

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ И СОСТАВ ПЕРВИЧНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ВЫШЕ 10 ТэВ
НА ЧАСТИЦУ

© 1994 г. В. И. Зацепин, Т. В. Лазарева, Г. П. Сажина, Н. В. Сокольская

Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета

Поступила в редакцию 01.06.93 г.

В серии из 10 баллонных полетов, начатых в 1975 г. и продолжавшихся до 1987 г., были выполнены прямые измерения энергетических спектров основных компонент первичных космических лучей (ПКЛ). В настоящей статье приводятся результаты, полученные с использованием всей накопленной статистики. Показано, что спектр протонов ПКЛ при энергиях выше 10 ТэВ круче, чем в области меньших энергий и круче спектров остальных ядер.

ВВЕДЕНИЕ

Для выяснения механизмов ускорения и природы источников космических лучей наибольший интерес в экспериментальном плане представляют измерения энергетических спектров основных групп ядер ПКЛ в области энергий выше 1 ТэВ. Впервые такие измерения были выполнены на спутниках "Протон" [1]. Исследование этой области энергий было продолжено в двух баллонных экспериментах с рентгеноэмульсионными камерами: JACEE [2, 3] и MUBEE (Moscow University Balloon Emulsion Experiment) [4], а также в эксперименте "Сокол" с калориметром, экспонировавшемся в космическом пространстве [5, 6]. В этой статье мы представим суммарные результаты, полученные в эксперименте MUBEE в серии из шести коротких ($\Sigma T = 260$ ч) и четырех длительных ($\Sigma T = 600$ ч) экспозиций.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Каждая рентгеноэмульсионная камера, экспонировавшаяся на баллонах, состояла из 25 слоев свинцового поглотителя и регистрирующих рентгеновских и ядерных пленок между ними. Рентгеновские пленки использовались для визуального поиска каскадов и определения их энергии ΣE_γ фотометрическим методом. Ядерные эмульсии служили для определения траектории частицы, измерения ее заряда и калибровки фотометрического метода методом счета треков. Верхние 10 слоев собирались из пластин свинца толщиной 1 мм и пакетов с одним листом ядерной пленки типа Р-2Т-50. Следующие 15 слоев собирались из 5-мм пластин свинца и пакетов с двумя слоями пленок: одним слоем ядерной пленки Р-2Т-50 и одним слоем рентгеновской пленки РТ-6М. Пакеты были свето- и водонепроницаемыми и из них был откачан воздух. Площадь камеры составляла ~ 0.4 м², толщина поглотителя по вертикали – 14.7 каскадных единиц.

Пространственная точность при прослеживании траекторий в ядерных эмульсиях составляла ~ 200 мкм, угловая точность – $\sim 0.2^\circ$. Заряд первичных частиц с $Z \geq 6$ измерялся путем сканирования трека в ядерной эмульсии на сканирующем микрофотометре. Разрешение по Z составляло 1, 1.7 и 3 ед. заряда соответственно для ядер групп M ($6 \leq Z \leq 8$), H ($10 \leq Z < 20$) и VH ($Z \geq 20$) [7]. Заряд ядер гелия определялся методом счета зерен. Если на траектории каскада не было найдено трека первичной частицы с зарядом $Z \geq 2$, то каскад считался образованным протоном. Из протонной группы были исключены каскады, генерированные вторичными частицами из ядерных взаимодействий в остаточной атмосфере и образующие в камере семейства с одинаковыми углами. Фон одиночных γ -квантов из остаточной атмосферы составлял $\sim 5\%$ от протонных каскадов.

Электромагнитная энергия ΣE_γ определялась в рентгеновских пленках по максимальной оптической плотности на переходной кривой. При измерении энергетических спектров дисперсия ($\sim 12\%$) и смещение среднего измеренного значения ΣE_γ приводят к завышению измеренной интенсивности. Величина этого завышения $k_1 = 1.25$. При определении ΣE_γ учитывалось отличие каскадов, образованных различными ядрами при одинаковом энерговыделении, связанное с тем, что энергия на нуклон у ядер меньше, чем у протонов, и угловое распределение γ -квантов в пучке вторичных частиц шире [8]. Полная энергия первичной частицы типа j определялась из соотношения

$$E_j = \Sigma E_\gamma / (k_{\gamma, eff})_j,$$

где

$$(k_{\gamma, eff})_j = \left[\int k_\gamma^{\beta_j} [f(k_\gamma)]_j dk_\gamma \right]^{1/\beta_j},$$

β_j – показатель интегрального спектра, $f(k_\gamma)$ – распределение значений k_γ . Для столкновения нуклона с ядром свинца было принято $f(k_\gamma) = A \exp(-k_\gamma/0.2)$. Для столкновений ядро–ядро $f(k_\gamma)$ рассчитывалось в предположении, что нуклоны налетающего ядра испытывают независимые столкновения с ядром мишени. Значения $(k_{\gamma, \text{eff}})_j$, рассчитанные для спектров с показателем $\beta = 1.7$, приведены в табл. 1.

Отметим, что функция $f(k_\gamma)$ экспериментально не измерена и вычисляется из распределения полного коэффициента неупругости $f_0(k)$. Неопределенность этого распределения является наиболее существенной причиной неопределенности в значениях $k_{\gamma, \text{eff}}$. Масштаб неопределенности оценен в работе [9]. При использовании равномерного распределения коэффициента неупругости получается экспоненциальное распределение $f(k_\gamma)$ и $k_{\gamma, \text{eff}} = 0.25$. Если же принять распределение, полученное во FNAL для $p_i = 300$ МэВ/с при $E_0 = 100$ ГэВ, то $k_{\gamma, \text{eff}} = 0.29$. В приведенных выше оценках предполагалось, что $f_0(k)$ не зависит от энергии. Это равносильно предположению о сохранении скейлинга во фрагментационной области. В этом случае спектр каскадов имеет тот же показатель β , что и первичный спектр. По современным представлениям возникающие здесь погрешности, по-видимому, невелики [9]. Небольшой поправкой, связанной с ростом сечения взаимодействия с энергией, также пренебрегаем. Неопределенность в величине $k_{\gamma, \text{eff}}$ в методиках, подобных эмульсионной, приводит к неопределенности абсолютного значения энергии первичной частицы и, следовательно, к некоторой неопределенности в интенсивности потоков, в то время как показатель спектра определяется с гораздо большей надежностью.

Для определения абсолютного потока вычислялась обобщенная характеристика экспозиции $\Gamma = \langle S\Omega\eta W \rangle$. Она учитывала не только геометрический фактор прибора $S\Omega$, но и трансформацию первичного потока в остаточной атмосфере (η) и вероятность взаимодействия в камере (W) при заданных условиях отбора. Условия отбора требовали, чтобы для развития каскада от точки взаимодействия до дна камеры оставалось не менее семи каскадных единиц вдоль траектории частицы.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В табл. 2 приведена информация о выполненной экспозиции. Статистические данные о количестве зарегистрированных первичных частиц (N) в интервале зенитных углов $25 - 60^\circ$ приведены в табл. 3. В ней указаны также факторы экспозиции Γ ($\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ч}$) для каждого энергетического интервала и каждого типа первичной частицы. Меньшие значения фактора Γ в некоторых младших

Таблица 1

j	$k_{\gamma, \text{eff}}$	j	$k_{\gamma, \text{eff}}$
p	0.25	M	0.116
He	0.17	H	0.106
		VH	0.09

Таблица 2

Камера	Дата и место старта	Высота и длительность полета		$\langle S\Omega \rangle$, $\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ч}$
		г/см ²	ч	
5	09.75 г., Вольск	10.8	71	39.7
12	08.78 г., Вольск	12.8	28.2	17.8
13	09.78 г., Вольск	9.4	28	17.6
14	09.78 г., Вольск	7.4	54.4	34.3
15	09.78 г., Вольск	10.6	32	20.2
16	09.78 г., Вольск	14.2	46	28.9
23	07.86 г., Камчатка	13	158	95.3
24	07.86 г., Камчатка	13	152	91.6
25	07.87 г., Камчатка	13	155	93.5
26	07.87 г., Камчатка	13	155	93.5

Таблица 3

E , ТэВ	p^*		He		M		H		VH	
	N	ГТ	N	ГТ	N	ГТ	N	ГТ	N	ГТ
10 - 12.6	194	90								
12.6 - 15.8	137	113								
15.8 - 20	104	113	22	50	15	93				
20 - 25	70	136	11	50	15	93	21	76		
25 - 40	61	136	8	50	24	141	27	76	3	65
40 - 80	27	136	4	50	17	141	21	115	2	65
80 - 160	7	136	5	50	7	141	9	115	2	98
160 - 320	2	136	0	50	4	141	2	115	0	98
>320	0	136	1	50	0	141	0	115	0	98

энергетических интервалах связаны с более высокими энергетическими порогами по измеренной энергии ΣE_γ в двух длительных экспозициях по сравнению с остальными экспозициями.

В длительных полетах из-за высокого фона нам не удалось идентифицировать каскады, образованные ядрами гелия (в дальнейшем α -каскады). Поэтому спектр ядер гелия построен только по шести коротким полетам. Для построения суммарного по всем экспозициям спектра протонов мы использовали смесь протонных и α -каскадов (p^* в табл. 3). В коротких полетах доля α -каскадов в смеси $p + \alpha$ составляла $(24 \pm 4)\%$. Поэтому

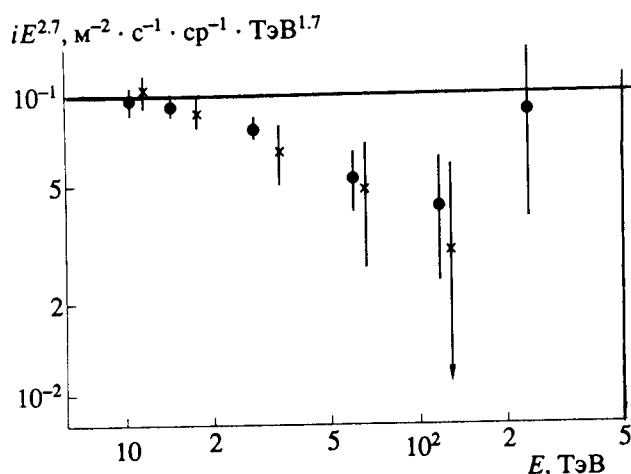


Рис. 1. Сравнение спектров протонов, полученных в коротких (x) и длительных экспозициях (●).

интенсивность протонов мы определяли по формуле

$$i_p = N(p^*) / (\Delta E \Gamma_p T k_1 k_2), \quad (1)$$

где $k_1 = 1.25$ учитывает искажения, связанные с измерением энергии, а $k_2 = 1.24$ учитывает примесь α -каскадов. Интенсивность остальных групп ядер определялась по формуле

$$i_j = N(j) / (\Delta E \Gamma_j T k_1). \quad (2)$$

Сравнение получаемого таким образом протонного спектра в длительных полетах с протонным спектром, измеренным в коротких полетах, показано на рис. 1. Видно, что результаты совпадают.

3. СПЕКТР ПРОТОНОВ

Основным результатом работы являются экспериментальные данные по протонному спектру, так как именно для протонной компоненты собрана наибольшая статистика. Полученный нами дифференциальный спектр протонов представлен на рис. 2. Он может быть описан в виде

$$i_p = A E^{-(\beta + 1)},$$

где $A = 0.3 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \text{ ТэВ}^{-1}$, а $\beta + 1 = 3.14 \pm 0.08$, E в единицах ТэВ. Известно, что в области энергий < 1 ТэВ показатель протонного спектра $\beta + 1 = 2.6 - 2.7$, так что измеренное нами значение 3.14 ± 0.08 в области > 10 ТэВ существенно отличается от значения в области меньших энергий. Таким образом, наши данные свидетельствуют о том, что в области энергий до 10 ТэВ имеет место существенное укрупнение (излом) протонного спектра.

Сравнивая с нашей статистика протонных событий для области > 10 ТэВ собрана только коллаборацией JАСЕЕ [3]. Эти данные также приведены на рис. 2. Видно, что в области энергий > 10 ТэВ наши данные и данные JАСЕЕ практически совпадают. Такое совпадение приходится констатиро-

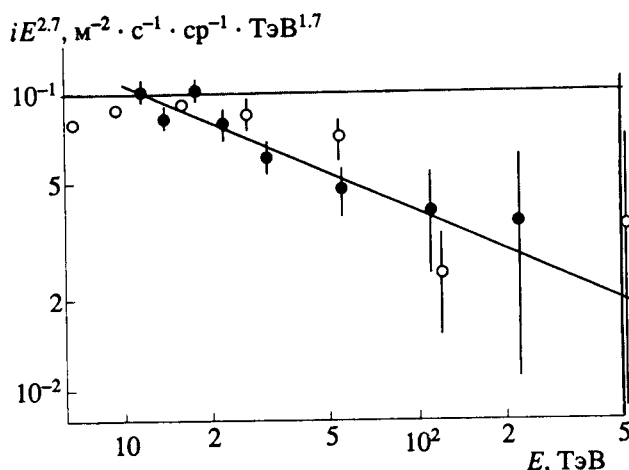


Рис. 2. Дифференциальный спектр протонов: ● – настоящая работа, ○ – данные JАСЕЕ [3], сплошная линия – степенной спектр с показателем $\beta + 1 = 3.14$.

вать впервые с тех пор, как обе группы сообщили свои первые результаты по протонному спектру. Наши данные и при меньшей статистике указывали на то, что протонный спектр в области энергий > 10 ТэВ круче, чем в области энергий < 1 ТэВ [10], в то время как данные JАСЕЕ свидетельствовали об отсутствии изменений наклона вплоть по крайней мере до 100 ТэВ [11]. После добавления статистики из длительных полетов ситуация в JАСЕЕ стала меняться. В работе [3] авторы отмечают недостаток протонов при высоких энергиях и интерпретируют этот факт как возможное укрупнение спектра в области энергий > 40 ТэВ. Такая интерпретация в значительной степени определяется низкой интенсивностью, измеренной JАСЕЕ в области энергий от 5 до 10 ТэВ (первая точка в данных JАСЕЕ на рисунке). Эта точка позволяет авторам провести спектр с наклоном 2.62 вплоть до 40 ТэВ и говорить об изломе только в области более высоких энергий.

4. МОДЕЛЬ ПРОТОННОГО СПЕКТРА

Экспериментальные данные по спектру протонов в широком энергетическом диапазоне собраны на рис. 3. В области до 1 ТэВ наклон протонного спектра равен 2.6 - 2.7. Первые измерения в области энергии более 1 ТэВ были выполнены на спутниках "Протон" [1]. В этом эксперименте было обнаружено укрупнение спектра протонов и отличие его от спектра остальных ядер ПКЛ. Результаты были аппроксимированы авторами выражением

$$i(\geq E) = 3(0.1/E)^{1.62} [1 + (E/a)^2]^{-\Delta\beta/2}, \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}, \quad (3)$$

где E выражено в единицах ТэВ, а значения параметров были следующими: $a = 1.5$ ТэВ, $\Delta\beta = 0.7$.

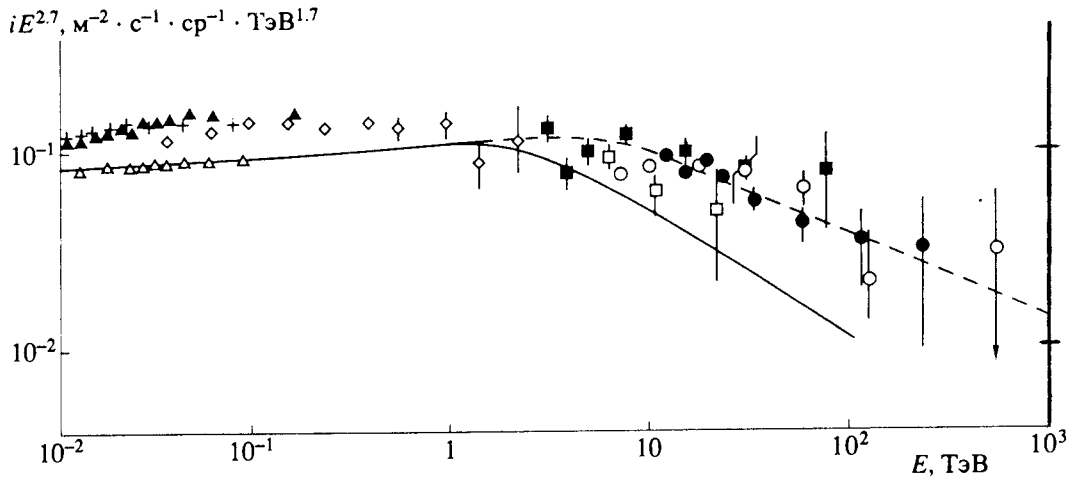


Рис. 3. Дифференциальный спектр протонов в области от 10 ГэВ до 1000 ТэВ. Точки: Δ , + – данные работы [12], \triangle – [13], \diamond – [14], \square – [5], \blacksquare – [6], \circ – [3], \bullet – настоящая работа. Сплошная кривая – аппроксимация данных из работы [1] формулой (4) с параметрами $a = 1.5$, $\Delta\beta = 0.7$; штриховая – расчет по формуле (4) с параметрами $a = 3.75$, $\Delta\beta = 0.5$.

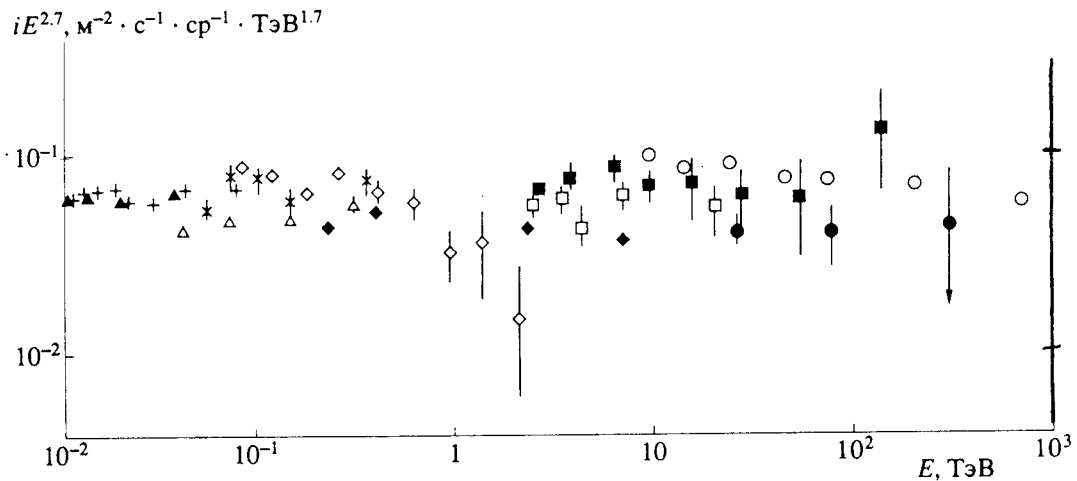


Рис. 4. Спектр ядер гелия: Δ , + – данные работы [12], \triangle – [13], \diamond – [14], \times – [15], \blacklozenge – [1], \square – [5], \blacksquare – [6], \circ – [3], \bullet – настоящая работа.

Дифференциальный спектр должен тогда иметь вид

$$di/dE = 0.072a^{-2.62}x^{-2.62}(1+x^2)^{-\Delta\beta/2} \times [1.62 + (\Delta\beta x^2)/(1+x^2)] M^{-2} \cdot c^{-1} \cdot sr^{-1} \cdot TэВ^{-1}, (4)$$

$$x = E/a.$$

На рис. 3 эта аппроксимация представлена сплошной кривой. Наши данные не описываются этой аппроксимацией, но их можно описать выражением (4) с параметрами $a = 3.75$ ТэВ и $\Delta\beta = 0.5$ (штриховая кривая на рис. 3). Эта же кривая описывает и данные JАСЕЕ. Результаты эксперимента “Сокол” приведены на рис. 3 в двух вариантах [5, 6], отличающихся в основном интенсивностью. Данные работы [6] не противоречат

штриховой кривой, в то время как для описания точек из работы [5] требуются параметры $a = 2$ и $\Delta\beta = 0.5$ в выражении (4).

При восстановлении спектра протонов по спектрам каскадов в экспериментах с эмульсионными камерами неопределенность в величине $k_{\gamma, eff}$, о которой говорилось в разд. 1, приводит к неопределенности в величине параметра a . В эксперименте JАСЕЕ и у нас использовалась одинаковая величина $k_{\gamma, eff} = 0.25$. Напомним, что для протонов, так же как и для других ядер, $k_{\gamma, eff}$ была нами рассчитана при $\beta = 1.7$. Несмотря на то, что измеренный нами спектр протонных каскадов имеет больший показатель, мы при переходе к спектру протонов использовали значение $k_{\gamma, eff} = 0.25$, чтобы не подчеркивать наблюдаемый эффект. Для значения $\beta = 2.14$ $k_{\gamma, eff} = 0.27$, что

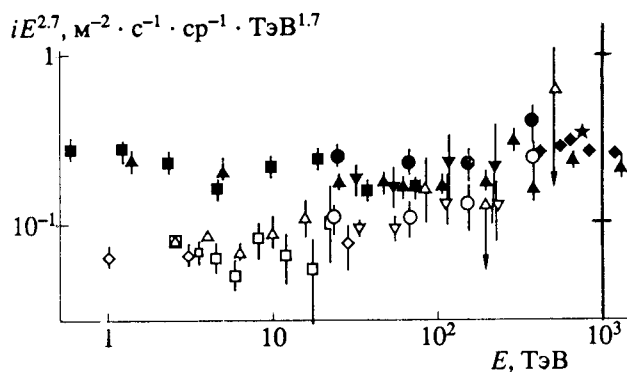


Рис. 5. Спектры ядер с $Z \geq 6$ (светлые точки) и всех частиц (темные точки). \diamond – данные работы [16], \square – [5], \triangle – [6], \circ – [2], \blacksquare , \blacktriangle – [17], \blacklozenge – [18], \star – [19], \bullet – [2, 3], ∇ , \blacktriangledown – настоящая работа.

уменьшает значение a до величины 2.5 ТэВ. Использование вместо равномерного распределения $f_0(k_\nu)$ распределения, полученного во FNAL, вместе с крутым спектром протонов дает $a \sim 2.0$ ТэВ.

Таким образом, эмульсионные эксперименты в области энергий выше 5 - 10 ТэВ указывают на существование излома в спектре протонов, но не дают точного ответа о его месте на энергетической шкале.

5. СПЕКТР ЯДЕР ГЕЛИЯ

На рис. 4 показан спектр ядер гелия. Для сравнения приводятся также данные других авторов. Из рисунка видно, что между данными разных авторов имеются значительные систематические различия как по абсолютной интенсивности, так и по наклону спектра. Этот разброс наблюдается не только в области высоких энергий, но, к сожалению, и в области меньших энергий. В области энергий 0.5 - 3.0 ТэВ экспериментальные данные практически отсутствуют (имеются только статистически плохо обеспеченные данные [14]). Разброс данных в области энергий >3 ТэВ обусловлен как ограниченной статистикой, так и недостаточной точностью измерения энергии. В эмульсионных данных возможны дополнительные погрешности, связанные с неполным разделением протонных и α -каскадов в условиях высокого фона. Нам представляется, что в этих условиях вывод JАСЕЕ [11] о возрастании обилия ядер гелия в области энергий >5 ТэВ, по сравнению с обилием в области меньших энергий, не является убедительным. При существующих точностях вполне допустима степенная экстраполяция из области низких энергий в область высоких энергий с обычным наклоном $\beta_{\text{He}} + 1 = 2.6 - 2.7$. Уменьшение отношения p/He в области энергий >5 ТэВ, обнаруженное в экспериментах JАСЕЕ и “Сокол”, свидетельствует, по нашему мнению, об ук-

ручении спектра протонов, а не об аномалии в спектре ядер гелия.

6. СПЕКТР ЯДЕР И СПЕКТР “ВСЕХ ЧАСТИЦ”

Спектр ядер с $Z \geq 6$ приведен на рис. 5. Наряду с нашими данными на этом рисунке приведены также данные JАСЕЕ [2], “Сокол” [5, 6] и данные Чикагской группы [16]. Спектр JАСЕЕ для $Z \geq 6$ построен нами путем суммирования интенсивностей отдельных групп ядер, приведенных на графике в работе [2]. Спектр всех ядер с $Z \geq 6$ для Чикагского эксперимента построен по данным [16] после интерполяции приведенных там интенсивностей для отдельных ядер к одинаковой полной энергии. Видно довольно хорошее согласие данных разных экспериментальных групп. Некоторые систематические различия обусловлены недостаточной точностью определения энергии и, по-видимому, находятся в пределах объявленной точности. Вся совокупность данных свидетельствует о довольно пологом спектре всех ядер с $Z \geq 6$ с показателем $\beta + 1 = 2.5 - 2.6$.

На рис. 5 показан также спектр всех частиц. В области >1 ТэВ этот спектр впервые был измерен на спутниках “Протон 1 - 4” [17]. В области энергий $>5 \times 10^{14}$ эВ спектр всех частиц изображен по данным ШАЛ [18, 19]. Наши данные и данные JАСЕЕ, представленные на этом рисунке, получены суммированием отдельных компонент. Видно, что наши данные хорошо согласуются с данными работы [17]. Между нашими данными и данными JАСЕЕ существует некоторое систематическое различие в интенсивностях, хотя характер спектра одинаков. Из рис. 5 видно, что спектры ядер и “всех частиц” различны, и в области больших энергий спектр всех частиц состоит в основном из ядер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе с помощью эмульсионной камеры, экспонировавшейся на баллонах, измерены энергетические спектры основных компонент ПКЛ в области энергий >10 ТэВ и получены следующие результаты.

1. Энергетический спектр протонов в степенном представлении имеет показатель $\beta + 1 = 3.14 \pm 0.08$. Эта величина не согласуется со значением в области меньших энергий и указывает на излом спектра протонов при энергии 2 - 4 ТэВ. Изменение наклона спектра протонов составляет $\Delta\beta + 1 = 0.5 \pm 0.1$.

2. Спектры остальных групп ядер не противостоят степенной экстраполяции из области меньших энергий с показателем 2.6 - 2.7.

3. Спектр всех частиц в области энергий 30 - 300 ТэВ согласуется с данными эксперимента “Протон” [17].

Совокупность экспериментальных данных разных авторов позволяет сделать вывод об изменении состава космических лучей при энергии >1 ТэВ. К такому заключению приводят два практически независимых экспериментальных результата: более крутые, чем в области меньших энергий, спектры протонов и сближение по интенсивности спектра ядер и спектра "всех частиц", измеренного в работе [17]. Обнаруженное различие показателей энергетических спектров протонов и других ядер, имеющее фундаментальное значение для теории происхождения и распространения космических лучей, представляется в настоящее время достаточно обоснованным и требует уже не только экспериментального подтверждения, но и осмысления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григоров Н.Л., Нестеров В.Е., Панопорт И.Д. и др. // ЯФ. 1970. Т. 11. С. 1058.
2. Asakimori K., Barnett T.H., Cherry M.L. et al. // Proc. 22 ICRC. 1991. V. 2. P. 57.
3. Asakimori K., Barnett T.H., Cherry M.L. et al. // Proc. 22 ICRC. 1991. V. 2. P. 97.
4. Zatsepin V.I., Zamchalova E.A., Varkovitskaya A. Ya. et al. // Proc. 21 ICRC. 1990. V. 3. P. 81.
5. Григоров Н.Л. // ЯФ. 1990. Т. 51. С. 157.
6. Ivanenko I.P., Rapoport I.D., Shestoperov V.Ya. et al. // Proc. 21 ICRC. 1990. V. 3. P. 77.
7. Dezhurko M.D., Rakobolskaya I.V., Sazhina G.P. et al. // Proc. 17 ICRC. 1981. V. 9. P. 315.
8. Abulova V.G., Hein L.A., Mandritskaya K.V. et al. // Proc. 18 ICRC. 1983. V. 9. P. 179.
9. Barnett T.H., Dake S., Fuki M. et al. // Nucl. Instr. and Meth. A. 1990. V. 251. P. 283.
10. Kanevsky B.L., Sazhina G.P., Sokolskaya N.V. et al. // Proc. 20 ICRC. 1987. V. 1. P. 371.
11. Barnett T.H., Dake S., Derrickson J.H. et al. // Ap. J. 1990. V. 349. L25 - L28.
12. Webber W.R., Golden R.L., Stephens S.A. // Proc. 20 ICRC. 1987. V. 1. P. 325.
13. Seo E.S., Ormes J.F., Streitmatter R.E. et al. // NRL Publication 209-4154. 1991. P. 49.
14. Ryan M.J., Ormes J.F., Balasubrahmanyam V.K. // Phys. Rev. Lett. 1972. V. 28. P. 985.
15. Smith L.H., Buffington A., Smot A. et al. // Ap. J. 1973. V. 180. P. 987.
16. Müller D., Swordy S.P., Meyer P. et al. // Ap. J. 1991. V. 374. P. 356.
17. Григоров Н.Л., Панопорт И.Д., Шестоперов В.Я. Частицы высоких энергий в космических лучах. М.: Наука, 1973.
18. Hara T., Hayashida N., Honda M. et al. // Proc. 18 ICRC. 1983. V. 9. P. 198.
19. Никольский С.И. // УФН. 1962. Т. 78. С. 365.

ENERGY SPECTRA AND COMPOSITION OF PRIMARY COSMIC RAYS IN THE ENERGY REGION ABOVE 10 TeV PER NUCLEUS

V. I. Zatsepin, T. V. Lazareva, G. P. Sazhina, N. V. Sokolskaya

The direct measurements of the energy spectra of the cosmic ray main components were carried out in a series of 10 balloon flights of emulsion chambers during 1975 - 1987. This paper presents the results obtained using total statistics. It is shown that at the energies higher than 10 TeV the proton spectrum is steeper than in lower energy region and steeper than the spectra of other nuclei.