

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЧАСТИЦ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРИ ЭНЕРГИЯХ $1 \div 100$ ТЭВ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА "СОКОЛ"

И.П.Иваненко, И.Д.Рапопорт, В.Я.Шестоперов, Ю.В.Басина,
П.В.Вакулов, Ю.Я.Васильев, Р.М.Гольнская, 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.Тригузов, И.М.Фатеева,
А.Н.Федоров, Л.А.Хейн, Л.О.Чикова, В.Я.Ширяева,
Б.М.Яковлев, И.В.Яшин

Представлены данные о спектре частиц первичного космического излучения и отношении потока протонов к потоку ядер с $z \geq 2$ в энергетическом интервале $1 \div 100$ ТэВ по данным экспериментов, выполненных на ИСЗ "Космос-1543" и "Космос"-1713".

Одним из основных вопросов физики космических лучей является экспериментальное определение энергетического спектра первичных частиц в области высоких энергий. В настоящее время спектр первичных космических лучей (ПКЛ) с энергией $E \lesssim 1$ ТэВ изучен различными методами ^{1, 2}, тогда как область энергий $1 \div 1000$ ТэВ прямыми экспериментальными методами изучена недостаточно. В данной области единственный эксперимент, осуществивший прямое измерение спектра всех частиц в энергиях на частицу, был выполнен на спутниках серии "Протон" ⁷⁻¹⁰. На спутниках серии "Протон" измерение спектра всех частиц проводилось измерением глобального потока ПКЛ, без разделения по зарядам, установкой калориметрического типа относительно малой толщины (от 1,7 до 3,1 пробега λ для взаимодействия протона).

Для изучения энергетического спектра и зарядового состава ПКЛ в области энергий $1 \div 100$ ТэВ были проведены эксперименты с научной аппаратурой "Сокол" на борту ИСЗ "Космос-1543" и "Космос-1713" ^{3, 4}. Аппаратура состояла из двух типов черенковских детекторов заряда, обеспечивавших разделение первичных частиц по зарядовым группам: протоны, α -частицы, группы M , N и VH . Энергия измерялась ионизационным калориметром с толщиной поглотителя 5,5 λ . Подробно аппаратура и критерии отбора частиц по зарядам в пределах телесного угла описаны в работах ⁴⁻⁶.

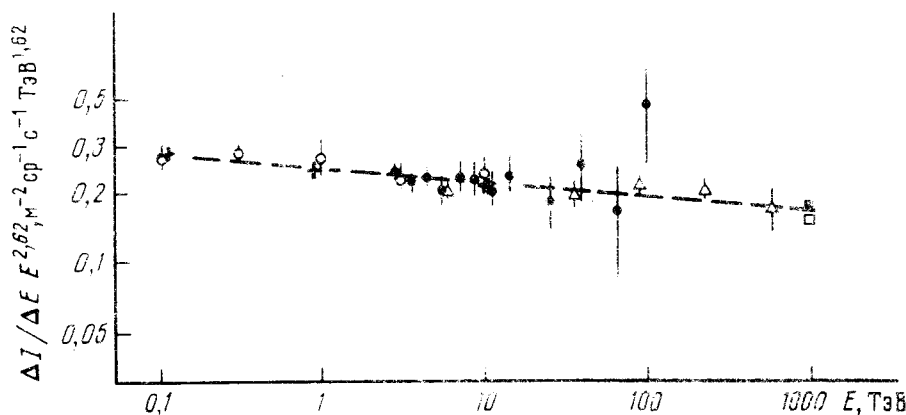


Рис. 1. Дифференциальный спектр всех частиц: ● — настоящая работа; + — ¹; ○ — ²; □ — малые ШАЛ ²; ◻ — МГУ ¹²; ■ — Акено ¹²; — — — ²

На рис. 1 представлены дифференциальные энергетические спектры всех частиц, зарегистрированных в обоих экспериментах; спектры получены в результате суммирования интенсивности отдельных зарядовых групп. На рис. 1 в области энергий больших 0,1 ТэВ в дифференциальном виде приведены также данные по спектру всех частиц из обзорных работ ^{1,2}. В них суммированы данные по интенсивности зарядовых групп, отдельно исследованных в разных экспериментах разными методами. Приведены также косвенные данные по малым ШАЛ (широкие атмосферные ливни), полученные в ² с использованием моделей с сохранением скейлинга. Пунктирная прямая — полученная в этой работе аппроксимация дифференциального спектра всех частиц. Критерий согласия χ^2 между нашими экспериментальными данными и этой аппроксимацией составляет $\chi^2=0,61$ на одну степень свободы.

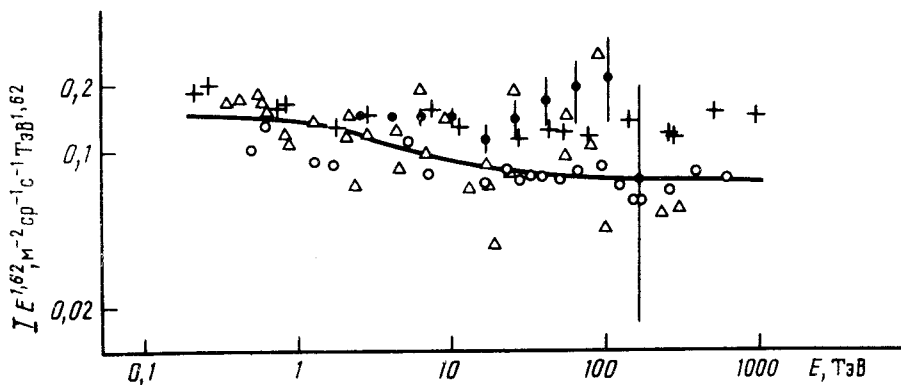


Рис. 2. Интегральный спектр всех частиц: ● — настоящая работа; + — 8,9; ○ — 7; △ — 10

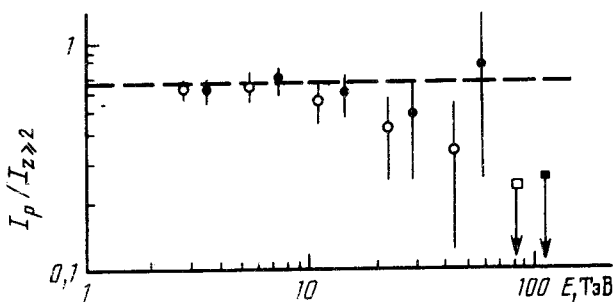


Рис. 3. Отношение интенсивности протонов к интенсивности ядер с $z \geq 2$ в составе первичных космических лучей: ○ — интегральное отношение; ● — дифференциальное отношение; --- 40% протонов

На рис. 2 приведен интегральный энергетический спектр всех частиц по данным приборов "Сокол". В диапазоне энергий $2 \div 70$ ТэВ этот спектр можно представить степенной функцией с показателем $\gamma - 1 = 1,60 \pm 0,04$, при этом интенсивность частиц с энергией $E \gg 2,5$ ТэВ составляет $(3,26 \pm 0,11) \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-2} \text{ ср}^{-1} \text{ с}^{-1}$. Для сравнения здесь приведены экспериментальные данные, полученные на ИСЗ серии "Протон", по публикациям ⁷⁻¹⁰, и аппроксимация этого спектра, приведенная в работе ¹⁰. Привязка энергетической шкалы в этих экспериментах осуществлялась по геомагнитному эффекту при энергии 12 ГэВ ¹⁰. Погрешность в определении показателя энергетического спектра $\Delta\gamma = 0,05$, связанная с неточностью энергетических измерений, может обусловить при этом погрешность в интенсивности частиц $\sim 25\%$ в области ~ 1 ТэВ. Методическая неопределенность наших данных также приводит к неопределенности в интенсивности $\sim 20\%$.

Особенностью аппроксимации спектра всех частиц по данным спутников "Протон" (рис. 2) является наличие "ступеньки" в спектре в области энергий $1 \div 10$ ТэВ, существ-

вание которой авторы выводили из измеренного крутого спектра первичных протонов¹⁰. На рис. 3 представлены дифференциальные и интегральные по энергии отношения интенсивности протонов к интенсивности всех ядер с $z \geq 2$ по данным приборов "Сокол". Из рисунка видно, что в статистически обеспеченной энергетической области до 20–30 ТэВ доля протонов в составе ПКЛ сохраняется на уровне $\sim 40\%$. Для интегрального по энергии отношения характерен аккумулирующий эффект, поэтому заниженные отношения связаны с событиями больших ~ 100 ТэВ энергий, где пока еще мала статистическая обеспеченность. Табличные данные по зарядовому составу ПКЛ, полученные в эксперименте "Сокол" приведены в¹¹.

Литература

1. *Linsley J.* 18 ICRC, Bangalore, 1983, 12, 135.
2. *Данилова Т.А. и др.* Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Техника физического эксперимента, 1984, вып. 3 (20), 20.
3. *Вернов С.Н. и др.* Изв. АН СССР. Сер. физич., 1985, 49, 1399.
4. *Григоров Н.Л. и др.* Вестник Московского университета, Сер. 3, Физика. Астрономия, 1988, 29, с. 44.
5. *Григоров Н.Л. и др.* Препринт НИИЯФ МГУ-88-43/63.
6. *Vernov S.N. et al.* 17 ICRC, Paris, 1981, 8, 45.
7. *Grigorov N.L. et al.* Space Research XI, Berlin, 1971, p. 1391.
8. *Grigorov N.L. et al.* Space Research XII, Berlin, 1972, p. 1617.
9. *Grigorov N.L. et al.* 12 ICRC, Hobart, 1971, 5, 1746.
10. *Григоров Н.Л. и др.* ЯФ, 1970, 11, 1058.
11. *Иваненко И.П. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 48, 468.
12. *Khristiansen G.B.* 20 ICRC, Moscow, 1987, 18, 54.

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

Поступила в редакцию
16 января 1989 г.