

НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕКОТОРЫХ "АНОМАЛЬНЫХ" СОБЫТИЙ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

А.В.Апанасенко, Н.А.Добротин, И.М.Дремин
К.А.Котельников

Рассмотрена возможность объяснения некоторых "аномальных" свойств адронных взаимодействий при сверхвысоких энергиях за счет появления когерентного адронного излучения.

Экспериментальные данные об адронных взаимодействиях, полученные в космических лучах при энергиях, превышающих 100 ТэВ, указывают на возможное изменение механизма множественного рождения при сверхвысоких энергиях [1]. Среди них отметим указания на заметный рост среднего поперечного импульса [2] и появление событий с рождением большого числа частиц на малом интервале быстрот [3]. На примере анализа некоторых событий мы попытаемся связать эти два факта, интерпретировав их как возможное проявление нового эффекта в адронной физике [4] — когерентного адронного излучения, аналогичного излучению Вавилова — Черенкова в электромагнитных полях.

Исходным пунктом для такого утверждения послужил анализ ядерного взаимодействия первичной частицы космических лучей [5, 6], в результате которого образовалось суперсемейство с числом каскадов $n = 107$ и энергией, ушедшей в фотоны, $\Sigma E_{\gamma} \approx 2 \cdot 10^{15}$ эВ. Событие произошло в воздухе над рентген-эмульсионной камерой, экспонированной в стратосфере на высотах ~ 30 км.

Изучение корреляций вторичных частиц было проведено с помощью распределений по быстротным интервалам [7, 8] Δ_k :

$$\Delta_k = \eta_{i+k} - \eta_i \approx \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+k}} = \ln \frac{r_i}{r_{i+k}}, \quad (1)$$

где $\eta_i = -\ln \text{tg} \frac{\theta_i}{2}$ — псевдобыстрота вторичной частицы i , θ_i — угол ее вылета, r_i — радиус-вектор на мишенной диаграмме (в плоскости, перпендикулярной направлению первичной частицы). Номер частицы растет с приближением к оси ливня.

При рассмотрении интервалов, содержащих внутри себя большое число частиц (большие k), заметно сильное отклонение от случая независимого рождения частиц (рис. 1), причем четко проявляется пик на сравнительно малых длинах интервалов. Было обнаружено, что этот пик образуется за счет двух групп частиц, очень плотно расположенных на оси псевдобыстрот, дающих максимумы в гистограмме распределения по псевдобыстроте (рис. 2, а) и содержащих 18 и 28 частиц. Оказалось, что эти группы расположены в виде концентрических ко-

лец на мишенной диаграмме с полуширинами (по величинам $\ln r$) равными 0,15 и 0,25, т. е. много меньшими, чем полуширина $\sigma \sim 0,9$ для изотропно распадающегося кластера. Частицы в кольцах распределены по азимуту неравномерно; образуя сгущения (рис. 3). Средние радиусы колец равны примерно 1,75 и 5 см, а средние энергии π^0 -мезонов, соответственно, $\langle \omega_1 \rangle \approx 50$ ТэВ, $\langle \omega_2 \rangle \approx 25$ ТэВ.

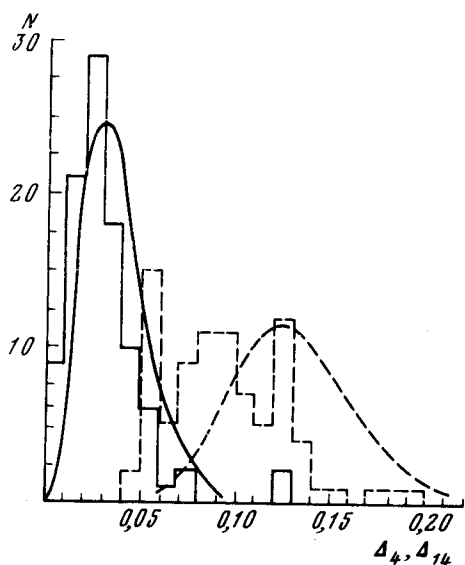


Рис.1. Распределение быстротных интервалов Δ_k при $k = 4$ — сплошные линии и $k = 14$ — штрих-пунктирные. Гистограмма — эксперимент, кривая — ожидаемое распределение при независимом испускании частиц

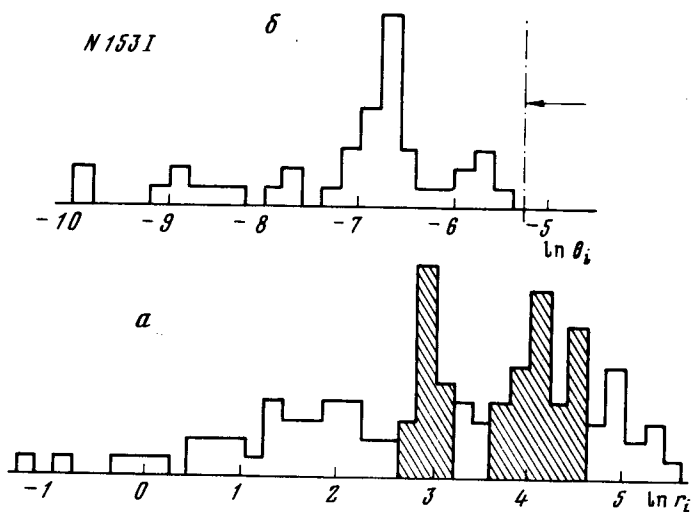


Рис.2. Гистограмма распределения вторичных частиц по псевдобыстроте (кольца заштрихованы): a — стратосферное событие [5, 6]; b — событие японо-бразильской коллаборации [9]. Стрелкой указан предел области углов, доступной для измерения в этом событии

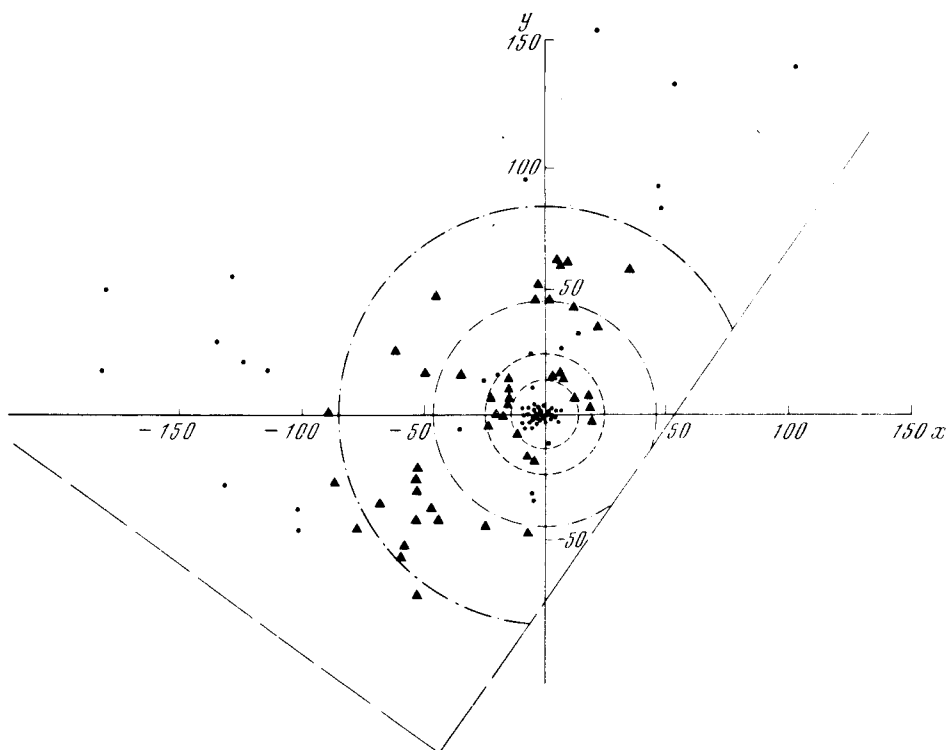


Рис.3. Мишенная диаграмма стратосферного события [5, 6]. Пунктиром и штрих-пунктиром показаны границы колец с шириной $\ln r$, равной 0,6; r измерено в мм. Пунктир — внутреннее кольцо; штрих-пунктир — наружное кольцо; ▲ — частицы, за счет которых образуется пик в распределении по Δ_{14} при значении $\Delta_{14} = 0,05$; ● — остальные частицы семейства

Если принять, что такая картина возникает за счет когерентного адронного излучения [4], то легко оценить остальные характеристики этого события. Используя формулу (4) работы [4] (при $m_{\pi}^2 \sigma_{\pi p}(\omega) \rho(\omega) \approx 0,1$) для углов излучения получим $\theta_1 \approx 2,6 \cdot 10^{-4}$, $\theta_2 = 7,5 \cdot 10^{-4}$. Высота точки взаимодействия над установкой при указанных радиусах колец получается равной $H \approx 70$ м. Это согласуется с экспериментом, если при обработке считать, что γ -кванты произошли от распадов π^0 -мезонов. Экспериментальные оценки дают тогда $H \sim 100$ м. Из симметрии колец в СЦМ¹⁾ оцениваем лоренц-фактор СЦМ $\gamma = (\theta_1 \theta_2)^{-1/2} \approx 2,2 \cdot 10^3$, т. е. энергия первичной частицы в лабораторной системе равна $E_0 = 10^{16}$ эВ. Отношение ширин колец $\Delta\theta_1/\Delta\theta_2 \approx 0,35$, что хорошо соответствует эксперименту. Азимутальную анизотропию колец можно было бы пытаться сопоставить со струйным характером распада квантов излучения. Наиболее непривычная особенность события заключается в том, что поперечные импульсы частиц оказываются очень большими:

¹⁾ Мы предполагаем, что наружное кольцо — это лоренц-преобразованное кольцо излучения, идущего в заднюю полусферу в СЦМ с таким же углом раствора конуса, как и в передней полусфере. Мы не можем исключить возможность того, что второе кольцо произошло от повторного взаимодействия адрона.

$\langle p_{\perp} \rangle_1 = \langle \omega_1 \rangle \cdot \theta_1 \approx 13$ ГэВ и $\langle p_{\perp} \rangle_2 = \langle \omega_2 \rangle \cdot \theta_2 \approx 19$ ГэВ. Наличие больших поперечных импульсов, как мы видим, в рамках приведенной интерпретации тесно связано с появлением плотных групп частиц на шкале быстрот, образующих кольцевую структуру на мишенной диаграмме.

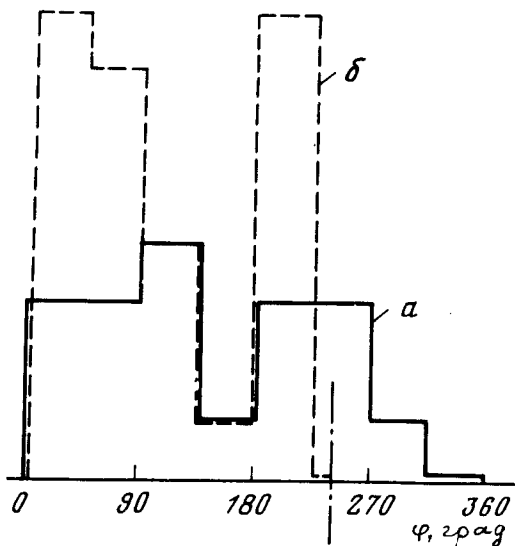


Рис.4. Азимутальное распределение вторичных частиц в кольцах: гистограмма *a* — внутреннее кольцо; гистограмма *b* — наружное кольцо (штрих-пунктир указывает край установки)

Подобная структура, возможно, наблюдается и в данных японоамериканской коллаборации [3]. В качестве примера для одного из опубликованных случаев [9] мы приводим на рис. 2, б распределения по псевдобыстроте, где явно виден разный максимум¹⁾ свидетельствующий о сильной концентрации частиц вблизи полярного угла $\theta \sim 10^{-3}$. Поскольку энергии γ -квантов в этом событии значительно ниже, чем в рассмотренном выше случае, то меньше и поперечные импульсы частиц этой группы $p_{\perp} \sim 1$ ГэВ. Отметим, что это согласуется с теоретическими оценками (при больших $\langle \omega \rangle$ имеем: $\langle \theta \rangle \sim \langle \omega \rangle^{-1/2}$, $\langle p_{\perp} \rangle \sim \langle \omega \rangle^{1/2}$).

Итак, мы хотели бы подчеркнуть важность анализа распределения вторичных частиц по псевдобыстроте в событиях с энергиями в 100 ТэВ и выше. Обнаружение пиков в таких распределениях может указать на правомерность предложенной выше интерпретации.

Авторы признательны Е.Л.Фейнбергу за полезные обсуждения и замечания.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 июня 1979 г.

¹⁾ Условия эксперимента [9] не позволяли анализировать область углов, где можно было бы ожидать второго максимума. К сожалению, мы не имели данных об азимутальных углах в этом событии.

Литература

- [1] И.В.Андреев, И.М.Дремин. УФН, 122, 37, 1977. †
 - [2] M.M.Winn, Proc. of the 15th Intern. Cosmic Ray Conference, 10, 305, 1977.
 - [3] Japanese-Brasilian Collaboration, СКЖ-Report-13, 1974; Proc. of the 14th Intern. Cosmic Ray Conf., Munchen, 1975. †
 - [4] И.М.Дремин. Письма в ЖЭТФ, этот выпуск. †
 - [5] А.В.Апанасенко, Н.А.Добротин, Л.А.Гончарова и др. (Proc. of the 15th Intern. Cosmic Ray Conference, 7, 220, 1977. †
 - [6] А.В.Апанасенко, Л.А.Гончарова, А.А.Горячих и др. КСФ 10, 20, 1977. †
 - [7] А.М.Гершкович, И.М.Дремин. КСФ, 1, 7, 1976.
 - [8] M.I.Adamovich, M.M.Chernjavskii, I.M.Dremin et al. Nuovo Cim., 33A, 183, 1976. †
 - [9] N.Arata, Nuovo Cim., 43A, 455, 1978.
-