

ЕФІ

Препринт ЕФИ-1131(8)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Օ.Տ.ԲԱԲԱԴՋԱՆՅԱՆ, Տ.Վ.ԹԵՐ-ԱՆՏՈՆՅԱՆ

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШАЛ
В ИНТЕРВАЛЕ ЧИСЛА ЧАСТИЦ 10^3-10^6

ЦНИИатоминформ
ЕРЕВАН - 1989

Նախնաորիկ եժի-1131(8)-89

Օ.Ս.ԲԱԲԱՋԱՆՅԱՆ, Ս.Վ.ՏԵՐ-ԱՆՏՈՆՅԱՆ

ԼՄՀ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ՄԵԹՈԴ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ
 10^3-10^6 ԹՎԵՐԻ ՄԻՋԱԿԱՑՔՈՒՄ

Աշխատանքում մշակվել է փորձարարական սարքով զրանցված՝ ԼՄՀ պարամետրերի վերականգնման մեթոդ: Մեթոդի առավել ությունը մասնիկի 10^3-10^6 թվերի միջակայքում ԼՄՀ-ի մշակման հնարավորություն մեջ է: Անի-83 գիտափորձի օրինակով մոդելավորված և վերլուծված են վերականգնված ԼՄՀ պարամետրերի գնահատման ճշտությունը: Ուսումնասիրված է Անի-83 սարքի վրա բազմառանցք հեղեղների զրանցման և մշակման հնարավորությունը: Մշակվել է սցինտիլյացիոն դետեկտորների, «կարպետի», օպտիմիզացման մեթոդ: Ցույց է տրված, որ պարամետրերի վերականգնման մեթոդիկան բարձր էֆեկտիվություն ունի նաև բազմառանցք ԼՄՀ-ի հակադարձ խնդրի լուծման համար: Անի-83-ի փորձնական տվյալների մշակումը տվյալ մեթոդով հնարավորություն տվեց առանձնացնել բազմառանցք սիսթի երևույթները, որոնք հետևում են փոխազդեցության կարծր պրոցեսներին՝ 10^6 զԿՎ սկզբնական էներգիաների և 50 ԳԵՎ/Ց սվելի շիթերի լայնական իմպուլսների դեպքում:

Երևանի Փիզիկայի ինստիտուտ

Երևան, 1989



УДК 537.591:539.1.073

О.С. БАБАДЖАНИН, С.В. ТЕР-АНТОНЯН

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШАЛ
В ИНТЕРВАЛЕ ЧИСЛА ЧАСТИЦ 10^3-10^6

В работе разработан метод восстановления параметров ШАЛ, зарегистрированных экспериментальной установкой. Преимущество метода заключается в возможности обработки ШАЛ в широком интервале числа частиц 10^3-10^6 . На примере эксперимента АНИ-83 проведено моделирование и анализ точностей оценок параметров восстановленных ШАЛ. Исследована возможность регистрации и обработки многоствольных ливней на установке АНИ-83. Разработан метод оптимизации ковра сцинтилляционных детекторов для регистрации многоствольных ШАЛ. Показано, что методика восстановления параметров обладает высокой эффективностью и для решения обратной задачи многоствольных ШАЛ. Обработка данным методом экспериментальных данных АНИ-83 позволила выделить события многоствольного типа, являющиеся следствием жестких процессов взаимодействия при первичных энергиях 10^6 ГэВ и поперечных импульсах струй более 50 ГэВ/с.

Ереванский физический институт

Ереван 1989

O.S. BABADJANIAN, S.V. TER-ANTONIAN

A METHOD FOR RESTORATION OF EAS PARAMETERS
IN THE PARTICLES NUMBER INTERVAL FROM 10^3 TO 10^6

A method is developed in this work to restore the parameters of EAS detected by the experimental set-up. The advantage of this method is in the possibility of EAS treating in a wide interval of the number of particles, from 10^3 to 10^6 . On the example of the ANI-83 experiment the restored EAS parameters are simulated and the accuracy of their estimates is analyzed. The possibility for detection and analysis of multicore showers on the ANI-83 installation is investigated. A method for optimization of the scintillation detector rug for registration of multicore EAS has been developed. The parameter restoration technique is shown to be highly efficient for solution of the reverse problem of multicore EAS too. The ANI-83 data handling by this method allowed to separate multicore-type events due to hard processes of interaction at initial energies of 10^6 GeV and transverse momenta of jets more than 50 GeV/c.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1989

Распространенный метод определения параметров (N_e , S , X_0 , Y_0) широкого атмосферного ливня (ШАЛ) с числом заряженных частиц N_e , возрастом S и координатами попадания оси на площадь установки X_0 , Y_0 , Z_0 по показаниям m детекторов n_i ($i = 1, \dots, m$), расположенных в пространстве установки в координатах x_i , y_i , z_i ; основан на минимизации функционала χ^2 -

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \left\{ (f_i - n_i) / \sigma_i \right\}^2, \quad (I)$$

где $f_i = f(x_i, y_i, z_i, z_0 / N_e, S, X_0, Y_0)$ - априори заданная функция пространственного распределения плотности числа частиц ШАЛ с параметрами N_e, S, X_0, Y_0 ; σ_i - среднеквадратичная ошибка измерения показаний детекторов; z_0 - координата, определяющая высоту плоскости наблюдения осей ШАЛ.

В качестве функции f обычно используется аппроксимация Нишимуры-Каматы-Грейзена (НКГ) или различные ее модификации [1], уточняющие значения f во всем пространстве измерений. В общем случае функция НКГ имеет вид

$$f = N_e \cdot g_i(s, R_i) = N_e \cdot \frac{c(s)}{(q R_M)^2} \left[\frac{R_i}{q R_M} \right]^{s-2} \cdot \left[1 + \frac{R_i}{q R_M} \right]^{s-4.5}, \quad (2)$$

где $R_i \equiv R(x_i, y_i, z_i, x_0, y_0, \theta, \varphi)$ - расстояние i -го детектора (сцинтилляционный счетчик, пропорциональная камера) до оси ШАЛ, имеющей сферические координаты θ и φ ; $q \equiv q(s)$ - масштабный коэффициент [1]; R_M - радиус Мольера; $c(s)$ - определяется из условия нормировки $2\pi \int f \cdot R \cdot dR = N_e$. Значения углов θ и φ в эксперименте обычно измеряются по временным измерениям регистрации фронта ШАЛ на установке. Однако при необходимости они тоже могут быть включены в число неизвестных параметров. С целью улучшения сходимости по параметру s в процедуре минимизации функцию НКГ можно сгладить преобразованием пространства измерений в логарифмический масштаб [2].

Недостатком данного метода является большое число неизвестных параметров (≥ 4), что требует для устойчивости решения обратной задачи определения близких к истинному нулевым приближений для значений неизвестных параметров. Кроме этого, наличие методических ошибок и статистических флуктуаций в измерениях показаний детекторов n_i неизбежно приводит к ложным корреляциям в оценках параметров (N_e, s, x_0, y_0), так нежела-гельным при интерпретации результатов эксперимента.

Проблемы устойчивости решения обратной задачи и ложных корреляций обычно решаются применением специальных критериев отбора событий, обрабатываемых методом Монте-Карло, с многошаговой процедурой минимизации функционала χ^2 [2,3]. Следстви+

им этого является увеличение порога регистрации на число частиц в ШАЛ на установке, относительно реального значения более чем на порядок, что уменьшает эффективность эксперимента в несколько раз. Так, в работе [2] более 40% зарегистрированных ШАЛ не удовлетворяют критериям отбора или бракуются в обработке. Аналогичная эффективность наблюдалась нами в обработке экспериментальных данных АНИ-83 [4]. При реальном пороге установки $N_e^{\min} = 5 \times 10^3$ частиц описанной выше методикой удается обрабатывать ШАЛ с числом частиц лишь более $(0,5-1) \times 10^5$.

В связи с этим, для обработки ШАЛ в эксперименте АНИ нами разработан иной метод решения обратной задачи, позволяющий получать несмещенные и эффективные оценки параметров N_e, S, x_0, y_0 , начиная с реального порога регистрации ШАЛ. Разработанная методика универсальна и может быть применена на аналогичных установках [5,6] с целью расширения диапазона исследуемых ШАЛ в эксперименте.

Методика обработки

Наш подход к решению обратной задачи основан на линейной зависимости функции f в выражении (2) от параметра N_e . Это позволяет переопределить функционал (1) к виду

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \left\{ \left[\frac{f_i}{\sum f_i} - \frac{n_i}{\sum n_i} \right] / \sigma(n_i / \sum n_i) \right\}^2, \quad (3)$$

зависящему лишь от трех параметров S, x_0, y_0 .

Задача определения полного числа электронов в ШАЛ (N_e), при известных значениях (в данном случае оценок) S, x_0, y_0 аналитически решается методом максимального правдоподобия при

известном виде функции плотности распределения ошибок измерения. В общем случае функция правдоподобия для m показаний детекторов имеет вид:

$$\Phi(N_e) = \prod_{i=1}^m W(n_i, x_i, y_i | N_e),$$

где функция ошибок W подчиняется распределению Пуассона

$$W = \exp(-f_i) f_i^{n_i} / n_i!$$

со средним значением f , определенным в выражении (2). В функции W опущена переменная z_i , так как при известных значениях θ и φ детекторы можно спроецировать в единую плоскость регистрации с координатой z_0 .

Решение уравнения правдоподобия $d \ln(\Phi) / dN_e = 0$ приводит к простой формуле для расчета N_e

$$N_e = \sum_1^m n_i / \sum_1^m g_i, \quad (4)$$

где g_i - нормированная на единицу функция НКГ. Относительная ошибка метода при этом равна

$$\sigma(\ln N_e) \cong \frac{-1}{N_e} \left\{ \frac{d^2 \ln \Phi}{dN_e^2} \right\}^{-\frac{1}{2}} = 1 / \sqrt{\sum n_i}. \quad (5)$$

В случае гауссовых ошибок измерения величин n_i (что наблюдается в ствольной области ШАД при больших n), выражения (4) и (5), соответственно, преобразуются к виду

$$N_e^* = \sum_{i=1}^m \frac{n_i g_i}{\sigma_i^2} / \sum_{i=1}^m \frac{g_i^2}{\sigma_i^2}, \quad (6)$$

$$\sigma(\ln N_e^*) = 1 / \sqrt{\sum n_i^2 / \sigma_i^2}, \quad (7)$$

где $\sigma_i^2 = n_i + (\delta n_i)^2$, а δ -- относительная методическая ошибка измерения числа частиц (n_i) в детекторах. Для эксперимента АНИ-83 значение $\delta \approx 0,15$. Заметим также, что зенитный (θ) и азимутальный (φ) углы ШАД определяются с высокой точностью ($\sigma(\theta) < 1^\circ$) по траекториям высокоэнергичных адронов, зарегистрированных в ионизационном калориметре [7].

Следствием гауссовости ошибок при больших n ($(\delta n)^2 > n$) является квазиправдоподобность оценки (4). Однако, так как пуассоновое и нормальное распределения удовлетворяют условиям Крамера [8] для квазиправдоподобных оценок, выражение (4) является несмещенной оценкой числа частиц (N_e) в ливне для всего интервала n с соответствующей ошибкой (7). Ясно, что выражение (7) определяет нижнюю границу ошибки из-за флуктуаций в оценках S , X_0 , Y_0 .

Точность метода

Для подробного анализа ошибок измерения параметров ШАД разработанный метод был апробирован монте-карло моделированием реальной экспериментальной ситуации на примере установки АНИ-83. Результаты моделирования показали, что для нулевых приближений параметров в процедуре минимизации χ^2 (выражение (3)) не

требуется предварительных оценок и достаточно принять их равными средним интегральным значениям ($s^{(0)} = 1$, $x_0^{(0)} = 0$, $y_0^{(0)} = 0$), что обеспечивает устойчивость решения обратной задачи в интервалах значений параметров $0,2 \leq s \leq 2,0$; $R^2 = (x_0^2 + y_0^2) \leq 10^3 \text{ м}^2$. В области $N_e \leq 10^4$ ошибки и смещенности оценок традиционных методов восстановления параметров (минимизация выражения (1)) значительно превышают соответствующие значения комбинированного метода - χ^2 и максимального правдоподобия (минимизация выражения (3) и расчета по формуле (4)), позволяющего продвинуться до предельно допустимого (масштабным условием установки АНИ-83) значения $N_e^{\min} \approx (3-5) \times 10^3$. Например: интегральная по спектрам всех параметров (при $N_e > 3 \times 10^3$, $\langle s \rangle = 1$, $\sigma_s = 0,15$ и $R < 30 \text{ м}$) смещенность оценок $\lg N_e$, R , s , соответственно, равнялась значениям $0,21 \pm 0,01$; $-0,92 \pm 0,05 \text{ м}$; $0,01$ в методе минимизации χ^2 логарифма функции НКГ и значениям $0,12 \pm 0,01$; $-0,02 \pm 0,05 \text{ м}$; $0,01$ при комбинированном способе определения параметров. Соответствующие значения среднеквадратичных отклонений в пределах ошибок были одинаковыми в двух методах и равнялись $0,3$; $2,5 \text{ м}$; $0,25$. Значимых корреляций в комбинированном методе, кроме уменьшения смещенностей и дисперсий оценок с ростом N_e , не наблюдалось. При $N_e > 5 \times 10^4$ смещенностями оценок можно пренебречь. $\sigma(\lg N_e)$ и $\sigma(s)$ при этом равнялись $0,15$ и $0,1$, соответственно.

Для иллюстрации поведения функций ошибок параметров с ростом числа частиц в ШАЛ, на рис. I, 2 приведены распределения оценок N_e и s , соответственно, при моделированных значениях $s = 1$, (а) - $N_e = 5 \times 10^3$, (б) - $N_e = 10^5$, (с) - $N_e = 5 \times 10^5$

На рис.3 приведено аналогичное распределение оценки расстояния (R) до оси ШАД при моделировании осей ливней на окружности радиусом 2 м. По осям ординат на рис.1-3 отложены интенсивности (J_{nt}) реализаций оценок. Нормировка гистограмм равна 1000 событиям.

На рис.4 приведен относительный дифференциальный спектр по числу частиц в ШАД, моделированный для эксперимента АНИ-83, в сравнении с восстановленным спектром. В модель закладывается спектр вида $J_0 = dJ/dN_e \sim N_e^{-\gamma}$, где $\gamma = 2,5$ для $N_e \geq 10^3$. Событие считалось зарегистрированным при наличии "мастера"-сигналов ($n \geq 1$) с четырех центральных детекторов ковра. Число ливней, удовлетворивших мастерному условию, равнялось 1500. Возраст ливней флуктуировал по нормальному закону с параметрами $\langle s \rangle = 1$ и $\sigma_s = 0,15$. Оси ШАД генерировались в круге радиусом 20 м от центра ковра. Эффективность решения обратной задачи оказалась равной 95% (1425 событий). Рис.4 указывает, что в пределах статистических ошибок, восстановленный спектр (серия D) совпадает с зарегистрированным (серия C), в широком интервале N_e ($3 \times 10^3 - 1,2 \times 10^6$). Эффективная площадь регистрации ливней зависит от числа частиц и при $N_e \approx 5 \times 10^3$, 5×10^4 и 5×10^5 равна 50 м^2 (площадь ковра), 100 м^2 и 1500 м^2 соответственно.

Таким образом, результаты модельных расчетов показывают, что метод позволяет эффективно обрабатывать ШАД как вблизи порога регистрации установки ($N_e \approx 5 \times 10^3$), так и в асимптотической области ($N_e > 10^5$). При этом, как следует из выражений (5) и (7), точность оценок значительно возрастает.

Многоствольные ШАЛ

Разработанный метод определения параметров ШАЛ при соответствующем изменении функции пространственного распределения электронов позволяет решить обратную задачу и для многоствольных ШАЛ. Определение параметров ШАЛ, состоящего из основного ливня и K подстволов, проводится минимизацией функционала (3) при замене функций f_i на сумму соответствующих функций НКГ

$$F_{k,i} = g_{0,i} + \sum_{j=1}^K g_{j,i} \delta_j, \quad (8)$$

где g_0 - нормированная на единицу функция НКГ для основного ШАЛ, g_j - соответствующие функции для подстволов ШАЛ, δ_j - дополнительный параметр, определяющий долю числа электронов, составляющих подствол j относительно основного ливня.

Число частиц основного ШАЛ (N_e) и подливней (N_{ej}) рассчитываются из выражений:

$$N_e = \frac{\sum_1^m n_i}{\sum_1^m F_{k,i}}, \quad (9)$$

$$N_{ej} = N_e \delta_j. \quad (10)$$

Нулевым приближением для параметров достаточно выбрать значения $\delta_j = 0$, $s^{(i)} = 1$, $x_0^{(i)} = y_0^{(i)} = 0$. Таким образом, число неизвестных параметров для обратной задачи многоствольных ШАЛ становится равным $4(K+1)$. Вычисление значения K в процедуре минимизации проводится методом последовательных

приближений, начиная с $k = 0$ и контролируя условие

$$\chi^2 \leq m - (4k + 3), \quad (II)$$

где правая часть неравенства является числом степеней свободы распределения χ^2 . При выполнении условия (II) значение k считается определенным.

Модельные расчеты показали, что для эксперимента АНИ-83 выделение подстволов реально лишь при условии прохождения их через ковер при числе частиц $N_{ej} \approx 5 \times 10^3$ и не далее 1,5 м от ковра при $N_{ej} \approx 5 \times 10^4$. Ось основного ливня при этом, должна быть на расстоянии не менее 5 м от подстволола. Кроме этого, обратная задача для установки АНИ-83 разрешима лишь для ливней с параметрами $\delta \geq 0,05$, $N_e > 2 \times 10^5$, и $k \leq 2$. Последние ограничения связаны с шагом дискретности, размером ковра и полным числом детекторов в установке. Отметим также, что определение "основной ливень" достаточно условно (нулевое приближение), так как для значений величин δ_j существует лишь одно ограничение - ($\delta \geq 0$).

Поиск событий многоствольного типа в экспериментальных данных АНИ-83 описанным выше методом позволил нам обнаружить пять случаев (из 1750 событий) двухствольного и один случай трехствольного ШАЛ. Уровень достоверности решения обратной задачи контролировался критерием χ^2 .

Зарегистрированная частота многоствольных событий, с учетом вероятности регистрации подстволов, не противоречит экспериментальным данным [9] по исследованию подстволов с большими P_L , а параметры зарегистрированных подливней указывают на возможность исследования установкой АНИ-83 жестких процессов в пер-

вичных актах взаимодействия [10] с поперечным импульсом адронов в струях $P_{\perp} > (3-5) \text{ ГэВ/с}$ при первичных энергиях 10^{15} эВ. Поперечный импульс всей струи при этом равен приблизительно $P_{\perp} \gg 50 \text{ ГэВ/с}$.

Оптимизация установки

Под оптимизацией установки подразумевается выбор максимальной площади сцинтилляционного ковра при минимальных ошибках восстановления параметров подстволов. Фиксированными параметрами являются число сцинтилляторов и интервалы по числу частиц исследуемых многоствольных ШАЛ. В основе оптимизации заложен эмпирический принцип выделения подстволов, состоящий в том, что решение обратной задачи для многоствольных ШАЛ возможно лишь в том случае, когда число частиц в заданном количестве (q_i) соседних (p) сцинтилляторов ($q_i \leq p$) превышает фон, образванный основным ШАЛ в $t\sigma_i$ раз ($i = 1, \dots, q$). Количество сцинтилляторов (p) определяется числом неизвестных параметров и в данной работе равно 4. Значение t определяет уровень достоверности решения обратной задачи. Результаты модельных расчетов указывают, что при $q = p = 4$ и $t = 1$ достоверность выделения подстволов на ковре с $N_{e_j} > 5 \times 10^4$ равна 95%.

Максимизируемый функционал представляет собой эффективную площадь регистрации подстволов и имеет вид:

$$\max [M(L)] = \max \left\{ C_p^q \psi^q (1-\psi)^{p-q}, S_0 \right\}, \quad (12)$$

где $\Psi = (1 - e^{-\tau f(T)})/2$; $T = (t_0 - f_1)/\sigma_1 \sqrt{2}$; σ и σ_1 - ошибки измерения числа частиц f и f_1 в сцинтилляторах для основного ШАЛ и подстволола соответственно; f и f_1 определяются из функции НКТ (2) при заданных значениях числа частиц в основном ШАЛ (N_e) и подствололе (N_{e1}) на расстоянии z от оси; $S_0 \approx \ell^2 m_k$, где m_k - число детекторов на ковре, а ℓ - расстояние между детекторами ковра, которое и определяется из условия максимума выражения (3). В описанном подходе оптимизации использованы приближения: плотность электронов, в основном ШАЛ в области расположения группы из p детекторов, постоянна и равна плотности в центре группы; группа расположена квадратом, по углам которого расположены детекторы; флуктуации измерения числа частиц - гауссовы.

Расчеты по оптимизации ковра установки АНИ-83 показали, что при фиксированных параметрах $N_e = 5 \times 10^5$, $N_{e1} = 5 \times 10^4$, $z = 5$ м оптимальным является ковер с шагом между детекторами (1,5 - 1,9) м. Так как расстояние между детекторами ковра в эксперименте равно 1,75 м [4], то из расчетов можно сделать вывод, что данный ковер оптимален для регистрации подствололов с числом частиц более 5×10^4 при мощности основного ШАЛ

$N_e \geq 5 \times 10^5$. Аналогичные расчеты, проведенные для установки "Макет АНИ" [5] показали, что расстояние между сцинтилляторами ковра $\ell = 4$ м позволит регистрировать многоствольные ливни с $N_e \geq 5 \times 10^5$ при пространственном удалении подстволола $z \geq 10$ м

Авторы признательны Авакяну В.В. и Мамиджянну Э.А. за содействие в работе и обсуждения.

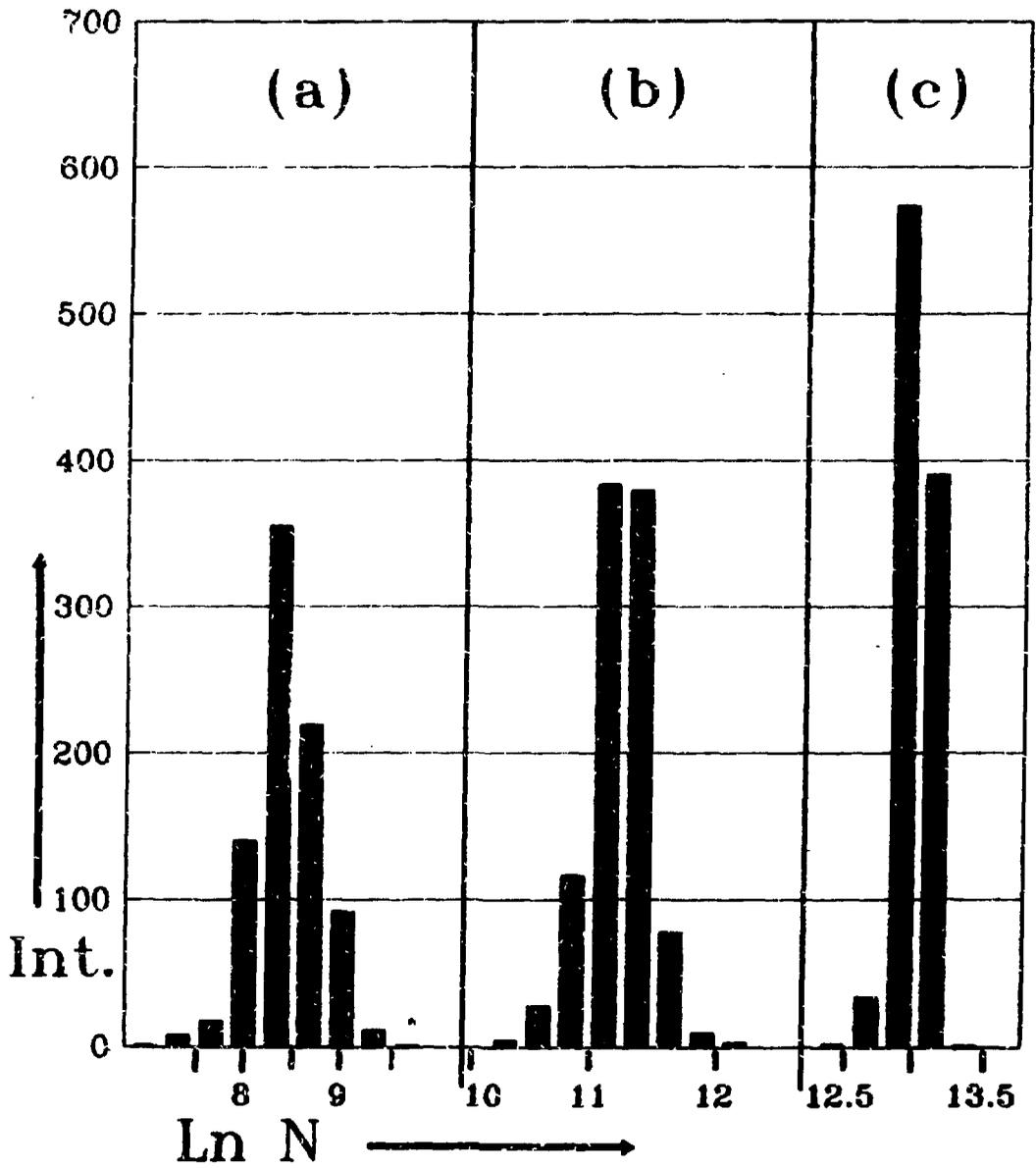


Рис. 1
 Распределения оценок числа частиц N_e в ПАЛ.
 $N_e = 5 \times 10^3$ (a); 10^5 (b); 5×10^5 (c).

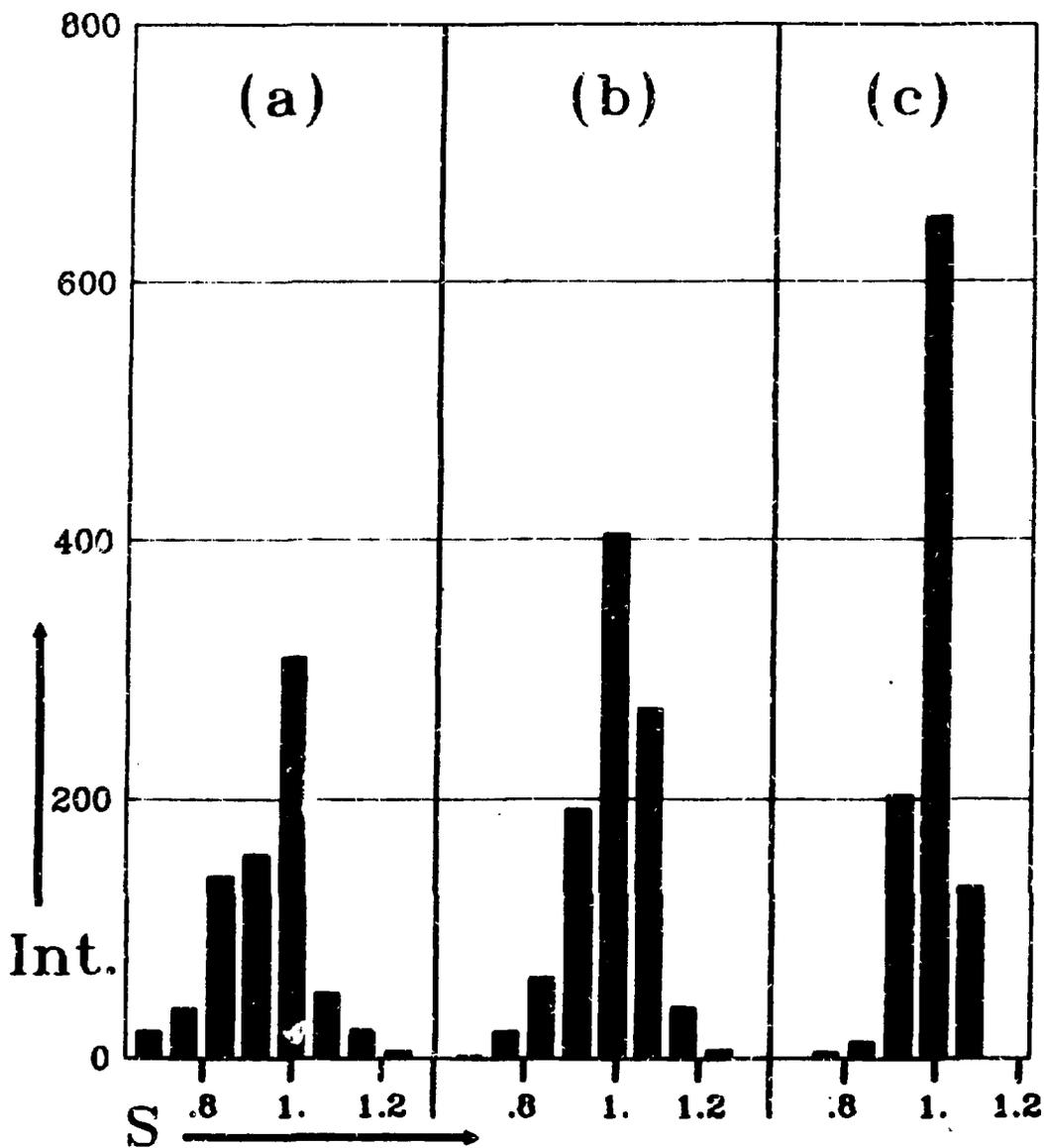


Рис. 2
 Распределения оценок возраста (в) ШАЛ.

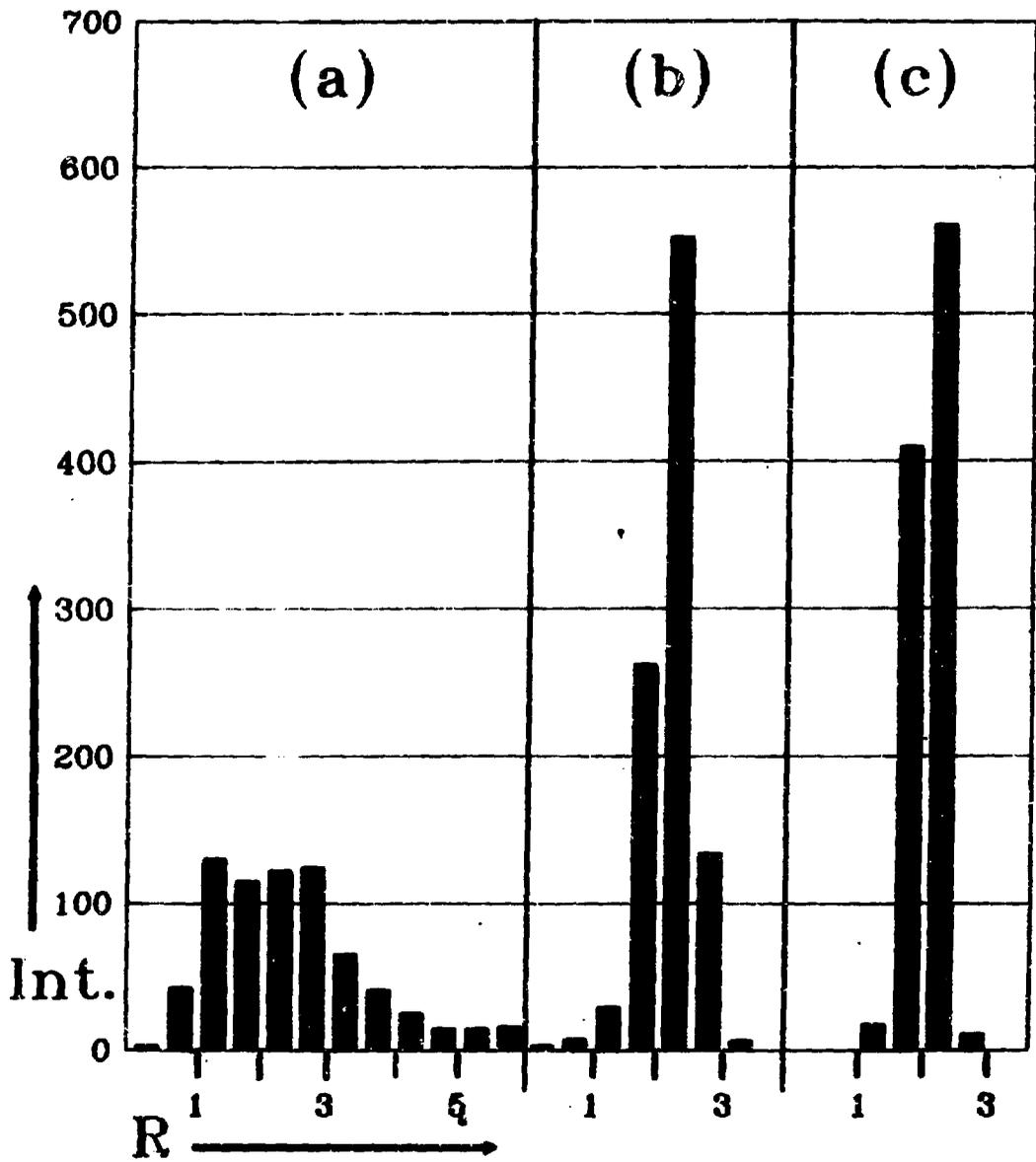


Рис. 3
 Распределения оценок расстояний (R) до оси ПАЛ.

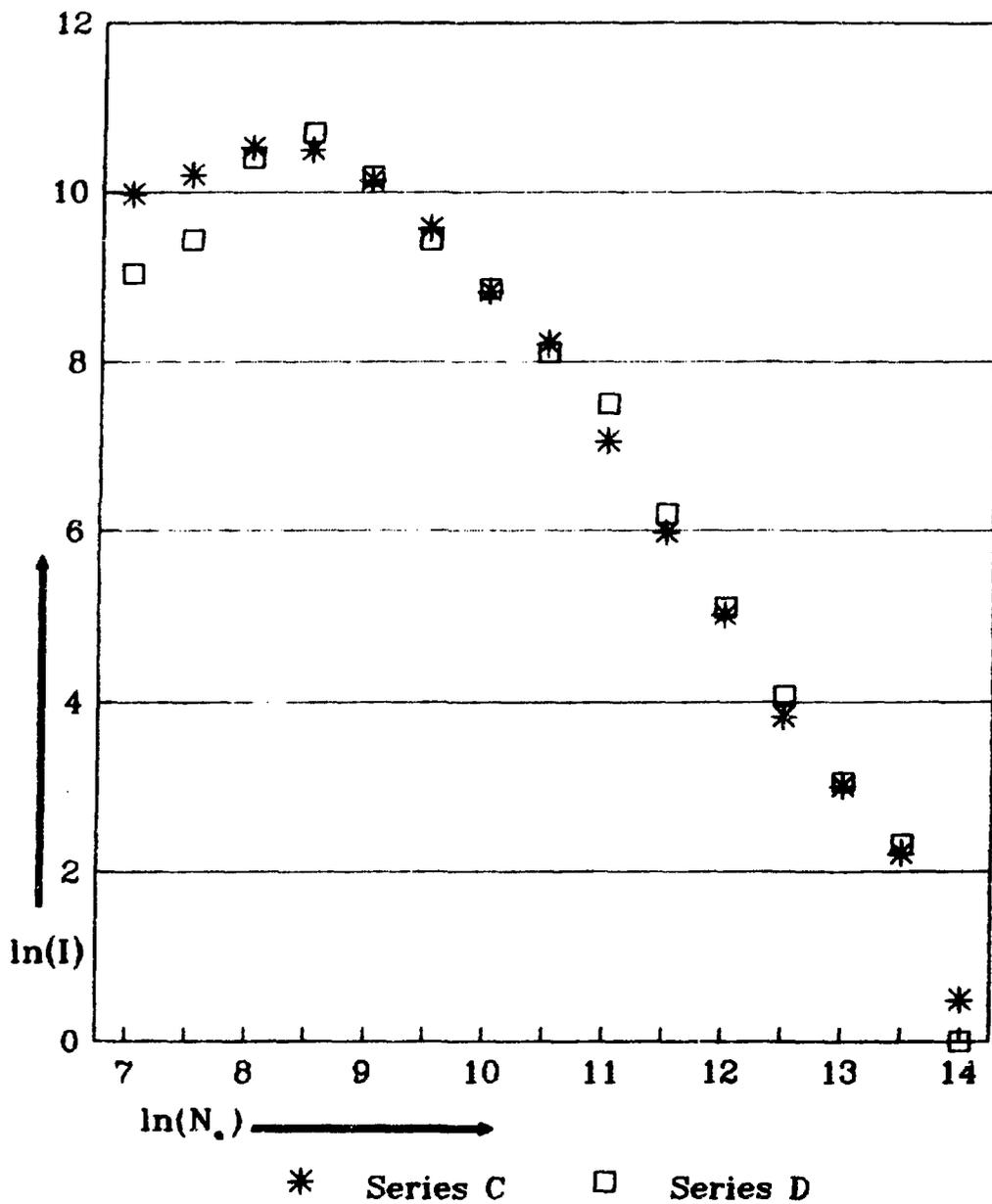


Рис. 4

Относительный дифференциальный спектр ШАЛ по числу частиц (N_s)
 Серия С - моделированный спектр, серия D - восстановленный спектр.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Распределения оценок числа частиц N_e в ШАЛ

$$N_e = 5 \times 10^3 \text{ (a)}; 10^5 \text{ (б)}; 5 \times 10^5 \text{ (c)}$$

Рис.2 Распределения оценок возраста (S) ШАЛ

Рис.3 Распределения оценок расстояний (R) до оси ШАЛ

Рис.4 Относительный дифференциальный спектр ШАЛ по числу частиц (N_e). Серия С - моделированный спектр, серия D + восстановленный спектр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Van Der Walt D.J. The lateral distribution of electrons in extensive air showers. Proc. 20-th ICRC, 1987, vol. 5, p. 498.
2. Афанасьев Б.Н., Падей В.А., Стаменов И.Н. Алгоритм поиска основных параметров ШАЛ. ВАНТ, сер: ТФЭ, 1982, вып. I (13), с. 49.
3. Асейкин В.С., Бобова В.П., Дубовый А.Г. и др. Пространственное распределение электронной компоненты на расстояниях до 200 м от оси ШАЛ с полным числом частиц более $2 \cdot 10^5$ на уровне гор. Труды ФИАН, М.: Наука, 1979, т. 109, с. 3
4. Авакян В.В., Арзуманян С.А., Багдасарян Г.А. и др. Установка для исследования адронной компоненты ШАЛ при энергиях $> 10^{14}$ эВ на средних расстояниях от оси ливня. ВАНТ, сер: ТФЭ, 1984, вып. 3(20), с. 69.
5. Базаров Е.В., Григорьев С.Ю., Данилова Е.В. и др. Эксперимент "Макет АНИ". ВАНТ, сер: ТФЭ, 1986, вып. 5(31), с. 3.
6. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Аганджян С.А. и др. Комплексная установка "ГАММА" для исследования первичных гамма-квантов с энергией 10^{12} - 10^{16} эВ. ВАНТ, сер: ТФЭ, 1987, вып. 2(33), с. 12.
7. Авакян В.В., Карагезян Г.В., Овсепян Г.Г., Тер-Антонян С.В. Методика исследования адронных групп в ионизационном калориметре. Препринт ЕФИ-995(45)-87, с. 28.
8. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений (квази-правдоподобные оценки). М.: "Советское радио", 1976, с. 192.

9. Sakata M. et al. Large p Multicores EAS Observed by the 54m² Spark Chambers. Proc. 16 ICRC, Kyoto, 1979, vol. 13, p. 200.
10. Матинян С.Г. Физика космических лучей сверхвысоких энергий и современная теория элементарных частиц. ВАНТ, сер: ТФЭ, 1982, с.3.

Рукопись поступила 28 декабря 1988 г.

О.С. БАБАДЖАНИН, С.В. ТЕР-АНТОНЯН
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШАЛ В ИНТЕРВАЛЕ ЧИСЛА
ЧАСТИЦ 10^3-10^6

Редактор Л.П. Мукаян
Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 10/IV-89г.	ВФ-01953	Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,8	Тираж 299 экз.	Ц. 8 к.
Зак. тип. 218	Индекс 3649	

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, ул. Братьев Алиханян, 2

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Alikhanian Brothers 2,
Yrevan, 375036
Armenia, USSR

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ