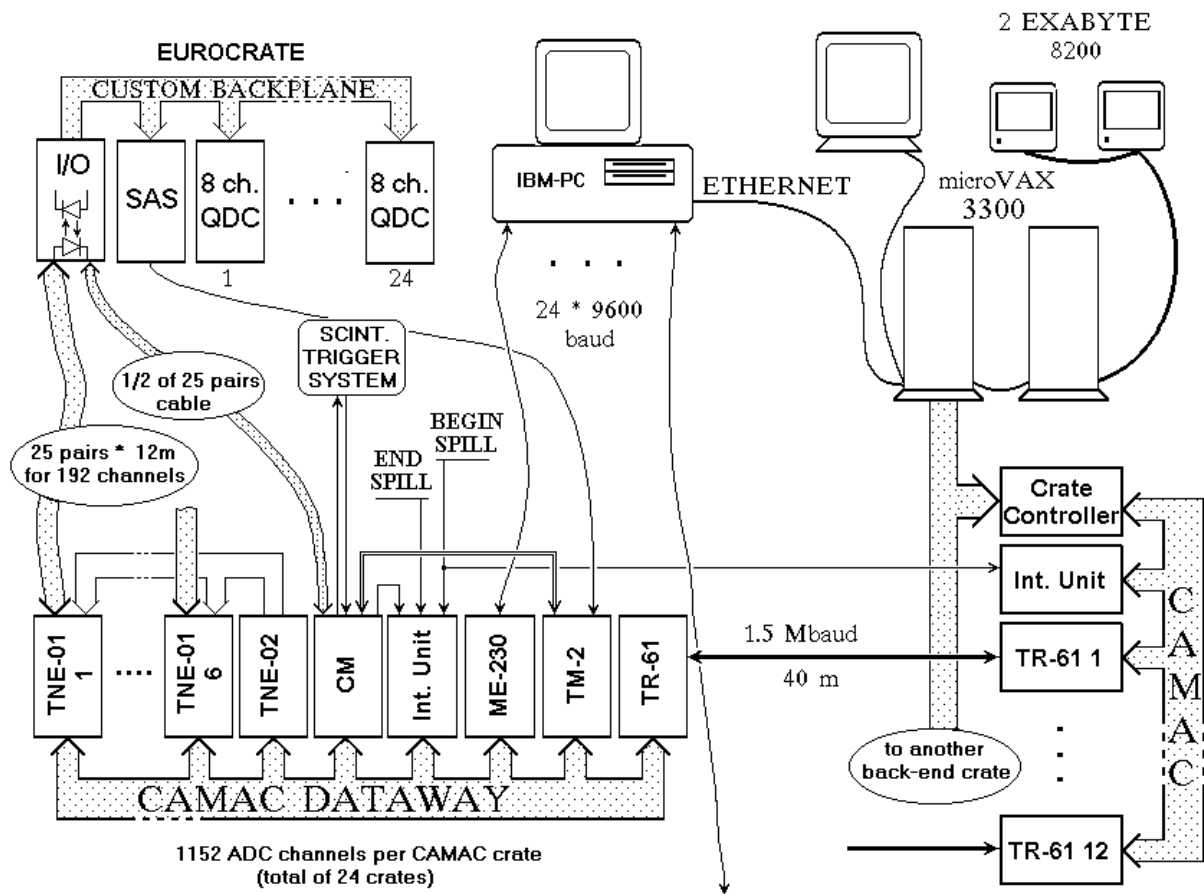


Рис. 7. Организация электроники БАРС.

В состав электроники сцинтилляционного триггера входят изготовленные в стандарте СУММА модули: усилители-сумматоры, “mean-timers”, системы мюонной режекции, триггерные блоки, счетчики КС-019, регистры КР-011, микрокомпьютеры, блоки приема-передачи TR-61 и другие — всего 146 модулей, обслуживающих 672 канала. Корзины с электроникой установлены на платформах, расположенных на криостатах БАРС.

Для размещения РЭ используются каркасы, установленные попарно непосредственно на выводных фланцах детектора. Такая конструкция из пары каркасов и общего для них источника питания получила название “QDC-бокс”. В каждом каркасе размещено 24 модуля регистрирующей электроники (QDC-карты), модуль селективной аналоговой суммы (*SAS — Selective Analog Sum*), адаптер связи с системой сбора данных (I/O-карта) и распределитель калибровочного сигнала. В общей сложности в состав РЭ входит 3960 модулей, обслуживающих 27648 сигнальных каналов.

Электроника ССД выполнена в стандарте КАМАК и размещена в 24 крейтах, сгруппированных по четыре в 6 стойках. Один крейт обслуживает три QDC-боксы, подключенные к одному вагону системы электродов.

Электроника всех крейтов однотипна и состоит из:

- шести модулей чтения и предварительной буферизации данных TNE-01;
- контроллера управления чтением данных TNE-02;
- командного модуля (CM), управляющего кодировкой данных в QDC-картах;
- модуля триггера второго уровня TM-2;
- модуля запросов (Int. Unit);
- модуля связи TR-61;
- микрокомпьютера ME-230;
- каркасного контроллера CCM-1.

В общей сложности в состав ССД входит 350 блоков электроники, обслуживающих 27792 канала.

Электроника ССД второго уровня размещена в двух крейтах КАМАК неподалеку от главной ЭВМ детектора. В каждом крейте расположены: 13 модулей TR-61, 12 из которых обеспечивают связь с электроникой ССД одного из детекторов БАРС, а последний предназначен для приема информации от триггерной электроники этого же детектора; модуль запросов, в который заведены сигналы готовности от всех 13 TR-61, — используется для организации асинхронного обмена между TR-61 и главной ЭВМ; Контроллер крейта Kinetic Systems 3922 — всего 34 модуля.

Четвертая глава посвящена организации триггерной системы детектора.

Триггерная система состоит из трех взаимосвязанных систем:

1. Триггера первого уровня, формируемого сигналами от 48 сцинтилляционных плоскостей.
2. Системы мюонной режекции, запрещающей выработку триггера, если ни в одной из плоскостей сигнал не превысил определенный порог.
3. Триггера второго уровня, вырабатывающего сигнал “Сброс”, если во всех вагонах ионизационных камер энергосодержание было ниже заданной величины.

Организация триггера первого уровня осуществляется следующим образом. Светосбор от каждой пластины триггерной плоскости (за исключением крайних) производится с помощью двух сместителей спектра, передающих свет в четыре ФЭУ. Для повышения эффективности регистрации частиц сигналы от двух соседних ФЭУ складываются. После усиления сигналы с двух противоположных концов каждого счетчика поступают на схему “mean-timer” (MT). MT вырабатывает сигнал, не зависящий по времени от места прохождения частицы через счетчик. Сигналы MT всех восьми счетчиков плоскости суммируются в логической схеме ИЛИ, образуя единый сформированный сигнал с плоскости (рис. 8).

Сигналы со всех 24 плоскостей в каждом БАРС поступают в триггерный модуль, вырабатывающий сигнал запуска при совпадении сигналов от любых трех соседних плоскостей.

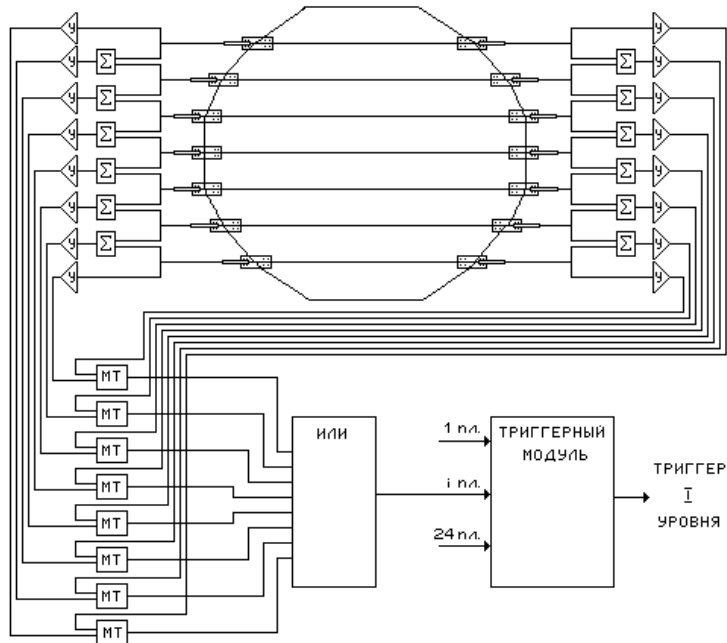


Рис. 8. Схема формирования сцинтиляционного триггера первого уровня. Σ – сумматор, У – усилитель, МТ – mean-timer.

Для подавления сигналов от ускорительных и космических мюонов создана система мюонной режекции (СМР). Аналоговые сигналы от всех ФЭУ триггерной плоскости суммируются, и сумма поступает на пороговый дискриминатор. Далее сигналы от всех 24 дискриминаторов складываются в логической схеме ИЛИ, выход которой включен на совпадение с триггером первого уровня (рис. 9).

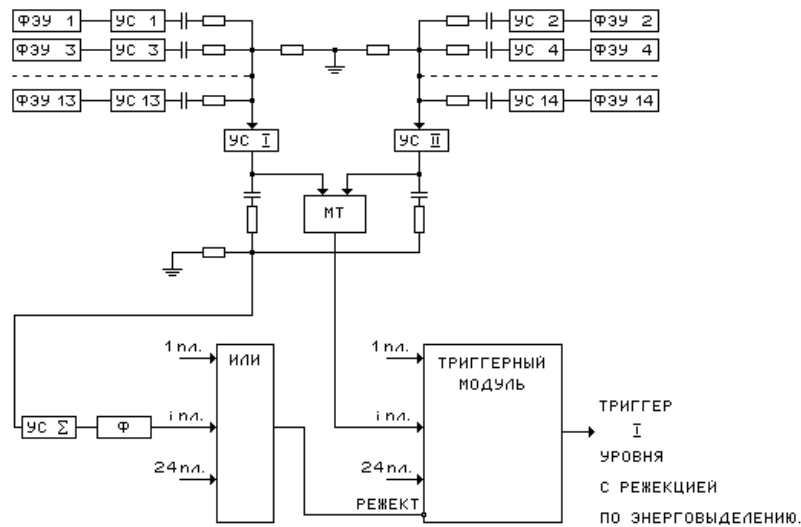


Рис. 9. Схема формирования сцинтиляционного триггера с режекцией по амплитуде сигналов. УС1, ... УС14 – предусилители; УС- Σ , УС I, УС II — усилители-сумматоры; МТ – mean-timer; Ф – формирователь с регулируемым порогом.

Таким образом, триггер не вырабатывается, если все сигналы от плоскостей не превысили заданного порога. СМР позволяет снизить число триггеров от проходящих мюонов в 6 раз, в то время как вероятность режекции адронного или электромагнитного ливня с энерговыведением ≥ 1 ГэВ составляет $\approx 6\%$.

Однако при работе с ускорительными пучками частиц высокой интенсивности одной системы СМР оказалось недостаточно: при числе мюонов $\geq 10^3/\text{с}$ число запусков электроники БАРС ≥ 200 , что при времени обработки одного события $\sim 0,5$ мс приводит к $\geq 10\%$ мертвому времени установки.

Для более жесткого подавления сигналов от проходящих пучковых и космических мюонов была разработана система триггера второго уровня. Принцип ее работы следующий.

Суммарный сигнал каждой из 24 QDC-карт подается в карту селективной аналоговой суммы (SAS), где он сравнивается с порогом, соответствующему утроенному энерговыведению минимально ионизирующей частицы (MIP) в одной проекции одной секции ионизационных камер. На выходе SAS складываются только те сигналы, которые превысили этот порог. При этом соотношение сигнал/шум составляет ~ 5 . Продольное подключение каналов QDC-карт к сигнальным электродам приводит к тому, что при одновременном прохождении через детектор нескольких мюонов сигнал на выходе SAS не вырабатывается.

Выходные сигналы 6 карт SAS одного вагона передаются в командный модуль ССД, обслуживающий данный вагон, откуда вместе со строб-импульсом длительностью 5 мкс передаются в модуль ТМ-2. В нем 6 сигналов от модулей SAS складываются попарно, формируя суммы сигналов трех проекций вагона. Эти сигналы оцифровываются в трех АЦП параллельного типа, выходы которых поступают на схему таблицы решений. Таблица запрограммирована так, что положительное решение вырабатывается при наличии во всех проекциях сигналов, амплитуды которых лежат в заданном диапазоне. Если ни в одном из 12 вагонов одного криостата БАРС не было выработано положительное решение, то для всей электроники этого детектора вырабатывается сигнал быстрого сброса.

Как показали измерения, ширина порога ионизационного триггера составляет ~ 100 МэВ, а минимальный уровень — ~ 400 МэВ. При этом его суточный дрейф, обусловленный изменением окружающей температуры, не превышает 10 МэВ. При приходе сигнала запрета от триггерной системы второго уровня суммарное время, необходимое системе сбора данных для очистки РЭ, составляет 15 мкс. В результате мертвое время всей установки даже при очень высокой интенсивности пучка $\leq 3\%$ от времени вывода пучка.

В пятой главе дается описание методики подготовки программ [4] для микрокомпьютеров ССД, принцип их работы, а также описание структуры программного обеспечения для главного компьютера (ГК) $\mu\text{VAX-3300}$.

Многозадачная операционная система реального времени VPV, зашитая в ПЗУ микрокомпьютера, осуществляет общение с внешними устройствами через два последовательных порта со скоростью 9600 бод и обеспечивает загрузку и запуск

стандартных исполняемых “.exe” файлов MS-DOS. Один из портов может быть подключен к терминалу, а второй – к коммутатору, связывающему все 24 микрокомпьютера ME-230 с интерфейсной картой IBM-PC. Подготовка матобеспечения осуществляется стандартными программными средствами на IBM-PC.

Компоновка программ осуществлялось следующим образом:

1. Основное тело программы создается в виде подпрограммы main() на языке Си и компилируется в объектный файл.
2. Все подпрограммы чтения электроники, предобработки и анализа данных пишутся на языке *Ассемблер*.
3. Главная (инициализирующая регистры процессора и вызывающая подпрограмму main) часть также написана на *Ассемблере*.
4. Сборка всех частей в единую программу осуществляется компоновщиком MS-DOS.

Такой подход позволяет не допустить подключения к программе системных вызовов, которые автоматически добавляются всеми компиляторами языка Си. Благодаря этому удается не только уменьшить размер программы, но и избежать появления невыполняемых VPV системных вызовов. Язык Си был выбран для создания логической части программы, так как он имеет большой набор битовых операций и возможность прямой адресации к физической памяти. В то же время он является языком высокого уровня и облегчает создание сложных логических связей при сохранении оптимальности кода, свойственной *Ассемблеру*. Тем не менее компиляторы Си редко используют строчные операции процессора (LODSW, STOSW и др.), поэтому процедуры чтения и обработки массивов данных были написаны на *Ассемблере* с использованием этих операторов, что позволило максимально оптимизировать быстродействие программ. Для уменьшения размеров загружаемого кода программы все необходимые для хранения и обработки данных массивы создаются при запуске программы на исполнение путем резервирования динамической области памяти. Благодаря такому подходу размер программы сбора и обработки данных составляет лишь ~20 Кбайт.

Хотя VPV является многозадачной системой, было принято решение использовать одну универсальную программу во избежание потери процессорного времени на переключение с одной задачи на другую.

После одновременной загрузки в 24 микрокомпьютера программы резервируют необходимую для работы память и, подключив драйвер обработки прерываний от модуля запросов, уходят в ожидание команд от μ VAX, передаваемых по линии связи между модулями приема-передачи TR-61. Программы обладают большой универсальностью и в зависимости от команды могут выполнять различные операции:

- Выполнить проверку связи с ГК.
- Провести off-line тестирование электроники.
- Прокалибровать все каналы электроники.
- Выполнить калибровку модуля триггера второго уровня ТМ-02.

- Принять и загрузить в пьедестальные памяти TNE-01 величины пьедесталов и порогов для всех 1152 каналов РЭ.
- Начать цикл сбора и передачи данных, on-line калибровки и тестирования электроники РЭ и ССД.

Система сбора данных в ГК представляет собой многопрограммный комплекс, управление которым, а также задание режимов работы и корректировка необходимых параметров осуществляется с терминала через специально разработанный многоуровневый диалоговый интерфейс.

Прием данных на уровне программного обеспечения ГК осуществляется для всех программ по общей схеме. При приходе данных от микрокомпьютеров в связанные с ними модули TR-61 ССД второго уровня последние посылают сигналы в модуль запросов. Отфильтрованные регистром маски сигналы попадают в регистр требований и в результате вырабатывается сигнал LAM, вызывающий аппаратное прерывание ГК. При обработке этого прерывания считывается значение регистра требования и тем самым определяется, от каких модулей приема-передачи пришли запросы.

Протокол обмена информацией между микрокомпьютерами и ГК определяется конкретным режимом работы (калибровка, контроль линий связи, тест электроники, считывание физических данных и т.д.).

Шестая глава посвящена организации приема и передачи данных при проведении физических экспериментов с использованием детектора БАРС.

Поскольку спектрометр БАРС был создан для работы на ускорителе ИФВЭ У-70, то процедура сбора данных была ориентирована на цикличность работы ускорителя:

- быстрое чтение данных из РЭ и их накопление в оперативной памяти ME-230 во время вывода пучка из ускорителя (~ 1 с);
- форматирование данных и их пересылка в главную ЭВМ во время нового цикла ускорения протонов (~ 8 с), и одновременно тестирование электроники.

При работе “на космике” цикличность работы была сохранена, но время приема данных было увеличено до 25 секунд, а интервал между ними сокращен до 5 секунд.

Работа системы сбора данных происходит следующим образом. Сначала производится загрузка рабочих программ в микрокомпьютеры. Передача загружаемых кодов от инструментальной IBM-PC происходит по последовательным линиям через 32-канальный коммутатор, позволяющий загружать идентичные программы одновременно в несколько ME-230.

После запуска в каждой ME-230 программы сбора данных происходит инициализация электроники в крейте, после чего программа переходит в режим ожидания прихода управляющих команд от главной ЭВМ. Перед тем как послать в ME-230 команду перехода в режим набора статистики, μ - VAX пересылает ей величины пьедесталов и порогов для каждого канала РЭ. Полученные числа микроЭВМ записывает в пьедестальные памяти TNE- 01. Затем в ME-230 передаются величины

нижнего и верхнего порогов для ТМ-2, а также число, определяющее логику выработки решений. Далее, при приходе команды “Набор статистики” программа выставляет сигнал “Занят” и переходит в ожидание в ожидание сигнала “Начало вывода пучка” (НП). Временная диаграмма приема событий показана на рис. 10.

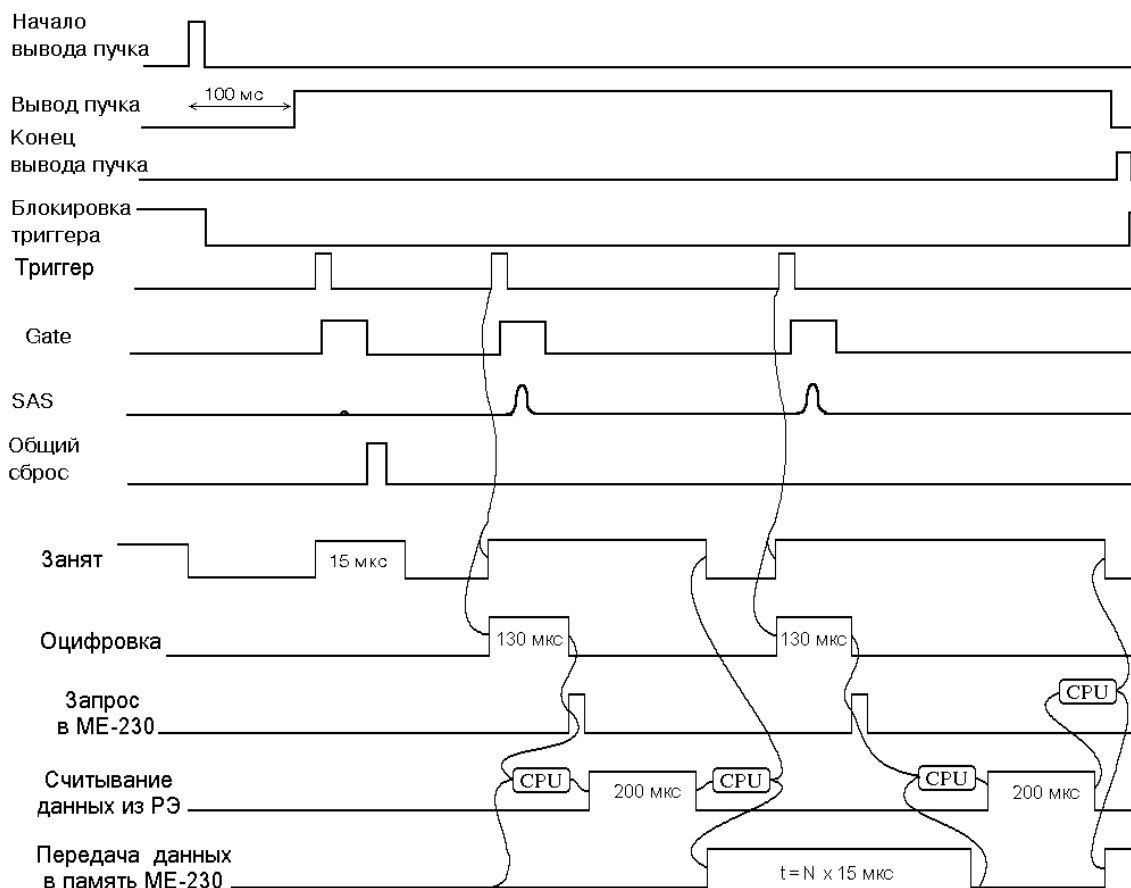


Рис. 10. Временная диаграмма приема событий.

Сигнал НП приходит за 100 мс до реального вывода пучка. Через разветвители сигналов он посылается во все модули запросов ССД. Обнаружив наличие этого сигнала, микрокомпьютеры устанавливают рабочий режим работы модулей ТНЕ-01 с вычитанием пьедесталов, сбрасывают счетчик событий, устанавливают указатели памяти на начало массива данных, а затем снимают сигнал “Занят” и блокировку триггерных сигналов — система готова к приему событий.

Сигнал, выработанный триггерной электроникой, рассылается во все входы ME-230, по которым инкрементируется счетчик события, и во все командные модули (КМ) детектора. КМ по приходу этого сигнала выставляют сигнал “BUSY” (занят) и посылают 5 мкс строб (Gate) в РЭ. В течение этого сигнала в QDC-картах происходит формирование входных сигналов, запоминаются их пиковые значения, а суммарный аналоговый сигнал с каждой карты передается в SAS. Сумма всех сигналов, превысивших порог в SAS, транспортируется в модуль ТМ-2.

По заднему фронту сигнала Gate в QDC-картах начинается медленная разрядка пиковых детекторов и формировка временных полков, длительность которых пропорциональна амплитуде сигнала. Если все модули ТМ-2 детектора выработали отрицательное решение, то в КМ рассылается сигнал общего сброса. По этому сигналу КМ посылают в РЭ команду очистки электроники. При этом в QDC-картах происходит быстрый разряд пиковых детекторов и очистка выходных регистров. Через ~ 15 мкс (время, необходимое для восстановления базовой линии усилителей) КМ снимает сигнал “Занят” и система готова к приему нового триггера.

Если выработанный триггерной электроникой сигнал запуска не был забракован триггерной системой второго уровня, то КМ посылает последовательность импульсов с частотой 20 МГц. Для каждого канала она стробируется временной полкой, сформированной медленным разрядом пикового детектора. Пересчетки QDC-карт считают число попавших в этот временной интервал импульсов, и результат запоминается в регистрах QDC-карт. Полное время оцифровки составляет ~ 130 мкс, по окончании которой КМ посылает сигнал в модуль запросов.

Получив запрос на обработку события, микрокомпьютер посылает в TNE-02 команду на считывание данных из РЭ в режиме вычитания пьедесталов, а пока идет передача, считывает номер события из счетчика. Процедура передачи данных из РЭ в памяти модулей TNE-01 занимает ~ 200 мкс. По ее окончании считываются счетчики памяти TNE-01, и проверяется, достаточно ли осталось в памяти места для приема пришедших данных. Если нет, то компьютер оставляет сигнал “Занят” выставленным, тем самым прекращая поступление новых триггеров в детектор, а сам ждет прихода сигнала “Конец вывода пучка” (КП). Если места в памяти достаточно, то ME-230 снимает сигнал “Занят”, разрешая тем самым приход новых триггерных сигналов и их обработку триггерным модулем второго уровня, а сам начинает чтение данных из памяти TNE-01 в буфер данных. В это время триггерная система уже принимает и обрабатывает новые события, и, если какое-нибудь из них не отбраковано, то происходит его оцифровка в РЭ.

Закончив перенос данных в свою память, ME-230 ждет прихода следующего запроса или, если за это время новое событие уже было оцифровано в РЭ, начинает новый цикл чтения данных. Таким образом, мертвое время системы сбора данных составляет 15 мкс в случае, если событие было забраковано триггерной системой второго уровня, и ~ 450 мкс — в случае, если событие было принято.

Прием событий продолжается до тех пор, пока не придет сигнал “Конец вывода пучка”. По этому сигналу программа начинает сортировку накопленной информации, формируя массив, включающий в себя полный размер информации и отдельные структуры, каждая из которых объединяет: номер события, его длину и амплитуды сработавших каналов вместе с их адресами. При этом проверяется правильность последовательности адресов и формируется контрольная сумма, представляющая собой исключающее ИЛИ всех величин в массиве. Эти данные (или первые 1024 слова, если длина массива больше 1024 слов) записываются в память TR-61 и инициируется их передача в ССД второго уровня. Дождаясь прихода команды от ГК (запрос новой порции данных или подтверждение приема всего

массива данных и контрольной суммы) или сигнала НП, программа производит тестирование памяти TNE-01.

Если все данные были переданы, а сигнал НП еще не пришел, то, завершив проверку памяти TNE-01, микрокомпьютер начинает цикл калибровки каналов регистрирующей электроники и одновременно тестирование тракта передачи данных. Эти процедуры подробно описаны в следующей главе.

При этом средние значения сигналов, полученные при нулевой амплитуде калибровочного сигнала, записываются в пьедестальные памяти TNE-01. Такое обновление пьедесталов позволяет компенсировать их уход, обусловленный колебаниями температуры и дрейфом базовой линии усилителей.

Обнаруженные при тестировании ошибки в приеме данных кодируются и передаются в ГК. При приходе сигнала НП все микрокомпьютеры прекращают калибровку и тестирование каналов и возвращаются к процедуре приема новой информации.

В поступающих из ME-230 данных первое слово указывает весь объем передаваемой информации. При чтении данных главный компьютер, в соответствии с размером ожидаемого массива, резервирует сегмент памяти, необходимый для хранения всей информации от данного ME-230, и считывает содержимое буфера в эту память. После этого ГК либо подтверждает прием всей информации, либо посылает запрос на передачу следующего блока данных (если общая длина данных превышает размер буферной памяти TR-61). Затем, не дожидаясь ответа, переходит к следующему модулю приема-передачи, выставившему запрос. Такой сканирующий режим чтения данных позволяет достигнуть скорости приема информации 2 Мбайт/с (одно 16-разрядное слово за 1 мкс — время цикла КАМАК).

Приняв всю информацию от детектора БАРС, ГК сортирует ее по номерам событий, объединяя данные от различных микрокомпьютеров, относящиеся к одному событию, и, добавив информацию, полученную от других частей комплекса (триггерной системы, станции мечения, магнитного спектрометра), записывает полученные данные в выходной файл, а оперативная информация о них (общее число принятых событий, объем информации и т. п.) отображается на мониторе. Кроме того, эти данные передаются в IBM-PC, где по ним восстанавливаются и отображаются в графическом виде геометрические и энергетические параметры произошедших в детекторе событий, а также отбираются кандидаты на искомые взаимодействия.

При получении кода ошибок ГК декодирует его и записывает в файл, а также отображает в оперативном окне информацию об источнике ошибки и ее типе, позволяя дежурному персоналу оперативно устранить неполадки.

Электроника БАРС имеет 28320 сигнальных каналов и 4488 элементов электроники. Очевидно, что при таком количестве электроники для получения достоверных данных необходим тщательный контроль всех узлов системы. С этой целью был разработан целый ряд on-line и off-line методов проверки работоспособности всех систем установки БАРС [5].

В седьмой главе описываются разработанные методы контроля электроники детектора БАРС:

1. Триггерной электроники.
2. Элементов регистрирующей электроники.
3. Метод контроля передачи данных из РЭ в ССД.
4. Электроники ССД первого и второго уровня.
5. Корректность передачи данных из ССД первого уровня в ССД второго уровня.

Проверка триггерной электроники основана на измерении числа двойных и тройных совпадений триггерных плоскостей. По отношению этих чисел оценивается эффективность работы сцинтилляционных счетчиков. Данные передаются в ГК и отображаются в виде гистограмм на мониторе IBM-PC.

Параметры каналов QDC-карт контролируются с помощью непрерывной процедуры калибровки, при которой на калибровочные емкости ионизационных камер подается изменяемый по амплитуде сигнал, имитирующий по форме сигнал от прохождения частиц. По величинам откликов каналов определяются: пьедестальные значения, уровень шума и коэффициент усиления. В off-line процедуре, кроме этого, измеряется величина корреляции сигналов между каналами.

Контроль однонаправленной линии передачи данных от РЭ в ССД основан на трехкратном чтении одних и тех же данных, оцифрованных в QDC-картах при проведении процедуры калибровки каналов, но при разных режимах чтения: первый раз данные читаются в режиме без вычитания пьедесталов при рабочей скорости сканирования каналов, во второй раз — в том же режиме, но при значительно более медленной скорости, в третий — в режиме вычитания пьедесталов при рабочей скорости. Сравнение этих данных позволяют определить уровень достоверности принимаемой информации. В случае обнаружения расхождения в величинах полученных данных микрокомпьютер формирует код ошибки и передает его ГК.

Проверка элементов электроники ССД первого и второго уровня осуществляется посредством записи и чтения определенных битовых последовательностей в их оперативную память и сравнения результатов.

При off-line проверке линий связи между ССД первого и второго уровней модули TR-61 обмениваются определенными числовыми последовательностями. В режиме on-line в качестве проверки используется контрольная сумма, представляющая собой исключаящее ИЛИ для всех величин передаваемых данных. Эта контрольная сумма дописывается к массиву данных и вместе с ним передается в ГК, который сравнивает ее значение с вновь вычисленной величиной.

Результаты, полученные на детекторе БАРС при проведении физических экспериментов изложены в восьмой главе.

Для мониторинга параметров работы установки используются несколько калибровочных процедур:

1. Производится регулярное измерение степени загрязнения аргона электроотрицательными примесями как внутри криостатов, так и в емкостях хранилища. За семь лет работы доля кислорода в аргоне увеличилась с 3 до 5 ppm.
2. Перед началом работы детектора, а также во время набора статистики производится описанная выше процедура калибровки каналов регистрирующей электроники сигналами от генератора импульсов. Величины откликов каналов на различные значения калибровочного сигнала записываются вместе с данными на ленту и используются в дальнейшем при анализе полученной в эксперименте информации. Величина дисперсии откликов каждого канала на калибровочный сигнал используется для оценки уровня шума электроники.
3. Сопоставление калибровочных кривых каналов РЭ и сигналов детектора, полученных при прохождении космических или ускорительных мюонов, позволяет определить коэффициент перевода отсчетов АЦП в единицы энергии для каждого канала РЭ. В эксперименте эта величина составляла от 4 до 5 отсчетов/МэВ в зависимости от чистоты аргона и величины приложенного высокого напряжения.
4. В начальной фазе эксперимента часть железной защиты перед БАРС была удалена, что позволяло заряженным частицам различных типов попадать в детектор. При такой постановке исследовались каскадные ливни, образующиеся в БАРС при прохождении адронов различной энергии в диапазоне от 10 до 40 ГэВ. Зависимость энергетического разрешения детектора от энергии частиц хорошо описывается формулой

$$\sigma(E)/E(\%) = 3,4 \oplus 65,2/\sqrt{E}.$$

Так как в криостатах БАРС перед первой секцией находится порядка 1 м жидкого аргона (~ 7 радиационных длин), то калибровка пучками электронов была затруднена. Энергетическое разрешение БАРС для электромагнитных ливней было исследовано ранее на прототипе детектора МАРС-2 с использованием электронного пучка. В этом случае зависимость разрешения от энергии имеет вид $\sigma(E)/E \approx 4\%\sqrt{E}$. Так как конструкция прототипа была практически идентична конструкции БАРС, то полагается, что энергетическое разрешение для электромагнитных ливней составляет ту же величину.

Тем не менее проводилось облучение детектора пучками электронов при энергии 10 ГэВ. Используя аппроксимацию зарегистрированных электромагнитных ливней, удалось определить долю энергии, выделяемую электронами в жидком аргоне. Она составила 71% от полной энергии частиц, что хорошо согласуется с соотношением активного и пассивного вещества детектора.

При использовании детектора БАРС в качестве активной нейтринной мишени в эксперименте на Комплексе Меченых Нейтрино были зарегистрированы взаимодействия нейтрино по каналам заряженного и нейтрального токов. Пример взаимодействия мюонного нейтрино показан на рис. 11.

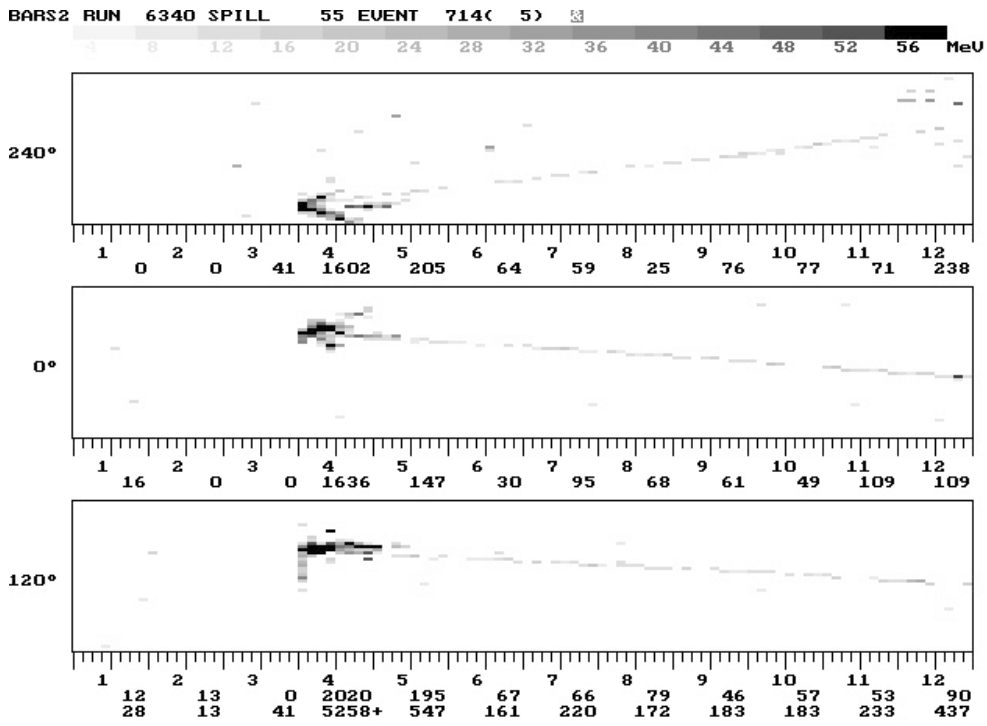


Рис. 11. Взаимодействие мюонного нейтрино в детекторе БАРС по каналу заряженного тока.

Эффективность программы on-line отбора кандидатов в нейтринные события составила:

- подавление фоновых процессов, обусловленных взаимодействиями космических частиц, $\sim 99\%$;
- нахождение нейтринных взаимодействий $> 99\%$.

Существующие проблемы формирования вторичного пучка не позволили пока набрать статистику, достаточную для проведения физического анализа записанных событий.

В последнее время, кроме исследований нейтринных взаимодействий, спектрометр БАРС используется для изучения горизонтальных высокоэнергичных космических мюонов. При $E_\mu > 1$ ТэВ потери энергии мюона при прохождении через вещество обусловлены в основном образованием тормозных гамма-квантов и рождением электрон-позитронных пар. Число актов образования e^+e^- пар равно произведению толщины детектора T (в радиационных длинах) на сечение процесса, которое довольно быстро растет с энергией $\sigma_{e^+e^-} \sim \ln^2(2m_e E_\mu / m_\mu \delta_0)$, где m_e — масса электрона, m_μ — масса мюона, δ_0 — минимальная энергия ливня, регистрируемая детектором. Таким образом, по числу актов взаимодействия можно оценить энергию мюона. Кроме того, энергия ливней пропорциональна энергии мюона и составляет в среднем $\sim 10^{-2} E_\mu$. Поэтому при прохождении через толстый слой вещества высокоэнергичный мюон будет образовывать серию электромагнитных

ливней, обусловленных в основном рождением e^+e^- пар (рис.12). Считая число таких ливней и определяя их энергию, можно оценить энергию мюона.

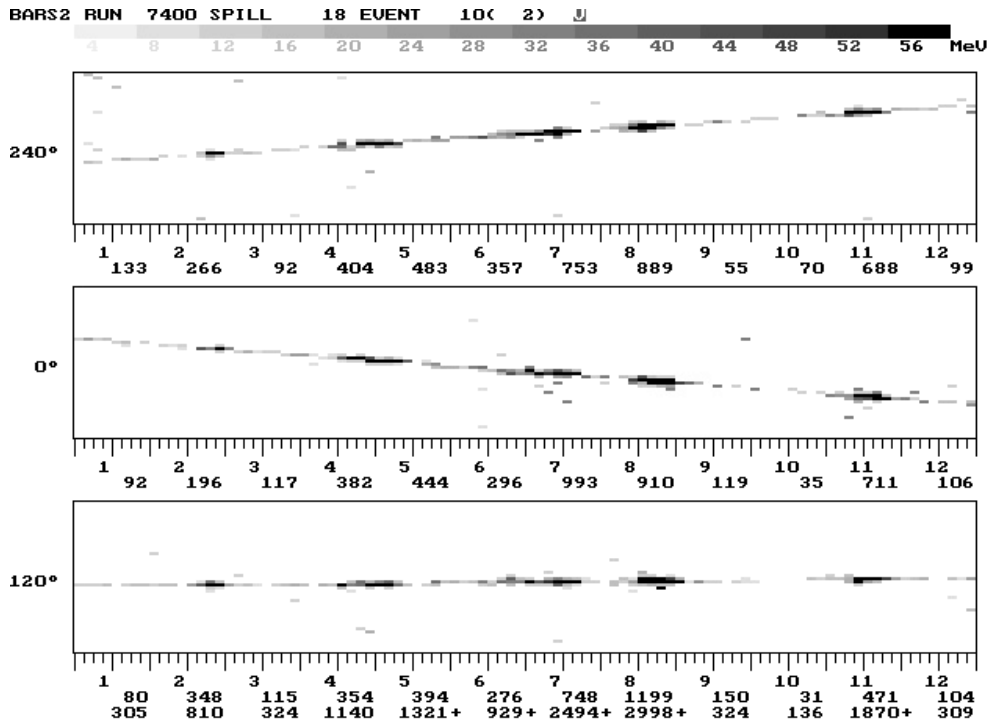


Рис. 12. Образование электрон-позитронных пар космическим мюоном высокой энергии.

Преимущество использования такого метода, получившего название “парметр”, перед другими методами мюонной спектрометрии (например, магнитные спектрометры или детекторы переходного излучения) заключается в том, что энергетическое разрешение не ухудшается с ростом энергии и составляет

$$\frac{\sigma}{E} = \sqrt{\frac{9\pi}{28\alpha T}} \approx \sqrt{\frac{137}{T}},$$

где T — толщина детектора в радиационных длинах, а $\alpha=1/137$ — постоянная тонкой структуры.

В 1996 году было принято решение использовать детектор БАРС для измерения спектров горизонтальных космических мюонов большой энергии [6]. Длина одного криостата БАРС составляет 137 рад.дл., а высокая гранулярность детектора позволяет с хорошим разрешением регистрировать электромагнитные ливни с энергией $\geq 0,5$ ГэВ. Кроме того, большие поперечные размеры детектора обеспечивают необходимый аксептанс для регистрации малых потоков горизонтальных мюонов ($\sim 0,2$ мюона/с). В качестве триггера в этом случае используется совпадение сигналов от трех групп сцинтилляционных триггерных плоскостей, расположенных в начале, середине и конце детектора.

На установке БАРС было проведено два сеанса, посвященных изучению космических мюонов: один длительностью две недели (февраль 1996 г.), второй —

длительностью 2 месяца (ноябрь–декабрь 1996 г.), и с марта 1997 г. начал сеанс, продолжительность которого, как предполагается, составит один год. За это время ожидается зарегистрировать $> 10^4$ мюонов с энергией выше 1 ТэВ.

Предварительный анализ части полученной информации показал, что на спектрометре БАРС могут быть получены данные по спектрам и потокам горизонтальных мюонов, значительно уточняющие имеющиеся результаты.

В последнее время обсуждается возможность использования БАРС при изучении вертикальных космических ливней (рис. 13).

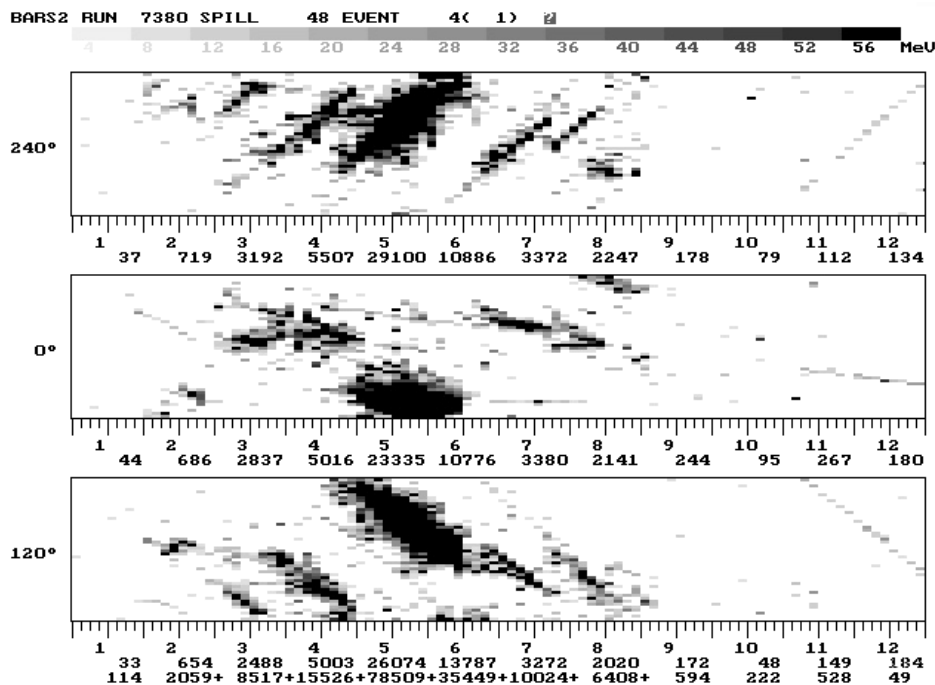


Рис. 13. Атмосферный ливень в детекторе БАРС.

Высокая сегментация детектора БАРС, обеспечивающая надежное разделение адронных, электромагнитных и мюонных компонент космического излучения, даст возможность с высокой точностью определить состав и структуру широких атмосферных ливней.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации.

1. БАРС — в настоящее время самый большой среди действующих жидкоаргоновых детекторов — является в то же время относительно “легким” спектрометром (его средняя плотность составляет $1,6 \text{ г/см}^3$), в котором большая часть ($\approx 70\%$) оставшейся ионизирующими частицами энергии выделяется в активном веществе. При этом ЭМ и адронные ливни, развивающиеся в детекторе, имеют достаточно большие размеры. Все это приводит к хорошему энергетическому разрешению детектора и позволяет при высокой сегментации, которой обладает БАРС, детально реконструировать произошедшее событие.

2. Сцинтилляционная триггерная система, обладающая высокой эффективностью и высоким временным разрешением, позволяет не только регистрировать различные события в детекторе, но и подавлять фон от проходящих мюонов благодаря наличию системы мюонной режекции.
3. Разработанный метод режекции событий с помощью селективного отбора ионизационных сигналов регистрирующей электроники и быстрого анализа их амплитуд позволяет практически полностью подавить фон, обусловленный прохождением через БАРС низкоэнергичных мюонов, а также наличием наводок и случайных совпадений триггерных плоскостей. Несмотря на большую загрузку детектора, обусловленную прохождением через БАРС частиц, обогнувших мюонную защиту или пришедших из космоса, система сбора данных была организована таким образом, что мертвое время установки не превышает 3% от времени вывода пучка.
4. Благодаря использованию 24 встроенных микроЭВМ и оптимально разработанному программному обеспечению, удалось создать систему сбора данных, максимально оптимизированную по скорости и в то же время обладающую высокой гибкостью и универсальностью работы.
5. Организация параллельной работы различных процессов:
 - одновременная передача данных со всего детектора в 144 модуля TNE-01;
 - чтение данных из буферных памяти TNE-01 в оперативную память микрокомпьютера одновременно с обработкой вновь поступающих триггерных сигналов;
 - сканирующий режим чтения информации из буферных памяти модулей TR-61 главным компьютером

позволяет значительно снизить мертвое время установки и время обработки полученной информации.

6. Спектрометр БАРС имеет 4490 блоков электроники, обслуживающей 28320 каналов. Несмотря на столь большое количество электроники, разработанная система on-line контроля за ее поведением позволяет легко и быстро обнаружить и устранить возникающие неполадки, в результате чего эффективность работы установки оказалась близкой к 100%.
7. Хотя передача данных от регистрирующей электроники обладает однонаправленностью, разработанный метод on-line и off-line тестирования позволяет с высокой надежностью проверить достоверность приходящей информации.
8. Используемый метод on-line измерения пьедесталов каналов регистрирующей электроники и их перезапись в памяти модулей TNE-01 позволяют компенсировать дрейф базовой линии усилителей, обусловленный суточным изменением температуры.

9. Вывод реконструированных событий в графическом виде на монитор персонального компьютера позволяет следить за качеством полученных данных: наличием паразитных наводок, неправильным подключением кабелей к QDC-картам и т.д. Кроме того, on-line отбор кандидатов на искомые взаимодействия позволяет следить за качеством проведения сеанса: скоростью набора полезных событий, их энергетическими параметрами и т. д.
10. Созданная программа фильтрации кандидатов в нейтринные взаимодействия позволяет сразу при наборе статистики отобрать искомые события, при этом фоновые события подавляются в 100 раз, а потери событий с нейтринными взаимодействиями не превышают 1%.
11. Калибровка детектора пучками адронов и электронов различной энергии дала следующие результаты: энергетическое разрешение детектора составляет:
 - для адронов $\sigma(E)/E(\%) = 3,4 \oplus 65,2/\sqrt{E}$,
 - для электронов $\sigma(E)/E \approx 4\%\sqrt{E}$.
12. При использовании детектора БАРС в качестве активной нейтринной мишени в эксперименте на Комплексе Меченых Нейтрино впервые были зарегистрированы взаимодействия меченых нейтрино по каналам заряженного и нейтрального токов.
13. Проведенные исследования показали, что спектрометр БАРС может быть использован для измерения потоков и энергетического распределения горизонтальных космических мюонов, а также для исследования широких атмосферных ливней.
14. Разработанные *hardware* и *software* позволяют с высокой надежностью проводить длительные сеансы, при этом дежурный персонал состоит из одного человека, который достаточно легко контролирует работу всей установки.

Список литературы

- [1] Анিকেев В.Б., Беликов С.В., Гилицкий Ю.В., Гуржиев С.Н., Ю.Е. Гутников, Денисов А.Г., Денисов С.П., Дженнаро Дж., А.Ю. Душкин, Дж. Конфорто, Корешев В.И., В.И. Кочетков, В.В. Липаев, С.В. Лось, П.В. Мамаков, А. Маркионни, Е.А. Мельников, В.Н. Михайлин, В.С. Михайлов, С.А. Мухин, Ф. Серджиампиетри, А.П. Солдатов, Г. Спандре, А.А. Спиридонов, А.Н. Сытин, Тишин Г.В., Шеин И.В., Черри К. *Большой жидкоаргоновый спектрометр BARC*: Препринт ИФВЭ 97-32, Протвино, 1997. (Направлено в ПТЭ).
- [2] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Кочетков В.И., Старцев В.С. *Сцинтилляционная триггерная система жидкоаргонового нейтринного детектора*: Препринт ИФВЭ 92-160, Протвино, 1992.// ПТЭ, 1993, т.6, с. 56.
- [3] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Гутников Ю.Е., Денисов А.Г., Кочетков В.И., Матвеев М.Ю., Мельников Е.А., Усачев А.П. *Сцинтилляционная система запуска жидкоаргонового нейтринного детектора*: Препринт ИФВЭ 94-68, Протвино, 1994.// ПТЭ, 1995, т.2, с. 43.
- [4] Беликов С.В., Липаев В.В., Лось С.В. *Организация сбора данных на детекторе BARC*: Препринт ИФВЭ 97-33, Протвино, 1997.
- [5] S.Belikov S.V., Lipaev V.V., Los S.V. *Real-time Data Monitoring in the Big Liquid Argon Spectrometer Data Acquisition System, Tagged Neutrino Experiment*: Preprint IHEP 97-34, Protvino, 1997//“Frontier Detectors for Frontier Physics”, 7th Pisa Meeting on advanced detector, La Biodola, Isola d’Elba, Italy, 25-31 May, 1997, to be published.
- [6] Belikov S.V., Conforto G., Gurzhiev S.N., Gutnikov Yu.E., Denisov A.G., Denisov S.P., Dushkin A.Yu., A.V. Ekimov, T.M. Kirina, V.I. Kochetkov, Kokoulin R.P., M. Lanfranchi, V.V. Lipaev, S.V. Los, A. Marchionni, F. Martelli, Melnikov E.A., Mikhailov V.S., Petrukhin A.A., Sergiampietri F., I.V. Shein, Soldatov A.P., Spandre G., Sytin A.N. *On the use of the LA spectrometer BARC for horizontal muon spectrum measurements*: Preprint IHEP 96-65, Protvino, 1996.

Рукопись поступила 10 июля 1997 г.

С.В.Беликов.

Сбор и on-line обработка данных с большого жидкоаргонового спектрометра
БАРС.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 14.07.97. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 3,25. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 100. Заказ 1048. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

