

## РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ БИНАРНЫХ СИСТЕМ ЛЕБЕДЬ X-1 И ЛЕБЕДЬ X-3

*Г.В.Куликов, В.Г.Погорелый, А.А.Силаев, В.И.Соловьев, В.П.Сулаков, А.В.Трубицын, Г.Б.Христиансен*

Приведены данные, полученные на установке ШАЛ МГУ, по регистрации космических лучей с энергией  $\sim 10^{15}$  эВ от точечных источников методом широких атмосферных ливней. Обнаружен избыток "старых" ливней в период 1985 – 86 г. от Лебедя X-1, который составляет 3,8 стандартных отклонений.

Установка для регистрации ШАЛ<sup>1</sup> расположена на высоте 192 м над уровнем моря (широта 55,75° N, долгота 37,5° E). Для исследований используется центральная часть установки радиусом 200 м. Положение оси ливня, параметр  $s$ , характеризующий функцию пространственного распределения заряженных частиц в нем, и полное число частиц  $N_e$  на уровне наблюдения определяются с помощью большого числа детекторов, состоящих из счетчиков Гейгера.

Направление оси ливня находится с помощью системы из семи сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих время прихода частиц ливня. Шесть сцинтилляторов, площадью 0,5 м<sup>2</sup> каждый, расположены в вершинах шестиугольника со стороной 60 м, а седьмой площадью 1 м<sup>2</sup> в центре. Точность определения направления оси ливня в пространстве составляет 3°.

Для анализа отбирались ливни с зенитными углами  $\theta \leq 40^\circ$ , с осями, лежащими не далее 30 м от центра установки, и числом частиц  $N_e \geq 10^5$ .

Периоды наблюдения и статистика событий приведены в таблице:

Период наблюдения	Время работы установки, час.	Число зарегистрированных ливней	Число отобранных ливней
1.11.84 – 23.06.85	4260	$8,5 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$
16.10.85 – 09.09.86	6400	$1,3 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^4$

Чтобы выделить источник, имеющий экваториальные координаты: склонение  $\delta_0$  и прямое восхождение  $\alpha_0$ , из всех ливней отбирались те, склонения которых попадают в полосу  $\delta_0 \pm 3^\circ$ . Эта полоса делилась на одинаковые ячейки по прямому восхождению размером по 8°, так что источник оказывался в центре одной из ячеек. Для каждой ячейки определялось число ливней, пришедших из нее,  $n_j$ , и время наблюдения ячейки установкой  $t_j$ .

Была рассмотрена полоса склонений с источником Лебедь X-1, имеющим координаты  $\alpha_0 = 19^h 56^m$  и  $\delta_0 = 35^\circ$ . Анализ зависимости потока всех отобранных ШАЛ от прямого восхождения показал, что нет статистически значимого превышения потока в ячейке с Лебедем X-1 по сравнению с фоном.

Однако, если ввести дополнительный отбор ливней по параметру возраста  $s$ , а именно, отобрать лишь "старые" ливни с  $s \geq 1,3$  (согласно электромагнитной каскадной теории  $s \sim 1,3$  на уровне моря для ливней, рожденных гамма-квантами и имеющих  $N_e \sim 10^5$ ), то для Лебедя X-1 картина существенно меняется. В период с 16 октября 1985 г. по 9 сентября 1986 г. в распределении потока по прямому восхождению (рис. 1) наблюдался избыток "старых" ливней из ячейки с Лебедем X-1 (21 ливень при фоне 29), который составил 3,8 стандартных отклонений.

Соответствующий наблюдаемому избытку ливней поток  $F$  определялся по формуле<sup>2</sup>:

$$F = I \Omega \frac{S}{B},$$

где  $I$  – интенсивность ШАЛ,  $\Omega$  – размер ячейки в стерadianах,  $S$  – сигнал,  $B$  – фон (формула справедлива в предположении примерно одинаковой структуры и уг-

лового распределения фотонных и ядерных ливней). Считая, что избыточные ливни — это ливни от гамма-квантов, мы оценили их энергию по электромагнитной каскадной теории. Избыточный поток оказался равным  $F = (5,4 \pm 1,8) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  для  $E_0 = 7 \cdot 10^{14} \text{ эВ}$ . При вычислении потока принималось, что  $\Omega = 1,1 \cdot 10^{-2}$ ,  $I_0 = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$  и что доля "старых" ливней согласно экспериментальным данным составляла 0,371.

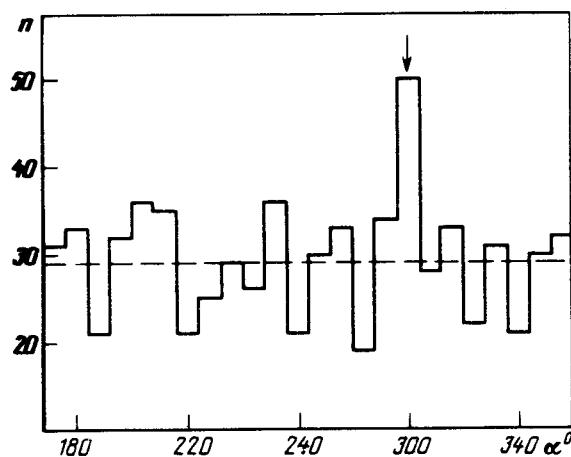


Рис. 1

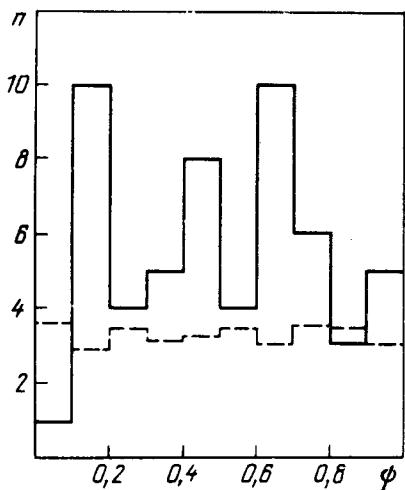


Рис. 2

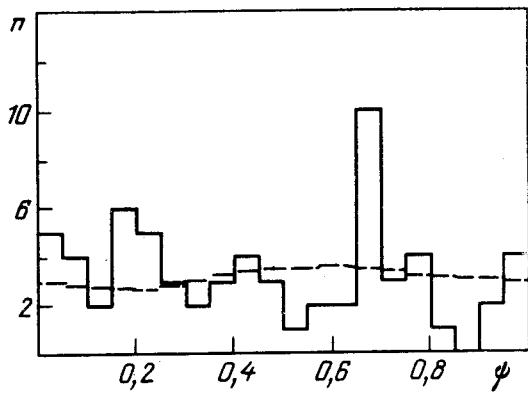


Рис. 3

Рис. 1. Распределение событий по прямому восхождению для полосы склонений Лебедя X-1:  $n$  — число событий, приведенное к времени наблюдения Лебедя X-1

Рис. 2. Фазовая кривая для Лебедя X-1

Рис. 3. Фазовая кривая для Лебедя X-3

Так как система Лебедь X-1 является двойной звездой с периодом обращения 5,6 дня, известным из оптических наблюдений, то был проведен фазовый анализ с использованием эфемерид из <sup>3</sup>: нулевая фаза  $t_0 = 2441163,45$  JD и период  $p = 5,0004$  дня. Результаты фазового анализа для "старых" ливней в период наблюдения с 16 октября 1985 г. по 9 сентября 1986 г. приведены на рис. 2. Штриховой линией показана фазовая кривая, рассчитанная в предположении, что Лебедь X-1 излучает равномерно с интенсивностью, средней для рассматриваемой полосы склонений. В расчете учитывалось разное время наблюдения каждой фазы и угловое распределение ШАЛ. Из рис. 2 видно, что наблюдается концентрация излучения на выделенных фазах: избыток по 7,1 ливня на фазах 0,1 — 0,2 и 0,6 — 0,7 при фоне 2,9. Поток, соответствующий избытку на обеих фазах, равен  $F = (3,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Наличие указанных двух фаз коррелирует с измерениями в оптическом диапазоне <sup>3</sup>.

Аналогичный анализ ливней от Лебедя X-1 за период с 1 ноября 1984 г. по 23 июня 1985 г. показал, что отсутствует избыточный поток "старых" ливней из ячейки с источником. Тот же результат дает и фазовый анализ.

Что касается источника Лебедь X-3 ( $\alpha_0 = 20^h 30^m$ ,  $\delta_0 = 40^\circ, 9$ ), то ни в один из рассматриваемых периодов не было избыточного потока (без фазового анализа) как для всех лив-

ней, так и для "старых" ливней. Фазовый анализ ливней от Лебедя X-3 проводился с использованием эфемерид из <sup>4</sup> для эпохи, наиболее близкой к нашим измерениям:  $t_0 = 2444377,4407$  JD,  $p = 0,199679$  дня, при этом учитывалась поправка, связанная с орбитальным движением Земли.

В период с 1 ноября 1984 г. по 23 июня 1985 г. наиболее резкий пик для всех ливней на фазовой кривой (рис. 3) появляется в фазовом интервале 0,65 – 0,70: превышение составляет 6,5 ливня при фоне 3,5. Во второй период статистически выделенной фазы не наблюдалось. Поток от Лебедя X-3, соответствующий избытку ливней на фазе 0,65 – 0,70 составляет  $F (\geq 10^{14} \text{ эВ}) = (1,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и не противоречит имеющимся данным, учитывая их большой разброс <sup>5</sup>. Отметим, что фаза, на которую приходится максимум излучения Лебедя X-3, эволюционирует от  $0,2 \div 0,3$  в 1976 – 1980 г. (Кильская группа) до  $0,6 \div 0,7$  в 1984 – 1986 г. (настоящая работа и данные установки "Ковер" на Баксане).

Анализ данных о мюонах с энергией более 10 ГэВ в отобранных ШАЛ показал, что в среднем доля мюонов в ливнях от Лебедя X-1 и Лебедя X-3 составляет  $0,8 \pm 0,1$  по отношению к нормальным ШАЛ.

#### Литература

1. Vernov S.N. et al. Proc. 16-th ICRC, Kyoto, 1979, 8, 129.
2. Baltrusaitis R.M. et al. Proc. 19-th ICRC, La Jolla, 1985, 1, 234.
3. Лютий В.М. Астрономический журнал, 1985, 62, 731.
4. Van der Klis M. Bonnet-Bidaud J.M. Astron. Astroph., 1981, 95, L5.
5. Watson A.A. Proc. 19-th ICRC, La Jolla, 1985, 9, 111.