

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ОГАНЕЗОВА ДЖУЛЬЕТТА СЕРГЕЕВНА

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ "ПИОН"
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СПЕКТРОВ И СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
АЛРОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ С ЯДРАМИ

(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 - 1981

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
В. В. Авакян

Официальные оппоненты: доктор техн. наук И. П. Карабекян (ЕрФИ)
кандидат техн. наук О. П. Федотов (ИТЭФ)

Ведущая организация - Тбилисский физический институт АН Гр. ССР

Защита состоится "27" апреля 1982г. в
14-00 час. на заседании специализированного совета Д 034.03.01
при Ереванском физическом институте (375036, г. Ереван, ул. Марка-
ряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан " " _____ 1982г.

Ученый секретарь специализи-
рованного совета ЕрФИ, канди-
дат физ.-мат. наук

В. А. Шахбазян

В. А. Шахбазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Современные экспериментальные исследования физики элементарных частиц требуют создания сложных комплексных установок с тысячам информативных каналов. Монтаж таких установок со многими уникальными детекторами, как правило, занимает много времени. Если учесть еще многообразие задач, которые необходимо решать как при эксплуатации, так и при обработке результатов измерений, то становится очевидной необходимость автоматизации процессов управления и измерения физических величин с применением ЭВМ.

Наземные эксперименты в области физики космических лучей имеют свои специфические особенности в силу круто падающего спектра и сложного потока космического излучения, которые создают дополнительные трудности как в аспекте долгого набора статистического материала (до 5 лет), так и при регистрации и идентификации частиц.

Условия долгой эксплуатации установок вызывает необходимость обеспечения стабильности, периодических калибровок и статистического контроля всех узлов. Разработанная электронная аппаратура должна удовлетворять не только всем вышеперечисленным требованиям, но и специфическим условиям высокогорья, где, в основном, проводятся эксперименты по космическим лучам (температурные колебания, нестабильность электропитания, отдавленность от вычислительных центров и т. д.). Автоматизация процессов съема, контроля, калибровки и обработки информации не только повышает надежность измерений, но и резко увеличивает полезное время эксплуатации установки. Идеальным вариантом и автоматизации является вариант работы ЭВМ "в линию" с экспериментом.

Установка "Пион" на высокогорной станции Арагац предназначена для определения состава потока адронов на горах и исследования характеристик взаимодействия нуклонов и пионов с ядрами в области энергий $0,5 \div 5$ Тэв.

Существующие в настоящее время теоретические модели взаимодействия адронов с ядрами нуждаются в новых эксперименталь-

ччу ланних в области высоких и сверхвысоких энергий. С другой стороны, для понимания процессов, сопровождающих прохождение частиц через атмосферу, необходимы эксперименты по определению состава и спектров потока адронов на разных глубинах атмосферы.

Идентификация частиц высоких энергий на установке "Пион", сочетающей детектор рентгеновского переходного излучения с ионизационным калориметром, открыла дополнительные перспективы в изучении физики космических лучей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Разработка и создание комплексной системы автоматизации для сбора, накопления, обработки и визуального представления данных с помощью ЭВМ, подключенных в линию с экспериментом.
2. Создание и исследование канала регистрации информации с ионизационной камерой, формулировка основных требований к регистрирующим блокам МПК и к установке в целом. Организация связи установки с ЭВМ, ЭВМ с накопителем на магнитной ленте, ЭВМ с АЦПУ-Г28 и управления ЭВМ. Физическое обоснование и схемное решение вопроса одновременной работы быстрых (МПК) и медленных (ионизационные камеры) детекторов установки.
3. Осуществление системы калибровки и градуировки электронных трактов и основных физических параметров детекторов и отдельных узлов установки.
4. Проведение методических исследований по определению и повышению точностей измеряемых на установке физических величин. Получение физических результатов как по составу и потокам разных типов адронов, так и по характеристикам их взаимодействия с ядрами.

НОВИЗНА РАБОТЫ.

1. Впервые в экспериментах по космическим лучам в горных экспедиционных условиях создана и внедрена комплексная система автоматизации с применением ЭВМ в линию с экспериментом.
2. Впервые осуществлены функциональные связи между ЭВМ "Наи-

ри-2" и накопителем на магнитной ленте типа "Изот", между "Наири-2", "Наири-Г" и АЦПУ-Г28. Реализовано схемное и микропрограммное решение прерывания в "Наири-2".

2. Впервые для идентификации частиц высоких энергий использована установка, сочетающая многомодульный детектор переходного излучения с ионизационным калориметром. Получены физические результаты как по составу потока космических адронов в интервале энергий от 500 до 5000 ГэВ, так и по некоторым характеристикам взаимодействия пионов, протонов и нейтронов с ядрами железа. Часть физических результатов получена впервые.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Предложенный метод познания частиц можно применять на ускорителях будущих поколений. Система автоматизации имеет уникальный характер и успешно может применяться как в научных экспериментах, так и в производстве, где требуется анализ с большого (до нескольких тысяч) количества каналов информации. В работе выявлены и использованы новые возможности ЭВМ серии "Наири". Практически доказана стабильность работы предложенной системы автоматизации.

Полученные нами физические результаты по частичному составу потоков пионов, протонов и нейтронов, а также другие физические данные могут служить контрольными экспериментальными точками для проверки многочисленных расчетов по прохождению частиц через слои атмосферы. Результаты по определению сечения неупругого взаимодействия пионов и нуклонов с ядрами железа и коэффициентом неупругости дают ценную информацию для понимания и сравнения разных теоретических моделей взаимодействия.

АВТОР ЗАЩИЩАЕТ:

1. Принципы, положенные в основу разработки системы автоматизации измерений, проводимых на сложной установке по исследованию физики космических лучей высоких энергий.
2. Логическую электронную аппаратуру съема информации с большого количества детекторов, сочетающих работу РПИ детектора, ионизационного калориметра и годоскопической системы регистрации координат прохождения частиц.

3. Комплексную систему приема и обработки информации на базе двух ЭВМ серии "Наири", НМЛ и АЦПУ-128.
4. Методику градуировки и калибровки электронных трактов и физических параметров всех узлов установки.
5. Некоторые физические результаты, полученные на установке при ее эксплуатации в течение ~ 5400 часов работы.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на семинарах лаборатории космических лучей в ФИАН СССР, в НИИЯФ МГУ, в Тбилисском физическом институте, на Международных и Всесоюзных конференциях по космическим лучам в 1977 г., 1979 и 1981 г.г.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 12 работ. Список приведен в конце автореферата.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения. Она содержит 112 страниц машинописного текста, 9 таблиц и 38 рисунков. Список цитируемой литературы включает 63 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во введении обсуждается актуальность вопросов, затронутых в диссертационной работе, формулируются задачи автоматизации измерений на установке и приводится краткое описание глав диссертации.

В первой главе дается описание экспериментальной установки и обслуживающей ее электронной аппаратуры.

Установка "Лион" расположена на высокогорной станции "Арагац на высоте 3200 м над уровнем моря. Она включает в себя ионизационный калориметр (ИК), детектор рентгеновского переходного излучения (РПИ) и координатный годоскоп.

Ионизационный калориметр — традиционный прибор для измерения энергии частиц и определения некоторых характеристик взаимодействия и является автономной частью установки. Ионизационный калориметр собран на основе ранее существующего калориметра "ИКАР" с полной заменой регистрирующей электроники и системы съема информации.

Ионизационный калориметр состоит из 10 слоев железа толщиной 10 см каждый, прослоенных рядами ионизационных камер. В каждом ряду установлена ЭИ камера диаметром 10 см и длиной 330 см. Над калориметром расположено два слоя свинца (3 см и 2 см), также прослоенных аналогичными камерами. Эта часть предназначена для регистрации как воздушных электронно-фотонных ливней, так и фотонных ливней от распада π^0 -мезонов, генерированных адронами в свинцовых фильтрах.

Определение энергии ядерно-электронного каскада, генерированного первичными адронами, сводится к суммированию величин ионизации со всех ионизационных камер, участвующих в регистрации каскада $E_a = k \sum_{i=1}^N J_i$, где N — число рядов, зарегистрировавших каскад, J_i — суммарная ионизация в i -ом ряду. Величина J_i в каждой камере пропорциональна количеству частиц, прошедших через нее.

Всего в калориметре 372 камеры.

Детектор рентгеновского переходного излучения (РПИ) предназначен для определения γ -фактора ($\gamma = E/mc^2$) регистрируемого адрона.

Принцип работы РПИ детектора заключается в определении суммарного энерговыделения в многонитяных пропорциональных камерах (МПК), обусловленного ионизационными потерями заряженных адронов и рентгеновскими квантами переходного излучения.

Установка "Пион" содержит четыре модуля РПИ детектора, состоящих из слоистой среды и МПК, специально разработанных для данного эксперимента. В РПИ детекторе имеется 36 амплитудных пропорциональных камер (АПК). Информация о величине энерговыделения в каждой МПК снимается с трех секций, объединяющих по 16 анодных нитей, т.е. число информативных каналов составляет 108.

Сочетание РПИ детектора с ИК дает возможность идентифицировать пионы и протоны в потоке заряженных адронов в интервале энергий до 5 ТэВ.

Координатный годоскоп установлен над РПИ детектором и состоит из двух рядом МПК, аналогичных камерам в РПИ детекто-

ре, и предназначен для определения X , Y координат заряженных частиц. Информация с каждой МПК снимается с 16 секций. Точность определения координат $\pm 2,5$ см. Общее количество информативных каналов с годоскопа - 288.

Отсутствие информации в МПК РПИ детектора и годоскопа вдоль траектории прохождения адрона с высокой степенью достоверности указывает на регистрацию нейтральной частицы.

Таким образом, установка "Пион" позволяет разделять потоки пионов, протонов и нейтронов и исследовать их характеристики взаимодействия с плотным веществом в калориметре.

Геометрический фактор установки $1,62 \text{ м}^2 \text{ стр}$, только калориметра - $4,25 \text{ м}^2 \text{ стр}$.

Разработанная электронная аппаратура должна была обеспечить решение поставленных физических задач, точность определения измеряемых параметров, градуировку и калибровку всех узлов установки, сочетание быстрых МПК с медленными ионизационными камерами.

Основным требованием выработки запускающего импульса установки являлось наличие определенного энерговыделения в калориметре $E \geq E_{\text{пор}}$. Основные измерения проводились при энергетическом пороге $E_{\text{пор}} \geq 450$ ГэВ. При калибровке многонятных пропорциональных камер РПИ детектора устанавливался порог >100 ГэВ.

Для совмещения работы быстрых МПК с медленными ионизационными камерами был введен дополнительный канал предварительного мастера (ПМ), который формировался фронтом суммарного импульса калориметра. Предварительный мастер с задержкой $5 - 7$ мкс относительно момента прохождения частицы подавался на регистрирующую электронику МПК для сохранения информации до считывания. Введение ПМ в управление повысило точность измерения амплитуд МПК до $\pm 5\%$, уменьшило пропуски в регистрации информации с МПК и снизило количество случайных совпадений до $0,3\%$ на одну камеру.

В выработке запускающего импульса участвует также условие кратности рядов прохождения каскада в калориметре. Установлена кратность ≥ 4 .

Чтобы исключить случайные срабатывания установки от разного рода помех введен наводочный канал, блокирующий формирование мастерного импульса.

Блок управления установки имеет возможность вариаций отбора регистрируемых событий (например, регистрации событий с малоплотным сопровождением, только заряженных адронов, частиц, траектория которых не выходит из геометрии всей установки и т.д.).

Блок-схема электронной аппаратуры приведена на рис.1.

Электронный тракт съема информации с калориметра состоит из линейного зарядочувствительного усилителя, суммирующего усилителя ряда, главного сумматора и запоминающего устройства. Он предназначен для выполнения следующих функций:

1. Фиксации заряда, создаваемого в каждой ионизационной камере калориметра при прохождении лавины, и пропорционального числу релятивистских частиц, прошедших через камеру.
2. Преобразования заряда в пропорциональный ему импульс напряжения.
3. Оценки импульса, пропорционального числу релятивистских частиц, прошедших через каждый ряд калориметра, и передачи этой информации в блок управления установки.
4. Суммирования числа релятивистских частиц, прошедших через калориметр, и передачи сигнала, пропорционального этой сумме, в блок управления установки для дальнейшего анализа.
5. Запоминания в ячейках памяти в виде потенциала для последующего опроса по команде мастерного импульса лишь для отобранных событий.

Разработанная специально для установки "Пион" электронная аппаратура съема информации с амплитудных пропорциональных камер (АПК) РПИ детектора состоит из усилителя и аналогового запоминающего устройства. Отношение сигнала к шуму усилителя позволяет регистрировать все импульсы, превышающие 100 мВ на выходе усилителя, что соответствует величине входного импульса $\sim 0,5 \text{ МВ}$. Согласно экспериментально полученному распреде-

лении амплитуд ионизационных потерь одиночных μ -мезонов в МПК РМ детектора, регистрируемый нами диапазон амплитуд охватывает $\sim 98\%$ площади распределения. Специальная проверка эффективности работы МПК подтвердила данную величину эффективности. Максимально измеряемая амплитуда в I2 - I3 раз превышает величину наивероятного значения в распределении ионизационных потерь одиночных мюонов.

Аналоговая информация с АПК усиливается линейным усилителем и поступает в блок аналоговой памяти. Все импульсы, амплитуда которых превышает порог 100 мВ, запоминаются на 8 мкс. Предварительный мастер пролеживает заломинание еще на 25 мкс. Подлежащая считыванию информация при наличии запускающей установку импульса запоминается на 15 мс, необходимое для считывания информации со всех АПК.

Сигнал с годоскопической секции координатных пропорциональных камер (КПК) поступает на усилитель-формирователь, где формируется импульс длительностью 8 мкс. Этот импульс запоминается на триггере только в случае разрешения с блока управления установки. Сброс триггера происходит либо по истечении 25 мкс, когда нет подтверждения основного импульса запуска установки, либо в конце регистрации.

Мастерный, триггерный импульс запускает интерфейс, который поочередно подключает к работе коммутаторы, посредством которых запомненная информация передается в интерфейс, где переводится в стандартный код, упаковывается в тридцатистесятиразрядное машинное слово "Наири-2" и далее в сумматор ЭВМ.

Аналоговая информация с коммутаторов АПК и ИК анализируется одним амплитудно-цифровым преобразователем (АЦП), что обеспечивает как экономический эффект, так и одинаковую точность измерения амплитуд со всех детекторов.

ЭВМ обрабатывает принятый информационный массив по специальной программе. На магнитную ленту записываются результаты обработки и весь информационный массив или же только информационный массив, если событие не подлежит обработке по каким-либо критериям программы.

Одновременно с записью на магнитную ленту данные о событии выводятся на быструю печать на АЦПУ-128.

Во второй главе описана комплексная система автоматического съема и обработки информации. Автоматический съем информации с установки "Пион" осуществляется с помощью интерфейса, который передает весь информационный массив в ЭВМ "Наири-2". Обработка физической информации производится по жесткой программе, прошитой в кассетах ДЗУ, в промежутках между событиями. Однако, не все события подлежат обработке. Поэтому массивы как обработанных, так и не обработанных событий записываются на магнитную ленту.

Программа физической обработки обеспечивает восстановление траектории частицы в пространстве, определение оси ливня в ионизационном калориметре, измерение физических параметров каскадов, исследование углового распределения пролетающих через установку адронов, определение среднего суммарного энерговыделения в АПК по траектории частицы, место взаимодействия частицы, измерения сечения неупругого взаимодействия, средних арифметических и геометрических величин амплитуд энерговыделения в секциях МПК по оси ливня, степени плотности сопровождения исследуемого адрона другими частицами малой энергии.

Набор специальных программ позволяет производить контроль и проверку правильности работы разных узлов установки как во время наладки и работы установки, так и после набора определенной статистики. Существует программа калибровки АПК и КПК, с помощью которой снимаются распределения ионизационных потерь во всех АПК и эффективность работы КПК при запуске установки от одиночных релятивистских мюонов космических лучей.

Программа сбора экспериментальной информации и ее предварительной обработки практически занимает весь объем памяти "Наири-2", что исключает возможность непрерывного контроля установки. Для того, чтобы решить эту проблему, нами создан комплекс, состоящий из ЭВМ "Наири-2", "Наири-1" и АЦПУ-128 (рис.2). Наличие АЦПУ-128 позволяет проводить оперативный

контроль установки, дублирует вывод информации в виде трафаретов, дающих возможность вмешательства экспериментатора в обработку сложных для ЭВМ событий. "Наири-1" в этом комплексе служит для связи "Наири-2" с АЦПУ-128.

Для реализации задач, физических и калибровочных, выполнен ряд модернизаций "Наири" и АЦПУ. В основном они осуществлены программно в виде прошивок в дополнительных каскадах ДРЧ. К числу модернизаций относятся сочетание "Наири-2" - "Наири-1" - АЦПУ-128, осуществление прерывания, **использование части ОЗУ в качестве буфера.**

Впервые на нашей установке осуществлена связь "Наири-2" с ИМЛ типа "Мзот", которая разработана Ереванским производственным объединением "Электрон" по нашему техническому заданию.

Специально разработанный для установки интерфейс (рис.3) осуществляет не только передачу информации в ЭВМ, но и ряд дополнительных операций:

- блокирует установку на время регистрации;
- подготавливает ЭВМ "Наири-2" к приему информации;
- разрешает и управляет поочередной передачей всего информационного массива от АПК, КПК и ИК в ЭВМ;
- передает служебную информацию в ЭВМ;
- выдает в ЭВМ импульс конца приема информации;
- преобразует в машинный код информацию с амплитудно-цифрового преобразователя.

Мастерный импульс, вырабатываемый блоком управления установки в момент, когда происходит полезное событие, подается на блок управления интерфейса (БУИ). Установка блокируется на время регистрации; в ЭВМ поступает импульс начала приема информации, прерывающий программу обработки предыдущего события и подготавливающий ее к приему информации. С задержкой в 2 мс после этого импульса в выходной регистр, состоящий из четырех 9-разрядных регистров $R_1 + R_4$, передается 32-разрядная служебная информация. Сигналы поступают в регистры через клапаны (К), управляемые селектором блока управления интерфейса, а нужный регистр выбирается

синхронизатором - распределителем записи (СРЗ).

После заполнения выходного регистра вырабатывается сопровождающий импульс разрешения записи в ЭВМ и содержимое регистра через конверторы уровней (КУ), согласующие уровни интегральных микросхем серии I55 с уровнями "Наири-2", переводится в сумматор ЭВМ.

После окончания записи служебной информации селектор блока управления интерфейса подключает к работе тактовый генератор (ТГ), который генерирует импульсы считывания с запоминающих устройств АПК, КПК и ИК. Тактовые импульсы пересчитываются адресным счетчиком (АСч), который управляет коммутаторами АПК и ИК. Импульсы с тактового генератора и селектора блока управления поступают на коммутатор КПК, где дешифрируются и обеспечивают передачу с запоминающего устройства КПК в двоичном коде в выходной регистр.

Аналоговая информация с АПК и ИК поступает на вход амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП). Выработанный АЦП код пересчитывается 9-разрядным счетчиком (Сч) и в параллельном коде передается в выходной регистр через соответствующие клапаны. Подключение входа АЦП к коммутаторам АПК и ИК осуществляется переключателем коммутаторов (ПКМ).

В схеме предусмотрен так называемый "дворник", периодически разряжающий емкости памяти калориметра, поскольку в паузах между событиями возможно накопление заряда, вносящее погрешность в значения записываемых потенциалов при регистрации очередного события. "Дворник" управляется часами и блокируется на время регистрации блоком управления установки.

Чтобы свести к минимуму процент потери событий, в момент приема информации в ЭВМ организуется прерывание программы обработки предыдущего события и запись вновь поступающей информации в буферную память. Информация, поступающая в сумматор ЭВМ, записывается в три буфера. Если буфера заняты, содержащаяся в них информация подлежит обработке. Перед обработкой содержимое буфера перезаписывается в рабочее поле СЗУ и буфер готов к приему новой информации. Когда все буфера свободны, программно повторяется цикл опроса буферов, т.е. ЭВМ

находится в ожидании приема.

В связи с тем, что время поступления информации от установки случайно, ЭВМ в момент приема может находиться на любом участке выполнения программы обработки. В этом случае приоритет отдается приему информации. Прерывание обслуживания блоком прерывания и микропрограммой, прошитой в кассетах ДРУ.

Микропрограммы связи "Наири-2" с НМЛ "Изот" прошиты в свободных адресах кассет 20 ЯН и 21 ЯН ДРУ. Блоки связи обеспечивают запись информации с ЭВМ на НМЛ и чтение с НМЛ. Подключение НМЛ дает возможность иметь внешнюю память емкостью 750 тыс. 36-разрядных двоичных чисел, которые записываются в назначаемых зонах.

Организация печати на АЦПУ-128 осуществлена как схемно, так и микропрограммно. ЭВМ "Наири-1", работающая для преобразования символов печати центрального процессора в коды АЦПУ, во время отсутствия печати может выполнять свои основные технические функции.

Описываемый в диссертации комплекс дает возможность вывести на печать на АЦПУ результаты любых расчетов, выполняемых на "Наири-2". Составленные микропрограммы с незначительными изменениями могут служить основой при стыковке АЦПУ только к одной "Наири". В комплексе *Consul-254* служит только для оперативного вмешательства в работу "Наири-2" в режиме ввода, что увеличивает срок его службы.

В случае выхода из строя НМЛ, либо "Наири-1" или АЦПУ, комплекс может работать или с НМЛ или с АЦПУ, что увеличивает коэффициент полезного действия установки.

Предложенный вариант комплекса может найти применение во всех тех случаях, когда требуется непрерывный прием и обработка информации с большого количества каналов.

В третьей главе кратко описывается калибровка электронных узлов установки, методика градуировки и проверки трактов съема информации с калориметра, РПИ детектора и годоскопа. Приводятся результаты некоторых методических исследований по определению параметров и физических характеристик разных

узлов установки.

Периодическая проверка электронных узлов установки обеспечивает надежность полученных физических результатов. Это особо важно при длительной эксплуатации установки.

Калибровка и градуировка электронного тракта съема информации с ионизационного калориметра осуществляется подачей на входы усилителей заряда, эквивалентного амплитуде импульса от ионизации при прохождении через ионизационную камеру \sqrt{N} количества релятивистских частиц. Эту функцию выполняет специально разработанный блок калибровки. Таким же образом устанавливаются энергетические пороги по рядам и калориметру в целом. Исходя из пропорциональности энергии E и количества частиц \sqrt{N} , проходящих через ионизационные камеры, $E \approx 0,15 \cdot \sqrt{N}$ ГэВ. В зависимости от поставленной физической задачи регистрировались адроны с пороговой энергией $E_{\text{пор}} > 110, 220$ и 450 ГэВ, что соответствует величинам ионизации при прохождении через калориметр $750, 1500$ и 3000 частиц. Верхний предел измеряемой энергии определяется диапазоном линейности усилителей камер, сумматоров рядов и главного сумматора. Усилители имеют 500-кратный линейный диапазон. Калориметр с точностью 15-20% измерял энергию ~ 3 ТэВ. Высокая чувствительность усилителей (~ 15 мкВ) позволяла для калибровочных целей работать с $E_{\text{пор}} \geq 110$ ГэВ.

Проверка калориметрического тракта заключалась в выравнивании коэффициентов усиления усилителей, установке энергетического порога по рядам и всему калориметру. Съем амплитудной информации осуществлялся дискретно с помощью амплитудно-цифрового преобразователя и интерфейса. Одна ступенька АЦП соответствует прохождению через камеры 25 частиц.

В выработке запускающего импульса участвует информация о кратности рядов, в которых развивается адронный каскад. Дискретный характер съема информации требует установки как кратности по количеству рядов, так и энергетического порога по рядам. Энергетический порог по ряду определялся экспериментальным путем. Проводилась серия калибровочных измерений только с условием энерговыделения в калориметре ≥ 450 ГэВ.

По специальной программе на ЭВМ были обработаны каскады, развивающиеся в четырех и более рядах калориметра. Для этих каскадов среднее энерговыделение в каждом из первых четырех рядов составляло от 100 до 500 ГэВ в интервале энергий 450 + 2000 ГэВ. Доля этих каскадов среди "полезных" событий — 98%. Из анализа этих измерений определялись номинальный порог по ряду ~ 100 ГэВ и кратность ≥ 4 .

Проведена и описывается методическая работа по определению влияния порога регистрации на измеряемые в калориметре характеристики взаимодействия адронов. Важным параметром чувствительности калориметра к регистрации ливней, вызванных адронами, является минимальный порог регистрации информации с одной ионизационной камеры. Порог регистрации камеры, выбирается исходя из минимальной величины энергии регистрируемых адронов. Флуктуации точки взаимодействия в фильтре, множественности и развития ливня могут привести к тому, что количество частиц в ливне окажется меньше уровня регистрации начала и конца каскада. Анализ показал, что величина минимального порога регистрации может привести к искажению таких измеряемых в калориметре физических величин, как энергия, пространственные размеры каскадов, пробега неупругого взаимодействия адронов $\lambda_{in hFe}$, пробега поглощения каскадов λ_{ahFe} , показателя энергетического спектра γ_{hFe} . Нами определены количественные характеристики зависимости λ , L и γ от величины начального порога регистрации. С этой целью было проанализировано 3000 ядерных ливней, генерированных адронами в железном фильтре калориметра с энергиями ≥ 800 ГэВ. Для выявления эффекта в отобранных событиях искусственно варьировался порог регистрации путем вычета из показаний каналов, участвующих в каскаде 1, 2 и 3 ступенек АЦП. Таким образом, нами были установлены искусственные начальные пороги 60, 90 и 120 частиц. Отобранные с этими порогами каскады в дальнейшем перегруппировались как по энергии, так и по глубине начала развития каскада с энергией ≥ 800 ГэВ. На рис. 4 (а, б, в) приведены зависимости L , λ и γ от величины начального порога регистрации.

В диссертации приводится подробный анализ точности опреде-

ления энергии адронов в калориметре при дискретном характере съема информации. С этой целью сопоставлялись величины энергии, определенные двумя способами: суммированием величин ионизации в камерах, участвующих в регистрации каскада, и по показаниям главного сумматора (ГС). Наличие начального порога регистрации и дискретность съема информации с отдельных камер искажает истинную величину измеряемой энергии и это особенно чувствуется при энергиях до 1000 ГэВ и в тех каскадах, где ливень распространяется во многих камерах. Величина импульса на выходе главного сумматора не зависит от начального порога регистрации и более точно отражает количество частиц в ливне. Поэтому особое внимание было обращено на градуировку ГС и линейность амплитуды на его выходе в широком диапазоне энергий адрона. Градуировка ГС производилась подачей на входы всех усилителей импульсов, эквивалентных прохождению через камеры разного количества частиц. На рис.5 приведена зависимость средней величины амплитуды на выходе ГС в ступеньках АЦП от суммарного количества частиц по всему калориметру.

После учета поправок к измеряемым величинам энергий для нашего калориметра энергия, измеренная по показаниям камер, на 3 — 5% ниже энергии, измеренной по данным ГС.

На рис.6 приведены интегральный и дифференциальный энергетические спектры всех зарегистрированных в калориметре адронов. В обоих спектрах для измерения энергии использовались показания ГС. Показатель интегрального энергетического спектра плавно изменяется в интервале энергий 500 + 5000 ГэВ ($\gamma = 1,6 + 2,06$) и находится в удовлетворительном согласии с данными работ Григорова и др., где энергия каскада определялась непосредственным измерением величин амплитуд.

Особое внимание было уделено исследованию ядерно-электромагнитных каскадов адронов в калориметре. По программе на ЭВМ "Наири-2" определены некоторые характеристики каскадов, как например, среднее число сработавших камер в каскаде, количество рядов, участвующих в развитии каскада, зависимость этих величин от энергии адрона, частичный состав каскадов разных типов и с разной начальной амплитудой. Результаты этих исследований показывают, что с увеличением энергии более точ-

но определяется место первого взаимодействия, имеется большая потеря энергии, когда начало каскада находится в глубине калориметра. По всей видимости, увеличение наклона в интегральном энергетическом спектре обусловлено недомером при больших энергиях.

В этой главе подробно описывается методика градуировки и калибровки как электронного тракта съема информации с АПК и ЦПС, так и снятия физических характеристик многоклеточных пропорциональных камер (МПК).

Для точной идентификации адронов важной характеристикой МПК является идентичность распределений ионизационных потерь во всех камерах РПИ детектора и годоскопа. На рис.7 приведена одна из кривых распределения dE/dx , полученная одиночными мюонами со средней энергией ~ 4 ГэВ. Подобные распределения получены при измерениях с помощью гейгеровских рядов, установленных над и под РПИ детектором и под калориметром, включенных в совпадения. Эти измерения проводились по специальной программе набором статистического материала в ЦВМ. Плотина распределений всех МПК колеблется в пределах 85 - 100%. На этом же рисунке приведено и расчетное распределение ионизационных потерь, полученное розыгрышем методом Монте-Карло. При эмпирически определенных режимах эффективности работы МПК РПИ детектора составляет 98 - 100%, а годоскопа - 75 - 85%. Разрешающая способность и линейность МПК проверялись изотопами Am^{241} и Fe^{59} . Линейность МПК РПИ детектора сохраняется в пределах амплитуд в 4 раза меньших и в 12 - 13 раз больших наивероятного значения в распределении dE/dx . Разрешающая способность камер, полученная облучением Fe^{59} , составляет 20 - 25%.

Повседневная проверка кривых распределений всех секций МПК РПИ детектора осуществлялась визуально набором статистики на экране АИ-128.

В четвертой главе конспективно излагаются результаты определения некоторых физических величин как по составу и спектру адронов на высотах гор, так и по характеристикам адрон-ядерных взаимодействий. Часть результатов, как например,

абсолютный поток одиночных адронов, спектр всех адронов, сечения неупругого взаимодействия адронов с ядрами железа приводятся для подтверждения правильности работы установки. Результаты по определению отношения потоков пионов к протонам, сравнение ядерно-электронных каскадов, образованных пионами и протонами, сечения неупругого взаимодействия пионов, протонов и нейтронов с ядрами железа получены впервые. Физическая обработка сделана на ЭВМ "Наири-2" и БЭСМ-6.

Для получения физических результатов в алгоритм обработки были включены критерии отбора и классификация рассматриваемых событий. За ~ 5400 часов работы установки было зарегистрировано ~ 54000 событий, из коих в адронную статистику вошли 24000 с энергией > 400 ГэВ. Оставшийся материал не удовлетворял нашим критериям отбора.

Установка позволяла идентифицировать пионы и протоны в потоке заряженных частиц без сопровождения в интервале энергий до 3000 ГэВ. В таблице I приведены экспериментальные значения отношения потоков пионов к протонам (N_{π} / N_p), нейтронов к протонам (N_n / N_p) и заряженных частиц к нейтральным (N_{\pm} / N_n) в четырех интервалах энергии в потоке адронов, идущих с малоплотным сопровождением.

Таблица I

	: 300 + 500	: 500 + 700	: 700 + 1000	: 1000
	: ГэВ	: ГэВ	: ГэВ	: ГэВ
N_{π} / N_p	$0,93 \pm 0,15$	$0,59 \pm 0,12$	$0,36 \pm 0,1$	$0,06 \pm 0,05$
N_n / N_p	$1,06 \pm 0,17$	$1,01 \pm 0,13$	$0,84 \pm 0,17$	$0,55 \pm 0,34$
N_{\pm} / N_n	$1,81 \pm 0,14$	$1,58 \pm 0,16$	$1,61 \pm 0,21$	$1,95 \pm 0,25$

Отметим, что с ростом энергии доля одиночных пионов в потоке заряженных адронов резко уменьшается.

Интегральный и дифференциальный энергетические спектры

адронов, одиночных по калориметру, приведены на рис.8. Показатели спектров при $E > 600$ ГэВ $\chi = 2,00 \pm 0,02$ и $\chi = 2,83 \pm 0,07$ соответственно. Полученные нами показатели спектров не противоречат результатам других работ.

Измерены абсолютные потоки заряженных, нейтральных и всех одиночных по калориметру адронов для разных интервалов энергий. Ниже приводятся величины потоков при энергиях > 1000 ГэВ адронов без сопровождения, заряженных, нейтральных и всех адронов, одиночных по калориметру: $(0,89 \pm 0,05) \cdot 10^{-9}$, $(2,14 \pm 0,08) \cdot 10^{-9}$, $(0,83 \pm 0,05) \cdot 10^{-9}$, $(4,13 \pm 0,07) \cdot 10^{-9}$ и $(1,82 \pm 0,04) \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ стр}^{-1}$ соответственно. Полученные нами данные по потокам, одиночных по калориметру, и всех адронов находятся в хорошем согласии с результатами других авторов. Подробные данные о потоках нейтральных адронов впервые приводятся в нашей работе.

На установке "Пион" впервые непосредственным путем измерены сечения неупругого взаимодействия пионов, протонов и нейтронов с ядрами железа. В этой главе приведена подробная таблица значений сечений пионов, протонов и нейтронов, а также адронов в разных интервалах энергий. Наблюдается различие в сечении пионов и протонов, а рост сечения с увеличением энергии не противоречит закону $\sigma \sim \ln^2 E$.

Впервые измерены и сравнивались характеристики и флуктуации ядерно-электромагнитных каскадов, генерированных нуклонами (N) и пионами в области энергий $0,5 + 5$ ТэВ. Усредненные экспериментальные каскады от N и π существенно отличаются, что может быть обусловлено неодинаковостью парциальных коэффициентов неупругости $K_{\pi 0}^N$ и $K_{\pi 0}^{\pi}$.

В заключении перечислены основные выводы, которые могут быть сделаны из данной работы.

I. Впервые экспериментальная установка на высоте гор оснащена автоматизированной системой сбора, накопления, обработки и визуального представления данных для исследования разных аспектов физики космических лучей высоких

энергий. Комплексная система создана на базе двух ЭВМ "Наири", накопителя на магнитной ленте типа "Изот" и АЦПУ-128.

В этой работе практически впервые реализована связь ЭВМ "Наири-2" с НМЛ "Изот" и решена задача сочетания "Наири-2" с АЦПУ-128 с использованием ЭВМ "Наири-1" для преобразования символов. "Наири-2" в коды АЦПУ-128; осуществлено прерывание в ЭВМ "Наири-2", что обеспечило ее работу в линию с экспериментом.

2. Разработан, создан и внедрен блок интерфейс, обеспечивающий связь установки с ЭВМ. Блок выполняет функции управления ЭВМ и передачей информации с установки. Время сбора и передачи информации с ~ 2000 каналов составляет ~ 1 с.
3. Разработан и создан электронный тракт съема и регистрации информации с ионизационных камер калориметра. Тракт обеспечивает регистрацию энергии космических адронов с точностью $\sim 15\%$ в диапазоне энергий от 100 до 5000 ГэВ.
4. Разработана и создана система запуска установки, обеспечивающая одновременную работу двух типов детекторов: медленных ионизационных камер и быстрых многоклеточных пропорциональных камер. При этом достигнутая точность измеряемых амплитуд не хуже 5%.
5. Предложена методика калибровки и градуировки трактов съема и регистрации информации, а также анализа и сравнения физических характеристик отдельных детекторов и узлов установки посредством специальных программ на ЭВМ. Впервые в космике осуществлена проверка сложной установки в процессе набора статистического материала.
6. Проведен цикл методических исследований:
 - а. Предложен и практически осуществлен метод точного определения энергии ядерно-электронного каскада в ионизационном калориметре при дискретном характере съема информации. Суть метода заключается в измерении величины амплитуды на выходе главного сумматора, которая пропорциональна суммарной ионизации, выделенной в каме-

рах калориметра.

- б. Впервые изучено влияние начального порога регистрации каскада в ионизационных камерах, порога по ряду и требования кратности рядов на измеряемые в калориметре физические величины.
 - в. Проведены исследования физических характеристик МПК (эффективность, однородность, распределение ионизационных потерь и др.) с помощью локального запуска установки от одиночных мюонов с энергией ~ 4 ГэВ. Сформулированы практические предложения о наиболее рациональном методе проверки этих характеристик во время работы установки.
7. На установке "Пион" получены и проанализированы следующие физические результаты:
- а. Энергетические спектры и потоки одиночных пионов, протонов и нейтронов, а также всех заряженных и нейтральных адронов в интервале энергий > 600 ГэВ, > 1000 ГэВ и > 2000 ГэВ. Получен поток всех адронов, одиночных по калориметру в диапазоне $600 + 4500$ ГэВ. Показано, что доля пионов в потоке заряженных адронов без сопровождения уменьшается с увеличением энергии. С повышением энергии увеличивается отношение потоков заряженных адронов к нейтральным.
 - б. Измерены сечения неупругого взаимодействия пионов, протонов и нейтронов с ядрами железа.
 - в. Исследованы некоторые характеристики ядерно-электронных каскадов, величины коэффициентов неупругости в $\bar{p}Fe$ и pFe взаимодействиях. Основные физические результаты получены впервые.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.В.Авакян, Л.С.Багдасарян, И.Е.Васинюк, О.М.Винницкий, С.П.Казарян, Д.С.Оганезова, А.Г.Оганесян. Автоматичес-

кий прием и накопление информации от экспериментальной установки по изучению космических лучей с одновременной обработкой на ЭВМ "Наири-2". ПТЭ, № 6, 58, 1979.

2. В.В.Авакян, Д.С.Оганезова. Комплексная система приема и обработки информации от экспериментальной установки "Пион" на базе двух "Наири". Препринт ЕФИ-405(12)-80, Ереван, 1980.
3. В.В.Авакян, Д.С.Оганезова. Вывод информации с экспериментальной установки "Пион", содержащей ЭВМ "Наири-2", на АЦПУ-128, ПТЭ, № 6, 58, 1981.
4. Д.С.Оганезова. Осуществление прерывания в ЭВМ "Наири-2", ПТЭ, № 6, 54, 1981.
5. В.В.Авакян, А.Т.Авунджян, Л.С.Багдасарян, И.Е.Васинюк, О.М.Винницкий, С.С.Казарян, С.П.Казарян, Г.Г.Овсепян, Д.С.Оганезова, А.Г.Оганесян, С.Е.Хачатрян, Л.Б.Саркисян, В.В.Просцов, С.О.Сокоян. Система электроники экспериментальной установки по разделению пионной и протонной компонент и исследованию ядерных взаимодействий космических лучей с помощью РПИ детектора и ионизационного калориметра. Препринт ЕФИ-251(44)-77, Ереван, 1977.
6. В.В.Авакян, С.А.Арзуманян, А.Т.Авунджян, С.А.Канкян, С.П.Казарян, М.С.Кочарян, Г.Г.Овсепян, Г.Ж.Оганян, А.Г.Оганесян, Д.С.Оганезова, В.В.Просцов, А.С.Саргсян, С.О.Сокоян, А.Г.Таманян. Пропорциональные камеры для РПИ детектора, Препринт ЕФИ-232(25)-77, Ереван, 1977.
7. В.В.Авакян, А.Т.Авунджян, К.Г.Антонян, С.П.Казарян, С.А.Канкян, Д.С.Оганезова, А.Г.Оганесян, А.Г.Таманян. Использование ЭВМ "Наири-2" в эксперименте с космическими лучами. Научное сообщение ЕФИ-219(11)-77, Ереван, 1977.
8. V.V.Avakian, N.G.Boyardjian, S.S.Kazarian, M.I.Keropian, E.A.Mamidjanian, D.S.Oganeseva, M.P.Pleshko. Investigation threshold and measured characteristics of hadron interactions in ionization calorimeter. 17th ICRC, Paris, 1981.

9. V.V.Avakian, A.T.Avundjian, L.S.Bagdasarian, N.G.Boyadjian, S.P.Kazarian, S.S.Kazarian, E.A.Mamidjanian, R.M.Martirosov, M.M.Muradian, D.S.Oganesova, G.J.Oganian, G.G.Ovsepiian, M.P.Pleshko, S.O.Schoyan, O.M.Vinnitsky. On the cross-section behaviour of pion and nucleon inelastic interaction in iron for the energy region 0.5 - 2.0 TeV. 17th ICRC, 2, 90, Paris, 1981.
10. S.A.Arzumanian, V.V.Avakian, A.T.Avundjian, L.S.Bagdasarian, S.P.Kazarian, S.S.Kazarian, E.A.Mamidjanian, R.M.Martirosov, M.M.Muradian, G.J.Oganian, A.G.Oganesian, D.S.Oganesova, G.G.Ovsepiian, S.O.Schoyan. On the difference of pion and nucleon interaction inelasticity in dense substance in 0.5 - 5.0 TeV energy region. 17th ICRC, Paris, 1981.
11. V.V.Avakian, A.T.Avundjian, L.S.Bagdasarian, S.P.Kazarian, S.S.Kazarian, E.M.Mamidjanian, P.M.Martirosov, M.M.Muradian, D.S.Oganesova, G.J.Oganian, G.G.Ovsepiian, A.G.Oganesian, M.P.Pleshko, S.O.Schoyan, O.M.Vinnitsky. Determination of ratios of pion, proton and neutron fluxes at mountain altitude at $E \sim 1$ TeV. 17th ICRC, Paris, 1981.
12. В.В.Авакян, А.Т.Авунджян, К.Г.Антонян, К.С.Арзуманян, Л.С.Багдасарян, О.М.Винницкий, С.П.Казарян, С.С.Казарян, С.А.Канкян, Э.А.Мамиджян, Р.М.Мартirosов, Д.С.Оганесова, А.Г.Оганесян, В.В.Просцов, А.Г.Таманян. Экспериментальная установка для исследования взаимодействий с использованием РПИ детекторов. Известия АН СССР, 40, 1059, 1976.

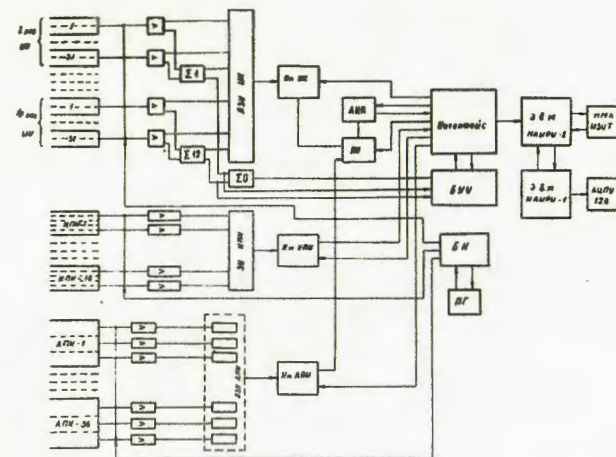


Рис.1. Блок-схема электронной аппаратуры

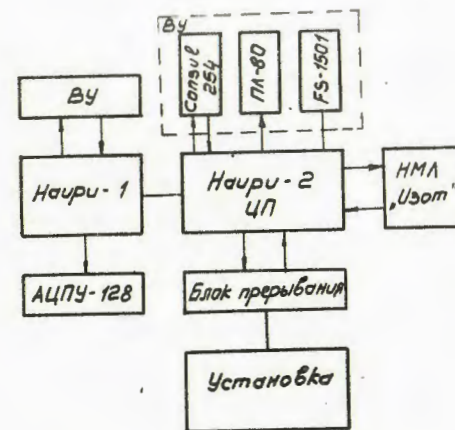


Рис.2. Блок-схема комплекса

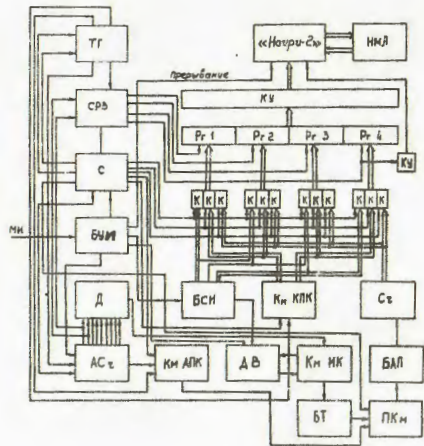


Рис.3. Блок-схема интерфейса

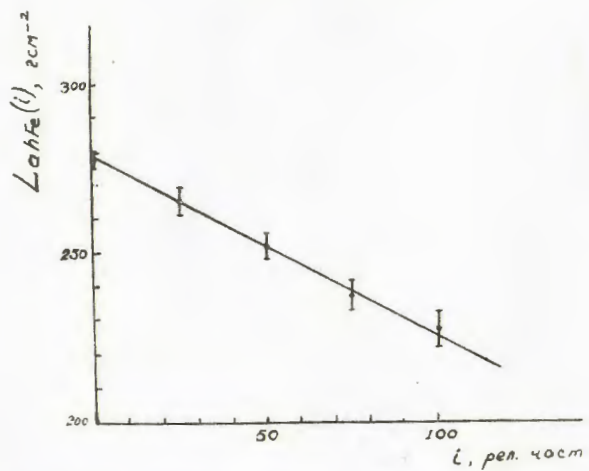


Рис.4 а. Зависимость L от величины начального порога регистрации

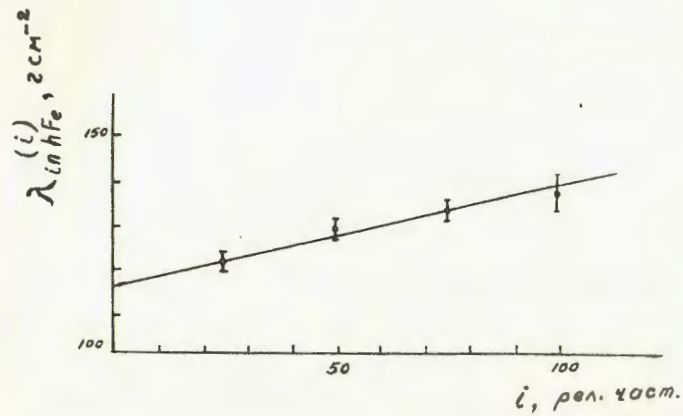


Рис. 4б. Зависимость λ от величины начального порога

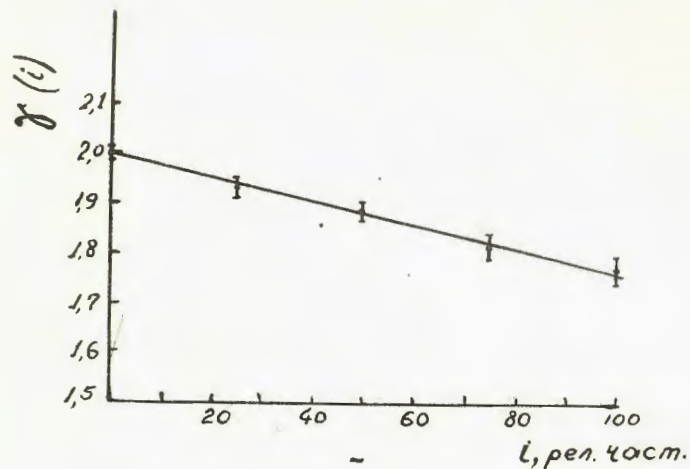


Рис. 4в. Зависимость γ от величины начального порога

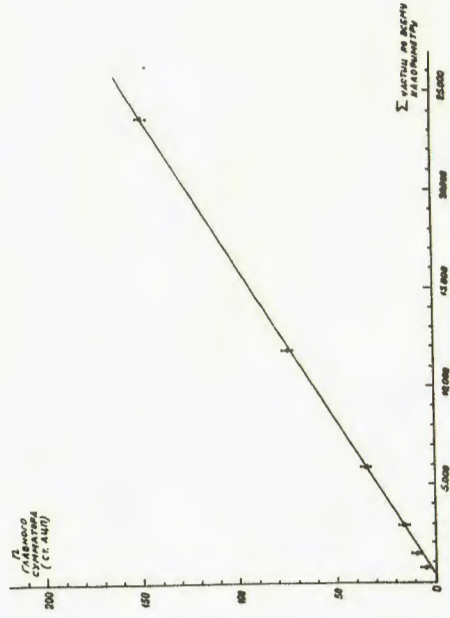


Рис.5. Зависимость величины амплитуды на выходе ГС от суммарного количества частиц по всему калориметру

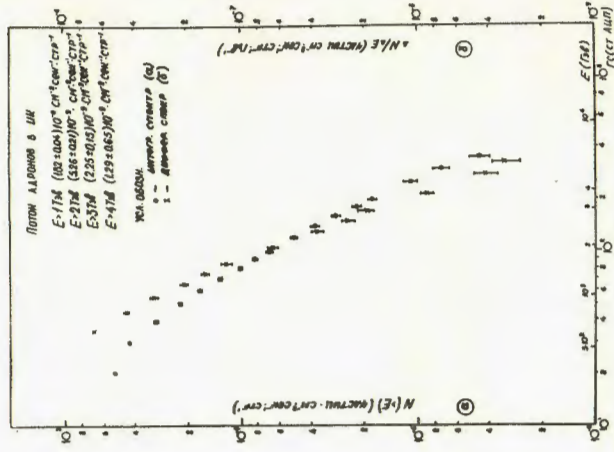


Рис.6. Интегральный и дифференциальный спектры всех адронов по показаниям ГС

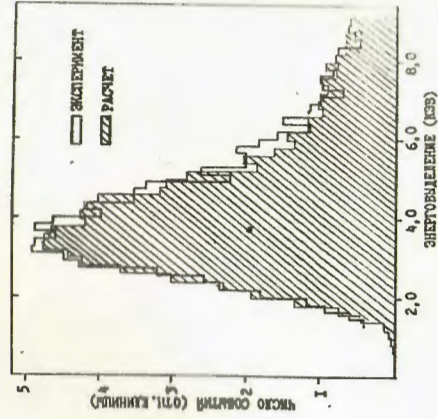


Рис.7. Распределения полученные одиночными мюонами и рассчитанным путем

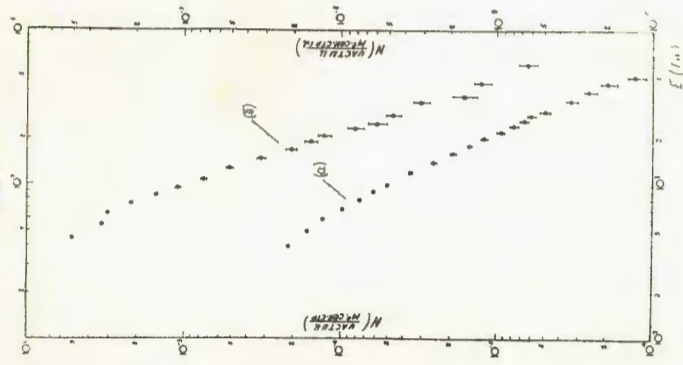


Рис.8. Интегральный и дифференциальный спектры адронов, одиночных по калориметру

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ III _____ ВЭ - 03673 _____ Тираж 170

Подписано к печати 11.03.82 г.

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