

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Казарян Самвел Паргезович

УДК 538.56:539.12:537.591:536.62

СОЧЕТАНИЕ РПИ-ДЕТЕКТОРА С ИОНИЗАЦИОННЫМ
КАЛОРИМЕТРОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АДРОННОЙ
КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ
ЭНЕРГИЯХ 0.3-5.0 ТэВ.

(УСТАНОВКА "ГЕИОН")

(ОН.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 физико-математических наук

Ереван - 1982 - 1983

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Работа выполнена в Ереванском физическом институте
Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник А.Г.Оганесян

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Д.М.Котляревский (ИФ АН Гр.ССР)
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник М.П.Лорикян (ЕрФИ)

Ведущая организация: ФИАН СССР им. П.Н.Лебедева

Защита состоится " 18 " января 1983г. в 14.00 час. на заседании специализированного совета Д 034.03.01 Ереванского Физического института (375036, г.Ереван, ул.Маршаряна, 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан " 13 " декабря 1982г.

Ученый секретарь специализированного совета ЕрФИ
Шахбазян А.А.Шахбазян

Актуальность проблемы. Исследования потока и состава адронной компоненты космического излучения позволяют получать ценную информацию об адрон-ядерных взаимодействиях при энергиях, намного превышающих достигнутые на современных ускорителях. Для успешного решения этой задачи требуется достаточно точная идентификация регистрируемых адронов, состоящих, в основном, из пионов, протонов и нейтронов. Традиционные методы, используемые для этой цели при низких энергиях, в области энергий 0.3-5.0 ТэВ практически неприменимы; именно поэтому в установке "Пион" использован новый метод идентификации частиц - детекторы рентгеновского переходного излучения (РПИ-детектор). Практическое доказательство их применимости для идентификации частиц весьма актуально с точки зрения методики физики высоких энергий. С выполнением настоящей работы имеются основания полагать, что в области энергий ≥ 1000 ГэВ РПИ-детекторы полностью заменят черенковские счетчики. В связи с этим важное значение приобретает вопрос, связанный с расчетом и оптимизацией РПИ-детекторов, поскольку известные до настоящего времени методы имеют оценочный характер и не позволяют достигнуть максимальной разрешающей способности.

Цель работы.

1. Создание экспериментальной установки, совмещающей работу РПИ-детектора с ионизационным калориметром для исследования адронной компоненты космического излучения в интервале энергий 0.3-5.0 ТэВ.

2. Разработка точного метода расчета значений оптимальных параметров РПИ-детекторов для идентификации частиц высоких энергий, позволяющего достигнуть максимальной разрешающей способности.

3. Исследование потока и состава частиц альbedo при взаимодействии адронов с веществом калориметра, для избежания систематических ошибок в измерениях с РПИ-детектором.

Новизна работы. Впервые в экспериментах с частицами космического излучения создана светосильная и полностью автоматизированная установка, сочетающая крупнейший РПИ-детектор с ионизаци-

ционным калориметром для исследования адронной компоненты. Одним из первых в мировой практике для решения конкретной физической задачи применен РПИ-детектор. Впервые разработан точный и универсальный метод расчета значений оптимальных параметров проектируемых РПИ-детекторов для идентификации частиц высоких энергий. Впервые показано наличие двух компонент в потоке частиц альbedo при взаимодействии адронов с веществом калориметра и определен пробег поглощения нейтральной (длиннопробежной) компоненты.

Научная и практическая ценность работы. Создание установки "Пион" с применением РПИ-детекторов, позволило в одном и том же эксперименте одновременно исследовать потоки пионов, протонов и нейтронов космического излучения и их взаимодействия в интервале энергий 0.3-5.0 ТэВ.

Как следует из исследования предложенного нами метода расчета оптимальных РПИ-детекторов, создан достаточно точный, быстрый и простой способ нахождения значений всех взаимосвязанных параметров, которые при данной длине детектора обеспечивают максимальную разрешающую способность. Метод универсален и может быть использован как для РПИ-детекторов, основанных на методе энерго-деления, так и с отдельной регистрацией квантов РПИ и частицы.

Исследование спектра мюонных толчков показывает, что фоновый вклад мюонов в поток заряженных адронов зависит от условий, налагаемых как на минимальную длину каскада, так и на минимальное энергоделение ряда в калориметре. Показано, что соответствующий выбор этих условий позволяет существенно уменьшить вклад мюонов при высокой эффективности регистрации адронной компоненты.

Измерены потоки различных компонент частиц альbedo в зависимости от энергии адронов и глубины их взаимодействия с веществом калориметра.

Результаты диссертации в дальнейшем могут быть использованы:

- а) при создании экспериментальных установок с использованием РПИ-детекторов на ускорителях нового поколения (УНК, LEP и пр.), а также в экспериментах с космическими лучами (проект АНМ);
- б) метод оптимизации РПИ-детекторов будет необходим при проектировании таких устройств, поскольку он позволяет определять взаимосогласованные параметры детектора и обеспечить максимальную разрешающую способность.

4.

в) при проектировании экспериментальных установок, содержащих массивные мишени, поглотители или калориметры и расположенные непосредственно перед ними пропорциональные камеры, необходимо предусмотреть меры для исключения фона обратного тока, для чего могут быть использованы измеренные в настоящей работе потоки частиц альbedo.

Апробация работы. Результаты, приведенные в диссертации, докладывались на Всесоюзных (Якутск 1977г., Ереван 1979г., Самарканд 1981г.) и Международных (Париж 1981г.) конференциях по космическим лучам, VII Европейском симпозиуме по космическим лучам (Ленинград 1980г.), Сессии ОИФ АН СССР (Москва 1982г.), а также на семинарах ЕФИ.

По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения; содержит 135 страниц, включая 44 рисунка, 8 таблиц; список литературы включает 89 наименований.

На защиту выносятся следующие результаты работы.

1. Автоматизированная экспериментальная установка, сочетающая РПИ-детектор с ионизационным калориметром для исследования адронной компоненты космического излучения при энергиях 0.3-5.0 ТэВ.
2. Универсальный метод расчета значений оптимальных параметров РПИ-детекторов для идентификации частиц высоких энергий, позволяющий при данной длине детектора обеспечить максимальную разрешающую способность в широком интервале энергий. Алгоритм моделирования многомодульных РПИ-детекторов для расчета их разрешающей способности.
3. Результаты следующих вопросов, связанных с ионизационным калориметром: абсолютная калибровка ионизационных камер и калориметра в целом; точность измерения энергии адронов; модернизированный метод определения энергии выхода через нижнее основание калориметра.
4. Результаты исследования влияния условий регистрации событий на форму энергетического спектра адронов вблизи порога, а также на спектр мюонных толчков; значение фонового вклада мюонов в поток заряженных адронов.
5. Результаты исследования обратного тока при взаимодействии адронов с веществом калориметра, показывающие наличие двух различных компонент в потоке альbedo.

5.

Содержание диссертации

В введении обсуждается актуальность создания установки "Пион" и обосновывается применение РПИ-детекторов для исследования адронной компоненты космического излучения. Перечислены изучаемые вопросы и приводится краткое описание основного содержания диссертации.

В первой главе рассматриваются основные свойства переходного излучения и различные аспекты применения РПИ. Анализированы возможности, а также характерные особенности РПИ-детекторов. Показано, что наиболее приемлемыми при идентификации частиц космического излучения являются РПИ-детекторы, основанные на методе энерговыделения, когда в детекторе излучения, расположенном непосредственно за радиатором, регистрируется суммарное энерговыделение как за счет поглощения квантов РПИ, так и ионизационных потерь частицы. Они обладают достаточно высокой разрешающей способностью, слабо зависящей от углов прохождения идентифицируемых частиц через детекторы и позволяют создавать светосильные установки. Приведен алгоритм моделирования многомодульных РПИ-детекторов и описан расчет процессов как рождения и поглощения квантов РПИ, так и ионизационных потерь частицы. В последних, с целью более точного учёта поправки на эффект плотности δ , были использованы значения $\delta=0$ при $\gamma < \gamma_{min}$ и $\delta = 2 \ln \gamma + C + a(2 \ln \gamma)^m$ при $\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max}$, где $\gamma = E/mc^2$ Лоренц-фактор частицы. Для $\gamma > \gamma_{max}$ ионизационные потери принимаются равными значению, получаемому при $\gamma = \gamma_{max}$. Значения параметров $C, a, m, \gamma_{min}, \gamma_{max}$ для различных газов, широко применяемых в многонитяных пропорциональных камерах (МПК), получены эмпирически исходя из известных результатов измерений ионизационных потерь в широком диапазоне Лоренц-факторов. Показано, что расчеты, проведенные по данному алгоритму, правильно предсказывают разрешающую способность РПИ-детекторов.

Следующий вопрос, который обсуждается в работе, связан с оптимизацией РПИ-детекторов. Показано, что разрешающая способность РПИ-детекторов зависит от многих взаимосвязанных параметров, характеризующих радиатор излучения и детектор квантов, причём значения этих параметров зависят и от числа модулей. Именно этим обстоятельством объясняется трудность расчета РПИ-детекторов и

оценочный характер известных до настоящего времени методов, которые не позволяют достигнуть максимальной разрешающей способности.

В предположении, что в соответствии с условиями реального эксперимента, исходными данными должны быть только энергия идентифицируемых частиц и допустимая длина РПИ-детектора, впервые разработан метод расчета значений оптимальных параметров, обеспечивающих максимальную разрешающую способность. Рассматривается обычная конструкция РПИ-детектора, состоящая из M модулей с общей длиной L . Каждый модуль состоит из радиатора излучения (K пластин толщиной a , расположенных на расстоянии b друг от друга) и детектора квантов толщиной e . Перечисленные параметры связаны следующим очевидным соотношением: $K = (L - Me)/(M(a+b))$. Задача заключается в выборе при заданном L таких параметров a, b, e и M , чтобы достигалось наилучшее разделение частиц по массам. Характерной особенностью нашего метода является введение параметра оптимизации $R = (\Delta W_1 + \Delta W_2)/(W_1 - W_2)$, где $W_1, \Delta W_1$ и $W_2, \Delta W_2$ - средние энерговыделения и их дисперсии для частиц с массами $m_1 < m_2$. Как следует из определения R , необходимо выбрать ту единственную комбинацию параметров РПИ-детектора, при которой достигается минимальное значение R . В работе приводятся все необходимые формулы, по которым вычисляются значения $\Delta W, W$ и описывается метод решения задачи. Показано, что неправильный выбор любого из параметров РПИ-детектора неизбежно приводит к ухудшению разрешающей способности. При правильном выборе параметров, как правило, энерговыделение легкой частицы находится почти в насыщении, в то время как энерговыделение тяжелой частицы соответствует началу резкой зависимости энерговыделения от Лоренц-фактора (рис.1). В работе исследуются возможности предлагаемого метода и показано, что рассчитанные этим способом РПИ-детекторы действительно обеспечивают максимальную разрешающую способность в широком интервале энергий.

Во второй главе приводится общее описание установки "Пион" и рассматриваются вопросы, связанные с его РПИ-детектором. Установка включает в себе ионизационный калориметр (ИК), РПИ-детектор и годоскопическую систему (рис.2). Калориметр служит для определения энергии исследуемых частиц и обеспечивает формиро-

вание управляющего импульса для всей системы регистрации информации. РПИ-детектор предназначен для разделения пионов и протонов известной энергии и позволяет с высокой достоверностью разделять нейтральные и заряженные компоненты, а также получать информацию о наличии и пространственном распределении частиц, сопровождающих регистрируемые адроны. Годоскопическая система служит для определения координат точки влета в установку заряженных адронов, а также для выявления частиц воздушного ливневого сопровождения в пределах телесного угла установки. Площадь, покрываемая установкой, составляет $\sim 10 \text{ м}^2$, геометрический фактор $\sim 2 \text{ м}^2 \cdot \text{стер}$.

К РПИ-детектору установки "Пион" предъявлялись следующие требования: обеспечение идентификации пионов и протонов с коэффициентами рекекции $\varepsilon_{p,\pi} \sim 10 + 15\%$ при эффективностях регистрации $\varepsilon_{p,\pi} \sim 60 - 70\%$ в интервале энергий 0.3 - 5.0 ТэВ; обеспечение максимальной светосилы установки. Разрешающая способность РПИ-детекторов определяется эффективностью регистрации идентифицируемых частиц $\varepsilon_{p,\pi}$, причем эффективность регистрации фоновой частицы принято называть коэффициентом рекекции

$\delta_{p,\pi}$. В случае РПИ-детекторов, основанных на методе энерговыделения, эти величины определяются следующим образом. Если выбрать пороговое значение W_n^{π} , то $\varepsilon_{\pi} = N_{\pi}(W \geq W_n^{\pi}) / (N_{\pi}(W))$ и $\delta_p = N_p(W \geq W_n^{\pi}) / N_p(W)$, где $N_{\pi}(W \geq W_n^{\pi})$ и $N_p(W \geq W_n^{\pi})$ соответственно числа пионов и протонов, энерговыделения которых превышают установленное значение W_n^{π} , а $N_{\pi}(W)$ и $N_p(W)$ - полные числа этих частиц. Аналогично в случае условия $W \leq W_n^p - \varepsilon_p = N_p(W \leq W_n^p) / N_p(W)$ и $\delta_{\pi} = N_{\pi}(W \leq W_n^p) / N_{\pi}(W)$.

Определение значений $\varepsilon_{p,\pi}$ и $\delta_{p,\pi}$, а также выбор оптимального числа модулей проводились моделированием РПИ-детекторов с различным числом модулей (3-, 4-, 8- и 20-модульный) в диапазоне 0.3 - 5.0 ТэВ. При этом каждый модуль состоял из радиатора излучения (120 майларовых пластин толщиной 22 мкм, расположенных в воздухе на расстоянии 0.3 см) и детектора энерговыделения, а именно, многоклеточной пропорциональной камеры (МПК), наполненной смесью 90% Ar + 10% C₃H₈ при эффективной толщине газа 2.7 см. В работе показано, что с увеличением числа модулей разрешающая способность РПИ-детектора улучшается, но это приводит к увеличению высоты установки H, и, тем самым, к резкому ухудшению

светосилы. С учетом того, что в условиях реального эксперимента число идентифицированных с данными значениями коэффициента рекекции пионов и протонов $N_{p,\pi}$ пропорционально параметру $(\varepsilon_{p,\pi} / H^2)_{\delta_{p,\pi}} = \text{const}$, исследована зависимость последнего от числа модулей при различных энергиях адронов. При вышеприведенных параметрах одного модуля РПИ-детектора максимум этих зависимостей соответствует числу модулей 3 или 4. Именно исходя из этих расчетов для установки "Пион" был выбран четырехмодульный РПИ-детектор. В работе исследована излучающая способность выбранного радиатора РПИ и спектральное распределение поглощенного в детекторе излучения. Исследованы рабочие характеристики МПК (однородность, разрешение, эффективность, линейность в диапазоне регистрируемого спектра РПИ и стабильность) и проведена их калибровка с помощью радиоактивных β - и γ -источников, а также мюонов космического излучения. Результаты этих исследований использовались как при моделировании РПИ-детектора, так и при обработке экспериментальных результатов. Приводятся конструкции: РПИ-детектора, состоящего из десяти идентичных четырехмодульных блоков с рабочей поверхностью 0.81 м² каждый; радиатора излучения; МПК РПИ-детектора и годоскопа; системы газобеспечения и электронной аппаратуры.

В третьей главе исследованы вопросы, связанные с ионизационным калориметром установки "Пион". Калориметр (рис.2) состоит из 10 слоев железа толщиной 10 см каждый и расположенных над ними двух слоев свинцового фильтра толщиной 3 см и 2 см соответственно. Под каждым слоем свинца и железа расположена 3I ионизационная камера диаметром 10 см и длиной 330 см. Ионизационные камеры в чередующихся рядах расположены во взаимно-перпендикулярных направлениях, что позволяет следить за пространственным развитием ядерно-электромагнитных каскадов (ЯЭК) и определять зенитный угол регистрируемых частиц. Суммарное количество вещества в калориметре $\sim 900 \text{ г/см}^2$.

В связи с тем, что в ранних экспериментах наблюдалось расхождение значений калибровочного коэффициента K, определяющего долю наблюдаемой в калориметре энергии адронов, в работе проведено уточнение этого коэффициента. На основе анализа ускорительных результатов исследования калориметрических приборов, получено абсолютное значение $K = 1.11$ при энергиях адронов

≥ 50 ГэВ в случае толщины железного поглотителя между дискретными уровнями наблюдения ЯЭК $\Delta X = 10$ см. Расчетно определена ожидаемая величина заряда, образуемого в ионизационных камерах от одной эквивалентной частицы ЯЭК с учетом энергетического и углового спектров вторичных частиц, а также геометрии ионизационных камер. Он составляет $q = 3820$ пар ионов. Далее экспериментально измерен суммарный вклад эффектов прилипания, рекомбинации и диффузии на сбор ионов в ионизационной камере и показано, что при рабочих условиях (чистый аргон под давлением 5 атм, напряжение 1000 В) электронная составляющая импульса имеет значение $\beta = 0.8 \pm 0.025$. Наконец, посредством радиоактивного α -источника подтверждено полученное значение $q_2 = q\beta \approx 4.87 \cdot 10^{16}$ кулон, которое в дальнейшем считалась исходным при электронной калибровке калориметра.

Проведена оценка точности измерения энергии адронов калориметром с учетом статистического характера развития ЯЭК и методических особенностей измерений. Показано, что точность измерения энергии для адронов, взаимодействовавших в железном поглотителе и полностью поглотившихся в калориметре, составляет $\sim 10\%$ при энергии 300 ГэВ, и с ростом энергии она улучшается.

Для частично поглотившихся адронов, при определении энергии выхода через нижнее основание калориметра, с целью более точного учета флуктуаций развития ЯЭК, проведена модернизация известного метода определения этой величины. При этом, вместо обычно используемого одного коэффициента K_1 , связывающего энергию выхода с энерговыделением в последнем ряду и определяемого из ЯЭК, усредненного по всем глубинам первого взаимодействия и энергиям адронов, найдены и использованы дифференцированные коэффициенты $K_1^n(E)$. Здесь n - число рядов калориметра, в которых выделялась энергия E , включая и последний наблюдаемый. В работе получены значения $K_1^n(E)$ в энергетических интервалах $300 \leq E < 500$ ГэВ, $500 \leq E < 1000$ ГэВ, $1000 \leq E < 2000$ ГэВ и $E \geq 2000$ ГэВ при $4 \leq n \leq 10$. Показано, что при всех рассматриваемых длинах ЯЭК наблюдается небольшой рост значений $K_1^n(E)$ с энергией. Окончательная формула, по которой определялась энергия адронов, взаимодействовавших в железном поглотителе ИК, имеет вид:

$$E (\text{ГэВ}) = 0.136 \left[\sum_3^{12} n_i + K_1^n(E) n_{12} \right],$$

где n_i - полное число частиц ЯЭК, регистрируемых в i -ом ряду.

В четвертой главе рассматриваются условия регистрации и сущность предварительной обработки событий. Для регистрации адронной компоненты в установке "Пион" требовалось выполнение следующих двух условий: энерговыделение в калориметре должно превысить установленное значение радиотехнического порога $E_{\text{пор}} \approx 450$ ГэВ; каскад в калориметре должен охватывать по крайней мере четыре ряда в железном поглотителе с минимальным уровнем энерговыделения в них $\geq 250 \pm 30$ эквивалентных частиц. При этом с учетом крутопадающего характера энергетического спектра адронов и флуктуаций порога калориметра эти условия обеспечивали достаточный статистический материал и в области энергий 300-450 ГэВ, что позволило иметь привязку к экспериментальным результатам, полученным как на ускорителях, так и с частицами космического излучения. Необходимость второго условия связано как с методическими особенностями измерений, так и желанием уменьшить фоновый вклад частиц, образующих в калориметре чисто электромагнитные каскады. В работе приводится экспериментальная энергетическая зависимость эффективности регистрации адронов калориметром, обусловленную флуктуациями порога за весь период измерений, т.е. первым условием. Аналогичная зависимость, для второго условия была получена на основе анализа ЯЭК, рассчитанных для данного калориметра методом Монте-Карло. Используя эти зависимости, а также собственное энергетическое разрешение калориметра и особенности системы регистрации, количественно изучено влияние условий регистрации на форму энергетического спектра адронов вблизи порога, и показано, что результаты расчетов находятся в хорошем согласии с экспериментом.

Рассматривается фоновый вклад мюонов в спектр заряженных адронов, наблюдаемых в установке "Пион". Исследование проводилось моделированием, с учетом всевозможных процессов взаимодействия мюонов с поглотителем калориметра. Получен ожидаемый спектр мюонных толчков, который в области энергий ≥ 300 ГэВ описывается выражением:

$$N_T(\geq E) = (6.41 \pm 0.35) \cdot 10^{-6} \left(\frac{E}{300} \right)^{-2.454 \pm 0.008} \frac{\text{толчки}}{\text{м}^2 \cdot \text{ств} \cdot \text{сек} \cdot 800 \text{г} \cdot \text{см}^2}$$

В работе оценено влияние условий регистрации на ожидаемый спектр мюонных толчков и показано, что фоновый вклад мюонов в по-

дек заряженных адронов зависит от условий, налагаемых как на минимальную длину каскада, так и на минимальное энерговыделение ряда в калориметре. В частности, в установке "Пион" в интервале энергий $300 \leq E < 500$ ГэВ практически отсутствуют ионные толчки, а в области энергий ≥ 500 ГэВ их вклад не превышает 1%.

Приводится блок-схема управления установкой и согласования работы быстрых МПК и медленных ионизационных камер. Последняя осуществляется введением предварительного управляющего импульса, формирующегося при энерговыделении в калориметре $\geq 0.25 E_{пор}$. Экспериментально установлено, что при таком пороговом значении сигнал формируется с задержкой не более 5-7 нс относительно момента прохождения частицы. Для регистрации и предварительной обработки событий в установке "Пион" используется система из малых электронно-вычислительных машин "Напри-2" и "Напри". Для данной системы разработаны математические программы, обеспечивающие: регистрацию и предварительную обработку событий; контроль за ходом работы и состоянием всех узлов установки; калибровку МПК РПИ-детектора и гедоскопической системы с помощью ионизационного излучения. Суть алгоритма программы предварительной обработки событий заключается в следующем. Из всех возможных событий ЭВМ выбирает и обрабатывает только те, которым соответствует прохождение через установку одиночных в калориметре частиц, траектория которых захватывает по крайней мере три модуля в РПИ-детекторе без ограничения на воздушное ливневое сопровождение. Предварительная обработка позволяет: восстановить траекторию частицы и определить zenithный угол входа в установку; определить их энергию по энерговыделению в калориметре, а также соответствующие значения энерговыделений в модулях РПИ-детектора. При этом формируются соответствующие признаки о наличии или отсутствии сопровождения, или об отсутствии информации в модулях РПИ-детектора, если траектория частицы определенно проходит через чувствительную область камер. Аналогичные признаки формируются и в случаях прохождения траектории через нечувствительные области между соседними РПИ-детекторами или вне телесного угла. Все события в удобном для дальнейшей обработки виде выводятся на цифровое печатающее устройство (АНПУ-128) и одновременно накапливаются на магнитной ленте.

В пятой главе приводятся некоторые физические результаты, по-

лученные на установке "Пион". На основе экспериментального материала определен поток частиц альбедо при взаимодействии адронов с веществом калориметра. С этой целью было отобрано и обработано 1945 одиночных, а также имеющих малоплотное воздушное сопровождение заряженных и нейтральных адронов. Использовались следующие критерии отбора событий: в калориметре прослеживается только один ЯЭК, причем в рядах со свинцовыми фильтрами электромагнитное сопровождение отсутствует; если помимо секций МПК РПИ-детектора, расположенных вдоль траектории адрона, зарегистрированы частицы и в других секциях, то их число в верхних модулях РПИ-детектора не должно быть больше, чем в нижних. При этих условиях регистрация частиц секциями модулей РПИ-детектора, в основном, обусловлена обратным током из калориметра, хотя не исключена возможность детектирования и некоторой доли воздушного ливневого сопровождения.

В работе показано, что частицы альбедо состоят из заряженной (непускаемых из точки взаимодействия адронов в калориметре и способных образовать сигнал по крайней мере в двух модулях РПИ-детектора) и нейтральной (поглощаемых локально в какой либо из камер РПИ-детектора) компонент, отличающиеся как по распределению энерговыделений в МПК, так и по пробегу поглощения. Приводятся измеренные средние значения потоков \bar{N}_3 и \bar{N}_N каждой из компонент в зависимости от глубины взаимодействия адронов с веществом калориметра для трех интервалов энергий. Флуктуации значений \bar{N}_N и \bar{N}_3 в пределах статистических ошибок подчиняются распределению Пуассона. Экспериментальные результаты показывают, что начиная с пятого ряда (F_{e5}) калориметра, \bar{N}_N и \bar{N}_3 в пределах ошибок не зависят от глубины взаимодействия, т.е. они в основном обусловлены частицами воздушного сопровождения. С учетом этого были введены поправки в значения \bar{N}_N и \bar{N}_3 , соответствующие парам четырем рядам калориметра. На рис. 3 приведена зависимость \bar{N}_N (с учетом поправок) от глубины взаимодействия адрона с веществом калориметра, откуда следует, что нейтральная компонента альбедо уменьшается с глубиной по экспоненциальному закону $\bar{N}_N = A \cdot \exp(-t/\lambda)$, где λ равна 71.8 ± 0.6 ; 96.6 ± 1.3 и 103.9 ± 3.8 г/см² для энергетических интервалов соответственно $300 \leq E < 500$ ГэВ; $500 \leq E < 1000$ ГэВ и $E \geq 1000$ ГэВ.

В конце главы приводятся результаты исследования потоков пионов, протонов и нейтронов, полученные на установке "Пион" и свидетельствующие о правильности идентификации частиц посредством РПИ-детектора.

В заключении диссертации приведены основные результаты, полученные в работе.

- I. Впервые создана полностью автоматизированная экспериментальная установка с использованием крупнейшего РПИ-детектора, работающего совместно с ионизационным калориметром и годоскопической системой, для исследования адронной компоненты космического излучения в интервале энергий 0,3–5,0 ТэВ.
2. Разработан алгоритм моделирования, позволяющий рассчитать разрешающую способность РПИ-детекторов. Предложен метод оптимального выбора числа модулей РПИ-детектора, позволяющий исходя из требуемой в интересующей области энергий разрешающей способности, достигнуть максимальной светосилы установки. В частности, для установки "Пион" показано, что для разделения пионов от протонов с 90 % достоверностью оптимальным является 3- или 4-модульный РПИ-детектор.
3. Впервые создана методика точного выбора значений оптимальных параметров проектируемых РПИ-детекторов для идентификации частиц высоких энергий, позволяющая при данной длине устройства достигнуть максимальной разрешающей способности.
4. Разработаны и осуществлены конструкции радиатора и МПК, позволяющие обеспечить максимальную чувствительную поверхность на площади, покрываемой РПИ-детектором ($7,3 \text{ м}^2$ из общей $9,4 \text{ м}^2$), а также достигнуть хорошей периодичности радиатора.
5. С использованием радиоактивных β - и γ -источников, а также мюонов космического излучения осуществлена тщательная калибровка детекторов энерговыделения РПИ-детектора. Достигнуты стабильные рабочие характеристики, позволяющие с высокой надежностью идентифицировать заряженные адроны.
6. Проведена проверка абсолютной калибровки ионизационного калориметра с использованием ускорительных результатов исследования калориметров с железным поглотителем. Получено значение калибровочного коэффициента определяющего долю наблюдаемого калориметром излучения.

7. Предложена методика, позволяющая более точно учитывать статистический характер развития ЯЭК при определении доли энергии выхода через нижнее основание калориметра и ее ошибок, для частично поглотившихся адронов.
 8. Разработаны физические условия регистрации адронной компоненты в интересующей области энергий. Количественно изучено влияние условий регистрации на форму дифференциального спектра адронов вблизи порога энергии. Результаты расчетов Монте-Карло хорошо согласуются с экспериментом. Разработана и осуществлена блок-схема управления установкой, обеспечивающая выполнение физических условий регистрации частиц, а также согласование работы быстрых МПК с медленными ионизационными камерами.
 9. Рассчитан фоновый вклад одиночных мюонов в поток одиночных заряженных адронов, наблюдаемых на установке "Пион". Показано, что в области энергий $\leq 1000 \text{ ГэВ}$ спектр мюонных толчков зависит от условий регистрации событий. Благодаря принятым в установке "Пион" условиям регистрации каскадов, в интервале $300 \leq E < 500 \text{ ГэВ}$ практически отсутствует мюонные толчки, а в области энергий $\geq 500 \text{ ГэВ}$ их вклад в общем потоке одиночных заряженных адронов не превышает 1 %.
 10. Разработаны и осуществлены математические программы для системы регистрации и предварительной обработки событий. Приведен алгоритм программы предварительной обработки отобранных по определенным критериям событий.
 - II. Получены значения потоков частиц альbedo в зависимости от энергии адронов и от глубины их взаимодействия с веществом калориметра. Впервые измерены потоки различных компонент частиц альbedo; для трех различных интервалов энергий адронов определен пробег поглощения нейтральной (длиннопробежной) компоненты.
- Приведены результаты прямых измерений потоков пионов, протонов и нейтронов на высоте 3250 м над уровнем моря в области энергий 0,3–5,0 ТэВ, свидетельствующие о правильности идентификации частиц посредством РПИ-детектора.

Публикации по материалам диссертации:

1. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г., Арзуманян К.С., Багдасарян Л.С., Вимницкий О.М., Казарян С.П., Казарян С.С., Канканян С.А., Мамиджаниян Э.А., Мартиросов Р.М., Оганезова Дж.С., Оганесян А.Г., Пресцов В., Таманян А.Г. Экспериментальная установка для исследования взаимодействий космических адронов высоких энергий с использованием РПИ-детекторов.- Изв.АН СССР, сер. физич., 1976, т. 40, №5, с. 1058-1060.
2. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г., Казарян С.П., Канканян С.А., Оганесян А.Г., Саркисян А.С., Таманян А.Г. Расчет методов Монте-Карло РПИ-детектора установки для исследования характеристик взаимодействия адронов космических лучей с энергией 500-5000 ГэВ.- Изв.АН Арм.ССР, Физика, 1978, т. 13, в. 3, с. 172-178.
3. Авунджян А.Т., Акопян Л.Г., Антонян К.Г., Дадалян А.Г., Казарян С.П., Канканян С.А., Кочарян И.С., Оганесян А.Г. К расчету и оптимизации параметров РПИ-детектора.- Изв.АН Арм.ССР, Физика, 1980, т. 15, в. 3, с. 198-202.
4. Авунджян А.Т., Дадалян А.Г., Казарян С.П., Оганесян А.Г. Оптимизация РПИ-детекторов.- Ереван, 1981.- 21 с. (Научное сообщение/Ереванский физич. ин-т.: ВФИ-492(35)-81).
5. Авакян В.В., Арзуманян С.А., Авунджян А.Т., Канканян С.А., Казарян С.П., Кочарян И.С., Овсепян Г.Г., Оганян Г.Ж., Оганесян А.Г., Оганезова Дж.С., Пресцов В.В., Саргсян А.С., Сехоян С.О., Таманян А.Г. Пропорциональные камеры для РПИ-детектора.- Ереван, 1977.- 17 с. (Научное сообщение/Ереванский физич. ин-т.: ВФИ-232(25)-77).
6. Авунджян А.Т., Асатрян Т.Л., Казарян С.П., Оганесян А.Г., Тер-Антонян С.В. О вкладе мюонов космического излучения в спектре адронов, регистрируемых установкой "Пион".- Ереван, 1982.- 12 с. (Научное сообщение/Ереванский физич. ин-т.: ВФИ-539(26)-82).
7. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г., Казарян С.П., Канканян С.А., Оганезова Дж.С., Оганесян А.Г., Таманян А.Г. Использование ЭИМ "Навиг-2" в эксперименте с космическими лучами.- Ереван, 1977.- 26 с. (Научное сообщение/Ереванский физич. ин-т.: ВФИ-219(11)-77).

8. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Азарян М.О., Акопян Л.Г., Багдасарян Л.С., Григорян Г.С., Дадалян А.Г., Казарян С.П., Мамиджаниян Э.А., Оганян Г.Ж., Оганесян А.Г. Поток частиц альbedo в калориметрических установках.- Изв.АН СССР, сер. физич., 1981, т. 45, №7, с. 1249-1254.
9. Avakian V.V., Avundjian A.T., Bagdasarian L.S., Kazarian S.P., Mamidjanian E.A., Martirosov R.M., Muradian M.M., Oganeyova D.S., Oganian G.Zh., Ovsepiam G.G., Oganessian A.G., Pleshko M.P., Sokhoyan S.O., Vinnitsky O.M. Determination of Ratios of Pion, Proton and Neutron Fluxes at Mountain altitude at E~ 1 TeV.- Proc. of 17-th ICRC, Paris, 1981, v. 11, p. 38-41.

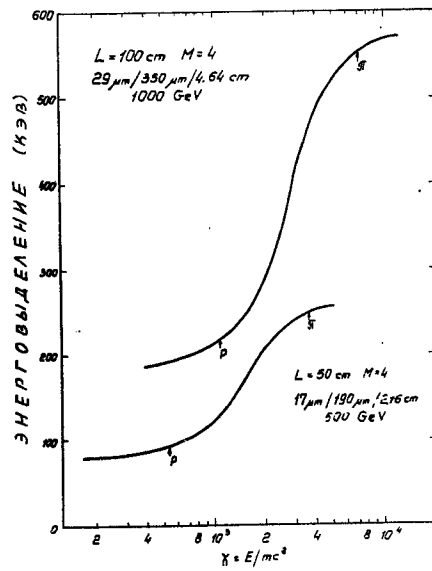


Рис. I Зависимость энерговыделения от χ в случае оптимальных детекторов при 500 ГэВ (нижняя кривая) и 1000 ГэВ (верхняя кривая). Цифрами указаны оптимальные значения $a/b/e$.

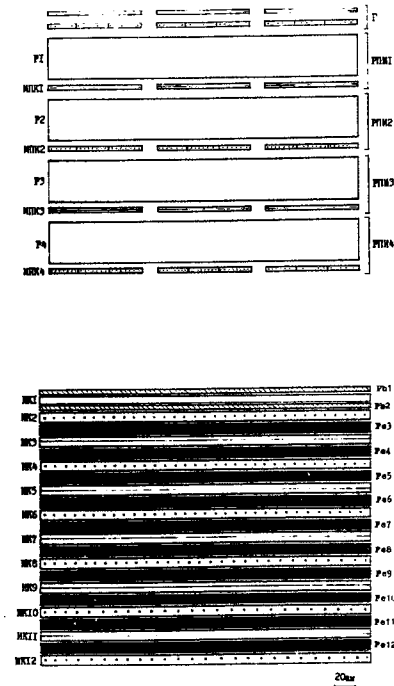


Рис. 2 Схема установки "Пион": ИК - ионизационные камеры, Р - радиаторы излучения, МПК - многослойные пропорциональные камеры, Г - годоскоп.

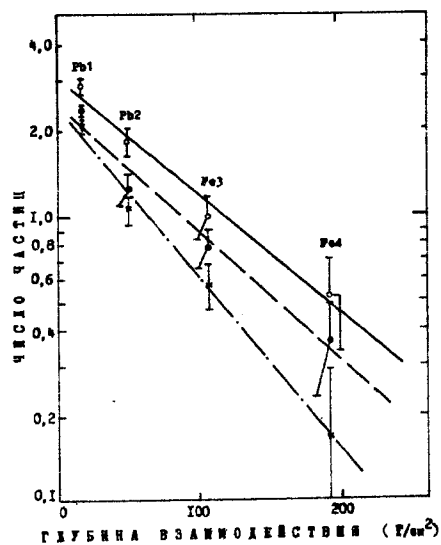


Рис.3 Зависимость зарегистрированного числа частиц альbedo от глубины взаимодействия адронов в калориметре.

Технический редактор А. С. Абрамян

Заказ 580

ВФ - 04023

Тираж 170

Подписано к печати 15. II. 82 г.

формат издания 60x84/16

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