

ной, Г. Н. Злотину, И. Н. Кикнадзе, Р. С. Бродской, З. В. Михеевой, Л. Н. Акопян, Н. М. Гордеевой, В. Ф. Новикову, Г. В. Мостяевой, Т. В. Голубинской — за помощь при обработке полученных экспериментальных данных.

Дата поступления
30 января 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Тер-Мартirosян. Сб. «Вопросы физики элементарных частиц», 5. Изд-во АН Арм. ССР, 1966, стр. 479.
2. G. Cocconi. Phys. Rev., 75, 1074, 1949.
3. W. D. Walker, S. P. Walker, K. Greissen. Phys. Rev., 80, 546, 1950.
4. E. P. George, A. C. Jason. Proc. Phys. Soc., A63, 1081, 1950.
5. R. H. Rediker, H. S. Bridge. Phys. Rev., 79, 206, 1950.
6. H. W. Boehmer, H. S. Bridge. Phys. Rev., 85, 863, 1952.
7. W. D. Walker, H. P. Duller, J. D. Sorrels. Phys. Rev., 86, 865, 1952.
8. R. R. Brown. Phys. Rev., 87, 999, 1952.
9. С. А. Азимов, Н. А. Добротин, А. Л. Любимов, X. П. Рыжкова. Изв. АН СССР. Сер. физ., 17, 1, 1953.
10. M. Cervasi, G. Fidicaro, L. Mezetti. Nuovo Cim., 1, 301, 1955.
11. J. G. Askowith, K. Sitte. Phys. Rev., 97, 159, 1955.
12. К. И. Алексеева, Н. Л. Григоров. Докл. АН СССР, 115, 259, 1957.
13. Н. М. Кочарян, Г. С. Саакян, З. А. Киракосян. Ж. эксперим. и теорет. физ., 35, 1335, 1958.
14. R. W. Williams. Phys. Rev., 98, 1393, 1955.
15. В. И. Рубцов, Ю. А. Смородин, Б. В. Толкачев. Ж. эксперим. и теорет. физ., 44, 462, 1963.
16. Б. В. Толкачев. Сб. «Вопросы физики элементарных частиц», 3. Изд-во АН Арм. ССР, 1963, стр. 272.
17. V. N. Bolotov, M. I. Devishev, L. F. Klimanova, A. P. Shmeleva. Proc. Internat. Conf. Cosmic Rays, 1965, p. 863; А. В. Алакоз, В. Н. Болотов, М. И. Девишев, Л. Ф. Климанова, А. П. Шмелева. Докл. на Всесоюз. конф. по физике космич. лучей, Алма-Ата, октябрь 1966.
18. G. Vozoki, E. Fenutes, G. Christov, N. Ahabalian, B. Betev, S. T. Kavlafov. Proc. Int. Conf. Cosmic Rays, 1965, p. 870.
19. Р. Н. Баилова, Н. Л. Григоров, Г. П. Кахидзе и др. Изв. АН СССР. Сер. физ., 30, 1610, 1966.
20. Н. Л. Григоров, Г. П. Кахидзе, В. Е. Нестеров и др. Наст. номер, стр. 383.
21. Н. Л. Григоров, В. Е. Нестеров, И. Д. Рапопорт, И. А. Савенко, Г. А. Скуридин, А. Ф. Титенков. Наст. номер, стр. 395.
22. В. С. Пантуев, М. Н. Хачатурян. Ж. эксперим. и теорет. физ., 42, 909, 1962.
23. A. Ashmore, G. Cocconi, A. N. Diddens, A. M. Wetherell. Phys. Rev. Lett., 5, 576, 1960.
24. G. Bellettini, G. Cocconi, A. N. Diddens, E. Lillethum, G. Matthiede, J. P. Scanlon, A. M. Wetherell. Nucl. Phys., 79, 609, 1966.
25. X. П. Бабаян, Г. А. Дулян, В. А. Собиняков, Ч. А. Третьякова, В. Я. Шестоперов. Изв. АН СССР. Сер. физ., 30, 1614, 1966.

УДК 551.521.1

Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, И. А. Савенко

ИЗУЧЕНИЕ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Излагаются результаты изучения химического состава и энергетического спектра космических лучей в области зарядов ядер $Z \geq 30$, выполненные с помощью черенковского спектрометра на космических станциях «Протон-1» и «Протон-2».

Изучение химического состава первичного космического излучения имеет важное значение для всей проблемы происхождения космических лучей. Химический состав космических лучей вплоть до заряда $Z = 28$ изучен достаточно хорошо. Данные же о составе космического излучения в области сверхтяжелых ядер с $Z \geq 30$ очень малочисленны и весьма противоречивы.

Первые сведения о регистрации сверхтяжелых ядер в космических лучах относятся к 1948 г., когда с помощью ядерных эмульсий и камеры Вильсона в верхних слоях атмосферы в первичном потоке были обнаружены ядра различных элементов вплоть до $Z \sim 40$ [1, 2]. В работе [2] авторы сообщают, что на одно ядро с зарядом 41 ± 4 было зарегистрировано 28 ядер с $Z \geq 10$. В работе [3] те же авторы приводят данные о регистрации одного ядра с зарядом, значительно превышающим заряд железа, на 161 зарегистрированное ядро с зарядом $Z \geq 10$.

Позднее в работе [4] сообщается о регистрации ядра с зарядом 49 ± 3 методом ядерной эмульсии, поднятой на баллоне на большую высоту. Автор отнес его к ядру олова. Тот же автор в работе [5] сообщает о регистрации ядра с $Z > 34$. Для распространенности таких ядер в космических лучах по отношению к ядрам железа, кобальта и никеля он дает оценку 0,3.

На Международной конференции по космическим лучам в Лондоне в 1965 г. сообщалось о регистрации черенковским счетчиком двух ядер с $Z \sim 40$ на 204 ядра с $Z \geq 20$ [6] и одного ядра с $Z \simeq 32$ на ~ 100 ядер с $Z \geq 20$ методом фотоэмульсий [7].

С появлением искусственных спутников Земли существенно расширились возможности изучения сверхтяжелых ядер космических лучей как за счет существенного увеличения времени наблюдения, так и за счет уменьшения количества вещества перед регистрирующей аппаратурой. Первые эксперименты такого рода описаны в работе [8]. На 3-м ИСЗ с помощью черенковского счетчика было зарегистрировано одно ядро с $Z > 30 \div 40$ за десять суток полета. Авторы дали оценку для отношения потоков ядер с $Z > 30 \div 40$ и с $Z \geq 15$, равную $(1 \div 3) \cdot 10^{-4}$.

Усредненная по работам [2, 3, 5—7] распространенность сверхтяжелых ядер в космических лучах по данным самих авторов и пересчитанная к ядрам с $Z \geq 20$ [9] составляет $\sim 10^{-2}$. Выпадает лишь результат работы [8], по которой оценка распространенности сверхтяжелых ядер в космических лучах на два порядка ниже.

Представляет интерес сопоставление полученных данных по распространенности сверхтяжелых ядер в космических лучах с их распростра-

ненностью во Вселенной. В табл. 1 собраны случаи регистрации сверхтяжелых ядер [1—8], приведены относительные распространенности этих ядер в космических лучах по данным авторов и усредненные по работам [10—12] относительные распространенности этих ядер во Вселенной. Из табл. 1 видно, что по данным работы [8] распространенность сверхтяжелых ядер в космических лучах и во Вселенной совпадает по порядку величины, по данным остальных работ распространенность сверхтяжелых ядер в космических лучах на 1—3 порядка выше их распространенности во Вселенной.

Таблица 1

Работы	Заряд зарегистрированных ядер	Число зарегистрированных ядер	Относительная распространенность сверхтяжелых ядер в космических лучах	Космическая относительная распространенность сверхтяжелых ядер по работам [10—12]
[1]	~40	1	$\frac{N(Z=41 \pm 4)}{N(Z \geq 10)} \approx 0,04$	$\approx 0,7 \cdot 10^{-5}$
[2]	41 ± 4	1	$\frac{N(Z \geq 26)}{N(Z \geq 10)} = 0,006$	$\approx 0,8 \cdot 10^{-4}$
[3]	≥ 26	1	$\frac{N(Z > 34)}{N(Z = 26 \div 28)} = 0,3$	$\approx 1,3 \cdot 10^{-4}$
[4]	49 ± 3	1	$\frac{N(Z > 30 \div 40)}{N(Z \geq 15)} = (1 \div 3) \cdot 10^{-4}$	$\approx 0,7 \cdot 10^{-3}$
[5]	>34	1	$\frac{N(Z \sim 40)}{N(Z \geq 20)} = 0,01$	$\approx 2,2 \cdot 10^{-4}$
[6]	~40	2	$\frac{N(Z \approx 32)}{N(Z \geq 20)} = 0,01$	$\approx 1,0 \cdot 10^{-3}$
[7]	≈ 32	1		

Из табл. 1 следует, что имеющийся к настоящему времени экспериментальный материал, относящийся к сверхтяжелым ядрам, во-первых, в силу своей противоречивости, не позволяет сделать определенный вывод о распространенности сверхтяжелых ядер в космических лучах. Во-вторых, эта таблица наглядно демонстрирует большую сложность изучения сверхтяжелых ядер различными методами, использующими воздухоплавательную технику: за 18 лет было зарегистрировано около 5 ядер с $Z \geq 40$. В третьих, при столь скудной статистике вопрос об энергетическом спектре сверхтяжелых ядер даже не может быть предметом обсуждения.

Естественно, что при планировании экспериментов на космических станциях «Протон» вопросу изучения химического состава космических лучей в области сверхтяжелых ядер было уделено большое внимание. Для этих целей был сконструирован черенковский спектрометр СЭЗ-1, обладавший большой светосилой и широким динамическим диапазоном, позволявшим измерять заряды ядер от $Z = 1$ до $Z \geq 50$ [13].

В табл. 2 приведены результаты измерения очень тяжелых и сверхтяжелых ядер с энергией $E \geq 400$ Мэв/нуклон, выполненные на ИСЗ «Протон-1» по 20 сеансам измерений. Во втором столбце указан номер витка, на котором произошел сеанс связи; в третьем — продолжительность сеанса измерений; в четвертом, пятом, шестом и седьмом — число ядер, зарегистрированных за данный сеанс измерений с разными Z . В последних трех столбцах даны отношения числа зарегистрированных сверхтяжелых ядер к ядрам с $Z \geq 21$. В последней строке таблицы приведены суммарное время измерения, общее число зарегистрированных ядер и усредненные отношения сверхтяжелых ядер к очень тяжелым. Неопределенность в зна-

Таблица 2

№	№ витка	t, мин.	N (Z > 21 ± 2)	N (Z > 30 ± 3)	N (Z > 40 ± 4)	N (Z > 48 ± 5)	N (Z > 21)		
							N (Z > 30)	N (Z > 40)	N (Z > 48)
1	161	581	311	3	0	0	0,01	0	
2	207	696	279	14	5	2	0,05	0,02	
3	218	567	118	2	1	1	0,02	0,01	
4	233	522	132	4	1	0	0,03	0,01	
5	238	232	107	5	0	0	0,05	0	
6	264	590	178	11	2	0	0,06	0,01	
7	284	284	89	5	1	0	0,06	0,01	
8	295	271	82	5	0	0	0,06	0	
9	300	335	100	3	0	0	0,03	0	
10	311	586	260	8	5	1	0,03	0,02	
11	315	277	101	5	5	1	0,05	0,05	
12	326	567	168	7	5	2	0,04	0,03	
13	346	458	122	3	0	0	0,02	0	
14	377	650	181	9	4	2	0,05	0,02	
15	393	748	186	9	4	2	0,05	0,02	
16	455	470	164	5	2	0	0,03	0,01	
17	470	631	141	6	0	0	0,04	0	
18	486	426	125	4	1	0	0,03	0,01	
19	532	626	137	2	1	0	0,02	0,01	
20	548	380	132	8	2	0	0,06	0,02	
Суммы и средние значения		9897	3113	118	39	11	0,038 ± 0,004	0,013 ± 0,002	0,004 ± 0,001

чений заряда ядер обусловлена возможным изменением электрических порогов интегральных дискриминаторов на $\pm 10\%$ и учетом разрешающей способности прибора. В табл. 3 приведены такие же данные для 20 сеансов измерений на ИСЗ «Протон-2».

Различная средняя интенсивность ядер на ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2» обусловлена разным характером вращения спутников. Отношение

Таблица 3

№	№ витка	t, мин.	N (Z > 21 ± 2)	N (Z > 42 ± 4)	N (Z > 48 ± 5)	N (Z > 21)	
						N (Z > 42)	N (Z > 48)
1	7	574	324	7	1	0,02	
2	13	567	326	1	0	0,003	
3	21	793	431	7	3	0,02	
4	28	669	263	8	0	0,03	
5	36	780	484	11	2	0,02	
6	44	767	414	4	0	0,01	
7	52	774	430	9	4	0,02	
8	59	664	383	4	1	0,01	
9	66	696	274	7	0	0,03	
10	74	760	431	11	4	0,03	
11	82	780	414	3	0	0,01	
12	90	767	381	8	1	0,02	
13	98	780	348	4	0	0,01	
14	105	664	305	7	2	0,02	
15	113	780	422	6	0	0,01	
16	121	760	401	10	4	0,02	
17	129	773	334	10	4	0,03	
18	136	664	385	3	0	0,01	
19	144	780	428	6	1	0,01	
20	160	876	418	1	1	0,002	
Суммы и средние значения		14630	7596	127	28	0,017 ± 0,002	0,004 ± 0,001

же интенсивностей различных групп ядер не должно зависеть от характера вращения спутников. Чтобы в этом убедиться, мы провели сравнение отношений различных групп более легких ядер на одном участке траектории, для которого была рассчитана ориентация прибора СЭЗ-1 относительно вертикали в различные моменты времени [14]. Из этой работы следует, что хотя от ориентации сильно зависит абсолютная интенсивность каждой группы ядер, отношение интенсивностей остается постоянным для любых ориентаций прибора. Поэтому естественным является и совпадение результатов, полученных на ИСЗ «Протон-1» и «Протон-2» для отношения групп сверхтяжелых ядер к очень тяжелым ядрам с $Z \geq 21$. Усредненная по измерениям на двух спутниках относительная распространенность в космических лучах сверхтяжелых ядер по отношению к очень тяжелым равна $0,038 \pm 0,004$ для $Z \geq 30 \pm 3$; $0,015 \pm 0,001$ для $Z \geq 40 \pm 4$ и $0,004 \pm 0,001$ для $Z \geq 48 \pm 5$.

Эти данные хорошо согласуются по порядку величины с усредненной оценкой распространенности сверхтяжелых ядер в космических лучах по работам [2, 3, 5—7], а также работы [9]. Сравнение же с относительной космической распространенностью сверхтяжелых ядер показывает, что по нашим данным в космических лучах ядер с зарядами ≥ 30 и ≥ 48 на порядок, а с зарядом ≥ 40 на два порядка больше, чем в среднем во Вселенной [10—12].

Такое обилие сверхтяжелых ядер в космических лучах можно объяснить, например, тем, что предполагаемый в работе [15] механизм преимущественного ускорения тяжелых ядер в источниках космических лучей распространяется и на область зарядов $\geq 30 \div 50$.

Из работ [8, 9, 14, 16] следует, что в первом приближении соотношение между различными группами ядер в области умеренных энергий, измеренными за одно и то же время, остается неизменным, что является следствием подобия их спектров. Поэтому, чтобы оценить энергетический спектр сверхтяжелых ядер, вся траектория спутника «Протон-2» примерно за 25 суток полета была разбита на три географические зоны — зону высокой широты, средней широты и экватора. В каждой зоне было подсчитано число зарегистрированных ядер с зарядом $Z \geq 2$ и сверхтяжелых ядер с $Z \geq 42 \pm 4$ и $\geq 48 \pm 5$. Результаты представлены в табл. 4, где просум-

Таблица 4

Географическая зона	t , мин.	$N(Z > 2)$	$\frac{N(Z > 42 \pm 4)}{N(Z > 2)}$	$\frac{N(Z > 48 \pm 5)}{N(Z > 2)}$	$\frac{N(Z \geq 42 \pm 4)}{N(Z > 2)}$	$\frac{N(Z \geq 48 \pm 5)}{N(Z > 2)}$
Высокие широты	$\approx 8,7 \cdot 10^3$	$1343 \cdot 10^3$	69	13	$(0,51 \pm \pm 0,07) \cdot 10^{-4}$	$(0,10 \pm \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$
Средние широты	$\approx 15,5 \cdot 10^3$	$1753 \cdot 10^3$	102	21	$(0,58 \pm \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$	$(0,12 \pm \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$
Экватор	$\approx 8,95 \cdot 10^3$	$586 \cdot 10^3$	40	9	$(0,68 \pm \pm 0,11) \cdot 10^{-4}$	$(0,16 \pm \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$

мировано время нахождения спутника в каждой географической зоне и числа зарегистрированных ядер с $Z \geq 2$, ≥ 42 и ≥ 48 . В двух последних столбцах таблицы даны отношения числа сверхтяжелых ядер и ядер с $Z \geq 2$, зарегистрированных за одно и то же время в одних широтных зонах. Соотношения эти в пределах статистических ошибок остаются неизменными. Это дает основание сделать вывод, что энергетические спектры сверхтяжелых ядер с зарядом $Z \geq 42 \pm 4$ и $\geq 48 \pm 5$ в пределах указанной точности подобны спектру ядер гелия в интервале умеренных энергий.

Из результатов наших измерений отношений интенсивностей сверхтяжелых ядер $I(Z \geq Z_j)$ и ядер с $Z \geq 2$ $I(Z \geq 2)$ и литературных данных для отношения интенсивностей $I(Z \geq 2)$ и всех космических лучей $I_{\text{к.л.}}$, которое равно $\sim 0,14$ [15], можно получить относительное содержание в космических лучах сверхтяжелых ядер с $Z \geq Z_j$

$$\frac{I(Z \geq Z_j)}{I_{\text{к.л.}}} = 0,14 \frac{I(Z \geq Z_j)}{I(Z \geq 2)}$$

По нашим измерениям

$$\frac{I(Z \geq 30)}{I_{\text{к.л.}}} = (2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-5},$$

$$\frac{I(Z \geq 40)}{I_{\text{к.л.}}} = (0,8 \pm 0,06) \cdot 10^{-5},$$

$$\frac{I(Z \geq 48)}{I_{\text{к.л.}}} = (0,2 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}.$$

В заключение авторы благодарят Л. И. Дормана и И. Л. Розенталя за проявленный интерес к настоящей работе и В. М. Гаврилову и Ю. Ф. Галактионову за помощь при обработке результатов измерений.

Дата поступления
30 января 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Ph. Freier, E. Lofgren, E. Ney, F. Oppenheimer, H. Bradt, V. Peters. Phys. Rev., 74, 213, 1948.
- Ph. Freier, E. Lofgren, E. Ney, F. Oppenheimer. Phys. Rev., 74, 1818, 1948.
- Ph. Freier, G. Anderson, J. Nangle, E. P. Ney. Phys. Rev., 84, 322, 1951.
- H. Yagoda. Phys. Rev., 80, 753, 1950.
- H. Yagoda. Phys. Rev., 85, 720, 1952.
- W. R. Webber, J. F. Ormes, T. von Rosenvinge. IX Internat. Conf. on Cosmic Rays. London, 1965.
- C. J. Waddington. Ibid.
- В. Л. Гинзбург, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, М. И. Фрадкин. Усп. физ. н., 82, 585, 1964.
- W. R. Webber. Handbuch der Physik, Preprint, 46/2, 1965.
- H. E. Sues, H. C. Urey. Rev. Mod. Phys., 28, 53, 1956; Г. Зюсс, Г. Юри. Усп. физ. н., 62, 101, 1957.
- A. G. W. Cameron. Astrophys. J., 129, 676, 1959.
- L. H. Aller. Abundance of the Elements. Interscience, New York, 1961; Л. Аллер. Распространенность химических элементов. ИЛ, 1963.
- Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров и др. Космич. исслед., 5, № 1, 119, 1967.
- Н. Н. Володичев, Н. Л. Григоров, В. Е. Нестеров, И. Д. Рапопорт, И. А. Савенко. Тр. Всесоюз. конф. по космич. лучам, Алма-Ата, 1966 (в печати).
- В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский. Происхождение космических лучей. Изд-во АН СССР, 1963.
- G. D. Badhwar, N. Durgaprasad, B. Vijayalakshmi. Proc. of the Indian Acad. of Sciences, 62, No. 1, Sec. A, 1965.