

СОБЫТИЯ С БОЛЬШОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТЬЮ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ НУКЛОНОВ С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ ЭНЕРГИИ $\gtrsim 1$ ТЭВ.

В.А.Шестоперов, Л.О.Чикова

Проведено сравнение экспериментально измеренной частоты регистрации событий с $n_s \gtrsim 100$, созданных на больших высотах нуклонами космических лучей в эмульсионных стопках, с расчетом. Измеренная частота событий с большой множественностью примерно в десять раз больше ожидаемой.

При прослеживании визуально видимых каскадов в двух эмульсионных стопках объемом 80 л, экспонированных на больших высотах [1, 2], было найдено около 150 взаимодействий нуклонов с $E \gtrsim 1$ ТЭВ¹⁾. Среднее число заряженных релятивистских частиц в этих взаимодействиях $\langle n_s \rangle \approx 25$. В каждом из этих полетов было зарегистрировано по одному событию с $n_s \gtrsim 100$. Два взаимодействия протонов с ядрами эмульсии с $n_s \gtrsim 100$ были обнаружены и при прослеживании каскадов в стопке объемом около 45 л, экспонированной на ИСЗ "Интеркосмос-6" [3]. Вероятность появления событий с $n/\langle n_s \rangle \gtrsim 4$ по данным, полученным на ускорителях, составляет $\lesssim 10^{-3}$. В связи с этим мы провели сравнение экспериментальных данных о регистрации взаимодействий с $n_s \gtrsim 100$ с ожидаемой частотой таких событий.

Размеры стопок приведены в указанных работах. При вычислении геометрических факторов для регистрации каскадов, угловое распределение падающих на стопку нуклонов принималось изотропным, пробег взаимодействия нуклонов в эмульсии брался равным 35 см. Было учтено, что среднее расстояние от места взаимодействия до того места, где каскад становится виден невооруженным глазом, составляет около 10 см.

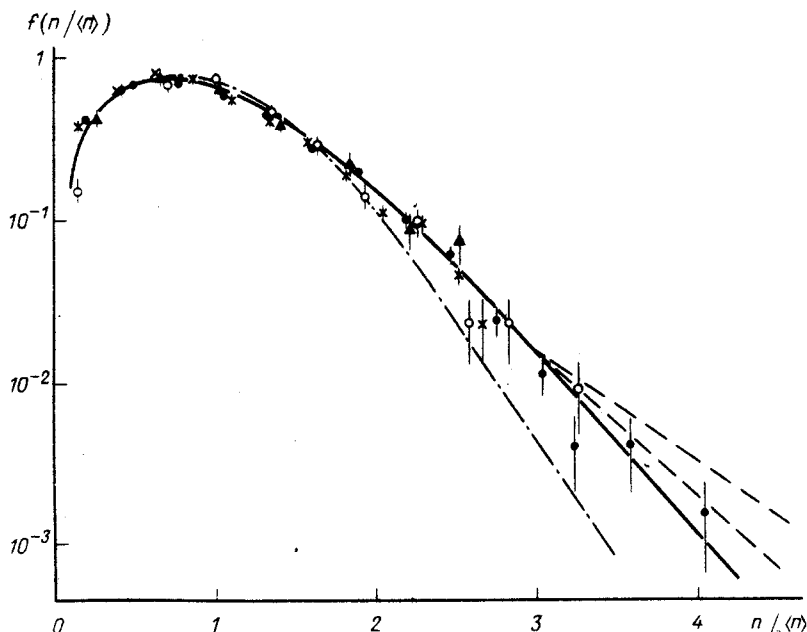
¹⁾ Авторы благодарны польским физикам за то, что они предоставили в наше распоряжение некоторые данные, полученные при обработке Броулейской стопки.

Был учтен и тот факт, что для последующей обработки в работах [1, 2] отбирались только такие каскады, проекция которых на плоскость эмульсии была не менее 2 мм, а в [3] — не менее 1,5 мм. В результате получено, что для стопок, экспонированных в работах [1 — 3], геометрические факторы для регистрации каскадов от нуклон-ядерных взаимодействий составляют 0,22; 0,22 и 0,19 м² · стерад. Времена экспозиции равны 32, 36 и 100 часов, соответственно. Отсюда частоты регистрации взаимодействий с $n_s \geq 100$ составляют $\nu_1 = 0,14 \pm 0,14$, $\nu_2 = 0,13 \pm 0,13$ и $\nu_3 = 0,11 \pm 0,07$ м⁻² · час⁻¹ · стерад⁻¹. Среднее значение $\nu_{\text{эксп}} (n_s \geq 100) = 0,12 \pm 0,06$ м⁻² · час⁻¹ · стерад⁻¹.

Ожидаемая частота взаимодействий с множественностью $n_s \geq n$

$$\nu_{\text{расч}} (n_s \geq n) = \int_{E_{\text{виз}}}^{\infty} F(E) W(E; E_k \geq E_{\text{виз}}) f\left(\geq \frac{n}{\langle n(E) \rangle}\right) dE,$$

где $F(E)dE$ — дифференциальный энергетический спектр нуклонов; $W(E; E_k \geq E_{\text{виз}})$ — вероятность того, что в результате взаимодействия нуклона с энергией E в электромагнитный каскад перейдет энергия E_k , большая, чем $E_{\text{виз}}$, начиная с которой каскады видны невооруженным глазом; величиной $f\left(\geq \frac{n}{\langle n(E) \rangle}\right)$ обозначена вероятность того, что при регистрации взаимодействий нуклонов с энергией E и средней множественностью заряженных релятивистских частиц $\langle n(E) \rangle$ будет обнаружено взаимодействие с $n_s \geq n$.



Функция $f\left(\frac{n}{\langle n \rangle}\right)$ для взаимодействий протонов в фотоэмульсии: ○ — 25 ГэВ, ▲ — 67 ГэВ, ● — 200 ГэВ, × — 400 ГэВ. Сплошная линия и пунктир — различные аппроксимации. Штрих-пунктир — $f\left(\frac{n}{\langle n \rangle}\right)$ для p-p-взаимодействий при 50 — 300 ГэВ

По оценкам, проведенным во многих лабораториях, $E_{\text{виз}} \approx 0,5 \text{ ТэВ}$. Функцию $W(E; E_k \geq 0,5 \text{ ТэВ})$ мы определили, исходя из измеренного нами распределения доли энергии, которую адроны с $E \gtrsim 1 \text{ ТэВ}$ передают π^0 -мезонам в слое железа толщиной 0,6 пробега для взаимодействия [4]. Для определения функции $f(\geq \frac{n}{\langle n \rangle})$ мы использовали ускорительные данные о взаимодействиях протонов с ядрами фотоэмульсии. Была построена скейлинговая топологическая функция $f(\frac{n}{\langle n \rangle})$, приведенная на рисунке. Сплошная линия проведена "на глаз". В области $n/\langle n \rangle \geq 3$ функция имеет экспоненциальный вид $f(n/\langle n \rangle) \sim \exp(-2,5n/\langle n \rangle)$. Мы считали, что средняя множественность при взаимодействиях в фотоэмульсии в 1,7 раза больше, чем в p - p -взаимодействиях, для которых зависимость $\langle n(E) \rangle_{pp}$ была взята из [5]. Тогда $\langle n(E) \rangle_{p \text{ эм}} = 1,7 (1,65 \ln S - 1,84)$, где S в ГэВ^2 .

При оценке спектра нуклонов были рассмотрены три возможности. Во-первых, был взят полный поток первичных нуклонов с $E = 1 \text{ ТэВ}$ (как протонов, так и нуклонов, упакованных в ядра) и продолжен в область высоких энергий с показателем спектра $\gamma = 2,6$. Во втором случае к потоку нуклонов, входящих в состав первичных ядер со спектром $F(E) \sim E^{-2,6}$, были добавлены первичные протоны со спектром, измеренным на ИСЗ "Протон" [6]. Наконец, в качестве спектра нуклонов был взят спектр, протонов, измеренный в [6].

Спектр нуклонов	$f(n/\langle n \rangle)$ при $n/\langle n \rangle \geq 3$			Что нужно
	$\sim \exp(-\frac{2,5n}{\langle n \rangle})$	$\sim \exp(-\frac{2,0n}{\langle n \rangle})$	$\sim \exp(-\frac{1,5n}{\langle n \rangle})$	
1	0,016	0,036	0,096	1,4
2	0,007	0,018	0,053	1,1
3	0,003	0,007	0,026	0,6

Результаты расчета ожидаемой частоты взаимодействий с $n_s \geq 100$ приведены в таблице. Расчеты проведены для трех рассмотренных спектров нуклонов, которые обозначены цифрами 1, 2 и 3. При аппроксимации функции $f(n/\langle n(E) \rangle)$ той зависимостью, которая показана на рисунке, $\nu_{\text{экс}}/\nu_{\text{расч}} \gtrsim 10$. Были проведены расчеты и при другом проведении зависимости $f(n/\langle n(E) \rangle)$ в области $n/\langle n \rangle \geq 3$. Некоторые из них показаны на рисунке. Результаты расчетов для этих случаев приведены в таблице. В последнем столбце таблицы указано, при каком показателе в экспоненте $\nu_{\text{расч}} = \nu_{\text{экс}}$. Из таблицы следует, что вероятность взаимодействий с большой множественностью должна быть больше той, которая показана на рисунке сплошной линией.

Возможно и другое объяснение наблюдаемой частоты событий с большой множественностью. Для этого нужно предположить более быстрый рост $n(E)$. Так при зависимости $\langle n \rangle = 0,88 + 0,44 \ln S + 0,12 (\ln S)^2$ [7] и спектре $1/\nu_{\text{расч}}$ меньше $\nu_{\text{экс}}$ всего в два раза, при спектре 3

остается различие в 10 раз. В космических лучах получено указание, что при сверхвысоких энергиях $n \sim E^{1/4}$. Если это так, то для спектра 1 переход от зависимости [5] к такому закону должен происходить при энергии $E' \approx 10$ ТэВ и от зависимости [7] при $E' \approx 50$ ТэВ. Для спектра 3 получить $\nu_{\text{расч}} = \nu_{\text{эксп}}$ не удастся даже при $E' \approx 1$ ТэВ. Однако в рамках проведенного анализа мы не можем сделать выбора между указанными возможностями.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
25 декабря 1978 г.
После переработки
29 января 1979 г.

Литература

- [1] ICEF Collaboration, *Suppl. Nuovo Cim.*, **1**, 1086, 1963.
 - [2] F. Abraham, J. Gerula, R. Levi Setti et al. *Phys. Rev.*, **159**, 1110, 1967.
 - [3] А.Шомоди, С.Сугар, Б.Чадраа и др. *ЯФ*, **28**, 445, 1978.
 - [4] Н.Л.Григоров, И.Д.Рапопорт, В.Я.Шестоперов. "Частицы высоких энергий в космических лучах", М., изд. Наука, 1973.
 - [5] Ю.П.Никитин, И.Л.Розенталь. Теория множественных процессов, М., Атомиздат, 1976.
 - [6] Н.Л.Григоров, В.Е.Нестеров, И.Д.Рапопорт и др. *ЯФ*, **11**, 1058, 1970.
 - [7] W. Thome, K. Eggert, K. Gibony et al. *Nuclear Physics*, **B129**, 365, 1977.
-