

О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $10^{14} + 10^{16}$ эв

Д. Г. Деденко, Н. В. Кабанова, С. И. Никольский,
И. Н. Стаменов, В. Д. Янминцев

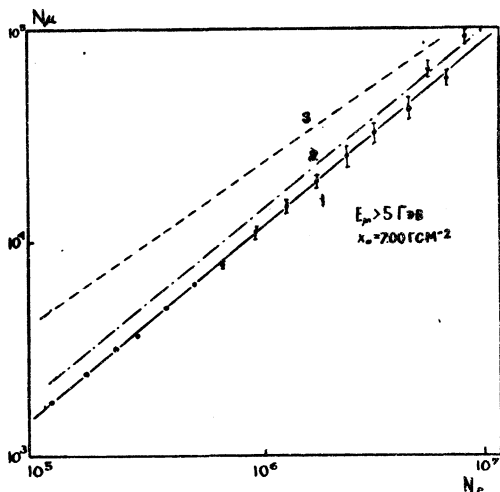
УДК 537.591.1

Результаты исследований мюонной компоненты широких атмосферных ливней в области энергий первичных космических лучей $10^{14} + 10^{16}$ эв, полученные на Тянь-Шаньской высокогорной станции (3300 м над уровнем моря), сравниваются с расчетами. Из проведенного анализа следует, что в рассматриваемом энергетическом интервале по крайней мере половину первичных частиц при заданной энергии на частицу составляют протоны.

Прямые исследования химического состава космических лучей в настоящее время возможны лишь до энергий $10^{12} - 10^{13}$ эв на частицу. Поэтому, пока нет прямых методов, значительный интерес представляет возможность исследования состава с помощью анализа характеристик широких атмосферных ливней. Впервые на эту возможность обратил внимание Б. Питерс /1/. Затем внимание было привлечено к тем обстоятельствам, что широкие атмосферные ливни от первичных ядер должны отличаться малостью флуктуаций, большой долей мюонов и более быстрым развитием в атмосфере /2/. В первых работах /3,4,5/, реализующих идеи /2/, делался вывод о постоянстве химического состава вплоть до энергий $3 \cdot 10^{15}$ эв, а с учетом изменения показателей спектра /6/ - до 10^{17} эв. Впоследствии подробный анализ спектра первичных частиц /7/ показал, что форма спектра связана с химическим составом первичного космического излучения.

Экспериментальные исследования мюонной компоненты широких атмосферных ливней проводились на Тянь-Шаньской высокогорной станции (высота ~ 700 г/см²). Детали эксперимента подробно описаны в /8,9/ и поэтому здесь не рассматриваются.

Расчет проводился по модели СКР, как описано в /5,10/, с учетом флуктуаций и сложного состава первичного излучения и с учетом экспериментального факта отбора ливней внутри телесного угла $\theta < 30^\circ$ к вертикали. Сделаем следующее замечание, относящееся к модели. Давно уже было подмечено /11/, что число мюонов



Р и с. I. Зависимость числа мюонов с $E_\mu \geq 5$ Гэв от числа электронов в ливне

очень сильно зависит от множественности в актах взаимодействия пион-ядро. Как было оценено /12/, регистрируемые на Тянь-Шаньской станции мюоны имеют эффективную энергию ~ 17 Гэв. Следовательно, они возникают от распада пионов, генерированных пионами с энергией в сотни Гэв. Недавно выполненные эксперименты с пионным пучком на ускорителе в Батавии /13/ при энергии 250 Гэв дали для множественности заряженных частиц $\langle n_{зар} \rangle = 8,02 \pm 0,12$. Оказывается, что при этой энергии такую же величину $\langle n_{зар} \rangle$ дает и выбранная нами модель /5/. При энергиях в сотни Гэв есть согласие выбранной модели с ускорительными данными /14/ по множественности и в актах взаимодействия нуклон-ядро.

На рис. I точками с ошибками показана экспериментальная зависимость среднего числа мюонов N_μ с энергией ≥ 5 Гэв от фиксированного числа электронов в ливне. Рассчитанные кривые 1, 2, 3

относятся соответственно к случаям чисто протонного состава, обычного сложного состава Σ , как τ /15,5/, и состава из ядер железа.

Из рис.1 видно, что чисто "железную" кривую 3 трудно согласовать с экспериментом, учитывая сделанное выше замечание об используемой модели. Как показывает анализ /5,16/, разумным изменением сечения взаимодействия или коэффициентов неупругости также нельзя добиться согласия. Следует также отметить, что показатель наклона кривой 3, если ее аппроксимировать зависимостью вида $N_\mu \sim N^\alpha$, равен 0,73, в то время как из эксперимента для этого показателя следует величина $\alpha = 0,84 \pm 0,03$ с 90% достоверностью.

Кривые 1 и 2 отличаются от экспериментальных точек примерно на 20%. Возможные систематические ошибки /8,9/ не исключают согласия как с чисто протонным составом (с кривой 1), так и с обычным сложным составом Σ (с кривой 2). Показатель α для кривых 1 и 2 равен соответственно 0,84 и 0,82, что также не противоречит эксперименту. Следует отметить, что для уровня моря расчет по той же модели для мюонов с энергией > 10 Гэв в случае состава Σ хорошо согласуется /5/ с экспериментальными данными /17/.

Если систематические ошибки невелики, то можно согласовать эксперимент и расчет, допуская некоторое изменение состава к предполагаемой модели неизменной. Расчет был согласован с экспериментом в точках $N_e = 2 \cdot 10^5$ и $N_e = 5 \cdot 10^6$. Состав в этих точках, который подбирался для согласия, обозначим как Σ_1 и Σ_2 соответственно.

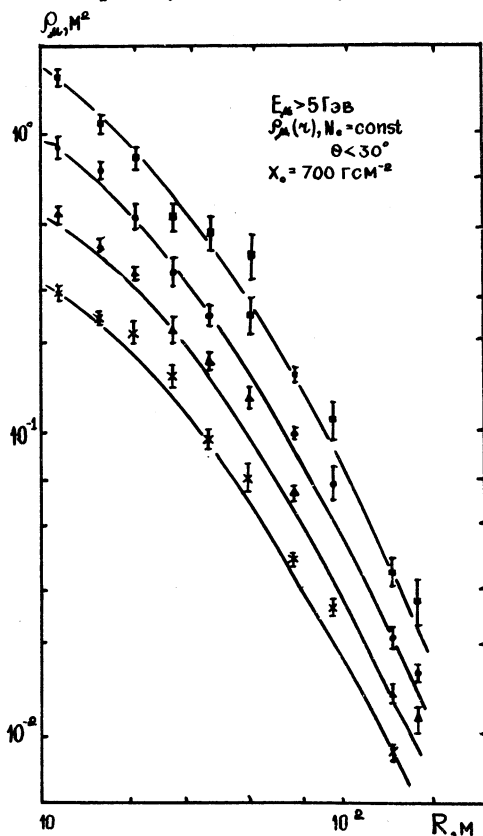
Таблица

Атомный вес A		1	4	14	31	51
Состав Σ /8/		0,31	0,22	0,12	0,21	0,14
Состав Σ_1		0,68	0,10	0,06	0,08	0,08
Состав Σ_2		0,60	0,13	0,07	0,11	0,09

На рис.2 кружками, квадратами, треугольниками и крестиками с ошибками приведены пространственные распределения мюонов в лив-

ных с числами электронов $N_e = 2,3 \cdot 10^5$; $4,1 \cdot 10^5$; $7,3 \cdot 10^5$ и $1,3 \cdot 10^6$ соответственно.

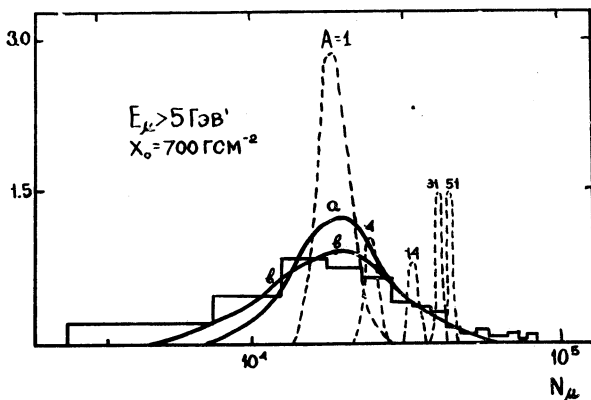
Гладкие кривые - расчет пространственного распределения для этих же чисел электронов, выполненный, как описано в /5,18/.



Р и с.2. Пространственное распределение потока мюонов в ШАЛ

для случая, когда $\langle p_1 \rangle = 0,4$ Гэв/с и состава Σ_2 . Следует отметить, что никакого нормирования в этом случае не производилось. Из рис.2 видно хорошее согласие эксперимента и расчета для состава Σ_2 в интервале расстояний 10-180 м от оси. Сделанные выше замечания о чисто протонном составе или составе из ядер же-

леза остаются в силе и в этом случае. Отметим также, что, по-видимому, нет необходимости увеличивать $\langle P_1 \rangle$ по сравнению с ускорительными данными. Новым в настоящем расчете по сравнению с [12] является учет расхождения пионов до их распада на мюоны и нейтрино, а также пространственного распределения ядерной лавины и некоторых других факторов.



Р и с. 3. Флуктуационное распределение потока мюонов в ливнях заданной величины

На рис.3 гистограмма изображает функцию распределения мюонов в ливнях с числом электронов $N_e \approx 2,3 \cdot 10^6$, а гладкие кривые – расчет для ядер железа и для состава Σ_2 , "размазанный" на 40% из-за учета экспериментальных ошибок и отбора ливней в пределах телесных углов $\theta < 30^\circ$ к вертикали. Кривая а – расчет для ядер железа, кривая б – расчет для состава Σ_2 . Как и в случае рис.2 для кривой б никакого дополнительного нормирования не проводилось, а кривая а сдвигалась до совпадения среднего значения с экспериментальным. Пунктирные кривые на этом рисунке – это рассчитанный парциальный вклад от различных ядер, который затем "размазывался" в соответствии с ошибкой эксперимента.

На рис.3 видно хорошее согласие рассчитанного распределения для сложного состава Σ_2 с экспериментальным и по дисперсии, и по среднему значению. Рассчитанное распределение для первичного излучения, состоящего из одних тяжелых ядер, не совпадает с экспериментом как по дисперсии, так и по среднему значению. Сд-

нако, если пренебречь расхождением по среднему значению числа мюонов, то при имеющемся экспериментальном материале нельзя надежно отвергнуть эту возможность.

Из проведенного сравнения экспериментальных данных и расчета следует, что пространственное распределение потока мюонов с $E_{\mu} \geq 5$ Гэв и флуктуации их полного числа в ШАЛ хорошо описываются в рамках рассмотренной модели и что в области энергии $10^{14} - 10^{16}$ эв, по-видимому, около половины всех частиц в первичных космических лучах составляют протоны.

Поступила в редакцию
24 декабря 1974 года.

Л и т е р а т у р а

1. Б. Питерс. Труды международной конференции по космическим лучам, 3, Изд. АН СССР, Москва, 1960 г., стр. 173.
2. Н. Н. Горюнов, Л. Г. Деденко, Г. Т. Залепин. Изв. АН СССР, сер. физ. 26, 685 (1962).
3. Л. Г. Деденко. ЖЭТФ, 46, 1859 (1964).
4. Ю. А. Фомин, Г. Е. Христиансен. ЖЭТФ, 46, 2141 (1964).
5. Л. Г. Деденко. Диссертация, ФИАН, 1968 г. Л. Г. Деденко. Сб. "Космические лучи" № 13, 243, Изд. "Наука", 1972 г.
6. Г. В. Кушков, Г. Е. Христиансен. ЖЭТФ, 35, 618 (1958).
7. С. И. Никольский. Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 2117 (1971).
8. Н. В. Кабанова, С. И. Никольский, И. Н. Стаменов, В. Д. Янминчев. Изв. АН СССР. Сер. физ., 38, IIII (1974).
9. Н. В. Кабанова, С. И. Никольский, И. Н. Стаменов, В. Д. Янминчев. Доклад на 4-м Европейском симпозиуме по широким атмосферным ливням, Лодзь, 1974 г.
10. Л. Г. Деденко, И. А. Дымова. "Экспериментальные методы исследования космических лучей сверхвысоких энергий". Материалы Всесоюзного симпозиума, Якутск, 1972 г.
11. Л. Г. Деденко. Препринт ФИАН А-69, 1964 г.
12. Л. Г. Деденко, С. И. Никольский, И. Н. Стаменов. Изв. АН СССР, сер. физ. 34, IIII (1970).
13. F. C. Winkelmann, G. S. Abrams, H. N. Bingham et al. Phys. Rev. Lett., 32, 121 (1974).

14. C. Bromberg, D. Chaney, D. Cohen et al. Phys. Rev. Lett., 31, 1563 (1973).
15. В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский. "Происхождение космических лучей" Изд. АН СССР, Москва, 1963 г.
16. Л. Г. Деденко. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 1974 (1970).
17. А. Т. Абросимов, Б. В. Атрашевич, И. Ф. Беляева и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, IIII (1968); 31, 1528 (1967).