

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ПО ДАННЫМ ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКИ ШАЛ**Анемподистова Любовь Гаврильевна**

магистрант, Физико-технический институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, РФ, г. Якутск

Analysis of the direction of the arrival of cosmic rays of ultrahigh energies according to the Yakut installation EAS***Lyubov Anempodistova***

graduate student, Institute of Physics and Technologies, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk

Аннотация. Вопрос об источниках космических лучей сверхвысоких энергий относится к области исследований на стыке астрофизики и физики элементарных частиц. Факт ускорения частиц до экстремальных энергий в определенных астрофизических объектах дает весьма ценную информацию о физических условиях в них. Целью является определение направления прихода космических лучей сверхвысоких энергий по данным Якутской комплексной установкой ШАЛ им. Д.Д. Краси́льникова методом гармонического анализа по прямым восхождениям.

Abstract. The question of sources of ultra-high energy cosmic rays belongs to the field of research at the intersection of astrophysics and elementary particle physics. The fact that particles accelerate to extreme energies in certain astrophysical objects provides very valuable information about the physical conditions in them. The aim is to determine the direction of the arrival of cosmic rays of ultrahigh energies according to the Yakut complex installation of EAS named after D.D. Krasil'nikov method of harmonic analysis on the direct route.

Ключевые слова: космические лучи; широкие атмосферные ливни; частица сверхвысокой энергии; гармонический анализ.

Keywords: cosmic rays; extensive air showers; ultra-high energy particle; harmonic analysis.

Одним из основных вопросов при исследовании гигантских широких атмосферных ливней (ШАЛ) является определение энергии первичных частиц. Энергетический спектр первичных космических лучей сверхвысокой энергии получают из спектра ШАЛ по числу частиц в предположении, что существует связь между энергией и числом частиц. Такую связь обычно выявляют из теоретических расчетов, основанных на модели развития ШАЛ, в результате оценки зависит от используемой модели. На гигантских установках обычно регистрируется не число частиц, а их плотность на некоторых расстояниях от оси ливня.

Для более надежного определения параметров ливня в ЭВМ были заложены следующие критерии отбора событий: 1) зенитный угол ливня $\theta < 60^\circ$; 2) оси ливней расположены внутри периметра установки; 3) на каждой из трех станций, образующих треугольник, плотность частиц $\geq 2 \text{ м}^{-2}$.

Отбрав таким образом ливни, мы распределяем их по энергетическим интервалам и по небесным координатам.

Ливни с $E_0 \geq 4,5 * 10^{19}$ эВ преимущественно идут со стороны высоких галактических широт.

Данные с сайта Якутской комплексной установки ШАЛ имени Д.Д.Красильникова (за период времени 1974 – 2004 гг.).

Таблица 1.

Список событий прихода космических лучей с энергией $E > 4 \times 10^{19}$ эВ, зарегистрированных Якутской комплексной установкой ШАЛ

#	E19	Theta	RA	Dec
1	5.40	41.7	163.6	52.9
2	7.00	52.2	183.3	35.6
3	4.20	41.4	235.1	23.1
4	11.0	46.1	150.7	16.1
5	6.40	22.8	270.3	67.6
6	5.30	43.1	297.7	33.5
7	4.20	10.3	43.2	57.4
8	5.30	37.3	47.9	24.9
9	4.50	32.5	302.8	70.2
10	5.40	32.8	46.9	29.2
11	4.80	32.6	85.1	63.3
12	4.40	11.2	343	65.8
13	6.40	23.8	184.1	47
14	8.20	44.9	55.7	19.6
15	6.80	20.4	335.2	51
16	6.20	48.7	297.3	45.2
17	4.60	51.1	218.1	50.4
18	4.10	54.9	8.7	36.3
19	4.40	36.9	167.8	78
20	5.60	23.9	108.9	37.8
21	15.0	58.7	75.2	45.6
22	4.00	58.5	23.8	57.5
23	6.50	49.1	283.5	29.4
24	4.60	29.3	119.6	37.3
25	7.50	34.2	69.1	74.8
26	8.50	55.7	131.3	60.6
27	6.20	41	92.6	74
28	5.60	27.4	315	57.8
29	4.90	16.1	21.3	45.7
30	4.90	12.3	58.1	60.9
31	5.30	20.6	274.3	54.5
32	4.90	26.2	351	72.9

Где в первом столбце – порядковые номера регистрации космических лучей с энергией $E > 4 \times 10^{19}$ эВ, во втором – энергии космических лучей, умножаемые на 10^{19} эВ, в третьем – θ – зенитные углы, четвертом – прямые восхождения, пятом – склонения.

Определение направления прихода космических лучей сверхвысоких энергий методом гармонического анализа по прямому восхождению (расчеты сделаны на Excel):

Таблица 2.

Первая гармоника

				первая гармоника				
№	RA, град	E19	RA, рад	a_1i	b_1i	A_1	фаза_1	P($\geq A_1$)
18	8,7	4,1	0,151844	0,058147	0,008898			
29	21,3	4,9	0,371756	0,054805	0,021368			
22	23,80	4	0,415389	0,053821	0,023738			
7	43,2	4,2	0,753984	0,04288	0,040268			
10	46,9	5,4	0,818561	0,040192	0,042951			
8	47,9	5,3	0,836015	0,039437	0,043646			
14	55,7	8,2	0,972151	0,033148	0,048594			
30	58,1	4,9	1,014039	0,031084	0,04994			
25	69,1	7,5	1,206025	0,020984	0,054953			
21	75,2	15	1,312491	0,015026	0,056872			
11	85,1	4,8	1,485279	0,005024	0,058609			
27	92,6	6,2	1,616179	-0,00267	0,058763			
20	108,9	5,6	1,900668	-0,01905	0,055652			
24	119,6	4,6	2,087419	-0,02906	0,051147			
33	128,7	5	2,246244	-0,03678	0,045907			
26	131,3	8,5	2,291623	-0,03882	0,044192			
4	150,7	11	2,630217	-0,0513	0,028787			
1	163,6	5,4	2,855365	-0,05643	0,016608			
19	167,8	4,4	2,928669	-0,0575	0,01243			
2	183,3	7	3,199196	-0,05873	-0,00339			
13	184,1	6,4	3,213159	-0,05867	-0,00421			
34	191	6,4	3,333587	-0,05774	-0,01122			
17	218,1	4,6	3,806572	-0,04629	-0,0363			
3	235,1	4,2	4,103279	-0,03366	-0,04824			
5	270,3	6,4	4,717636	0,000309	-0,05882			
31	274,3	5,3	4,787449	0,004411	-0,05866			
23	283,5	6,5	4,94802	0,013733	-0,0572			

16	297,3	6,2	5,188876	0,02698	-0,05227			
6	297,7	5,3	5,195857	0,027344	-0,05208			
9	302,8	4,5	5,284869	0,031866	-0,04944			
28	315	5,6	5,4978	0,041595	-0,04159			
15	335,2	6,8	5,850357	0,053399	-0,02467			
12	343	4,4	5,986493	0,056253	-0,0172			
32	351	4,9	6,12612	0,058099	-0,0092			
				0,161848	0,238821	0,288496	55,87450729	0,492896172

Таблица 3.

Вторая гармоника

				вторая гармоника				
№	RA, град	E19	RA, рад	a_2i	b_2i	A_2	фаза_2	P(≥A_2)
18	8,7	4,1	0,151844	0,056132	0,017591			
29	21,3	4,9	0,371756	0,0433	0,039816			
22	23,80	4	0,415389	0,039665	0,043439			
7	43,2	4,2	0,753984	0,003693	0,058707			
10	46,9	5,4	0,818561	-0,0039	0,058694			
8	47,9	5,3	0,836015	-0,00594	0,058522			
14	55,7	8,2	0,972151	-0,02146	0,054768			
30	58,1	4,9	1,014039	-0,02597	0,05278			
25	69,1	7,5	1,206025	-0,04385	0,039208			
21	75,2	15	1,312491	-0,05115	0,029055			
11	85,1	4,8	1,485279	-0,05797	0,010012			
27	92,6	6,2	1,616179	-0,05858	-0,00533			
20	108,9	5,6	1,900668	-0,04648	-0,03605			
24	119,6	4,6	2,087419	-0,03012	-0,05053			
33	128,7	5	2,246244	-0,01283	-0,05741			
26	131,3	8,5	2,291623	-0,00758	-0,05833			
4	150,7	11	2,630217	0,030648	-0,05021			
1	163,6	5,4	2,855365	0,049446	-0,03186			
19	167,8	4,4	2,928669	0,05357	-0,0243			
2	183,3	7	3,199196	0,058434	0,006762			
13	184,1	6,4	3,213159	0,058222	0,008391			
34	191	6,4	3,333587	0,05454	0,022037			
17	218,1	4,6	3,806572	0,01403	0,057126			

3	235,1	4,2	4,103279	-0,02031	0,055205			
5	270,3	6,4	4,717636	-0,05882	-0,00062			
31	274,3	5,3	4,787449	-0,05816	-0,0088			
23	283,5	6,5	4,94802	-0,05241	-0,02671			
16	297,3	6,2	5,188876	-0,03407	-0,04795			
6	297,7	5,3	5,195857	-0,0334	-0,04842			
9	302,8	4,5	5,284869	-0,0243	-0,05357			
28	315	5,6	5,4978	1,51E-06	-0,05882			
15	335,2	6,8	5,850357	0,038126	-0,0448			
12	343	4,4	5,986493	0,048768	-0,03289			
32	351	4,9	6,12612	0,055945	-0,01818			
				-0,04279	-0,04266	0,060425	44,91398	0,969442

Из таблиц видно: амплитуда первой гармоники равна 28,90%, второй 6,00%; фаза первой - 55.9 градусов, второй 44.9 градусов; вероятность случайности получения амплитуды больше, чем A_k первой - 49,30%, второй -96,90%. Так как вероятности случайности больше 1%, наблюдаемые амплитуды первой и второй гармоники согласуются с изотропным распределением при $E > 4 \cdot 10^{19}$ эВ.

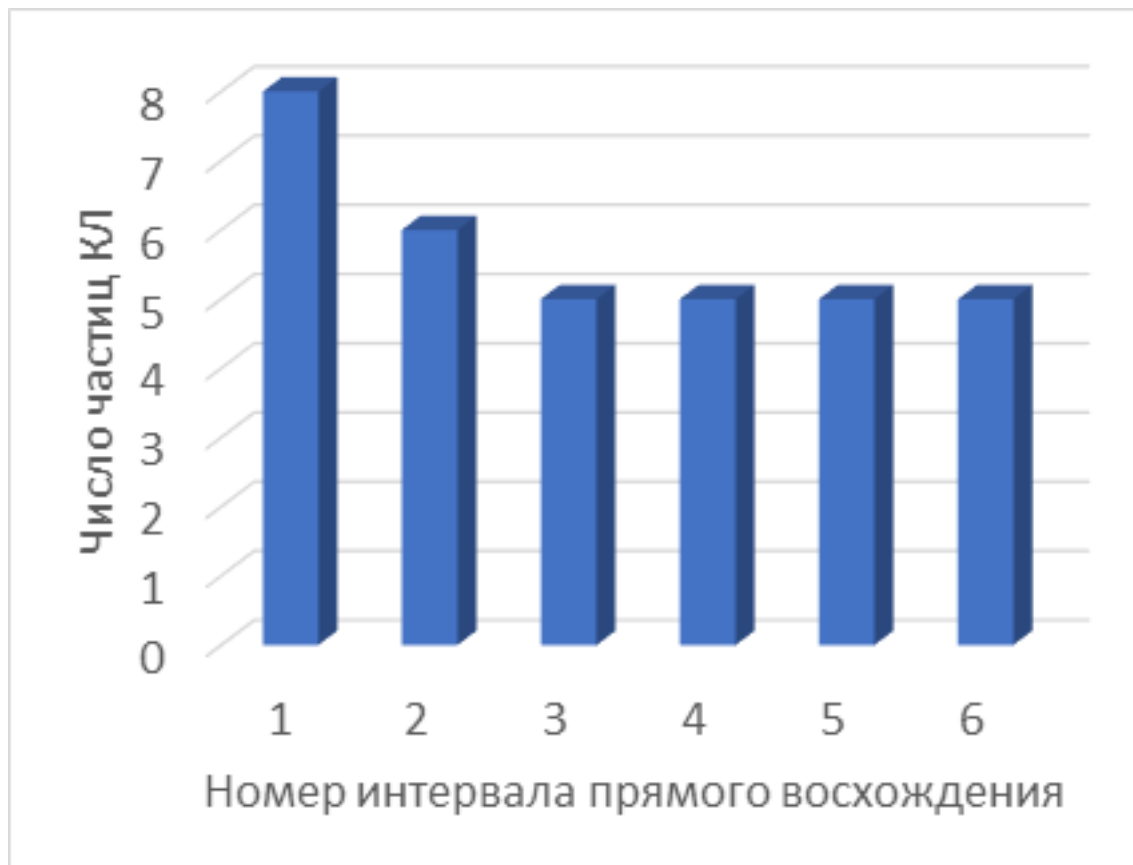
Таблица 4.

Распределении космических лучей по прямому восхождению

Интервалы RA									
№	нижняя граница	верхняя граница	середина	Ni	Ошибка	Ожидаемое ср. число	Отклонение		
1	0	60	30	8	2,83	5,67	2,33		
2	60	120	90	6	2,45		0,33		
3	120	180	150	5	2,24		-0,67		
4	180	240	210	5	2,24		-0,67		
5	240	300	270	5	2,24		-0,67		
6	300	360	330	5	2,24		-0,67		
				34			Все откл. меньше стат. ошибки		

Таблица 5.

Наблюдаемое распределение космических лучей по прямому восхождению



Заключение

В статье была рассмотрена тема прихода космических лучей сверхвысокой энергии. Сделан анализ направлений прихода космических лучей методом гармонического анализа, зарегистрированных Якутской комплексной установкой ШАЛ.

Метод поиска анизотропии по галактической широте является важным для решения вопроса о природе частиц сверхвысоких энергий.

Распределение частиц по широте при $10^{18} - 10^{19}$ эВ указывает скорее всего на их галактическое происхождение.

Список литературы:

1. В.П. Артамонов, Б.Н. Афанасьев, А.В. Глушков, В.П. Григорьев, М.Н. Дьяконов, Т.А. Егоров, В.П. Егорова, Н.Н. Ефремов, А.А. Иванов, А.П. Кангаласов, С.П. Кнуренко, В.А. Колосов, В.Д. Корякин // Современное состояние и перспективы якутской комплексной установки ШАЛ – 1994 г.
2. <http://eas.ysn.ru/catalog/yakutsk-array-data> / (дата обращения: 14.09.18)