

Препринт ЕФИ-1043(6)-88

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



А.К.ПОГОСЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЕТЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО
СПЕКТРОМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА АНИ

ЦНИИатоминформ
ЕРЕВАН—1988

Ա. Բ. ՊՐԿՈՅԻՆ, Ս. Վ. ՏԵՐ-ԱՆՏՈՆՅԱՆ

ԱՆԻ ԳԻՏԱԾՈՐԸՅԻ ԿԱՆԻՍՏԱՆԻ ԱՊԵՆՏՐՈՂԱԾԻ ԳԵՏԵԿՆՈԳ,
ՀԱՄԱԱՐԳԻ ԵՐԳՅՈՒՆԵԼԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀՅԱՍՏՈՒՄԸ

Աշխատանքում հաշվարկված է մյուլոնային հետազոտների զրանցման և նույնացման արդյունավետությունը ԱՆԻ գիտափորձի մագնիսական սպեկտրաչափում կոորդինատային դետեկտորների մոդուլային համակարգերի /դրեյֆային խողովակներ/ օգտագործման դեպքում: Ընդց է տրված, որ ավելի քան 10^{15} էլ. էներգիայով լայն միջնուրտային հեղեղների կազմում 1ՏԵԼ-ից մեծ էներգիայով մյուլոնների էներգետիկական սպեկտրի ռատումնասիրման խնդիրներում, $0,1մ^2$ զրանցման մակերեսով մոդուլների օգտագործումը արդյունավետ չէ:

ԱՆԻ գիտափորձի մյուլոնային խնդիրների հաջող լուծման համար կոորդինատային դետեկտորների մոդուլների զրանցող մակերեսը պետք է հասցնել մինչև $0,01 \div 0,03մ^2$:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1988

УДК 535.853:537.591

А.К.ПОГОСЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА АНИ

В работе проведен расчет эффективности регистрации и идентификации мюонных траекторий в магнитном спектрометре эксперимента АНИ при использовании модульной системы (дрейфовые трубки) координатных детекторов. Показано, что модули с площадью регистрации более $0,1 \text{ м}^2$ неэффективны в задачах исследования энергетического спектра мюонов ШАЛ с $E_\mu > 1 \text{ ТэВ}$. Для успешного решения мюонных задач необходимо довести площадь регистрации модулей координатных детекторов до $0,01 - 0,03 \text{ м}^2$.

Ереванский физический институт

Ереван 1988

Preprint EDM-IO43(6)-88

A.K. POGHOSSIAN, S.V. TER-ANTONIAN

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF THE DETECTING
SYSTEM OF THE ANI MAGNETIC SPECTROMETER

The efficiency of registration and identification of muon trajectories in the ANI magnetic spectrometer is calculated using a module system (drift tubes) of coordinate detectors. Modules of sensitive area 0.1 m^2 are shown to be inefficient in the investigation of the energy spectrum of muons beginning from 1 TeV in EAS of energies higher than 10^{15} eV. To successfully solve the muon problems in the experiment ANI, one must bring the sensitive area of the coordinate detectors modules to $0.01 + 0.03 \text{ m}^2$.

Yerevan Physics Institute,

Yerevan 1988

Магнитный спектрометр экспериментального комплекса АНИ [1-4] предназначен для изучения энергетических и пространственных характеристик мюонного потока широких атмосферных ливней в области энергий первичной частицы 10^3 - 10^5 ТэВ. Основные параметры спектрометра приведены в работах [3,4]. Минимальная энергия мюонов, регистрируемая магнитным спектрометром, равна 5 ГэВ. Максимально регистрируемый импульс соответствует значениям 3-5 ТэВ/с при координатных точностях детектирующей системы 3,2-0,5 мм [2]. Большая светосила установки ($20 \text{ м}^2 \cdot \text{ср}$) и высокая плотность мюонов ($\rho_\mu \geq 1-10 \text{ м}^{-2}$) в центральных областях ШАЛ налагают особые требования на детектирующую систему магнитного спектрометра:

- а) регистрация событий при плотности мюонов $\geq 3-5 \text{ м}^{-2}$,
- б) координатная точность детекторов не хуже 1 мм в плоскости магнитного отклонения и не хуже 10-20 мм в перпендикулярной плоскости.

В качестве таких детекторов могут быть использованы широкоазорные искровые камеры, дрейфовые трубки, многонитяные ис-

кровые, дрейфовые или пропорциональные камеры, удовлетворяющие требованиям а) и б).

Эффективность регистрации мюонных групп магнитным спектрометром, оснащенным искровыми камерами с оптическим съемом информации, рассчитана в работах [2,5]. В данной работе приведены аналогичные расчеты для координатных детекторов, состоящих из модулей дрейфовых трубок диаметром 5-10 см и длиной 3 м. Возможность определения координат траекторий при попадании двух и более мюонов на модуль (дрейфовую трубку) исключалась. В программе расчетов были включены основные характеристики мюонных групп ШАЛ с энергиями 10^{15} - 10^{17} эВ, а также специфика расположения и конструктивные особенности магнитного спектрометра.

Основные параметры мюонных групп исследовались моделированием ШАЛ в предположении нормального химического состава первичного потока космических лучей и двухкомпонентной модели взаимодействия адронов с ядрами атомов воздуха [5,6]. Инклюзивные спектры вторичных частиц максимально приближены к спектрам, ожидаемым по модели кварк-глюонных струн. Детали расчетов подробно описаны в [6].

Основные характеристики мюонных групп, регистрируемых магнитным спектрометром, можно аппроксимировать следующими выражениями, полученными при моделировании осей ШАЛ в круге радиусом $r \leq 30$ м.

I. Функция пространственного распределения мюонов

$$\varphi(r) = \alpha (r + r_0)^{-0.7} \exp(-r/80), \quad (I)$$

где α определяется из нормировки $\int_0^{\infty} 2\pi r \varphi(r) dr = 1$.

$$\alpha = [2\pi r_0^{1.3} \Psi(2, 2.3; r_0/80)]^{-1} \approx \alpha r_0^2 + \beta r_0 + c,$$

где Ψ - гипергеометрическая функция второго рода, а значения аппроксимационных параметров α , β , c равны соответственно $1,25 \cdot 10^{-6}$; $1,9 \cdot 10^{-5}$; $5,95 \cdot 10^{-4}$. Значение параметра r_0 , введенного для снятия расходимости в точке $r = 0$, равномерно распределено в интервале 0-3 м.

2. Энергетический спектр мюонов в составе ШАЛ на заданном расстоянии r от оси

$$J(E_\mu) = A \cdot E_\mu^{-\gamma(r)} / (1 + E_\mu/120), \quad (2)$$

где $E_\mu \geq 5$ ГэВ, $\gamma(r) \approx 0,277 \ln(r/r_0)$ для $r_0 = 0,083$ м. Интегральное значение J в интервале $1 < r < 20$ м оказалось равным 1,5. Среднее значение и соответствующее среднеквадратичное отклонение пространственного расхождения мюонов аппроксимируются выражениями

$$\langle r \rangle = H / (E_\mu + E_{кк}), \quad (3)$$

$$\sigma_r = H / (E_\mu + 2E_{кк}), \quad (4)$$

где $E_{кк} = 500$ ГэВ - энергия, начиная с которой корреляции энергии мюонов с радиусом от оси ШАЛ значима (корреляционная критическая энергия). Величина $H = 6900$ м соответствует эффективной высоте генерации мюонов.

3. Вариация числа мюонов на площади магнитного спектрометра при $1 < r < 30$ м

$$\delta = \sigma(n_\mu) / \langle n_\mu \rangle \approx 0.5 = \text{const},$$

а флуктуации описываются распределением Эрланга

$$f(n_\mu) = \frac{\kappa}{\langle n_\mu \rangle} \left(\frac{n_\mu}{\langle n_\mu \rangle} \right)^{\kappa-1} \exp\left(-4 \frac{n_\mu}{\langle n_\mu \rangle}\right), \quad (5)$$

где $\kappa = 4^4/3!$. Из выражения (5) следует, что при заданном $\langle n_\mu \rangle$ распределение носит масштабно-инвариантный характер относительно $n_\mu / \langle n_\mu \rangle$.

Значение $\langle n_\mu \rangle$ следует из известного вида функции пространственного распределения $\varphi(r)$ (выражение (1)) и полного числа мюонов ШАЛ

$$N_\mu = 6,8 \cdot 10^3 \cdot (N_e / 5 \cdot 10^5)^{0,8},$$

где N_e - полное число электронов.

Для заданной площади спектрометра S_0

$$\langle n_\mu(r) \rangle = S_0 \cdot N_\mu \cdot \varphi(r). \quad (6)$$

В таблице приведены средние плотности мюонов (в единицах м^{-2}), сопровождающих высокоэнергичный мюон заданной энергии (в единицах ТэВ) для ШАЛ с числом электронов $N_e \geq 5 \cdot 10^5 \cdot \kappa$.

Таблица

$E[\text{ТэВ}] \backslash k$	1	2	5	10	20
1	1	1,7	3,6	6,2	10,9
2	1,2	2,2	4,5	7,8	13,6
5	1,37	2,4	5,0	8,7	15,1
10	1,55	2,7	5,6	9,8	17,0

Как видно из таблицы, на площади магнитного спектрометра $S_0 = 42 \text{ м}^2$ число мюонов ($E_\mu > 5 \text{ ТэВ}$), сопровождающим высокоэнергичный мюон с энергией $E > 1 \text{ ТэВ}$, равно 50-100 для ШАЛ с энергиями в интервале $10^{16} - 5 \cdot 10^{15} \text{ эВ}$.

При равномерном распределении (M) мюонов на площади магнитного спектрометра (S_0) и в приближении параллельности мюонов в составе группы, вероятность регистрации и идентификации выделенной траектории (например, траектории высокоэнергичного мюона) определяется из выражения

$$\varepsilon = (1 - S_m/S_0)^{M-1} w(S_0, h), \quad (7)$$

где S_m - площадь модуля координатного детектора, $w(S_0, h) \approx (1 - \frac{\alpha h}{\sqrt{S_0}})^2$ - аппроксимация вероятности пройти мюону через объем регистрирующих детекторов, расстояние между которыми равно h . Точность аппроксимации $\sim 3\%$ для $2,5 \leq h \leq 6 \text{ м}$ и $2,5 < S_0 < 324 \text{ м}^2$. Параметр α при этом равен 0,239.

Приближение параллельности мюонов следует из монте-карло расчетов ШАЛ. Зенитные и азимутальные углы мюонов энергий бо-

лее 5 ГэВ распределены по гауссовому закону со средними значениями ϑ_0 и φ_0 ПДЛ и среднеквадратичными отклонениями $\sigma_{\vartheta} = 0,01$, $\sigma_{\varphi} = 0,045$ соответственно.

После магнита угловое и пространственное распределение траекторий мюонов носит резко нерегулярный характер, обусловленный многократным кулоновским рассеянием и магнитным отклонением в теле магнита.

Исследование эффективности регистрации мюонов проводилось как до магнитного объема, так и после него. Учитывались флуктуации энергетических потерь в теле магнита и фон от мюонов, попавших в регистрируемый объем с боковых сторон.

Метод расчетов заключался в моделировании на ЭВМ ситуации, предельно адекватной эксперименту. На рис. I приведена выбранная в расчетах конфигурация установки, состоящая из 16 детектирующих плоскостей, разделенных условно на два типа: "X"- детекторы, состоящие из (S_0/S_m) модулей, определяющих координаты траекторий мюонов в плоскости магнитного отклонения ZOX с точностью $\Delta X = 1$ мм и $\Delta Y = 10$ мм в плоскости ZOY , "Y"- детекторы, точность модулей которых равна $\Delta Y = 1$ мм и $\Delta X = 10$ мм в соответствующих плоскостях. Отметим также, что заданная конфигурация расположения детекторов (группировка детекторов по краям регистрирующего объема) следует из минимизации дисперсии углового коэффициента восстановленных траекторий мюонов.

Для восстановления траекторий мюонов использовался метод "поворотных гистограмм" [7,8]. Анализ методики восстановления показал, что эффективность идентификации траекторий мюонов в группе близка к 100 % независимо от степени параллельности мюонных траекторий.

Основные результаты по расчету эффективности регистрации и идентификации мюонных траекторий до магнита в магнитном спектрометре АНИ при использовании модульной системы координатных детекторов показаны на рис.2-4. Относительная точность расчетов не хуже 15 %. На рис.2 приведена вероятность восстановления траектории мюона в зависимости от плотности мюонного сопровождения. Там же приведены расчетные значения по формуле (7), где учитывается лишь одна плоскость регистрации. Этим и объясняется превышение расчетных значений относительно моделированных методом Монте-Карло. Как видно из рис.2, модульная система регистрации эффективна лишь в ограниченном интервале плотности сопровождения $0-1 \text{ м}^{-2}$, что соответствует энергиям ШАЛ $(1-2) \cdot 10^{15} \text{ эВ}$ и возможности исследования импульсного спектра мюонов ШАЛ до $1-2 \text{ ТэВ/с}$.

На рис.3 приведена вероятность регистрации группы мюонов, состоящей из заданного числа частиц. Видно, что спектр групп мюонов в эксперименте сильно искажается уже при числе мюонов в группе 10-20 на площади магнитного спектрометра.

Отклик установки при регистрации группы мюонов приведен на рис.4 для модулей площадью $0,15 \text{ м}^2$. Средние числа восстановленных траекторий при попадании 20, 50, 100 траекторий на площадь детекторов оказались равными соответственно 17 ± 3 , 29 ± 10 , 43 ± 16 .

Результаты расчетов эффективности восстановления траекторий мюонов после магнита несущественно (3-5 %) отличались от значений, приведенных на рис.2-4.

Выводом настоящей работы является неэффективность использования модульной системы регистрации траекторий мюонов в магнитном спектрометре АНИ в задачах исследования энергетического спектра мюонов в интервале энергий 1-3 ТэВ в составе ШАЛ с энергией 10^{15} - 10^{17} эВ. Увеличения эффективности можно добиться уменьшением площади модулей на порядок до размеров 0,01 - 0,03 м², что во столько же раз увеличит число анализируемых каналов регистрации (16x4200 каналов). В этом аспекте перспективными являются разрабатываемые в настоящее время детекторы типа широкозазорных камер с автоматическим съемом информации [9]. Кроме того, для эксперимента АНИ можно рекомендовать детектирующие модули (дрейфовые трубки), позволяющие измерять пространственные координаты более чем одной частицы.

Авторы признательны Т.Л.Асатиани, В.А.Иванову, Л.И.Козлинеру и Э.А.Мнацаканяну за консультации.

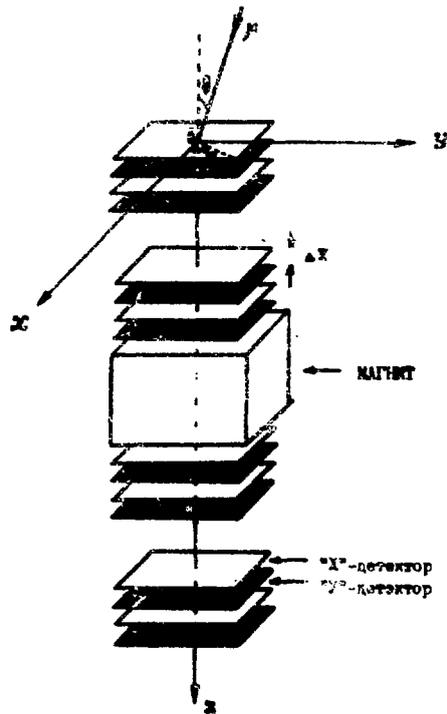


Рис. 1

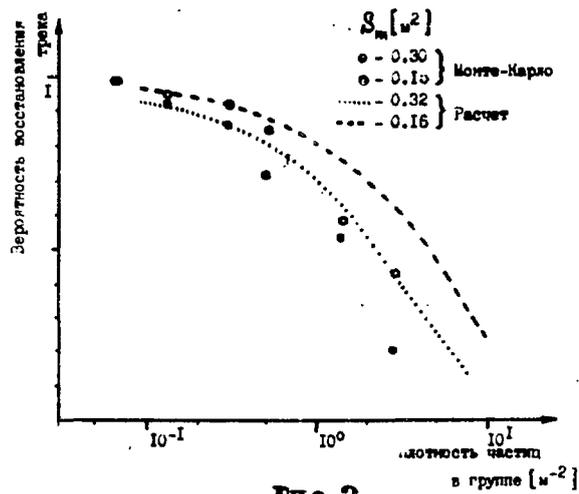


Рис. 2

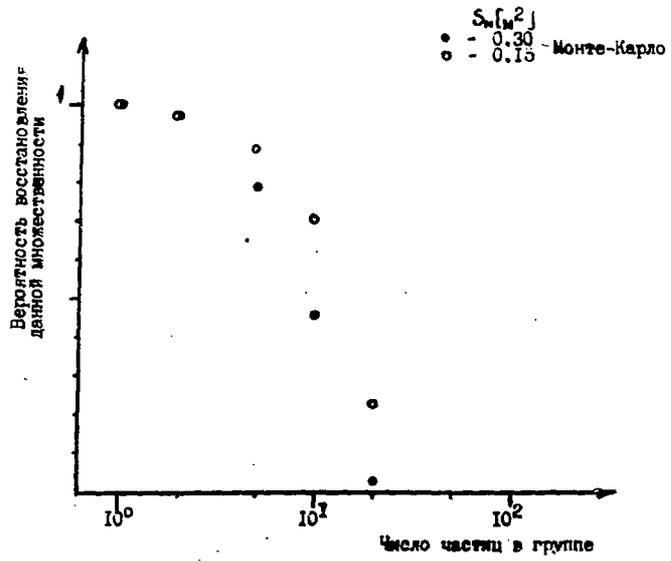


Рис.3

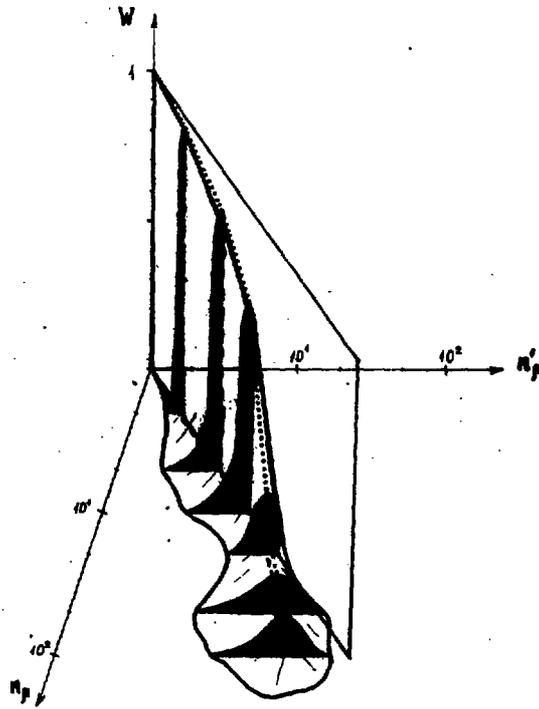


Рис.4

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Детектирующая система магнитного спектрометра.
- Рис.2 Вероятность восстановления траектории мюонов в зависимости от плотности сопровождения.
- Рис.3 Вероятность восстановления групп данной множественности.
- Рис.4 Отклик установки при регистрации групп мюонов (площадь одного модуля - $0,15 \text{ м}^2$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Т.В., Дунаевский А.М., Ерлыкин А.Д. и др. Проект эксперимента по исследованию взаимодействий адронов в области энергий 10^3 - 10^5 ТэВ. Изв.АН АрмССР, 1982, т.17, вып. 3-4, с.129.
2. Асатиани Т.Л., Иванов В.А., Мнацаканян Э.А. и др. Имитационная модель магнитного спектрометра АНИМАГ. ВАНТ, сер. ТФЭ, 1983, вып.5(17), с.65.
3. Асатиани Т.Л., Иванов В.А., Мнацаканян Э.А. Магнит мюонного спектрометра АНИ. ВАНТ, сер.ТФЭ, 1981, вып.2(8),с.77.
4. Асатиани Т.Л., Иванов В.А., Мнацаканян Э.А. Магнитный спектрометр мюонов установки АНИ. ВАНТ, сер.ТФЭ, 1981, вып.2(8) с.82.
5. Danilova T.V., Erylykin A.D., Asatiani T.L. et al.
On the Possibility of Investigations the HAS muon Energy Spectra on ANI Magnetic Spectrometer. 18th ICRC, Bangalore, 1983, vol.8, p.104-107.
6. Данилова Т.В., Ерлыкин А.Д. Количественная разработка моделей взаимодействия адронов высоких энергий с ядрами атомов воздуха. Препринт ФИАН, 1979, № 70, с.42.
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, Ереван, 1987.

8. Duff B.G. et al. The Selection of Spark Chamber Tracks
by Computer Methods. NIM, 1967, vol.54, p.132-136.

9. Асатиани Т.Л., Анохин М.В., Иванов В.А. Двухкоординатный
волоконно-оптический детектор. Изв.АН СССР, 1986, т.50, №II

Рукопись поступила 25 ноября 1987г.

А.К.ПОГОСЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО
СПЕКТРОМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА АНИ

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 24/II-88г.
Офсетная печать, Уч.изд.л. 0,5
Зак.тип.№ 32

ВФ-03019 Формат 60x84/16
Тираж 299 экз.Ц.8 к.
Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маркаряна 2

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Markaryan St., 2
Yerevan, 375036
Armenia, USSR

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ