

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК. 537.591:538.56:539.12

АВУНДЖЯН

АЛЕКСАН ТИГРАНОВИЧ

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ π , p , n КОСМИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВЫШЕ 500 ГЭВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ РПИ-ДЕТЕКТОРОВ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра и
элементарных частиц

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук

Ереван - 1983

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук Оганесян А.Г.

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук Сарычева Л.И. (НИИЯФ МГУ)
Кандидат физико-математических наук Еранкин А.Д. (ФИАН СССР).

Ведущая организация: Институт физики АН Гр.ССР.

Защита состоится "17" июня 1983 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Специализированного совета Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (г. Ереван-36, ул.Маржаряна,2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института.

Автореферат разослан "17" мая 1983 г.

Ученый секретарь Специализированного совета

В.А.Шахбазян

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена изучению состава потока одиночных адронов космических лучей (КЛ) и спектров компонент этого потока (π , p , n) на высоте гор. Измерения были проведены на комплексной установке "Пион" Ереванского физического института (на высоте 3250 м над уровнем моря), состоящей, в основном из ионизационного калориметра (ИК) и детектора рентгеновского переходного излучения (РПИ-детектора).

Актуальность темы. Данные о составе потока адронов при энергиях ≥ 300 ГэВ весьма скудны. Причиной тому являются методические трудности, возникавшие при создании светосильных детекторов, позволяющих идентифицировать адроны таких энергий. Данные, полученные в различных экспериментах, часто не согласуются друг с другом. Такое расхождение наблюдается и в результатах, касающихся энергетических спектров одиночных адронов. Анализ конкретных условий этих экспериментов показал, что основной причиной такого разногласия данных является методика регистрации ливневого сопровождения адронов в каждом эксперименте, критерии отбора, а также определение одиночности адрона при обработке зарегистрированных событий.

В настоящей работе впервые с применением многомодульного РПИ-детектора была реализована в интервале энергий $300 \leq E \leq 500$ ГэВ идентификация всех компонент потока адронов (пионной, протонной и нейтронной). Была исследована зависимость состава этого потока от энергии адронов, а также от условий отбора событий по сопровождению. Используя полученные в настоящей работе данные, а также сравнивая их с результатами других экспериментов, было

установлено, что критичными параметрами, определяющими состав и спектры компонент потока адронов, является допустимая плотность сопровождения (ρ_{max}) и энергетический порог чувствительности детекторов сопровождающих частиц (E_n) в каждом эксперименте. С учетом сказанного, систематические исследования зависимости состава и спектров отдельных компонент потока адронов от ρ_{max} и E_n , впервые проведенное в диссертационной работе, представляются актуальными.

Цели и задачи работы. Использование многомодульного РПИ-детектора, позволяющего идентифицировать пионы и протоны в энергетическом интервале 300 + 500 ГэВ дало возможность исследовать отдельные компоненты потока адронов. Общей целью настоящей работы является исследование состава потока одиночных адронов и энергетических спектров компонент этого потока при различных значениях плотности сопровождения. Задачи, поставленные в работе, можно сформулировать следующим образом:

1. Методические вопросы, связанные с определением характеристик используемых приборов: а) абсолютная калибровка ИК с использованием новых ускорительных данных по исследованию ядерно-электромагнитных каскадов; б) исследование возможности π/p -идентификации в РПИ-детекторе установки методом моделирования последнего.

2. Расчет влияния различных фоновых процессов на достоверность идентификации и на наблюдаемую плотность ливневого сопровождения.

3. Определение π/p -отношения в потоке адронов с $E > 300$ ГэВ и исследование зависимости этого отношения от энергии адронов и от плотности ливневого сопровождения.

4. Определение всех факторов, влияющих на наблюдаемую интенсивность потока пионов, протонов и нейтронов при $\rho_{max} = const$.

5. Измерение энергетических спектров основных компонент потока адронов КЛ при различных значениях ρ_{max} .

6. Определение нижней границы сечения неупругого взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха σ_{p-air}^{inel} с использованием непосредственно измеренного спектра протонов при минимальном значении

Научная новизна работы. Впервые измерена зависимость π/p -отношения в потоке адронов КЛ от энергии частиц и от плотности ливневого сопровождения.

Впервые посредством прямой идентификации адронов измерены энергетические спектры пионов и протонов, причем измерения выполнены при трех значениях ρ_{max} (0,1 м⁻², 0,3 м⁻² и 2,0 м⁻²).

Определена нижняя граница сечения неупругого взаимодействия протонов с ядрами воздуха σ_{p-air}^{inel} , причем для этой цели впервые использован непосредственно измеренный спектр протонов при минимальной плотности сопровождения.

Впервые измерены спектры нейтронов в потоке адронов КЛ при $\rho_{max} = 0,1$ м⁻² и 0,3 м⁻².

Разработан алгоритм моделирования многомодульных РПИ-детекторов.

Разработана методика расчета влияния отбора событий на эффективную светосилу калориметрических установок.

Практическая ценность. Данные о составе и спектрах потока адронов используются для проверки теоретических моделей взаимодействия адронов при сверхвысоких энергиях. При сравнении рас-

четных и экспериментально измеренных характеристик потока, естественно, следует пользоваться максимальным набором "избирательных" параметров, чувствительных к моделям взаимодействия. Измеренное впервые в настоящей работе поведение π/P -отношения с изменением как энергии, так и плотности сопровождения, с этой точки зрения, может служить тестом моделей взаимодействия при энергиях, превышающих энергии наблюдаемых адронов. Для этой же цели могут быть применены и результаты, касающиеся энергетических спектров пионов, протонов и нейтронов, полученных в настоящей работе.

Разработанный алгоритм моделирования РПИ-детекторов, позволяющий вычислить ожидаемые распределения энерговыделений частиц в модулях детектора, может быть применен при проектировании создаваемых РПИ-детекторов, а также при выборе оптимальных параметров последних. Методика учета влияния δ -электронов, образующихся в объеме РПИ-детектора и ограничивающих его разрешающую способность, может быть применена для оценки предельных возможностей РПИ-детекторов, конструируемых в современных экспериментальных установках в ЦЕРН-е и ФНАЛ.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертации, были представлены на 16-ой (Киото, 1979 г.), 17-ой (Париж, 1981 г.) Международных конференциях, 7-ой (Ленинград, 1980 г.), 8-ой (Рим, 1982 г.) европейских симпозиумах и Всесоюзной (Ереван, 1979 г.) конференции по космическим лучам, а также докладывались на семинарах ЕРФИ.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано десять работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Она изложена на 115 страницах машинописного текста и содержит 22 таблицы и 38 рисунков. Список цитируемой литературы включает 91 наименование.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность проведенных исследований, формулируется их цель и приводится краткое описание содержания каждой из глав диссертационной работы.

В первой главе диссертации приводится описание установки "Пион", основными узлами которой являются ионизационный калориметр и РПИ-детектор. ИК установки предназначен для измерения энергии регистрируемых адронов в области ≥ 300 ГэВ. Ядерно-электромагнитный каскад (ЯЭК), образуемый адроном в веществе поглотителя калориметра (2 ряда Рь 3 см и 2 см и 10 рядов Fe по 10 см каждый) регистрируется в ионизационных камерах, расположенных между поглотителями (31 камера в каждом ряду) во взаимоперпендикулярных направлениях в чередующихся рядах. Такая конструкция ИК позволяет следить за развитием ЯЭК как в продольном, так и в поперечном направлениях. Важным является вопрос о переходе от измеренных амплитуд сигналов в каналах калориметра к энергии ЯЭК, инициированного в ИК регистрируемым адроном (энергетическая калибровка ИК). Этот переход осуществлен в два этапа. Во-первых, вычислен заряд, образующийся в газе камеры при пролете через нее одной частицы ЯЭК. С учетом спектра каскадных частиц, геометрии камер, давления газа в них и пр. определена амплитуда сигнала на выходе камеры, соответствующая данному заряду. Во-вторых, с использованием ускорительных данных свер-

шен переход от числа частиц в ЯЭК к его энергии. Для сопоставления результатов различных экспериментов с целью выбора калибровочного коэффициента предложен параметр $R = (\sum n_i \cdot \Delta x_i) / E$ (число частиц ЯЭК после L -го слоя поглотителя, Δx_i — толщина этого слоя, E — энергия ЯЭК), не зависящий ни от толщины поглотителей, ни от энергии ЯЭК.

Рассмотрена природа различных факторов, влияющих на энергетическое разрешение калориметра.

Описан РПИ-детектор установки, расположенный над ИК и предназначенный для идентификации регистрируемых адронов. Анализован метод энерговыделений, на котором он основан.

РПИ-детектор состоял из 36 одинаковых модулей, расположенных в 4-х плоскостях (9 модулей в каждой плоскости). В состав каждого модуля входила многопроволочная пропорциональная камера (МПК) рабочим объемом $90 \times 90 \times 4 \text{ см}^3$, наполненная смесью $90\% \text{ Ar} + 10\% \text{ CH}_4$. Сигнальные проволочки в МПК были сгруппированы в три секции ($0,3 \times 0,9 \text{ м}^2$), т.е. весь РПИ-детектор состоял из 108 информативных каналов. Радиатор излучения представлял собой 120 слоев майлара толщиной 22 мкм, протянутых с шагом в 3 мм. Он был изготовлен в виде блоков площадью $1 \times 3 \text{ м}^2$ и покрывал три МПК в каждой плоскости. Для данной конструкции детектора были рассчитаны средние значения энерговыделений пионов и протонов различных энергий в модулях детектора. Однако полное представление о разделении частиц можно составить лишь по распределениям полных энерговыделений, для чего была создана программа моделирования многомодульных РПИ-детекторов методом Монте-Карло. С помощью этой программы были рассчитаны ожидаемые энерговыделения пионов и протонов во всем диапазоне энергий $300 + 5000 \text{ ГэВ}$.

Для учета в моделировании были исследованы реальные характеристики МПК РПИ-детектора. Результаты этих исследований с использованием радиоактивных β и γ -источников, а также измерений, проведенных с помощью μ -мезонов и протонов ($E_{\text{прот.}} \geq 2000 \text{ ГэВ}$) были использованы для энергетической калибровки РПИ-детектора установки.

Приводится краткое описание электронной аппаратуры, использованной в эксперименте. Обсуждены условия формирования триггерного импульса, определяющие энергетический порог установки и согласующие быстрый (РПИ-детектор) и медленный (ИК) части установки.

Во второй главе перечислены физические задачи, поставленные перед экспериментом, с учетом которых сформулированы семь критериев отбора событий. В процессе отбора полезных событий контроль наличия ливневого сопровождения регистрируемых адронов проводился по показаниям РПИ-детектора на площади $0,8 \text{ м}^2$ вблизи траектории частицы (колонна, состоящая из 3 или 4 модулей). Размеры одной секции РПИ-детектора определяют максимально допустимую плотность сопровождения, при которой вероятность искажения показаний основных секций детектора (приписываемых адрону) мала. Оценка этого параметра дает $\rho_{\text{max}} = 2,0 \text{ м}^{-2}$. Отобранные события были классифицированы по максимально допустимой плотности сопровождения, причем первая категория характеризовалась величиной параметра $\rho_{\text{max}} = 0,1 \text{ м}^{-2}$, вторая — $\rho_{\text{max}} = 0,3 \text{ м}^{-2}$, а третью категорию составили все отобранные события, т.е. здесь $\rho_{\text{max}} = 2,0 \text{ м}^{-2}$ по определению.

Анализ событий показал, что наблюдается существенная зависимость характера событий от глубины генерации ЯЭК в ИК.

Частично это обусловлено вкладом электронно-фотонной компоненты космических лучей. Однако, основной причиной такой зависимости является обратный ток частиц альbedo из ИК при развитии ЯЭК в последнем. Интенсивность и прочие характеристики потока частиц альbedo были исследованы на этой же установке. Результаты исследований были использованы в программе моделирования влияния этого явления на распределение событий по категориям.

На наблюдаемую плотность сопровождения влияют также δ -электроны, образуемые регистрируемым адроном непосредственно над установкой и внутри её объёма. Для оценки влияния этого эффекта таким была создана программа моделирования на ЭМ.

Рассмотрены также прочие эффекты влияющие на наблюдаемую плотность сопровождения.

Третья глава посвящена измерению π/p -отношения в потоке заряженных адронов на глубине атмосферы 700 г/см^2 . Для обработки данных РПИ-детектора был использован метод максимального правдоподобия. Согласно расчетным распределениям пионов и протонов по параметру правдоподобия были определены вклады одного сорта частиц в другой при их идентификации с определенной эффективностью. Знание этих параметров позволило восстановить число протонов и пионов в отдельных энергетических интервалах.

Фоновые эффекты, о которых говорилось во второй главе, повлияли и на энерговыделения адронов в модулях РПИ-детектора, искажив тем самым и измеряемое π/p -отношение. В программах моделирования этих процессов была предусмотрена возможность имитации энерговыделений адронов и фоновых частиц в модулях РПИ-детектора. Это позволило учесть влияние этих процессов на π/p -отношения, окончательные значения которых в различных энергетических

интервалах приводится в таблице.

На рис. I приведена двумерная $E-p$ диаграмма, показывающая наличие экспериментальных данных по π/p -отношениям в потоке адронов с $E > 300 \text{ ГэВ}$. Видно, что систематизированное изучение данного вопроса впервые проводится в настоящей работе.

Отношения интегральных интенсивностей потоков пионов и протонов можно представить в виде $A (E/300)^m$ (E - в ГэВ), где для A и m получены значения $A = 0.42 \pm 0.01, 0.43 \pm 0.02, 0.81 \pm 0.07$ и $m = 1.29 \pm 0.03, 1.12 \pm 0.06, 0.94 \pm 0.08$ для значений $\rho_{\text{max}} = 0.1 \text{ м}^{-2}, 0.3 \text{ м}^{-2}, 2.0 \text{ м}^{-2}$ соответственно. Зависимость π/p -отношения от ρ_{max} приведена на рис. 2. Проведенное сравнение полученных данных с результатами других экспериментов показало на их разумное согласие, хотя в данной области энергий непосредственная идентификация адронов была проведена лишь в одном эксперименте (установка Мэрилендского университета, США).

Четвёртая глава посвящена определению эффективных факторов экспозиции для различных компонент потока адронов. При определении эффективной светосилы установки учитывалось влияние субъективного подхода обработчиков при отборе событий, вызванное требованием малости энергий ЯЭК, выносимой из боковых стенок ИК. Это было достигнуто введением зон "неэффективности" у краев ИК, величины которых для каждого ряда определялись, исходя из экспериментальных распределений "толчков" ЯЭК по камерам данного ряда. Показано, что если без учета влияния данного фактора светосила установки составляла $\sim 2.0 \text{ м}^2 \text{ стер}$. (при угловом распределении адронов $\sim \cos^2 \theta$), то из-за данного эффекта она уменьшается до $1.4 \text{ м}^2 \text{ стер}$.

Угловое распределение адронов, полученное с учетом конструктивных особенностей установки (щельность и т.д.), подтвердило результаты других экспериментов о том, что показатель косинуса зенитного угла ~ 7 .

С учетом поправок (эффективность МПК, "мертвое время" установки и т.д.), влияющих на наблюдаемую интенсивность потока, были определены эффективные значения фактора экспозиции для каждой компоненты потока адронов.

В пятой главе проведен сравнительный анализ условий различных экспериментов, в которых измерялась интенсивность потока одиночных адронов при $E \sim 1$ ТэВ. Показано, что измеряемая интенсивность потока одиночных адронов зависит от ряда факторов, важнейший из которых — максимально допустимая плотность сопровождения ρ_{max} , с изменением которой наблюдаемая интенсивность потока при $E \sim 1$ ТэВ может меняться ~ 10 раз. Критичным параметром является также ϵ_n — энергетический порог чувствительности детекторов контроля сопровождения. Зависимость интенсивности потока от ϵ_n должна быть слабее при $\epsilon_n \ll \epsilon_c$ по сравнению со случаем $\epsilon_n > \epsilon_c$ ($\epsilon_c = 81$ МэВ — критическая энергия для воздуха). На рис. 3 приведены результаты различных экспериментов, а также наши данные по потокам адронов при $E \sim 1$ ТэВ. Из этого рисунка видно, что действительно наблюдается корреляция между ϵ_n и наблюдаемой интенсивностью потока, причем данные при $\epsilon_n \ll 81$ МэВ близки друг к другу. Полученные нами данные по спектру одиночных адронов подтверждают результаты других наблюдений, согласно которым наклон спектра адронов при $\rho_{max} = const$ увеличивается с ростом энергии.

Впервые получены энергетические спектры протонов и пионов

(при трех значениях ρ_{max}). Хотя эти спектры также трудно представить в виде показателей функции с единым показателем во всем энергетическом диапазоне, однако в интервале 600–2000 ГэВ такая аппроксимация была проведена для всех спектров, измеренных в настоящей работе (адроны, пионы, протоны, нейтроны). Например, интегральный энергетический спектр протонов в указанной области энергий выражается как:

$$I_p(>E) = (2.43 \pm 0.04) 10^{-5} (E_{\text{ТэВ}})^{-1.90 \pm 0.04} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$$

$$I_{\pi^+}(>E) = (3.13 \pm 0.03) 10^{-5} (E_{\text{ТэВ}})^{-1.85 \pm 0.03} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$$

$$I_{\pi^-}(>E) = (3.78 \pm 0.06) 10^{-5} (E_{\text{ТэВ}})^{-1.84 \pm 0.04} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$$

для значений $\rho_{max} = 0.1 \text{ м}^{-2}$, 0.3 м^{-2} и 2.0 м^{-2} соответственно. При этих же значениях ρ_{max} спектры пионов описываются выражениями:

$$I_{\pi^+}(>E) = (2.6 \pm 0.2) 10^{-6} E^{-2.6 \pm 0.19} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ сек}^{-1}$$

$$I_{\pi^-}(>E) = (3.2 \pm 0.1) 10^{-6} E^{-2.56 \pm 0.15} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ сек}^{-1}$$

$$I_n(>E) = (9.2 \pm 0.4) 10^{-6} E^{-2.56 \pm 0.15} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ сек}^{-1}$$

Спектр протонов при минимальном значении $\rho_{max} = 0.1 \text{ м}^{-2}$ был использован для оценки нижней границы σ_{p-air}^{inel} — сечения неупругого взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха (рис. 4).

Измерены также энергетические спектры нейтронов. Полученные данные были сравнены с результатами других экспериментов.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. При участии автора создана крупнейшая комплексная установка по исследованию потоков, протонов и нейтронов космических лучей с энергиями 300–5000 ГэВ и их взаимодействия с различными ядрами. Основными узлами установки являются ионизационный калориметр площадью 10 м² и многомодульный РПИ-детектор с эффективной площадью 36 × 0,8 м². Такое сочетание приборов обеспечило измерение энергии регистрируемых частиц и их идентификацию. Впервые в экспериментах с космическими лучами осуществлена связь с ЭВМ в режиме "on-line". С учетом прецизионных ускорительных измерений произведена абсолютная калибровка калориметра. Предложен универсальный параметр $R = (\sum n_i \Delta x_i) / E$, позволяющий сопоставить данные различных экспериментов по исследованию ЯЭК независимо от энергии частиц и толщины поглотителя калориметра.

2. Создана программа моделирования многомодульных РПИ-детекторов, позволяющая вычислить методом Монте-Карло распределения полных энерговывделений частиц в детекторах излучения. Работоспособность алгоритма проверена имитированием различных экспериментов по изучению РПИ-детекторов и сравнением характеристик, полученных расчетным путем и экспериментально. Программа может быть использована при проектировании РПИ-детекторов и оптимизации их параметров. С помощью данной программы была исследована возможность π/p -идентификации одиночных адронов космических лучей в РПИ-детекторе установки во всем диапазоне энер-

гий. Для сопоставления расчетных и экспериментальных распределений энерговывделений адронов в модулях РПИ-детектора, пропорциональные камеры, используемые в качестве детекторов излучения, были исследованы и откалиброваны радиоактивными β - и γ -источниками, а также μ -мезонами и протонами космических лучей. Результаты исследований были учтены при моделировании РПИ-детектора установки.

3. Показано, что для корректной π/p -идентификации необходимо ограничить плотность ливневого сопровождения регистрируемого адрона в модулях РПИ-детектора. Исходя из конструктивных особенностей РПИ-детектора для максимально допустимой плотности сопровождения, при которой вероятность искажения энерговывделений адрона частицами сопровождения мала, было получено значение $\sim 2,0 \text{ м}^{-2}$. Впервые исследования состава и спектров потоков адронов космических лучей в глубине атмосферы были проведены при различных плотностях воздушного сопровождения, для чего обработка производилась для трех категорий событий, отличающихся значением ρ_{max} (0,1 м⁻², 0,3 м⁻² и 2,0 м⁻²).

4. Был произведен анализ фоновых эффектов, влияющих как на наблюдаемую плотность ливневого сопровождения, так и на точность π/p -идентификации. Наиболее существенные процессы (δ -электроны, альbedo) были промоделированы методом Монте-Карло. В моделировании влияния частиц альbedo были использованы результаты по исследованию характеристик этого явления, полученные на настоящей установке. Было оценено влияние каждого процесса на распределение событий по категориям.

5. Разработана методика определения истинного числа пионов и протонов с использованием известных эффективностей регистра-

ции и коэффициентов режекции при идентификации этих частиц. Для последней был применен метод максимального правдоподобия.

6. Впервые получены значения π/p -отношения в потоке одиночных адронов при трех различных значениях f_{max} и при различных энергиях в диапазоне 300–2000 ГэВ. Показано, что при указанных плотностях сопровождения с увеличением энергии доля пионов уменьшается и при $E \geq 2000$ ГэВ поток заряженных адронов практически состоит из протонов. В интервале энергий 500–1600 ГэВ зависимость π/p -отношения от энергии представляется в виде $A(E_{ГэВ}/300)^m$, где $m = 1,29 \pm 0,03$, $1,12 \pm 0,06$ и $0,94 \pm 0,08$, а $A = 0,42 \pm 0,01$, $0,43 \pm 0,02$ и $0,81 \pm 0,07$ при $f_{max} = 0,1 \text{ м}^{-2}$, $0,3 \text{ м}^{-2}$ и $2,0 \text{ м}^{-2}$ соответственно.

7. Проанализированы различные факторы, влияющие на измеряемое значение абсолютных интенсивностей различных компонент потока адронов. В частности, проанализировано влияние отбора, при котором браковались события с заметным выносом энергии ЯЭК через боковые стенки ИК. Показано, что субъективный подход при этом существенно влияет на эффективную светосилу установки. Предложена методика оценки выборки, которая может быть применена в любых калориметрических установках.

8. Измерены энергетические спектры одиночных адронов при 500 ГэВ. При энергии $E = 1$ ТэВ интегральный поток равен $3,9 \times 10^{-5} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и $5,0 \times 10^{-5} \text{ м}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$ при $f_{max} = 0,1 \text{ м}^{-2}$ и $0,3 \text{ м}^{-2}$ соответственно. Полученные данные сопоставлены с результатами других экспериментов. Показано, что наши результаты существенно дополняют известные данные о характеристиках потока одиночных адронов при $f_{max} < 1 \text{ м}^{-2}$.

9. Впервые путем прямой идентификации получены энергетиче-

ские спектры пионов и протонов с $E > 500$ ГэВ при трех значениях f_{max} . Измеренный спектр протонов с $f_{max} = 0,1 \text{ м}^{-2}$ был использован для оценки сечения неупругого взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха, для нижней границы которого получена оценка $\sigma_{p-air}^{inel} \geq 272 \pm 12 \text{ мб}$ и $302 \pm 20 \text{ мб}$ при $\langle E \rangle = 0,83$ ТэВ и 4,0 ТэВ соответственно. Минимальное значение f_{max} , достигнутое в настоящем эксперименте, дает основание полагать, что произведенная оценка близка к истинному значению.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г. и др. Экспериментальная установка для исследования взаимодействий космических адронов высоких энергий с использованием РПИ-детекторов. —Изв. АН СССР, сер.физ., 1976, т.40, №5, стр.1058+1060.

2. Avakyan V.V., Avoundzhyan A.T., Antonyan K.G. et al. Arrangement for the Identification of Cosmic Ray Hadrons and the Measurement of Interaction Cross Sections at Energies $E \geq 500$ GeV. — in: Proc. of the 16th Intern. Cosmic Ray Conf., Kyoto, Japan, 1979, vol.13, p.61+65.

Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г. и др. Установка для идентификации адронов космического излучения и измерения сече-

ний взаимодействий при энергиях $E \geq 500$ ГэВ. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, т.44, стр.479+482.

3. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антоян К.Г. и др. Расчеты методом 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, вып.3, стр.172+178.

4. Авунджян А.Т., Акопян Л.Г., Антоян К.Г. и др. К расчету и оптимизации параметров РПИ-детекторов. - Изв. АН Арм.ССР, Физика, 1980, т.15, вып.3, стр.198+202.

5. Авунджян А.Т., Казарян С.П. и Оганесян А.Г. Алгоритм моделирования РПИ-детекторов и некоторые его применения. - Ереван, 1980, 29 с. (препринт/Ереванский физ. ин-т: ЕФИ-437(44)-80).

6. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Азарян М.О. и др. Поток частиц альбеда в калориметрических установках. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1981, т.45, стр.1249+1254.

7. Avakyan V.V., Avundzhyan A.T., Bagdassaryan L.S., et al. In: Measurement of Pion, Proton, Neutron Fluxes at Mountain Altitudes and Determination of Inelastic Cross Sections of π , p and n Interactions with Iron Nuclei for Energies $E > 0,5$ TeV. In: Proc. of the 16th Intern. Conf. on Cosmic Rays, Kyoto, Japan, 1979, v.13, p.66+69.

Авакян В.В., Авунджян А.Т., Багдасарян Л.С. и др. Измерение потоков пионов, протонов, нейтронов на высотах гор и определение сечения неупругого взаимодействия π , p и n с ядрами железа при энергиях $E > 0,5$ ТэВ. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, т.44, стр.483+485.

8. Avakian V.V., Avundjian A.T., Bagdassarian L.S. et al. Detern-

mination of Ratios of Pion, Proton and Neutron Fluxes at Mountain Altitudes at $E \sim 1$ TeV. - In: Proc. of the 17th Intern. Conf. on Cosmic Rays, Paris, France, 1981, v.11, p.38+41.

9. Avakian V.V., Avundjian A.T., Garyaka A.P. et al., The Cosmic Radiation Hadron Composition Analysis at Mountain Altitudes in the Energy Range 0,5+5,0 TeV. - In: Proc. of the 8th European Cosmic Ray Symposium (Abstracts), B1.17, 1982, Roma.

10. Авунджян А.Т., Казарян С.П., Канкянян С.А., Оганесян А.Г., Светосила установки "Пион" и угловые распределения одиночных заряженных адронов на высотах гор. - Ереван, 1982, 13 с. (препринт/Ереванский физ. ин-т: ЕФИ-541(28)-82).

Таблица

Значения π/p -отношения в потоке адронов на глубине атмосферы 700 г/см^2 в различных энергетических интервалах.

E (ГэВ) \ P_{max} (м^{-2})	0,1	0,3	2,0
300+500	$0,23 \pm 0,21$	$0,32 \pm 0,23$	$0,67 \pm 0,30$
500+700	$0,35 \pm 0,11$	$0,40 \pm 0,11$	$0,81 \pm 0,16$
700+1000	$0,18 \pm 0,10$	$0,22 \pm 0,10$	$0,48 \pm 0,12$
1000+1600	$0,18 \pm 0,11$	$0,19 \pm 0,11$	$0,36 \pm 0,12$
1600	$< 0,10$	$< 0,09$	$0,16 \pm 0,10$

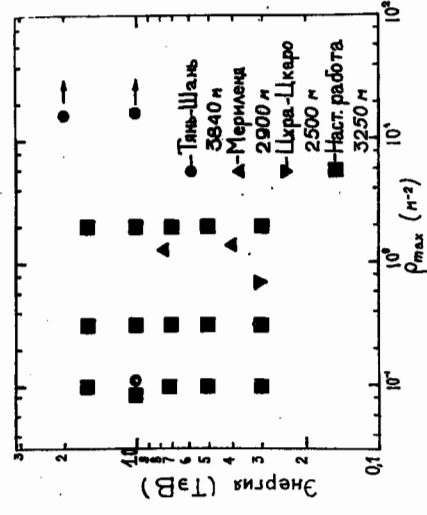


Рис.1 Двумерная $E - \rho$ диаграмма, показывающая имеющиеся данные по π/ρ -отношениям в потоке адронов на высотах гор в зависимости от энергии и максимально допустимой плотности сопровождения.

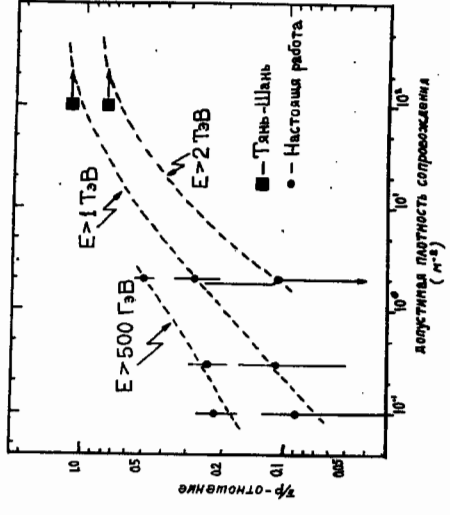


Рис.2 Зависимость π/ρ -отношения от ρ_{max} при различных энергиях.

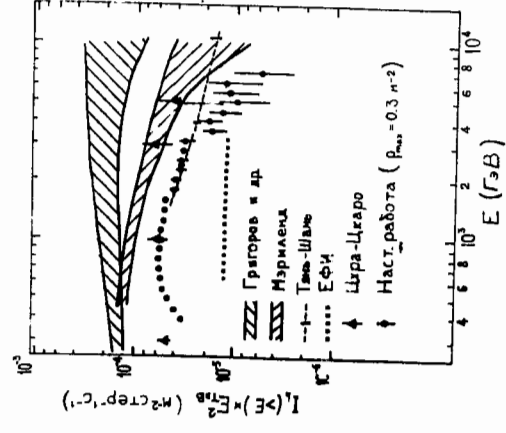


Рис.3 Интегральные энергетические спектры одиночных адронов на глубине атмосферы 700 г/см² (результаты различных экспериментов).

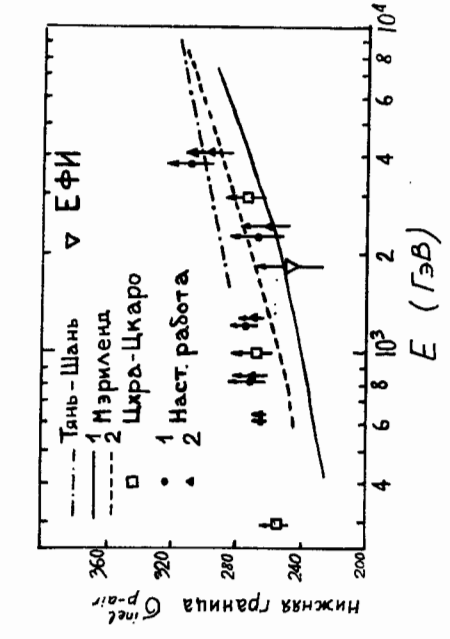


Рис.4 Зависимость нижней границы сечения π/ρ от энергии, оцененная в различных экспериментах.

Тех редактор А.С.Абрамян

Заказ 126

ВФ - 0591Е

Тираж 170

Подписано к печати 12.05.83г.
формат издания 60x84/16

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