

508807255

Препринт ЕФИ-985(35)-87

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

Г.С.МАРТИРОСЯН, Г.Г.ЛОВСЕЛЯН,  
С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА АНИЗОТРОПИИ  
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА УСТАНОВКЕ  
«ПИОН»

ЦНИИАтоминформ  
ЕРЕВАН — 1987

Հ.Ս.ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Գ.Գ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ս.Վ. ՏՆՐ-ՄՆՏՈՆՅԱՆ

,, Դիոն,, ՓՈՐՁԱՍԱՐՔԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՏԻԵԶՆԵՐԱԿԱՆ  
ՀԱՌՈՎԱՅՑՈՒՆԵՐԻ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓՆՏՐԵԼՈՒ ՀԱՐԱՎԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

0,5-ից մինչև 30 տէվ էներգիայով հադրոններ գրանցող ,, Դիոն,, խորձասարքի տվյալների հիման վրա առաջարկվում է փնտրել տիեզերա-  
յան մատագայթների անհամասեռությունը ըստ ուղղությունների, ինչպես  
նաև հադրոնային ընտանիքները **ԱՄՄՊ X-3** և **ՀԵՐԱՌՈՎԵՍ X-1**  
զալակտիկական աղբյուրների ուղղությամբ: Առաջին անգամ առաջարկվում  
է տիեզերական մատագայթների էներգետիկական սպեկտրը ուսումնասիրել  
ըստ ուղղությունների անհամասեռության տեսանկյունից:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ  
Երևան 1987

Preprint EMI-985(35)-87

G.S. MARTIROSSIAN, G.G. OVSEPIAN, S.V. TER-ANTONIAN

POSSIBILITIES FOR SEARCH FOR COSMIC RAY ANISOTROPY  
ON THE "PION" INSTALLATION

It is proposed to search for cosmic-ray anisotropy on the basis of experimental data from the "PION" installation which registers hadrons with energies from 0.5 - 30 TeV and also hadron groups in the direction of galactic sources Cygnus X-1 and Hercules -1. It is for the first time suggested to investigate the cosmic-ray spectra from the point of view of direction anisotropy.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1987

УДК 539.22:537.591

Г.С.МАРТИРОСЯН, Г.Г.ОВСЕПЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ  
ЛУЧЕЙ НА УСТАНОВКЕ "ПИОН"

Предлагается провести поиск анизотропии космических лучей по направлениям на основе экспериментальных данных установки "Пион", регистрирующей адроны с энергиями от 0,5 до 30 ТэВ, а также адронных семейств по направлениям галактических источников Лебедь X-3 и Геркулес X-I. Впервые предложено исследовать энергетический спектр космических лучей с точки зрения анизотропии по направлениям.

Ереванский физический институт

Ереван 1987

## Введение

Из совокупности имеющихся экспериментальных фактов степень анизотропии распределения космических лучей (КЛ) по направлениям в разных энергетических интервалах является важным для создания завершенной теории происхождения КЛ. Давно уже установлено, что анизотропия КЛ умеренных энергий ( $E \leq 0,1$  ТэВ) ничтожна. Степень анизотропии в интервале ( $1 - 10^8$ ) ТэВ показана на рис.1 [1]. Она фитирована двумя компонентами: при энергиях  $E < 100$  ТэВ - анизотропией из-за эффекта Комптона-Геттинга, который соответствует движению Солнца к апексу со скоростью 20 км/с, и при высоких энергиях - диффузионной анизотропией  $\delta = \frac{3D}{c} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dz}$  (где  $N$  - концентрация частиц,  $z$  - пространственная координата,  $D$  - коэффициент диффузии), как функцию от жесткости частиц ( $R = pc/ze \cdot r\beta$ ).

Исследования, проведенные методикой ШАЛ и подземными установками, указывают на наличие анизотропии  $\sim (0,05 - 0,1) \%$  первичных КЛ в энергетическом интервале (0,5 - 1000) ТэВ [2]. Однако в этих экспериментах направление прихода первичной частицы определяется с точностью  $\geq 4^\circ$ . Если существует узконаправ-

ленная анизотропия, связанная с "точечным" источником КГ, то проблема остается открытой, так как трудно её обнаружить внутри широкого угла сканирования и дальнейшие поиски анизотропии требуют создания установок с лучшими угловыми разрешающими способностями.

### Эксперимент "Пион"

Интерес к поиску анизотропии распределения по направлениям высокоэнергичных адронов на установке с хорошей угловой разрешающей способностью на высотах гор связан с тем, что при этом уменьшаются влияния атмосферных эффектов и неопределенность при переходе от энергии регистрируемой частицы к первичным энергиям.

Функционирующая с 1973 г. установка "Пион" (рис.2) предназначена для исследования состава и свойств адронной компоненты космического излучения на высоте 3200 м над уровнем моря, а также определения основных характеристик взаимодействия пионов, протонов и нейтронов с различными ядрами [3] .

Определение ионизационным калориметром энергии адронов в пределах  $0,3 \text{ ТэВ} \leq E \leq 30 \text{ ТэВ}$  с точностью (15 - 20) %, угол ( $\theta, \varphi$ ) прихода адронов с точностью  $2^\circ$  и фиксация местного времени регистрации каждого события позволит на установке "Пион" помимо основных задач вести поиск анизотропии распределения адронов по направлениям в широком энергетическом интервале.

Для первичных космических лучей с жесткостью выше  $10^{12} \text{ В}$

радиусы вращения в межпланетном магнитном поле превышают  $10^{14}$  см, так что модуляция в межпланетном пространстве для них не существенна, и тогда траекторию каждой частицы можно проследить и далее от Земли в космос. За распределение таких высокоэнергетических частиц могут быть ответственны только межзвездные магнитные поля.

С помощью известного перехода от горизонтальной координатной системы к экваториальной при известных значениях географических координат установки (для "Пиона"  $\varphi = 40^{\circ}11'$ ,  $\lambda = 44^{\circ}30' E$ ) можно определить область сканирования небесной сферы установкой. Ширина области сканирования зависит от глубины (номера ряда  $K$ ) проникновения ядерно-электромагнитного каскада в ионизационном калориметре.

Для  $K = 4$  (счет сверху) сканируется интервал склонения  $7^{\circ} \leq \delta \leq 80^{\circ}$ , а при  $K = 10$  - интервал  $23^{\circ} \leq \delta \leq 65^{\circ}$ .

В данной работе предлагается на установке "Пион", путем соответствующей обработки экспериментального материала, провести поиск анизотропии в распределениях КЛ в трех аспектах.

## I. Исследование энергетического спектра

В проблеме поиска анизотропии распределения КЛ по направлениям большой интерес представляет исследование интенсивности частиц от отдельных областей Галактики. На рис.3 приведена область сканирования установки в системе галактических координат. Как видно из рисунка, на установке "Пион" имеется возможность исследовать поток высокоэнергетичных адронов со стороны Местного

скопления ( $\beta > +30^\circ \text{N}$ ) и отдельных областей галактического диска ( $0^\circ \leq \beta < +30^\circ$ ;  $-30^\circ < \beta < 0^\circ$ ). При наличии существенной анизотропии, путем исследования показателей спектров компонентов адронов в широком энергетическом интервале (0,3 - 30 ТэВ) можно установить зависимость анизотропии от энергии и показателя спектра космических лучей для отдельных областей Галактики.

Степень анизотропии КЛ определяется через

$$\delta = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  - максимальное и минимальное значения интенсивности в данной точке наблюдения как функции направления (галактических координат  $\ell$  и  $\beta$ ).

Допустим интегральные энергетические спектры соответствующих направлений  $(\ell_1, \beta_1)$  и  $(\ell_2, \beta_2)$ ,  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  имеют вид;

$$I_{\max}(>E; \ell_1, \beta_1) = A_1(\ell_1, \beta_1) \cdot E^{-\gamma_1},$$

$$I_{\min}(>E; \ell_2, \beta_2) = A_2(\ell_2, \beta_2) \cdot E^{-\gamma_2}.$$

Подставляя выражения для  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  в выражение, определяющее степень анизотропии, и сделав несколько преобразований, получим выражение для  $\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$  в виде функций от энергии  $E$  и анизотропии  $\delta$ .

$$\Delta\gamma = - \frac{\ln \frac{A_1}{A_2} + \ln \frac{1-\delta}{1+\delta}}{\ln E}.$$

Это выражение устанавливает однозначную связь между наблюдаемой степенью анизотропии и изменением показателя спектра при данных энергиях.

Оценим минимальную статистику  $N$ , необходимую для того, чтобы  $\Delta\gamma \geq 6\Delta\gamma = \sqrt{2}\delta\gamma$ , где  $\delta\gamma = (\gamma-1)/\sqrt{N}$  - статистическая ошибка экспериментально измеренного значения  $\gamma$ .

Из этих соображений получим, что

$$N \geq \frac{2(\gamma-1)}{\Delta\gamma^2}.$$

В табл. I приведены оценочные значения  $N$  для разных значений  $\delta$  и  $\delta$  при предположении, что  $A_1 = A_2$  и показатель интегрального спектра  $\gamma - 1 = 1,7$ .

Таблица I

$\delta \cdot 100 \%$	N		
	$E \geq 500$ ГэВ	$E \geq 10$ ТэВ	$E \geq 100$ ТэВ
1	$2,4 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$	$8,4 \cdot 10^5$
3	$8,9 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$
5	$9,6 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$
10	$3,4 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$

Здесь помимо коррекции спектра на разные систематические ошибки очень важно знание точного значения энергетического порога установки. Флуктуации порога ( $\sim 5\%$ ) могут исказить спектр и приводить к ложной анизотропии при околпороговых энергиях.

Как видно из табл. I, существующая статистика ( $\sim 10^5$  событий) позволит провести поиск анизотропии с амплитудой  $\delta \geq 3\%$  от вышеуказанных трех областей Галактики.

Если интенсивность от более высоких галактических широт

$I_{\delta > 30^\circ}$  будет сильно отличаться (при соответствующей амплитуде анизотропии  $\delta > 3\%$ ) от интенсивности  $I_{\delta < 30^\circ}$ , то оно может определенным образом влиять на диффузионную модель распространения КЛ в межзвездной среде, принятой в настоящее время.

## 2. Поиск узконаправленной анизотропии

Выполнены несколько юонных экспериментов с хорошей угловой разрешающей способностью по поиску узконаправленной анизотропии, связанной с точечными источниками КЛ. Эти работы [4] указывают на наличие узконаправленной анизотропии с амплитудой  $\sim 10\%$  в интервале первичных энергий (0,5 - 10) ТэВ.

Подобный поиск можно провести и на установке "Пион". Определение направления прихода адронов с точностью  $2^\circ$  позволит сканируемую область разделить на ячейки с размерами  $\Delta\ell \geq 3^\circ$  и  $\Delta\delta \geq 3^\circ$  в галактической координатной системе (на небесной сфере  $\Delta\delta \geq 3^\circ$  и  $\Delta\alpha \geq 3^\circ$ ) и провести поиск узконаправленной анизотропии, связанной с точечными источниками КЛ. В табл.2 приведено число ячеек различных размеров на сканируемой небесной сфере для значений кратности  $K = 6, 10$ . Там же для общей статистики  $N = 10^5$  адронов приведено среднее число частиц, регистрируемых от каждой ячейки.

Таблица 2

К	$\Delta l^\circ \times \Delta b^\circ$	Число ячеек	Число частиц в ячейке
6	$3^\circ \times 3^\circ$	2735	37
	$6^\circ \times 6^\circ$	680	147
	$10^\circ \times 10^\circ$	245	408
	$15^\circ \times 15^\circ$	109	918
10	$6^\circ \times 6^\circ$	420	238
	$10^\circ \times 10^\circ$	151	662
	$15^\circ \times 15^\circ$	67	1492

Как видно из табл.2, минимальную амплитуду анизотропии, которую можно наблюдать, составляет  $\delta \sim 3\%$  при  $(\Delta l \times \Delta b) = (15^\circ \times 15^\circ)$ . При меньших размерах ячеек данная статистика позволяет обнаружить достоверную анизотропию уже с амплитудой  $\delta \sim 10\%$ , но улучшается возможность идентификации направления анизотропии с конкретным источником.

Если предположить, что узконаправленная анизотропия связана с точечным источником галактических КЛ, то размеры ячеек можно увеличить при  $b > (20^\circ - 30^\circ)$ , так как по мере удаления от галактического экватора в сторону больших  $b$ , как видно на рис.3, плотность предполагаемых источников резко падает. На рис.3 точками обозначены координаты 320 известных пульсаров как предполагаемых источников галактических КЛ.

На наш взгляд методика группировки данных по направлениям имеет один серьезный недостаток. Число частиц, в каждом интервале соответствующее определенному направлению, представляет

собой интегральный энергетический спектр. При одном и том же числе частиц в данном интервале, в зависимости от энергии в спектре возможны разного рода "изломы", которым, согласно пункту 1, соответствует определенная амплитуда анизотропии при данной энергии и по данным направлениям. Для выявления подобной "скрытой анизотропии" можно пункты 1 и 2 использовать комбинированно.

### 3. Поиск адронных групп по направлению галактических источников Лебедь X-3 и Геркулес X-1

Развитая в работе [5] методика, позволяющая провести корректную обработку экспериментальных данных по адронным семействам, зарегистрированных на установке "Пион", дает возможность провести поиск анизотропии адронных групп по направлениям галактических источников Лебедь X-3 и Геркулес X-1.

Поток нейтральных ( $Z < 2,3 \cdot 10^{-7}$ ) частиц с энергией ( $10^3 - 10^4$ ) ТэВ, зарегистрированный подземными установками MUSEX [6], SOUDAN [7] и Kamioka NDE [8] в направлении Лебедь X-3, обычно интерпретируется как  $\gamma$ -излучение. Однако такая интерпретация сталкивается с некоторыми трудностями, связанными со слишком большим потоком высокоэнергичных мюонов ( $E_\mu \gg 1$  ТэВ) в ШАЛ и с поглощением  $\gamma$ -квантов с энергией  $E > 2 \cdot 10^3$  ТэВ в результате взаимодействия с реликтовыми фотонами. Такое поглощение не обнаружено в спектре Лебедь X-3 [9].

Исходя из этого, многие авторы предлагают более экзотические теоретические объяснения этого явления [10]. В ряде работ

считается, что ливни с таким потоком высокоэнергичных мюонов должны иметь обычную ядерно-электромагнитную структуру и следовательно наблюдаемые мюоны должны появляться вследствие распадов  $K$  и  $\pi$  мезонов.

Исходя из этого, целесообразно провести поиск адронных групп в направлении Лебедь X-3. Такой поиск можно провести на установке "Пион", параметры которого близки к параметрам установки SOUDAN .

В течение одного дня "Пион" может наблюдать за Лебедем X-3  $4^h 32^m$  (при  $K=4$ ).

Для потока многомюонных событий на SOUDAN получено значение  $\sim 7,10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , при  $E_\mu \geq 0,65 \text{ ТэВ}$ . Пересчет на установку "Пион" (соответственно  $E_\pi > 1,25 E_\mu$  и  $E_K > 2 E_\mu$ ) указывает, что за год работы установки можно наблюдать  $\sim 80$  адронных групп в направлении Лебедь X-3.

Результаты исследования в этой области помогут внести ясность в проблему объяснения типа частиц, регистрируемых от Лебедь X-3 и других галактических источников. При наблюдении адронных групп, можно окончательно отказаться от идеи объяснения многочастичных мюонных событий высокоэнергичными  $\gamma$  - квантами.

Авторы благодарны Мамиджянцу Э.А. и Авакяну В.В. за внимание к работе, а также Агароняну Ф.А. за полезные обсуждения.

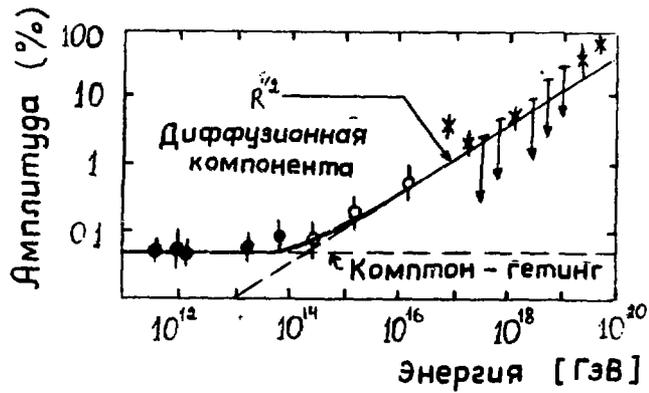
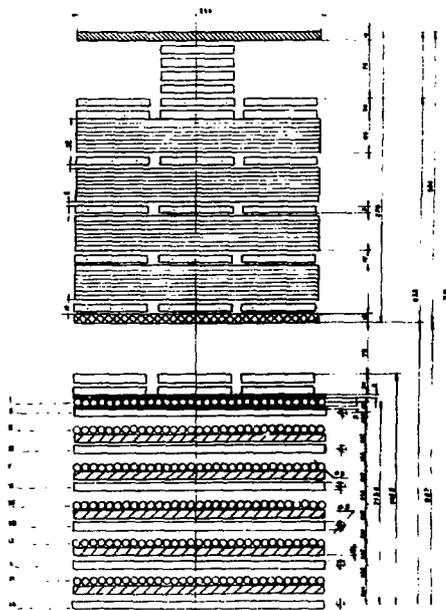


Рис.1 Амплитуда анизотропии, фитированная компонентой Комптона-Геттинга и диффузной, в зависимости от энергии.

### УСТАНОВКА ПИОН



#### Условные обозначения

- |           |        |
|-----------|--------|
| Свинец    | Железо |
| КПК       | ИК     |
| Графит    | ИК     |
| Радиаторы |        |

Рис.2 Схематический вид установки "Пион".

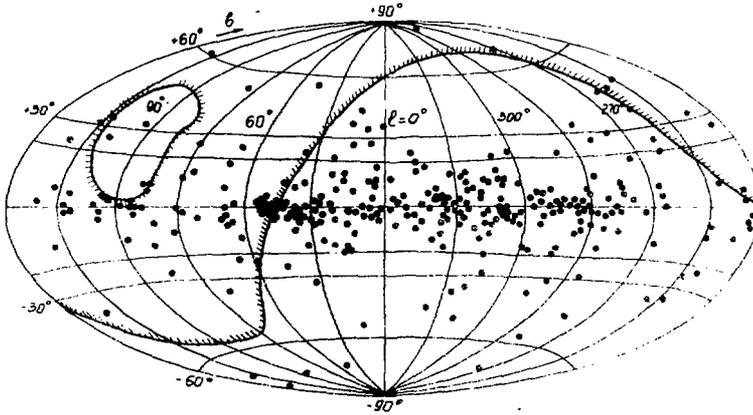


Рис.3 Область сканирования установкой "Пион" в системе галактических координат.

Точками обозначены координаты известных пульсаров как предполагаемые источники КЛ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ormes J.F. On the localized nature of the galactic cosmic ray. 18th ICRC Bangalore 1983, vol.2, p.187.
2. Hillas A.M. Observation of the energy spectrum, composition and anisotropy of primary cosmic rays above 1000GeV 17th ICRC Paris 1981, vol.13, p.69.
3. Авакян В.В., Авунджян А.Т., Антонян К.Г. и др. Установка для идентификации адронов космического излучения и измерения сечений взаимодействий при энергиях  $E \geq 500$  ГэВ. Известия АН СССР, серия физическая, 1980, т.44, № 3, с.479.
4. Sekido Y, Yochida S., Kamiya Y. Point source of cosmic rays in Orion. Phys.Rev. 1959, vol.113, p.1108.  
Allkofer O.C., Bellia G., Binder O.H. et al. Search for anisotropies in the primary energy range  $10^{11} - 10^{13}$  eV with the DEIS muon spectrometer 16th ICRC, Kyoto 1979, vol.4, p.170.  
Allkofer O.C., Jokisch H., Uhr R.C. Search for anisotropies around  $10^{11}$  eV primary energy. 2th Int.Symp. CR, 40, Tokyo, 1976.
5. Авакян В.В., Овсепян Г.Г., Тер-Антонян С.В. Метод обработки адронных семейств в ионизационных калориметрах (в печати).
6. Collaboration MUSEX. MUSEX. cosmic muon results from the MUSEX experiment. Nuovo Cim., C9, 1986, vol.2, p.196.

7. Marshak M.L., Bartlett J., Courant H. et al. Time distributions for underground muons from the direction of Cygnus X-3. Phys. Rev. Lett. 1985, vol.55, N.19, p.1965.
8. Oyama Y., Arisaka K., Kajita T. et al. Search for high-energy muons from Cygnus X-3. Phys.Rev.Lett., 1986, vol.56, N.9, p.991.
9. Березинский В.С., Иоффе Б.Л., Элаис Дж. Трудности интерпретации подземных мюонов от Лебеда X-3. ЯФ, 1987, т.45, вып.1, с.132.
10. Березинский В.С., Бугаев Э.В., Заславская Е.С. Лебедь X-3 и фотино. ЯФ, 1986, т.43, вып.4, с.983.

Рукопись поступила 28 мая 1987 г.

Г.С.МАРТИРОСЯН, Г.Г.ОВСЕЛЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА АНИЗОТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА  
УСТАНОВКЕ "ПИОН"

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

---

Подписано в печать 23/УП-87  
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1.2  
Зак. тип. № 449

ВФ-02488 Формат 60x84/16  
Тираж 299 экз. Ц. 17к.  
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**