

О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ $\sim 10^{15}$ ЭВ

С. И. Никольский, И. Н. Стаменов, В. Д. Янминчев

УДК 537.591.15

На базе анализа флуктуационных распределений потока мюонов ШАЛ показано, что первичное космическое излучение в области энергии 10^{15} эВ не может быть представлено как одними протонами, так и одними ядрами железа. Наиболее вероятным оказывается сложный состав, сильно ($\sim 50\%$) обогащенный протонами.

Возможность исследования химического состава первичного космического излучения в области сверхвысоких энергий /1/ с помощью анализа феноменологических характеристик широких атмосферных ливней (ШАЛ) представляет пока значительный интерес, поскольку применение соответствующих прямых методов все еще ограничивается энергиями не выше 10^{13} эВ.

В основу настоящего анализа положены экспериментальные характеристики мюонной компоненты с $E_{\mu} > 5$ ГэВ на уровне гор, полученные по данным Тянь-Шаньской комплексной установки /2/. Детали эксперимента и статистической обработки данных подробно описаны в наших предыдущих работах /3, 4, 5/.

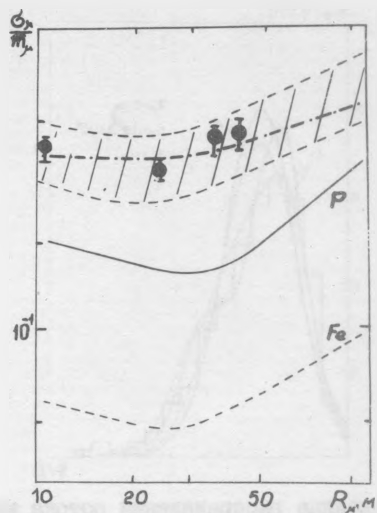
Сравнение экспериментальной зависимости полного числа мюонов от числа электронов в ливнях величиной $10^5 - 10^7$ с результатами модельных расчетов, проведенных для уровня наблюдения $x_0 \approx 700$ г/см² разными авторами в работах /6, 7, 8/ не позволяет определить состав первичного излучения из-за чувствительности этого отношения к предположениям о процессах множественной генерации в адронных столкновениях при различных энергиях вплоть до $\sim 10^{15}$ эВ. Экспериментальные данные могут быть аппроксимированы /9/ зависимостью

$$N_{\mu} = (1,26 \pm 0,02) \cdot 10^4 \left[N_e / 10^6 \right]^{0,80 \pm 0,01}.$$

В отличие от моделей с усиленной зависимостью множественности от энергии, модель, соответствующая скейлингу, существенно отличается по значению показателя в зависимости $N_{\mu} \sim N_e^{\alpha}$ от эксперимента ($\Delta\alpha \approx 0,2$). Что касается среднего числа мюонов, то такая модель дает близкую к эксперименту величину потока лишь в предположении, что первичное излучение состоит из ядер железа и лишь при небольшой энергии первичных частиц ($\lesssim 10^{14}$ эВ). Модель с высокой множественностью трудно согласовать с экспериментом по величине потока мюонов, не предполагая подавляющей роли первичных протонов. Традиционная модель СКР с учетом возможности вариации некоторых параметров модели не противоречит экспериментальным данным о зависимости $N_{\mu} \sim N_e^{\alpha}$ при произвольном составе первичного космического излучения. Вышесказанное позволяет сузить выбор модели при анализе флуктуаций потока мюонов в ливне с целью определения состава первичного космического излучения.

Анализ зависимости величины относительных дисперсий флуктуационных распределений мюонного потока от расстояния до оси ливня с заданным числом электронов проведен в рамках стандартной СКР модели /2/ и с упрощенным химическим составом, состоящим только из смеси протонов и ядер железа (рис. 1). Учитывая статистические и систематические /4/ неточности экспериментальных данных, можно заключить, что с 95% вероятностью вклад протонов в таком упрощенном составе не может быть меньше 30% и более 80% при энергиях $\sim 10^{15}$ эВ.

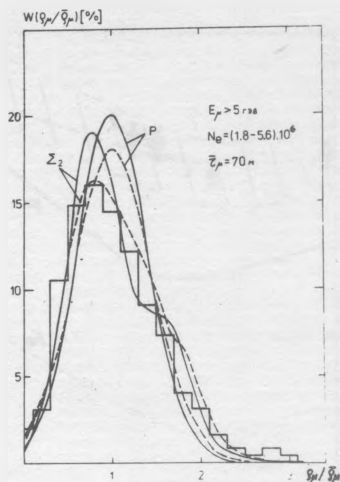
На рис. 2 и 3 проводится более полное сравнение экспериментальных и рассчитанных распределений ливней с числом электронов $2,2 \cdot 10^6$ по относительной величине плотности потока мюонов на расстоянии 70 м от оси ливня. Расчетные кривые получены для традиционной модели СКР /6/ и модели высокой множественности /10/ в нескольких предположениях о составе первичных частиц космического излучения при энергии $\sim 10^{15}$ эВ. При этом расчетные распределения включают в себя и флуктуации, связанные с учетом влияния аппаратурных и алгоритмических неточностей /5/ на определяемые характеристики потока мюонов. Ливни от первичных ядер рассматривались как усредненная сумма соответствующего числа ливней от первичных протонов. Экспериментальные и расчетные флуктуационные распределения типа $w(\rho_{\mu}/\bar{\rho}_{\mu})$, $N_e = \text{const}$, $r_{\mu} = \text{const}$ сравнивались с помощью критерия Пирсона. Результаты соответствующих



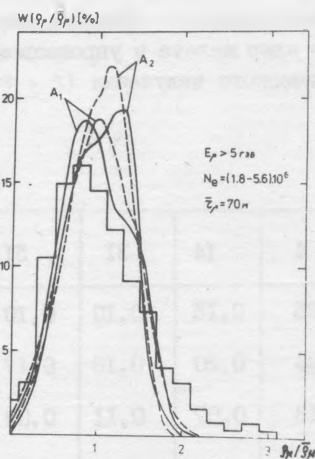
Р и с. 1. Зависимость величины относительной дисперсии флуктуационных распределений потока мюонов с $E_{\mu} > 5$ ГэВ от расстояния до оси ливня. Точки - эксперимент /2/; кривые - расчет по СКР модели; заштрихованная область - область допустимых соотношений количеств протонов и ядер железа в упрощенном составе первичного космического излучения (P + Fe)

Таблица I

A состав	I	4	I4	3I	5I	уровень значимости	
						СКР	ВМ
$A_I/II/$	0,40	0,25	0,15	0,10	0,10	0,01	0,01
$A_2/II/$	0,24	0,23	0,20	0,16	0,17	0,01	0,01
Σ_2	0,60	0,13	0,07	0,11	0,09	0,80	0,95
P	1,00	-	-	-	-	0,01	0,01
Fe	-	-	-	-	1,00	0,01	0,01



Р и с. 2. Флуктуационные распределения потока мюонов с $E_{\mu} > 5 \text{ TeV}$
 $W(r_{\mu}/\bar{r}_{\mu})$, $N_e = \text{const}$, $r_{\mu} = \text{const}$, в ливнях с заданным числом
 электронов $N_e = 2,2 \cdot 10^6$. Расчет по модели СКР



Р и с. 3. Флуктуация потока мюонов в ливнях с числом электронов
 $N_e = 2,2 \cdot 10^6$. Расчет по модели с высокой множественностью

χ^2 -тестов (табл. I) приводят к выводу, что как для СКР модели, так и для модели высокой множественности наилучшее согласие с экспериментом получается для состава Σ_2 , в котором преобладающую роль играют протоны. На рисунках и в таблице видно, что рассматриваемые флуктуационные распределения $w(\rho_\mu/\bar{\rho}_\mu)$ мало чувствительны к модели элементарного акта.

Обобщая результаты анализа характеристик мюонной компоненты ШАД в рамках стандартной СКР модели, модели высокой множественности и модели скейлинга, можно прийти к выводу, что химический состав первичного космического излучения в области энергий $\sim 10^{15}$ эВ, состоящий из одних протонов или из одних ядер железа исключается. Наиболее вероятным оказывается сложный массовый состав, сильно /~60%/ обогащенный протонами.

Авторы благодарны сотрудникам Тянь-Шаньской научной станции.

Поступила в редакцию
21 февраля 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. Питерс, Труды межд. конф. по космическим лучам, т. 3, 173, Москва, 1960 г.
 2. L. M. Katsarcký et al., 15th ICRC, Plovdiv, v. 8, EA-34, 1977.
 3. V. S. Aseikin et al., 14th ICRC, München, v. 8, 2726, 1975.
 4. Н. М. Никольская, И. Н. Стаменов, Сб. "Краткие сообщения по физике ФИАН" № 1, 25, (1976).
 5. И. Стаменов, С. Ушев, В. Янмигчев, Препринт ФИАН (в печати).
 6. Л. Г. Деденко, И. А. Дымова, Семинар по ШАД, Якутск, 1972 г.
 7. L. Popova, J. Wdowczyk, 15th ICRC, Plovdiv, v. 8, 409, 1977.
 8. T. Shibata, 15th ICRC, Plovdiv, v. 8, 358, 1977.
 9. J. N. Stamenov et al., 15th ICRC, Plovdiv, v. 8, 102, 1977.
 10. L. Popova, 15th ICRC, Plovdiv, v. 8, 398, 1977.
- И.С. И. Никольский, Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 2117 (1971).