

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УДК - 539.1.07/074:537.596

На правах рукописи.

АЛЧУДЖАН

Степан Варганович

КОМПЛЕКСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПОТОКА МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЯМИ (0,005 + 4,0) ТэВ.

(01.04.16 - физика атомного ядра и
элементарных частиц).

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЕРЕВАН - 1983

Работа выполнена в Ереванском Физическом Институте.
Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Т.Л.Асатиани.

Официальные оппоненты: доктор технических наук Ю.В.Заневский
(ЛВЗ ОИЯИ)
доктор физико-математических наук
Р.О.Авакян (ЕФИ)

Ведущая организация: Институт Физики АН ГрузССР.

Защита состоится " 3 " апреля 1984 г. в 14⁰⁰ час
на заседании специализированного совета Д 034.03.01 Ереванско-
го Физического Института (375036, г. Ереван, ул. Маркаряна 2)
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 26⁰⁰ января 1984 г.

Ученый секретарь специали-
зированной совета ЕФИ *В.А.Шахбазян* В.А.Шахбазян.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. Исследование характеристик потока мюонов космического излучения одна из важных задач физики высоких энергий. Энергетический спектр, зарядовый состав и угловое распределение мюонного потока позволяют судить о характере адрон-ядерных взаимодействий, происходящих в верхних слоях атмосферы при энергиях, превосходящих ускорительные, а также могут дать сведения о составе первичного космического излучения при соответственно больших энергиях. В этом смысле особенно интересен горизонтальный поток космических лучей, состоящий в основном из мюонов (адронная и электронно-фотонная компоненты почти полностью поглощаются в толще атмосферы), интенсивность которых в области высоких энергий значительно выше, чем в вертикальном потоке. Все указанные параметры мюонного потока позволяют измерять горизонтальный магнитный спектрометр.

В последнее время в физике высоких энергий получили большое распространение многослойные установки калориметрического типа, позволяющие не только измерять энергии мюонов, но и исследовать процессы взаимодействий мюонов с веществом, в том числе и ядерные, а также группы мюонов, рожденных в атмосфере.

В настоящее время данные о процессах множественного рождения мюонов под большими зенитными углами весьма скудные.

Так же мало данных о характеристиках широких атмосферных ливней под большими зенитными углами на высотах гор. Нет полной ясности в вопросе механизма возникновения горизонтальных атмосферных ливней.

Комбинация в экспериментальной установке таких детекторов частиц, как искровые камеры и многослойная установка позволяет достаточно полно исследовать горизонтальные атмосферные ливни.

Целью работы было создание комплексной экспериментальной установки для всестороннего исследования околоразомного потока космических лучей на высотах гор, в том числе:

- 1) создание магнитного спектрометра для измерения импульсного спектра, зарядового состава и углового распределения мюонов;
- 2) создание искрового калориметра для изучения электро-

магнитных и ядерных взаимодействий мюонов, исследования групп мюонов, измерения энергетического спектра мюонов;

3) создание на базе первых двух узлов ливневой установки для исследования характеристик горизонтальных атмосферных ливней.

Для создания установки и обеспечения качественного набора статистического материала было необходимо разработать:

1) высокоэффективную систему регистрации частиц и запуска детектирующей системы на основе сцинтилляционных счетчиков;

2) детекторы заряженных частиц – искровые камеры различного назначения;

3) надежные системы вывода информации с искровых камер и сцинтилляционных счетчиков – фильмовую и бесфильмовую.

Новизна работы. Впервые создана комплексная установка, позволяющая проводить всестороннее исследование горизонтального потока космических мюонов на высотах гор (3200 м над уровнем моря). Магнитный спектрометр, входящий в состав установки, в период его создания и начала эксплуатации являлся одним из самых крупных в мире и единственным в СССР.

Впервые в длительном эксперименте по исследованию космических лучей применены большие координатные проволочные искровые камеры с гелиевым наполнением и автоматическим выводом информации.

Создана высокоапертурная многорядная установка (искровой калориметр), позволяющая всесторонне исследовать многочастичные события. Впервые точность оценки энергии методом многослойного детектора калибровалась данными магнитного спектрометра.

Создана многоцелевая комплексная установка для исследования характеристик горизонтальных атмосферных ливней. Впервые в такой установке применены искровые камеры для измерения плотности и углового распределения электронной компоненты и искровой калориметр для детектирования мюонов и адронов, входящих в состав ливней.

Научная и практическая ценность работы. При создании установки решен ряд методических вопросов, связанных с обеспечением эффективной работы установки. Исследованы различные методы

светофора со сцинтилляционных счетчиков с целью выбора наиболее эффективного режима их эксплуатации. Выработаны практические рекомендации по настройке и эксплуатации многоэлементного сцинтилляционного телескопа с большой базой и различными фотомножителями. Разработаны различные технологические варианты изготовления широкоазорных искровых камер ПИК, приспособленных к длительной работе в сложных условиях высокогорья. Изготовлены и использованы в длительном эксперименте многопроволочные искровые камеры ПИК, работающие в режиме прямого кодирования и запоминания информации. Для вывода информации с ПИК создано устройство на интегральных микросхемах, обеспечивающее предварительный отбор полезных событий. Оригинальная оптико-механическая система съема информации с восьмिरядной установки (искровой калориметр) позволила фотографировать всю картину прохождения частиц на два стереокадра на одной пленке.

Разработанные методы настройки сцинтилляционных телескопов, изготовления и эксплуатации ПИК и ПИК, съема информации с них в дальнейшем могут быть использованы в готовящемся эксперименте АНИ.

В процессе экспонирования отдельных узлов и комплексной установки в целом набран большой статистический материал, позволивший получить много ценных физических результатов.

Апробация работы. Материалы, послужившие основой диссертации, докладывались на Международных конференциях по космическим лучам (Калгари, Канада, 1967 г.; Мюнхен, ФРГ, 1975 г.), на Международном совещании по бесфильмовым искровым и стримерным камерам (Дубна, СССР, 1969 г.), на Всесоюзных конференциях по космическим лучам (Апатиты, 1973 г.; Ереван, 1979 г.; Самарканд, 1981 г.), опубликованы в печати в 9 работах.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, приложения и заключения, содержит 147 страниц, в том числе 74 рисунка, 8 таблиц. Список цитируемой литературы включает в себя 89 наименований.

На защиту выносятся следующие результаты.

I. Комплексная установка для исследования горизонтально-го потока космических мюонов, состоящая из:

а) магнитного спектрометра с диапазоном измеряемых импульсов $5 \leq P_m \leq 4000$ ГэВ/с в интервале зенитных углов $80^\circ \leq \theta < 90^\circ$;

б) искрового калориметра для исследования мюонов с энергиями $E_m \geq 8$ ГэВ с пространственным разрешением 1 мм при регистрации мюонных групп;

в) ливневой установки для регистрации горизонтальных атмосферных ливней с $N_e \geq 10^3$.

2. Сцинтилляционные системы выделения событий в режимах автономной и совместной работы узлов а), б) и в) комплексной установки, основанные на время-пролетной методике.

3. Технологические разработки по изготовлению широкозазорных и узкозазорных (проволочных) искровых камер, обладающих высокой эффективностью и стабильностью эксплуатационных характеристик в длительном эксперименте в условиях высокогорья.

4. Системы высоковольтного питания искровых камер и съема информации с ПИК (фильмовые) и с ПИК (автоматическая с отбором полезных событий и выводом на перфоленту).

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении приводится краткое обоснование актуальности всестороннего исследования горизонтального потока космических лучей — измерения энергетического спектра, зарядового состава и углового распределения мюонов, исследования групп мюонов под большими зенитными углами и процесса адронорждения мюонами на ядрах, исследования характеристик горизонтальных атмосферных ливней (плотности, зенитно-углового распределения, мюонной компоненты); приводятся сведения об аналогичных экспериментах.

В первой главе описаны основные примененные в эксперименте методы исследования космических лучей, конструкции основных узлов установки.

Единственным способом измерения знака заряда и одним из лучших для измерения импульсов мюонов космического излучения является метод магнитного спектрометра. Малое сечение взаимодействия мюонов с веществом позволяет использовать в установке магнит со сплошным железным сердечником, обеспечивающим высокую напряженность поля при хорошей его однородности по всему рабочему объему. Основными факторами, определяющими эффективность

метода, являются максимально измеримый импульс $P_{\text{макс}}$ и светосила установки G . Эти параметры зависят от пространственного разрешения, количества и размеров элементов детектирующей системы. Небольшой диапазон зенитных углов и малая интенсивность событий в горизонтальном потоке приводят к необходимости увеличения эффективной площади детектирующей системы и длительности экспонирования установки. При наборе статистического материала отдельными сериями необходимо обеспечить однородность получаемых данных.

Особенностью метода искрового калориметра является возможность оценки энергии мюонов по количеству и мощности вторичных электромагнитных ливней, исследования групп мюонов и процессов адронорждения мюонами на ядрах вещества поглотителей. При взаимодействиях высокоэнергичных мюонов с веществом происходят следующие основные процессы: а) упругое рассеяние на атомных ядрах; б) прямое рождение электрон-позитронных пар; в) тормозное излучение и г) неупругое рождение адронов. Регистрация продуктов этих процессов в искровых камерах позволяет получать качественную и количественную информацию об их природе. Несмотря на большое количество экспериментов, проблема многомюонных событий не теряет своей актуальности. Метод искрового калориметра является одним из наиболее эффективных для таких исследований.

Метод регистрации горизонтальных атмосферных ливней ГАЛ является одним из самых эффективных для исследования мюонов сверхвысоких энергий ($E_m \geq 10^{13}$ эВ). Основными механизмами генерации ГАЛ могут быть: а) флуктуации широких атмосферных ливней ШАЛ под большими зенитными углами; б) тормозное излучение высокоэнергичных мюонов на ядрах воздуха с последующей генерацией электромагнитного каскадного ливня; в) рождение мюонами адронов на ядрах воздуха с последующим распадом адронной системы на мюонную и электронно-фотонную компоненты ГАЛ. Исследование характеристик ГАЛ может дать ответы на вопросы о процессах, ответственных за образование первичных частиц, о механизмах, доминирующих в образовании ливней.

Расположение основных узлов комплексной установки показано на рис. 1. Основой магнитного спектрометра служит электро-

магнит со сплошным железным сердечником с размерами рабочей части $(80 \times 80 \times 211) \text{ см}^3$. Индукция магнитного поля $B = 2,12 \text{ Тл}$, неоднородность поля не превышает 4% по длине и 6% по сечению рабочей части. Выделяющая система состоит из четырех блоков сцинтилляционных счетчиков, расположенных попарно по обе стороны магнита, включенных в четырехкратную схему совпадений, и четырех счетчиков антисовпадений, блокирующих схему совпадений от ШАЛ. Две независимые системы детекторов регистрируют траектории мюонов до и после магнита: а) четыре широкозонарные искровые камеры, расположенные попарно по обе стороны магнита (основной материал был набран на двух ближайших к магниту камерах, две крайние камеры были введены в установку позже с целью увеличения $R_{\text{макс}}$); б) двенадцать проволочных искровых камер, расположенных по шесть в каждом плече спектрометра. Применение ШИК позволило впервые провести измерения импульсного спектра и зарядового состава космических мюонов, не исключая случаев ливневого сопровождения, и исследовать группы мюонов методом магнитного спектрометра. Съём информации с ШИК осуществлялся фоторегистраторами в плоскости отклонения мюонов в магнитном поле.

Телескоп ШИК, предназначенный для регистрации исключительно одиночных мюонов, имеет больший максимально измеримый импульс, чем телескоп двух ШИК. ШИК работают в режиме прямого кодирования и запоминания информации. Вывод информации осуществлялся на перфоленту в цифровом виде, удобном для последующей машинной обработки. В процессе вывода информации производился автоматический отбор полезных событий (до вывода на перфорацию). Необходимость такого отбора диктовалась меньшей, чем у телескопа ШИК, светосилой и множественными прохождениями, не регистрируемыми ШИК.

Искровой калориметр, расположенный в апертуре магнитного спектрометра, представляет собой восьмьрядную установку, состоящую из пятисантиметровых свинцовых поглотителей, прослоенных широкозонарными искровыми камерами. Площадь поглотителей и мишеней (толщиной 25 см) равна $(220 \times 120) \text{ см}^2$; расстояния между поглотителями 15 см. Полная длина пути частицы в искровом калориметре 160 см. При работе совместно с магнитным спектрометром запуск детекторов осуществлялся выделяющей системой спектромет-

ра, при этом в искровом калориметре регистрировалось $\sim 85\%$ частиц, прошедших через магнитный спектрометр. В режиме автономного экспонирования искрового калориметра выделение событий производилось отдельным телескопом из четырех сцинтилляционных блоков, расположенных по обе стороны калориметра. Съём информации с искровых камер калориметра осуществлялся с помощью специальной оптико-механической системы, состоящей из зеркал и стереофотоаппарата, регистрирующего на два стереокадра на одной пленке всю картину прохождения частиц через установку.

Элементы ливневой установки размещались таким образом, чтобы на пути к ним у электронов не было дополнительного вещества, поглощающего их или искажающего их траектории. Сцинтилляционные счетчики (выделяющая система) и искровые камеры (ливневые детекторы) располагались напротив оконных проемов, под легким перекрытием крыши и вне здания. Выделяющая система составлена из 11 сцинтилляционных счетчиков; площадь, охватываемая ими, равна $(9,8 \times 11,3) \text{ м}^2$, длина телескопа 19,0 м. Электронная компонента ливней регистрировалась в четырех искровых камерах, расположенных вблизи счетчиков, детектором мюонов и адронов служил искровой калориметр. По данным искровых камер определялись плотность, зенитный и азимутальный углы электронной компоненты ливней, а в искровом калориметре исследовались все параметры мюонной компоненты.

Вторая глава посвящена разработке сцинтилляционных систем выделения событий. Проведено исследование различных методов светосбора со счетчиков разных размеров с выбором наиболее эффективных для каждого узла установки. В сцинтилляционном телескопе магнитного спектрометра применены экраны, защищающие фотомножители от рассеянного поля магнита, и цилиндрические световоды, уводящие ФЭУ внутрь этих экранов. В телескопе искрового калориметра ФЭУ приставлены к торцам счетчиков без световодов. Оптический контакт осуществлен с помощью прозрачного клея ОК-72 и силиконовой смолы. Светосбор с больших счетчиков ливневой установки $(80 \times 80) \text{ см}^2$ осуществлен ФЭУ-49, направленными фотокатодом на плоскость счетчиков. Все счетчики обтянуты плотно прилегающей белой бумагой, улучшающей светосбор с периферийных областей. Подбор параметров высоковольтных делителей

ФЭУ проводился с контролем выходных импульсов с помощью амплитудного анализатора. Периодический контроль в процессе эксплуатации установки позволил поддерживать эффективность сцинтилляционных телескопов $\sim 100\%$. Большие размеры установки, удаленность счетчиков друг от друга требуют особенно тщательной настройки временных связей элементов телескопов для эффективного выделения событий с применением время-пролетной методики. Для этого применен метод, основанный на сопоставлении задержек настраиваемых счетчиков с задержкой контрольного счетчика, с помощью время-амплитудного преобразователя и амплитудного анализатора. Система позволяет не только с высокой точностью настраивать телескоп перед экспонированием установки, но и контролировать его работу в течение всей серии измерений.

Приводится описание логических схем выделяющих систем всех узлов установки. Применение дискриминаций, антисовпадений, точная настройка временных связей позволили свести до минимума количество запусков магнитного спектрометра от ШАЛ - частота запусков установки $(30 + 35) \text{ час}^{-1}$ при $(10 + 15) \text{ час}^{-1}$ полезных срабатываний. Большая светосила автономного сцинтилляционного телескопа искрового калориметра позволила регистрировать ~ 100 полезных событий в час при частоте срабатываний $\sim 120 \text{ час}^{-1}$. Сцинтилляционный телескоп ливневой установки, состоящий из 11 счетчиков, эксплуатировался в четырех вариантах логической схемы выделения событий. Во всех случаях схемы строились так, чтобы обеспечить регистрацию компонент ливней в искровых камерах. Распределения событий по зенитным углам, построенные по данным искровых камер при различных углах настройки телескопа (рис. 2), указывают на правильность настройки и достоверность получаемых на установке результатов. Большое количество ШАЛ на высотах гор и невозможность применения антисовпадений в ливневой установке не позволили исключить запуски установки от ШАЛ.

В качестве самостоятельного (независимого от искровых камер идентификатора ГАЛ) применялась система вывода информации о сработавших сцинтилляционных счетчиках на осциллограф с памятью. Устройство, выделяющее и формирующее импульсы от ФЭУ, распределяющее их по всей развертке осциллографа, собрано на интегральных микросхемах.

В третьей главе приведены конструктивные и технологические особенности искровых камер различного назначения, изготовленных для применения в установке. Описаны системы их высоковольтного питания и вывода информации. Сложные условия высокогорья (пониженное атмосферное давление, резкие и значительные изменения давления и окружающей температуры) предъявляют повышенные требования к конструктивным и эксплуатационным качествам искровых камер.

Для магнитного спектрометра были разработаны проволочные искровые камеры. Electroды камер представляют собой жесткие рамы, отлитые из эпоксидного компаунда с арматурой из дюрала и стекла, с натянутыми на них проволоками. Диаметр проволоки 0,1 мм, шаг натяжки 1 мм. Боковые стенки камер заклеены лавсановой пленкой. Камеры работают в режиме постоянного продува технически чистым гелием. Контроль чистоты газа в камерах производился с помощью разрядника, продуваемого выходящим из камер газом, включенного в цепь высоковольтного RC-генератора. Частота срабатываний генератора зависит только от чистоты газа. Использование чистого гелия, применение системы контроля на всех стадиях работы установки обеспечили экономичный режим поддержания работоспособности камер. Проволочные искровые камеры работают в режиме прямого кодирования и запоминания информации. Использование в кодировке координаты обоих электродов позволило вместо сложного 1000-входного элемента памяти использовать два 32-входных шифратора на 10 ферритовых кольцах каждый. Для кодировки применен рефлексный код Грея, позволяющий расшифровывать записи в шифраторах и в тех случаях, когда ток искры прошел не через одну, а две проволоки. Это позволило повысить точность определения координат в телескопе ПИК. Управляемый режим записи и независимость параметров высоковольтного импульса от количества задетых искрой проволок обеспечивается специальной схемой питающего генератора (рис. 3). Вывод информации с ферритовых шифраторов, отбор полезных событий и печать на перфоленту производятся устройством, собранным на интегральных микросхемах. Эксплуатационные характеристики ПИК определялись на испытательном стенде. Эффективность камер $\sim 90\%$, время памяти $\sim 2,5 \text{ мкс}$, точность определения координаты $\sim 0,35 \text{ мм}$.

Для разных узлов установки были созданы широкозазорные искровые камеры, различающиеся как по размерам, так и по рабочим характеристикам. В магнитном спектрометре основное внимание уделялось обеспечению высокой точности следования треков траектории частицы, для искрового калориметра гораздо важнее обеспечить высокую ливневую эффективность. ШИК магнитного спектрометра двухсекционные с суммарной длиной трека 30 см. Electroды камер представляют собой рамы с натянутыми на них проволоками. Выбор материала и размеров элементов рам производился из соображений достаточной прочности, не допускающей их прогибания и провисания проволок. Склейка всех камер производилась эпоксидным компаундом. Для обеспечения высокой прочности и герметичности приклейки была предложена новая технология, согласно которой все склеиваемые поверхности предварительно покрываются цинком с помощью электрометаллизационного аппарата. Технология позволяет склеивать даже такой материал, как лавсан, вообще не смачиваемый клеем. Высокая герметичность камер позволяла эксплуатировать их длительное время (>1 года) без замены газа с сохранением яркости и качества треков.

Модули искровых камер калориметра (по два для каждого зазора) имеют сплошные дюралевые электроды, приклеенные к стеклянной обечайке посредством пропитанной эпоксидным компаундом стеклотенты. Такая технология позволила избежать непосредственного контакта металла со стеклом и обеспечить некоторую пластичность склейки. Камеры нечувствительны к изменениям окружающих условий и работали в установке несколько лет без замены заполняющего газа с сохранением яркости треков и ливневой эффективности на первоначальном уровне.

Высоковольтное питание ШИК магнитного спектрометра обеспечивалось генераторами импульсного напряжения, помещенными в герметичный объем в атмосфере азота под давлением ~5 ата. Искровые зазоры ШИК шунтированы катушками индуктивности. Емкость искровой камеры, индуктивность катушки и омическое сопротивление искры в камере составляют колебательный контур, формирующий высоковольтный импульс в виде затухающей синусоиды. Такая форма импульса максимально приближает канал пробоя в камере к истинной траектории частицы, повышая точность определения ее парамет-

ров. Генераторы высоковольтного импульса искрового калориметра (по одному на два смежных зазора) собраны по классической схеме; конденсаторы и зарядные сопротивления помещены в трансформаторное масло, что препятствует возникновению коронных разрядов и микропробоев и значительно увеличивает срок службы генераторов. Для повышения ливневой эффективности и обеспечения равномерной яркости треков по всему объему камер амплитуда высоковольтного импульса несколько завышена, а снятие краевых пробоев и свечения газа после формирования треков обеспечивается обрезками тригatronами, поджигаемыми импульсом с первого каскада генератора.

Запуск всех генераторов производится одной системой. Блок-кинг-генератор на лампе со вторичной эмиссией 6В2П запускает тригatron, являющийся коммутатором RC -генератора. Высоковольтный импульс, сформированный RC -генератором подается на поджиг всех генераторов, питающих ШИК и ПИК. В том же блоке смонтирована система управления подсветкой реперных меток, счетчиком событий и всеми фоторегистраторами.

Треки в искровых камерах магнитного спектрометра фотографируются в плоскости отклонения частиц в магнитном поле. Для восстановления второй координаты треков применены система оптических клиньев, расположенных между камерами и фоторегистраторами так, что изображения концов треков попадают в объективы после преломления в клиньях. Смещение концов трека от его основной части пропорционально "глубине". Реперная система магнитного спектрометра состоит из комплекса подсвечиваемых крестов, расположенных в поле зрения фоторегистраторов, отъюстированных с точностью ± 20 мкм. Кроме того на каждый кадр фотографируются индикаторы счетчика кадров, счетчика пленок, направления магнитного поля, направления пролета частицы, номера камеры. Для калибровки реперной системы была проведена серия контрольных фотографирований эталонной сетки во всех отсеках магнитного спектрометра.

Регистрация событий в искровом калориметре осуществляется с помощью оптико-механической системы, состоящей из комплекса зеркал и стереофоторегистратора СФР. СФР обеспечивает фо-

тографирование событий на два стереокадра на одной плече с автоматической протяжкой экспонированного межобъективного отрезка ленты. Изображения треков направляются в объективы СФР посредством зеркал, расположенных над искровыми камерами так, что каждое зеркало отражает в объективы треки искровых модулей одного отсека. Юстировка зеркальной системы производилась с помощью газового лазера, установленного в плоскости объективов СФР. Для калибровки системы фоторегистрации в отсеках искрового калориметра было проведено фотографирование эталонной сетки.

В ливневой установке для определения азимутального угла греки в камерах ИК1 и ИК2 (рис. 1) фотографировались в горизонтальной плоскости. Измерение зенитного угла производилось на фотографиях ИК1, ИК5 и ИК6 в боковой проекции. Плотность электронной компоненты определялась по данным всех фоторегистраторов и по дополнительному, фотографирующему треки в ИК1 через лавсановую стенку и проволочный электрод (фронтальная проекция).

Эксплуатационные характеристики ШИК, использованных в установке, определялись на испытательном стенде, где подбирались параметры питающих высоковольтных импульсов. Эффективность ШИК $\sim 100\%$ для одиночных частиц и ливней из > 100 частиц, равномерно распределенных по площади камеры; для узких ливней с > 20 частиц в конусе с раствором $\sim 35^\circ$ эффективность падает из-за затенения. Время памяти камер (2,5 + 3,0) мкс; в установке задача высоковольтного импульса задерживается не более, чем на 650 нс после прохождения частицы, в этой области эффективность камер максимальна.

В четвертой главе для иллюстрации возможностей установки приведены некоторые результаты, полученные на материале, набранном за период 1972 + 1982 гг.

Общая длительность эффективной работы магнитного спектрометра составила ~ 3500 часов, зарегистрировано ~ 30000 мюонов. Обработка информации, набранной с помощью ШИК, проводилась двумя способами: а) на прецизионном проекторе с двадцатикратным увеличением; б) на сканирующем автомате НРД. В обоих случаях с обрабатываемых кадров снимались данные о координатах треков и реперных меток, смещении концов треков в оптических клиньях. Вся информация передавалась в ЭВМ, где вычислялись им-

пульс частицы, знак ее заряда, смещения траекторий входа и выхода в центре магнита или на выходе из него, смещение и угол между половинками трека в двухсекционной камере. Определялась угловая точность каждого метода для вычисления максимально измеримого импульса. Метод обработки на проекторе обеспечивал $R_{\text{макс}} \approx 1600$ ГэВ/с, при обработке событий на НРД $R_{\text{макс}} \approx 1085$ ГэВ/с (данные для телескопа, состоящего из двух ШИК; при четырех ШИК $R_{\text{макс}} \approx 4500$ ГэВ/с). Обработка данных бесфильмового телескопа производилась на ЭВМ М222. В первой серии измерений было получено для максимально измеримого импульса значение $R_{\text{макс}} \approx 2000$ ГэВ/с, после повторной юстировки камер была достигнута величина $R_{\text{макс}} \approx 4000$ ГэВ/с. После вычисления импульсов мюонов в обоих случаях все события распределялись по импульсным интервалам с равным количеством событий в каждом интервале. События с $R_{\text{м}} \geq 1$ ТэВ/с обрабатывались повторно с уточнением измерений. Для каждого интервала определялось зарядовое отношение. Построены: а) дифференциальный импульсный спектр и б) зависимость зарядового отношения от импульсов мюонов. Полученные данные хорошо согласуются с известными литературными данными.

Суммарная длительность всех серий экспонирования искрового калориметра составила ~ 2000 часов, в том числе ~ 1000 часов совместно с магнитным спектрометром. Проведена калибровка метода оценки энергии в искровом калориметре данными магнитного спектрометра. В автономном режиме работы за ~ 1000 часов набрано $\sim 1,03 \cdot 10^5$ мюонных событий. Зарегистрировано 63 группы мюонов от 2 до 12 частиц в группе, 48 случаев ядерного взаимодействия мюонов со свинцом. Приведены результаты исследований, проведенных на искровом калориметре, экспериментальные данные сопоставлены с расчетами. Во всех случаях наблюдается хорошее согласие, что еще раз подтверждает эффективность метода искрового калориметра для подобных исследований и достоверность полученных на установке результатов.

Ливневая установка работала в общей сложности ~ 2800 часов. Зарегистрировано в диапазоне зенитных углов ($50^\circ + 90^\circ$) около 1800 событий. Согласно разработанным критериям отбора ГАЛ

интервал зенитных углов был резко сужен до $(70^\circ + 90^\circ)$, за полезные события принимались только те срабатывания установки, когда в искровых камерах были зарегистрированы частицы. Окончательные результаты по интенсивности ГАЛ на высотах гор, полученные по данным искровых камер, $(3,5 + 4,2) 10^{-2}$ час $^{-1}$. Наклон спектра ливней с зенитными углами $\theta \approx 90^\circ$ описывается зависимостью $N_e^{2,6}$. С помощью осциллографического метода идентификации ливней была получена зависимость интенсивности ливней от зенитного угла (рис. 4). Данные хорошо согласуются с Монте-Карло расчетами, проведенными с учетом интенсивности ШАЛ. Зарегистрировано 36 мюонных событий, в том числе 6 пар и I тройка мюонов. Параметры этих событий согласуются с данными искрового calorиметра, полученными в автономном режиме.

В приложении приводится подробное описание схем и принципа действия устройства вывода и накопления информации с проводочных искровых камер. Устройство (блок-схема показана на рис. 5), собранное на интегральных микросхемах серии I55, обеспечивает вывод информации с ферритовых шифраторов, ее анализ (схема блока анализа совместно с блоком памяти приведена на рис. 6), отбор полезных событий по одному или двум критериям полезности, накопление данных на перфоленте. Форма записи информации на перфоленте удобна как для машинной обработки, так и для визуального контроля.

В заключении изложены основные результаты, полученные в диссертации:

I. Впервые на высотах гор (3200 м над уровнем моря) создана экспериментальная установка для комплексного исследования околоризонтального потока космических лучей. Установка состоит из:

а) магнитного спектрометра мюонов с диапазоном измеряемых импульсов $5 \leq P_\mu \leq 4000$ ГэВ/с в интервале зенитных углов $\theta = (80^\circ + 90^\circ)$. Достигнут наибольший в нашей стране максимально измеримый импульс для установок с твердотельными магнитами;

б) искрового calorиметра для исследования групп мюонов и взаимодействий с ядрами вещества мюонов с энергиями $E_\mu \geq 8$ ГэВ в интервале зенитных углов $\theta = (72^\circ + 90^\circ)$. Высокие эксплуата-

ционные характеристики установки позволили впервые провести детальные исследования ядерных взаимодействий мюонов;

в) ливневой установки для исследования характеристик горизонтальных атмосферных ливней с числом частиц $(10^3 + 10^4)$. Высокая достоверность результатов исследований достигнута благодаря применению широкоазорных искровых камер и искрового calorиметра для детектирования электронной, мюонной и адронной компонент ливней.

Сочетание в одной экспериментальной установке магнитного спектрометра и искрового calorиметра позволило впервые провести калибровку метода измерения энергии в искровом calorиметре данными магнитного спектрометра.

2. Создана многоэлементная система выделения событий на основе сцинтилляционных счетчиков. Исследованы различные методы светосбора с выбором вариантов, обеспечивающих эффективность $\sim 100\%$ во всех узлах установки. Впервые в эксперименте на космических лучах применена методика временной настройки сцинтилляционных телескопов, позволяющая поддерживать эффективность выделяющих систем $\sim 100\%$ в течение длительного экспонирования установки.

3. Разработано оригинальное устройство на интегральных микросхемах для вывода информации со сцинтилляционных счетчиков на осциллограф (для идентификации ГАЛ).

4. Разработаны и изготовлены многопроводочные искровые координатные детекторы, впервые в длительном эксперименте работающие с чистым гелием в качестве наполняющего газа. Предложена методика контроля чистоты газа в камерах, позволяющая поддерживать работоспособность ПИК с минимальным расходом газа.

5. Впервые применен метод прямого кодирования координаты в ПИК в двоичном коде с использованием в кодировании обоих электродов камеры, что позволило заменить 1000-входовой элемент памяти двумя 32-входовыми шифраторами.

6. Разработано и изготовлено устройство на интегральных микросхемах для вывода, предварительного отбора и накопления на перфоленте информации с ПИК.

7. Разработаны и изготовлены большие широкоазорные искровые камеры различной конструкции с высокими эксплуатационными

характеристиками: эффективность регистрации одиночных частиц ~100%, многочастичная эффективность, близкая к 100%, длительность работы без перенаполнения - от нескольких месяцев до нескольких лет. Предложен новый метод склейки искровых камер с предварительной электрометаллизацией склеиваемых поверхностей (стали, алюминия, лавсана), обеспечивающий высокую герметичность камер.

8. Установка показала высокие эксплуатационные характеристики при длительной работе, позволив получить большой статистический материал по исследованию различных характеристик высокоэнергетичных мюонов горизонтального потока космических лучей.

Сидор

Публикации по материалам диссертации.

1. Alchudjian S.V., Asatiani T.L., Badalian H.V., Melikov G.I., Gazarian K.A., Krishchian V.M., Prokhorov A.N., Prokhorov V. Arrangement for measuring momentum spectrum and the charge ratio of the high-energy cosmic-ray muon horizontal flux. Can. J. of Phys. 46, 1169, 1968.
2. Асатиани Т.Л., Алчуджян С.В., Бяданов Г.А., Криш В.М., Прохоров В.Н., Прохорова К.К. Большие проволочные камеры с системой вывода и накопления информации. Изв. АН СССР, 37, 7, 1518, 1973.
3. Asatiani T.L., Alchudjian S.V., Gazarian K.A., Minasian G.B., Kozliner L.I., Ter-Antonian S.V., Prokhorov V.N., Prokhorova K.K., Chilingarian A.A. A complex installation for the investigation of high energy cosmic ray muons. PICSR, Munchen, 6, 2191, 1975.
4. Асатиани Т.Л., Алчуджян С.В., Бадалян Г.В., Бяданов Г.А., Газарян К.А., Козлинер Л.И., Кришян В.М., Минасян Г.Э., Прохоров В.Н., Прохорова К.К. Арагацкая установка для изучения характеристик высокоэнергетичного потока мюонов космических лучей. Научное сообщение ВФИ-129, Ереван, 1975.
5. Асатиани Т.Л., Алчуджян С.В., Петросян Р.Л., Бяданов Г.А., Прохоров В.Н., Прохорова К.К. Особенности высоковольтного питания ПМК в режиме прямого кодирования информации. Научное сообщение ВФИ-116(75), Ереван, 1975.
6. Асатиани Т.Л., Алчуджян С.В., Амроян К.А., Зверев А.В., Козлинер Л.И., Мартиросян Г.С., Тер-Антонян С.В., Чилингарян А.А. Исследование горизонтального потока мюонов с помощью магнитного спектрометра и искрового калориметра. Изв. АН СССР, серия физическая, 45, 7, 1265, 1981.
7. Асатиани Т.Л., Алчуджян С.В., Иванов В.А., Тер-Антонян С.В. Исследование групп и ядерных взаимодействий мюонов методом

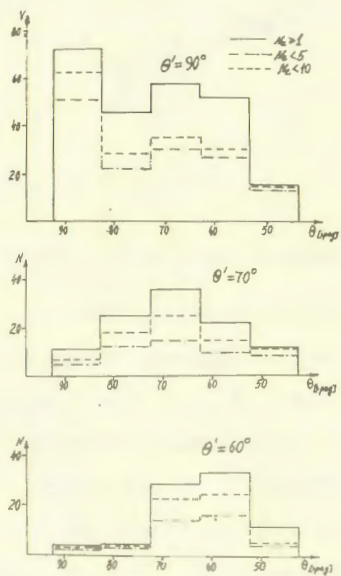


Рис. 2. Распределение событий, зарегистрированных в ливневой установке, по зенитным углам при различных углах настройки сцинтилляционного телескопа θ' .

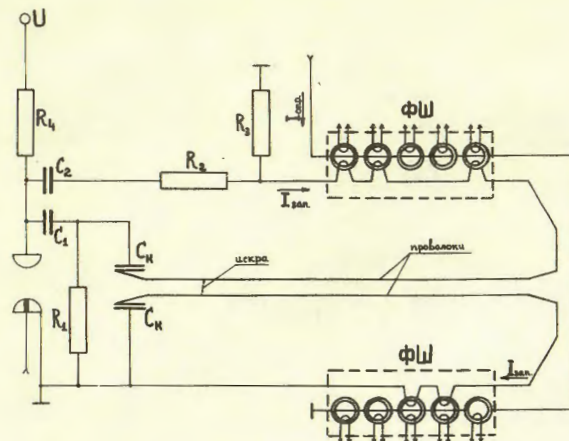


Рис. 3. Схема высоковольтного генератора ПИК.

ФШ - ферритовые шифраторы, $I_{\text{зап.}}$ - ток искры, $I_{\text{опр.}}$ - ток опроса, $R_1 = 1,5 \text{ кОм}$, $R_2 = 750 \text{ Ом}$, $R_3 = 5,1 \text{ кОм}$, $R_4 = 2,0 \text{ МОм}$, $C_1 = 5 \text{ нФ}$, $C_2 = 20 \text{ нФ}$, $C_{\text{к}} = 2 \text{ нФ}$ - распределенная емкость.

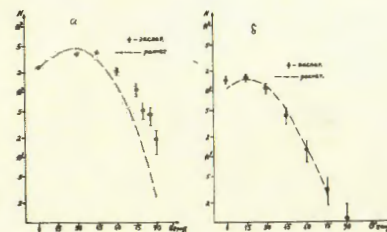


Рис. 4. Частота срабатываний установки при различных углах настройки сцинтилляционного телескопа θ' . а - при длине сцинтилляционного телескопа 9,5 м б - при длине сцинтилляционного телескопа 19,0 м.

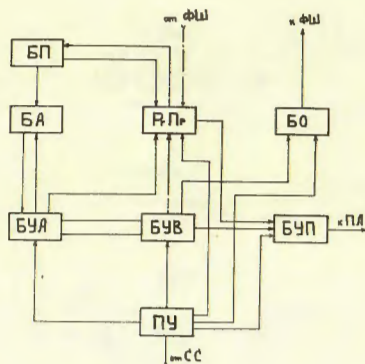


Рис. 5. Блок-схема устройства вывода и накопления информации с проволочных искровых камер.

БУВ - блок управления выводом, Р.П.р - регистр приема, БО - блок опроса, БУП - блок управления печатью, БУА - блок управления анализом, БА - блок анализа, БП - блок памяти, ПУ - пульт управления (лицевая панель).

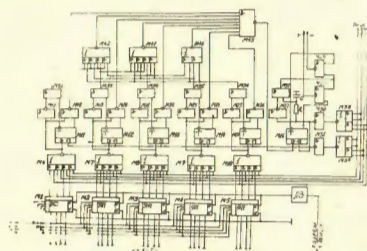


Рис. 6. Схема блока памяти и блока анализа.

М1+М5 - I55PY2, М6+М10, М41, М42 - I55LP3, М38+М40 - I55LP4, М11+М16 - I55TK2, М32+М37 - I55ЛИ1, М43 - I55ЛА2, остальные микросхемы - I55ЛА3. $R = 1 \text{ кОм}$, $C = 1 \text{ нФ}$.

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 400

ВФ - 06158

Тираж 170

Подписано к печати 23.12.83г. Формат издания 60x84/16

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2.