

**П И С Ь М А**  
**В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ**  
**И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ  
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 72, ВЫПУСК 4  
 25 АВГУСТА, 2000

Письма в ЖЭТФ, том 72, вып.4, стр.229 - 232

© 2000г. 25 августа

**АНОМАЛЬНЫЕ ШИРОКИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЛИВНИ В**  
**ОБЛАСТИ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ**  
**ПРИХОДА**

*А.А.Михайлов, Е.С.Никифорова*

*Институт космофизических исследований и астрономии  
 677891 Якутск, Россия*

Поступила в редакцию 4 июля 2000 г.

Рассматриваются широкие атмосферные ливни (ШАЛ) с энергией выше  $8 \cdot 10^{18}$  эВ, зарегистрированные с 1974 г. по 1995 г. на Якутской установке ШАЛ. Обнаружены ливни без мюонной компоненты. По направлениям прихода данных ливней найдено два кластера, один из которых совпадает в пределах ошибок с пульсаром нашей Галактики.

PACS: 98.70.Sa

Согласно теоретическим расчетам [1], от  $\gamma$ -квантов первичного космического излучения ожидается аномально малое количество ядерно-активных частиц и мюонов. При энергии  $\gamma$ -квантов  $10^{15}$  эВ ожидаемая плотность потока мюонов с энергией выше 10 ГэВ на расстоянии  $r$  от оси ливня  $\rho_\mu^\gamma(r)$  будет менее 1/30 от плотности потоков мюонов от обычных ливней, образованных ядрами и протонами  $\rho_\mu^{Zp}(r)$  [2]:

$$\rho_\mu^\gamma(r) / \rho_\mu^{Zp}(r) < 1/30.$$

По данным установки ШАЛ МГУ при  $6 \cdot 10^{16}$  эВ отношение числа ливней с аномально малым количеством мюонов к числу ливней с нормальным содержанием мюонов от ядер и протонов меньше, чем  $2 \cdot 10^{-4}$  [3].

Анализируя данные Якутской установки ШАЛ, мы обнаружили ливни без мюонной компоненты, их мы называем аномальными ливнями. К сожалению, мы не располагаем данными: образованы ли они от  $\gamma$ -квантов сверхвысоких энергий. Не имея четкого представления о происхождении данных ливней, мы решили рассмотреть их распределение на небесной сфере.

В настоящее время на Якутской установке ШАЛ работают 49 наземных сцинтилляционных детекторов с общей площадью  $214 \text{ м}^2$  и 5 подземных мюонов детекторов

общей площадью  $100\text{ м}^2$  и порогом регистрации  $E > 1.\text{sec}\theta\text{ ГэВ}$ , где  $\theta$  – зенитный угол прихода ливня.

В данной работе проанализированы широкие атмосферные ливни, зарегистрированные на Якутской установке ШАЛ за 1974–1995 гг. Нами рассмотрены 596 ливней с энергиями выше  $0.8 \cdot 10^{19}$  эВ с зенитными углами  $< 60^\circ$  и осями внутри периметра установки. Среди них 20 ливней имеют энергию  $> 4 \cdot 10^{19}$  эВ. Точность определения энергии первичной частицы, порождающей ШАЛ, составляет  $\sim 30\%$ , а угла прихода  $\sim 3^\circ$ . Все наблюдаемое время регистрации было разбито на отдельные периоды времени по 6 час. Периоды времени, когда мюонные детекторы не работали, из рассмотрения исключались. Отбирались те ливни, у которых мюонная компонента была равна нулю и мюонные детекторы находились в рабочем состоянии. При нулевом показании мюонных детекторов была оценена вероятность того, что ни одна частица не попадет в эти детекторы, по формуле  $P = \Pi \exp(-\rho_i S_i)$ , где  $\rho_i$  – ожидаемые плотности,  $S_i$  – площадь  $i$ -го детектора. Если вероятность, что ни одна частица ливня не попадет в детекторы, была  $P > 10^{-4}$ , то данный ливень из рассмотрения исключался. После такого отбора из 596 ливней осталось 14 ливней. Выше энергии  $4 \cdot 10^{19}$  эВ нет ни одного ливня без мюонов. Доля аномальных ливней к числу ливней с нормальным содержанием мюонов составляет  $\sim 3\%$ .

На рис.1 показаны наблюдаемые плотности электронно-фотонной (кружочки) и мюонной (ромбы) компонент в зависимости от расстояния до оси ливня. Мюонная

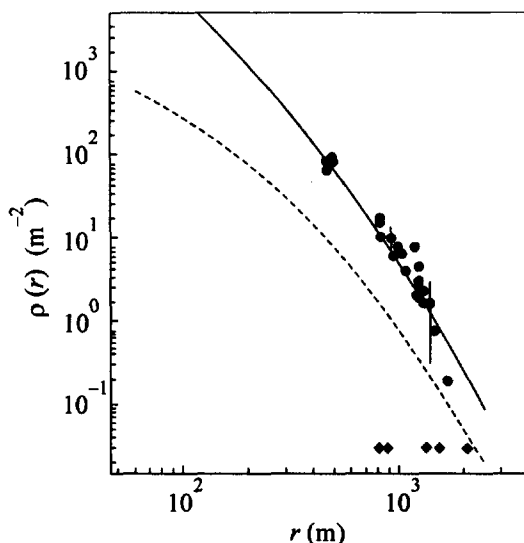


Рис.1. Наблюдаемые (кружочки) и ожидаемые (линия) плотности  $\rho(r)$  электронно-фотонной и мюонной (ромбы и штриховая кривая) компонент в зависимости от расстояния  $r$  до оси ливня. Мюонная компонента ливня во всех пяти мюонных пунктах равна нулю

компонента ливня во всех пяти мюонных пунктах равна нулю. Вероятность того, что ни одна из частиц не попадет в мюонные детекторы, равна  $\sim 10^{-37}$ . Сплошной линией показана функция пространственного распределения электронно-фотонной компоненты и штриховой кривой – функция мюонной компоненты для данной энергии и угла прихода ливня согласно [4].

На рис.2 показаны относительные времена прихода ливней с мюонами (в минутах) до и после времени прихода ливня без мюонов. Например, за 8 мин до рассматриваемого выше ливня (рис.1) пришел ливень с энергией  $2 \cdot 10^{17}$  эВ и 1 детектор зарегистрировал наличие мюонов, через 9 мин после рассматриваемого ливня при-

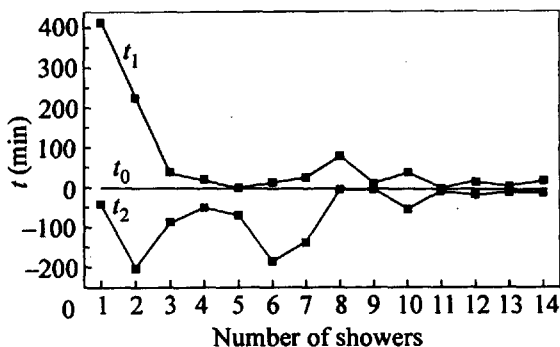


Рис.2. Относительные времена прихода ливней (в минутах) с мюонами до ( $t_1$ ) и после ( $t_2$ ) прихода ливня без мюонов ( $t_0$ )

шел ливень с энергией  $1.4 \cdot 10^{18}$  эВ и 3 детектора зарегистрировали мюоны (на рис.2 данные ливни отмечены под номером 13). Как видно из этих рисунков, в области сверхвысоких энергий существуют ливни без мюонных компонент.

На рис.3 показано распределение аномальных ливней (черные точки) в системе экваториальных координат ( $\delta$  – склонение,  $RA$  – прямое восхождение). Отметим, что

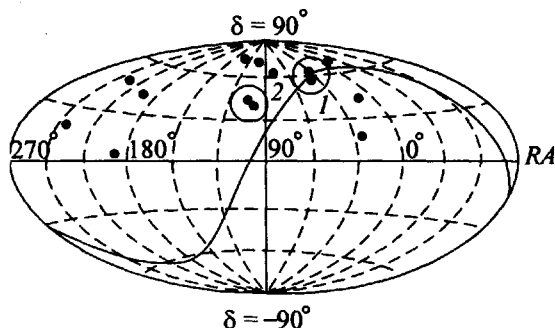


Рис.3. Распределение аномальных ливней (черные точки) в системе экваториальных координат  $\delta$  и  $RA$ ,  $\delta$  – склонение,  $RA$  – прямое восхождение. Дублеты 1 и 2 – большие кружки

Якутская установка ШАЛ обзореает только северную часть небесной сферы выше склонения  $\delta > 2^\circ$ . Мы не обнаружили корреляцию между направлениями прихода 14 аномальных ливней и пульсарами [5]. Но в распределении ливней наблюдается два дублета (см. рис.3 и таблицу). Первый из дублетов расположен на расстоянии меньше  $4^\circ$  от пульсара PSR 154 + 61°. Во втором дублете расстояние между двумя ливнями равно  $3^\circ$ , вероятность случайности расположения двух ливней на расстоянии  $1.5^\circ$  от точки  $\delta = 43.5^\circ$  и  $RA = 101^\circ$  при изотропном распределении первичного излучения –  $P \sim 10^{-5}$ . Малая вероятность в последнем случае дает основание утверждать, что второй дублет также образован от точечного источника пульсара. Видимо, пока не все пульсары обнаружены. Вероятность случайности того, что на расстоянии  $4^\circ$  от пульсара PSR 154 + 61° находятся два ливня, равна  $P \sim 1.3 \cdot 10^{-3}$ . Вероятность того, что наблюдаются два дублета внутри  $4^\circ$  от пульсара PSR 154 + 61 и от точки с координатами  $\delta = 43.5^\circ$  и  $RA = 101^\circ$ , равна  $P \sim 6 \cdot 10^{-7}$ . Первый дублет расположен в галактической плоскости, второй – в пределах  $20^\circ$  от галактической плоскости. Это, видимо, связано с тем, что частицы с энергией до  $4 \cdot 10^{19}$  эВ скорее всего являются галактическими [6].

Отметим, что при энергии  $\sim 10^{19}$  эВ наблюдается избыточный поток обычных ливней со стороны вышеприведенного пульсара PSR 154 + 61 внутри радиуса  $r < 6^\circ$ , на  $3.5\sigma$  больше ожидаемого в случае изотропии [6].

**Время прихода, энергия и координаты линий, образующих дублеты**

Номера кластера	Дата	Энергия, ЕэВ	Склонение и прямое восхождение, в град.		Галактическая широта и долгота, в град.	
1	17.2.1981	7.7	63.7	30.6	2.2	131.1
1	25.12.1984	8.3	58.1	33.8	-2.6	134.3
2	17.5.1984	9.8	42.2	100.3	16.7	173.6
2	23.10.1986	18.6	45.0	101.5	18.5	171.3

Поток аномальных ливней от пульсара PSR 154 + 61° равен  $\sim 10^{-19} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

В области сверхвысоких энергий обнаружены ливни без мюонной компоненты. Направления прихода некоторых ливней тесно связаны друг с другом – найдено два дублета. Расположение двух дублетов в низких широтах Галактики и корреляция одного из них с пульсаром, видимо, связано с тем, что космические лучи до  $4 \cdot 10^{19}$  эВ, скорее всего, рождаются в пульсарах [6].

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект # 00-02-16325).

- 
1. R.Maze and A.Zawadski, *Nuovo Cim.* **17**, 625 (1960).
  2. Г.В.Христиансен, Г.В.Куликов, Ю.А.Фомин, *Космическое излучение сверхвысоких энергий*, М.: Атомиздат, 1975.
  3. В.И.Соловьева, *Диссертация* ФИАН, 1965.
  4. A.V.Glushkov, I.T.Makarov, E.S.Nikiforova et al., *Astropart. Phys.* **4**, 15 (1995).
  5. A.G.Line and Graham-Smith., *Pulsar Astronomy*, Cambridge University Press, 1990.
  6. A.A.Mikhailov, *Proc. 26-th ICRC*, Salt Lake City **3**, 268 (1999).