

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР И ЗАРЯДОВЫЙ СОСТАВ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ СВЫШЕ 2 ТэВ

*И.П.Иваненко, И.Д.Рапопорт, В.Я.Шестоперов, Ю.В.Басина,
П.В.Вакулов, Ю.Я.Васильев, Р.М.Голынская, Ю.П.Гордеев,
Л.Б.Григорьева, А.Е.Казакова, В.Д.Козлов, И.П.Кумпан,
Л.Г.Мищенко, В.М.Никаноров, Л.П.Папина, В.В.Платонов,
Д.М.Подорожный, Г.А.Самсонов, Л.Г.Смоленский, В.А.Собиняков,
Г.Е.Тамбовцев, Ю.В.Тригубов, И.М.Фатеева, А.Н.Федоров,
Л.А.Хейн, Л.О.Чикова, В.Я.Ширяева, Б.М.Яковлев, И.В.Яшин*

Представлены результаты измерений энергетического спектра и зарядового состава первичных космических лучей с энергией свыше 2 ТэВ и зарядами z от 1 (протоны) до ~ 30 . Эксперимент выполнен на приборах "Сокол" и "Сокол-2" на ИСЗ "Космос-1543" и "Космос-1713".

Результаты измерений энергетического спектра и зарядового состава частиц первичных космических лучей с $z \geq 2$ прибором "Сокол" были представлены в ¹. Аппаратура содержала два секционированных черенковских детектора заряда (ДЗ-1, ДЗ-2) и секционированный ионизационный калориметр (ИК) в $\sim 5,5$ пробегов для ядерного взаимодействия протонов. В 1985 – 86 гг. на ИСЗ "Космос-1713" в течение 347 ч проработал модернизированный прибор "Сокол-2". В нем были убраны ~ 700 -кратные светофильтры перед ФЭУ ИК, два верхних слоя поглотителя ИК из свинца толщиной 3 и 2 см заменены на железные, расширен диапазон измерений зарядов легких ядер детектором ДЗ-1.

Проведенные изменения позволили уменьшить погрешность измерения энергии (до $\sim 15\%$) и ее определенность в восстановлении пути частицы на уровне детектора заряда (до 0,5 – 1,0 см). В 1,5 – 2,0 раза уменьшалась величина обратного тока из ИК, что улучшило зарядовое разрешение аппаратуры.

В приборе "Сокол-2" управляющий сигнал на регистрацию события вырабатывался при совпадении трех сигналов: сигнала в одной из секций ДЗ-1, полного энерговыделения в ИК, превосходящего значение $E_{\text{пор}}$, и энерговыделения в m рядах поглотителя больше величины ϵ . Величины $E_{\text{пор}}$, m и ϵ менялись в процессе эксперимента. В основном режиме (254 ч) $E_{\text{пор}} = 1,2$ ТэВ, $m = 5$, $\epsilon = 22$ ГэВ. Часть времени (93 ч) величина $m = 7$, что близко к режиму первого эксперимента ($m = 7 \div 8$). Геометрический фактор прибора несколько отличался для разных ядер и составлял от 257 до 275 см² ср. Было зарегистрировано более 15 тыс. событий, из них в пределах телесного угла прибора (прохождение через детекторы заряда и нижнее основание ИК) около $2 \cdot 10^3$. (Более $1 \cdot 10^3$ таких событий было набрано в первом эксперименте за 245 ч).

Для дальнейшего анализа отбирались частицы, давшие непротиворечивые сигналы в обоих детекторах заряда и провзаимодействовавшие в трех верхних поглотителях ИК. Если обозначить через z_1 показания детектора легких ядер ДЗ-1 в единицах заряда и через z_2 – показания детектора тяжелых ядер ДЗ-2, то критерии разделения частиц по зарядам были выбраны следующие. Для протонов $-0,7 \leq z_1 \leq 1,5$, $z_2 < 4$; для ядер He $-1,5 < z_1 \leq 3,2$, $z_2 < 5$; для ядер группы M $-5 < z_2 \leq 9,5$, $z_1 > 3$; группы H $-9,5 < z_2 \leq 20,5$, $z_1 > 5$; группы VH $-20,5 < z_2 \leq 33$, $z_1 > 7$.

Для перехода от зарегистрированной к полной энергии E_0 вводились индивидуально для каждой частицы поправки на вынос энергии через нижние боковые поверхности ИК и на не регистрируемую в ИК энергию. Данные методически более чистых измерений второго эксперимента позволили уточнить энергетическую шкалу первого прибора и критерии отбора частиц по сравнению с ¹ и перейти к анализу всего получаемого материала.

На рис. 1 – 3 представлены объединенные по двум экспериментам энергетические спектры протонов, ядер He и ядер с $z > 5$ (сумма групп M, H и VH) в сравнении с результа-

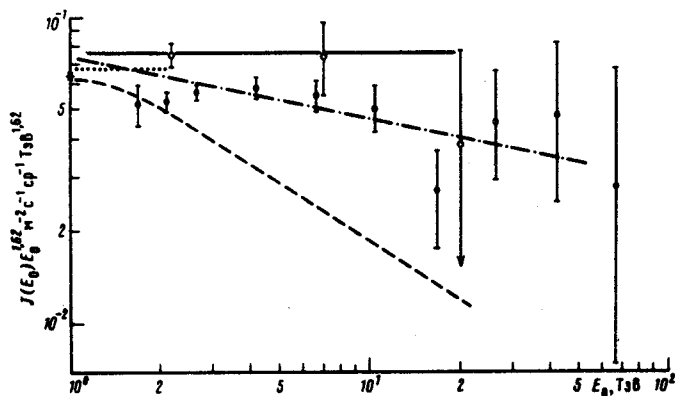


Рис. 1. Интегральный спектр протонов:

- — настоящая работа, — — — 3;
- * — 4; 5; —○— 6;
- . - . 7

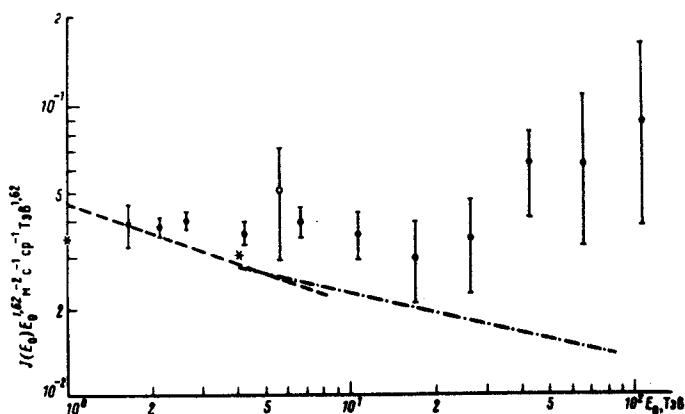


Рис. 2. Интегральный спектр ядер He:

- — настоящая работа; * — 4;
- . - . 7, ○ — 8; — — — 9

тами других авторов. При статистике менее 10 событий ошибки вычислялись в соответствии с ². В большинстве случаев наблюдается согласие с опубликованными данными по показателю спектра и по интенсивности. В то же время измеренный спектр протонов в области $E \geq 2 - 3$ ТэВ резко расходится с данными работы ³. В таблице 1 приведены значения показателей степени γ для интегральных энергетических спектров разных ядер в области $E_0 \geq E'$. В таблице 2 приведен зарядовый состав первичных частиц (в процентах) в области энергии свыше 2, 10 и 20 ТэВ в сравнении с опубликованными данными. В пределах статистических ошибок измерений показатели степени γ и зарядовый состав не обнаруживают зависимости от энергии.

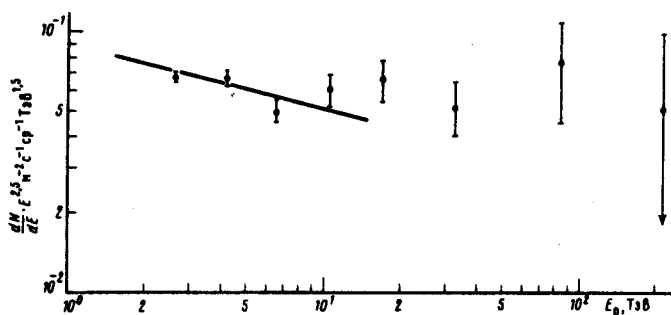


Рис. 3. Дифференциальный спектр ядер с $z > 5$: ● — настоящая работа; — — — — аппроксимация данных ¹⁰

Таблица 1

Группа ядер	γ		
	$E_0 > 2$ ТэВ	$E_0 > 5$ ТэВ	$E_0 > 10$ ТэВ
p	$1,58 \pm 0,09$	$1,79 \pm 0,18$	$1,99 \pm 0,35$
α	$1,62 \pm 0,10$	$1,60 \pm 0,16$	$1,43 \pm 0,26$
$z > 5$	$1,58 \pm 0,06$	$1,41 \pm 0,11$	$1,58 \pm 0,18$

Таблица 2

Группа ядер	Данная работа			Данные обзора ¹¹	
	> 2 ТэВ	> 10 ТэВ	> 20 ТэВ	> 1 ТэВ	> 10 ТэВ
p	38 ± 2	36 ± 7	30 ± 12	43	36
α	28 ± 2	25 ± 6	27 ± 10	19	19
M	13 ± 1	14 ± 4	12 ± 5	13,9	13
H	10 ± 1	15 ± 4	23 ± 7	15,1	16
VH	11 ± 1	10 ± 3	8 ± 4	9,6	14

Литература

1. *Иваненко И.П. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1986, 44, 200.
2. *Элен О.* Атомная техника за рубежом, 1985, 9, 29,.
3. *Григоров Н.Л. и др.* ЯФ, 1970, 11, 1058.
4. Лучи космические галактические. Госстандарт СССР, 1986.
5. *Ryan M.G. et al.* Phys. Rev. Lett., 1972, 28, 985.
6. *Акимов В.В.* Диссертация. НИИЯФ МГУ, ИКИ АН СССР, 1973.
7. *Barnett Y.W. et al.* Phys. Rev. Lett., 1983, 51, 1010.
8. *Yain et al.* Phys. Rev., 1959, 115, 654.
9. *Григоров Н.Л. и др.* Исследования космических лучей. М.: Наука, 1975, с. 20.
10. *Simon et al.* Astrophys. J. 1980, 239, 2, part I, 712.
11. *Linsley T.* Proc. 18 ICRC, 1983, 12, 135.

Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
20 сентября 1988 г.