

## ИЗМЕНЕНИЕ ЯДЕРНОГО СОСТАВА ПЕРВИЧНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $10^{17} - 10^{19}$ эВ

М.Н.Дьяконов, В.П.Егорова, А.А.Иванов,  
С.П.Кнуренко, В.А.Колосов, С.И.Никольский,  
В.Н.Павлов, И.Е.Слепцов

Анализируются распределения высот максимумов развития широких атмосферных ливней (ШАЛ), построенных по данным измерений черенковского света на Якутской установке ШАЛ, дается оценка долевого содержания протонов и ядер в составе первичных частиц с энергией  $10^{17} - 10^{19}$  эВ.

В работе <sup>1</sup> было показано, что в области энергий  $10^{15} - 10^{17}$  эВ ядерный состав первичных космических лучей изменяется незначительно и аналогичен составу первичных частиц при энергии  $\sim 10^{12}$  эВ. Так экспериментальные данные о флуктуациях относительного числа мюонов в ШАЛ с первичной энергией  $\sim 9 \cdot 10^{16}$  эВ не противоречат наличию в составе первичных частиц протонов с относительным числом  $\sim (50 \pm 6)\%$  при  $(40 \pm 4)\%$  протонов в первичном космическом излучении с энергией  $\gtrsim 10^{12}$  эВ по измерениям за пределами атмосферы.

Нами исследовалась величина эффективного сечения для неупругого столкновения протонов с ядрами атомов воздуха по распределению высот максимума развития ШАЛ в интервалах энергий первичных частиц  $10^{17} - 10^{18}$  эВ и  $10^{18} - 10^{19}$  эВ (рис. 1) <sup>2</sup>. Правая часть таких распределений определяется, главным образом, эффективным сечением для неупругих столкновений протонов с ядрами атомов воздуха. Высота максимума развития ливня определялась по пространственному распределению черенковского света в интервале расстояний 100- 600 м от оси ливня.

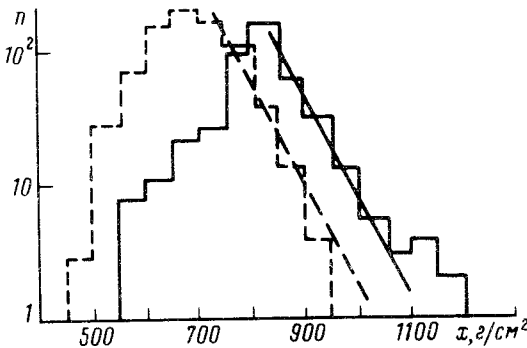


Рис. 1. Распределение высот максимумов развития ШАЛ для первичных частиц с энергией  $10^{17} - 10^{18}$  эВ (штрих) и  $10^{18} - 10^{19}$  эВ. Прямые соответствуют экспонентам с пробегам  $57 - 60$  г/см<sup>2</sup> <sup>2</sup>

Обращает на себя внимание различие распределений (рис. 1) при двух указанных энергиях по величине дисперсии и форме распределения вблизи максимума. Так как правая часть распределения образуется за счет ливней от первичных протонов, то в распределении ливней по высоте максимума при первичных энергиях  $10^{18} - 10^{19}$  эВ существенно не хватает ливней от первичных ядер.

На рис. 2 эти распределения представлены в линейном масштабе и высоты максимумов ливней с первичной энергией  $10^{18} - 10^{19}$  эВ смещены к большим высотам с тем, чтобы совместить правую, протонную часть распределений рис. 1. Предположив, что в первичном космическом излучении с энергией  $10^{18} - 10^{19}$  эВ представлены только протоны, и отнормировав при энергиях  $10^{17} - 10^{18}$  эВ по протонной части (глубже  $700$  г/см<sup>2</sup>) можно оценить долю ядер в первичном космическом излучении с энергией  $\sim 10^{17} - 10^{18}$  эВ. Распределение как разность двух гистограмм показано на рис. 2а. При построении разности необходимо некоторое "сглажива-

ние" распределений, чтобы избежать отрицательных значений в потоке первичных частиц. Различие глубин максимумов распределений для первичных протонов и ядер вполне соответствует ожидаемому по электромагнитной каскадной теории для среднего числа нуклонов в ядрах космических лучей  $\geq 10$ . Доля ядер в интервале энергий  $10^{17}-10^{18}$  эВ получилась равной  $(36 \pm 10)\%$ . Эта оценка занижена из-за того, что мы предполагали полное отсутствие ядер в потоке первичных частиц при энергии  $10^{18}-10^{19}$  эВ, в то время как разность двух распределений высот максимума ливней от первичных частиц разной энергии характеризует, в первую очередь, лишь изменение доли ядер в первичном излучении при изменении первичной энергии.

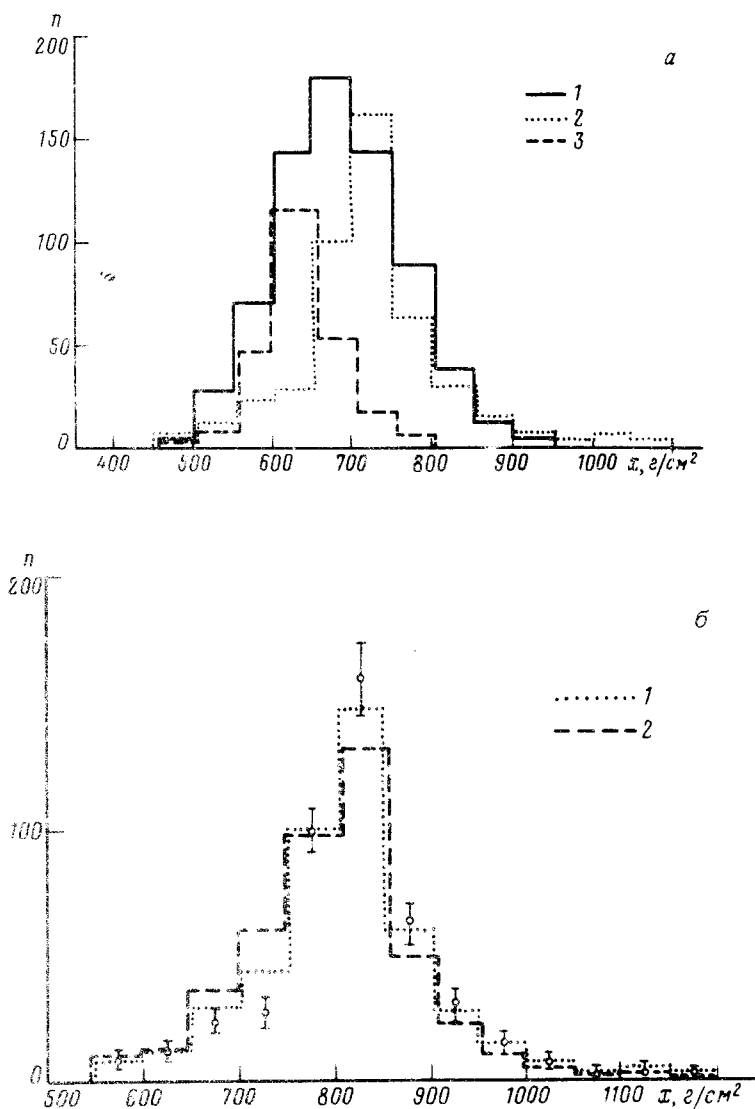


Рис. 2. Число ШАЛ с максимумом развития на глубине  $x$  в  $г/см^2$ . а – Гистограмма 1 – распределение для первичных частиц с энергией  $10^{17}-10^{18}$  эВ, гистограмма 2 – для первичных частиц с энергией  $10^{18}-10^{19}$  эВ. Гистограмма 3 – разность, интерпретируемая как ливни от первичных ядер космических лучей с энергией  $10^{17}-10^{18}$  эВ. б – Экспериментальные данные о высоте максимумов развития ливней в атмосфере для первичных частиц с энергией  $10^{18}-10^{19}$  эВ. Гистограммы – ожидаемые распределения (1) при доле ядер среди первичных частиц 10%, (2) – для доли ядер 20%

Рассмотрим, какую долю ядер допускает распределение высот максимума развития ливней при первичных энергиях  $10^{18} - 10^{19}$  эВ. При этом используются распределения высот для ливней от первичных ядер и от первичных протонов — распределения, подобные гистограммам 3 и 2 на рис. 2а, то есть экспериментально наблюдаемые. Суммарные ожидаемые распределения в предположении 10% и 20% вклада ядер в поток первичных частиц с энергией  $10^{18} - 10^{19}$  эВ сравниваются с экспериментальными данными о высотах максимумов развития ливней на рис. 2б.

Таким образом, в области энергий  $10^{16} - 10^{19}$  эВ наблюдается систематическое увеличение доли протонов:  $\sim 1,2 \cdot 10^{16}$  эВ —  $(43 \pm 5)\%$ ,  $\sim 9 \cdot 10^{16}$  —  $(50 \pm 6)\%$ ,  $\sim 5 \cdot 10^{17}$  эВ —  $(60 \pm 10)\%$  и  $5 \cdot 10^{18}$  эВ —  $(90 \pm 10)\%$ . Это означает, что "излом" в энергетическом спектре первичного космического излучения в интервале  $10^{15} - 10^{16}$  эВ не связан с параметрами выхода космических лучей за пределы Галактики.

#### Литература

1. Никольский С.И. и др. ЖЭТФ, 1984, 83, 18.
2. Дьяконов М.Н. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1989, 53, 311.

Институт космофизических исследований и аэронауки  
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
18 октября 1989 г.