



## ЭФФЕКТЫ ВЫСТРОЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ С НАИБОЛЬШИМИ ЭНЕРГИЯМИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВЫШЕ 10 ПЭВ

Т.С.Юлдашбаев, Х.Нуритдинов

Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент

### ВВЕДЕНИЕ

Явление выстроенности в одну линию вторичных частиц с наибольшими энергиями, наблюдаемое в экспериментах с рентген - эмульсионными камерами (РЭК), не нашло удовлетворительной интерпретации до сих пор. Большой интерес в связи с этим представляет изучение зависимости эффекта от природы первичных частиц, создающих гамма - семейства.

В последние годы был обнаружен целый ряд необычных явлений в экспериментах с рентген-эмульсионными камерами при сверхвысоких энергиях, не описываемых в рамках современных теоретических моделей. К ним относятся особенности азимутальных корреляций, эффекты выстроенности наиболее энергичных центров в гамма-семействах. Ташкентской группой Памирского сотрудничества выстроенность интерпретируется как следствие образования тяжёлых лидирующих резонансов [1].

При этом нерешённой проблемой остаётся вопрос о природе первичных частиц, создающих гамма-семейства с выстроенностью наиболее энергичных частиц. Поскольку компланарное испускание частиц, возникающее в первичном акте взаимодействия и приводящее к выстроенности, быстро деформируется после небольшого числа вторичных столкновений, такие события должны создаваться первичными протонами невысоко над РЭК, т.е. глубоко в атмосфере. С другой стороны, некоторые авторы считают, что эффекты выстроенности возникают вследствие вращения высокоспиновых состояний непроявляющейся части первичных ядер [2]. В этом случае сохраняющаяся после взаимодействия часть ядра должна иметь очень малое сечение взаимодействия. В связи с этим большой интерес представляет изучение зависимости эффектов выстроенности от ядерного состава ПКЛ.

### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Степень выстроенности частиц характеризуется величиной

$$\lambda_n = \sum_{i \neq j \neq k}^n \cos 2\varphi_{ij}^k / (n(n-1)(n-2)), \quad (1)$$

где  $\varphi_{ij}^k$  - углы между прямыми линиями, соединяющими след  $k$ -ой со следами  $i$ -ой и  $j$ -ой частиц,  $n$  - число выделенных частиц ( $n > 3$ ). Величина  $\lambda_n = 1$  соответствует расположению частиц вдоль прямой линии.

Гамма-семейства подверглись процедуре электромагнитного декаскадирования, позволяющей снизить влияние каскадного размножения частиц в атмосфере. Для этого все частицы семейства, удовлетворяющие условию  $Z_{ik} < Z_0 = 10 \text{ ТэВ мм}$  (где  $Z_{ik} = R_{ik} (1/E_i + 1/E_k)^{-1}$ ,  $R_{ik}$  - расстояния между парой частиц в мм,  $E_i, E_k$  - их энергии в ТэВ), объединялись в одну группу - исходный квант. Анализировались семейства с числом исходных квантов  $n_{\text{исх}} \geq 4$ .

Оценка энергии  $E_{\text{оц}}$  первичных частиц проводилась по количеству  $n_{\text{исх}}$  исходных частиц, согласно выражению:

$$\lg E_{\text{оц}} = A + B \cdot \lg(n_{\text{исх}}), \quad (2)$$

где коэффициенты  $A$  и  $B$  находились из сопоставления с МСО - моделью удовлетворительно описывающей многие характеристики семейств [3].

В случае справедливости модели образования экзотических пучковых струй и тяжелых ли-

дирующих резонансов, семейства, образованные от распада таких событий, не должны содержать энергетически выделенных квантов, т.е. энергетические спектры вторичных частиц должны быть более «мягкими» в сравнении с остальными.

Для проверки этого предположения в работе проводится анализ экспериментальных результатов на основе энергетического критерия

$$\Gamma = E_{\max} / \sum_{i=1}^4 E_i, \quad (3)$$

где  $E_{\max}$  – максимальная энергия, среди четырех  $\gamma$  - квантов с наибольшими энергиями в семействе.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе анализируется N=730 гамма-семейств, зарегистрированных Памирским сотрудничеством, с энергией  $\Sigma E_\gamma = 100-900$  ТэВ, числом частиц  $n_\gamma > 4$ , минимальными энергиями  $E_{\min} = 4$  ТэВ, отобранных в круге радиусом  $R_0 = 20$  см.

Исследовалась энергетическая зависимость доли выстроенных  $\gamma$ -семейств  $\delta_\lambda = \Delta N_\lambda / \Delta N$ , где  $\Delta N_\lambda$  - количество выстроенных событий среди  $\Delta N$  семейств, удовлетворяющих критериям  $\Gamma < \bar{\Gamma}$  или  $\Gamma > \bar{\Gamma}$  ( $\bar{\Gamma}$  - среднее значение параметра для данного интервала энергий). Очевидно, что события, удовлетворяющие критерию  $\Gamma < \bar{\Gamma}$ , не содержат лидирующих частиц.

Согласно полученным результатам, в области энергий  $E_{\text{оч}} < 20$  ПэВ экспериментальные данные о доле выстроенных семейств  $\delta_\lambda$  с «мягким» энергетическим спектром (для которых  $\Gamma < \bar{\Gamma}$ ) и «жестким» ( $\Gamma > \bar{\Gamma}$ ) согласуются с МСО - моделью. Однако, в области энергий  $\Delta E_{\text{оч}} = 20-70$  ПэВ наблюдается резкое возрастание доли выстроенных событий  $\delta_\lambda$ , до  $19 \pm 5\%$  среди семейств, не содержащих энергетически выделенных частиц по сравнению с МСО - моделью. При этом величина  $\delta_\lambda$ , определенная для семейств удовлетворяющих критерию  $\Gamma > \bar{\Gamma}$ , остается небольшой (~4%).

На рис.1 приводится зависимость от энергии  $E_{\text{оч}}$  параметра  $r$  - отношения доли выстроенных семейств  $\delta_\lambda$ , удовлетворяющих критериям  $\Gamma < \bar{\Gamma}$  и  $\Gamma > \bar{\Gamma}$ , (сплошная линия - МСО-модель, точки – эксперимент)

$$r = \delta_\lambda(\Gamma < \bar{\Gamma}) / \delta_\lambda(\Gamma > \bar{\Gamma}) \quad (4)$$

Как видно из рисунка экспериментальное значение  $r$ , близкое к 1 в области  $E_{\text{оч}} < 20$  ПэВ, возрастает более чем в 4 раза по сравнению с моделью при энергиях  $E_{\text{оч}} > 20$  ПэВ.

Для изучения зависимости эффекта выстроенности от природы первичных частиц, создающих такие события, были отобраны все выстроенные семейства с энергией  $E_0 = 8 - 70$  ПэВ. С помощью двух критериев отбора, чувствительных к химсоставу ПКЛ, определялась доля  $\Delta_p$  первичных протонов, создающих выстроенные события. Были использованы следующие характеристики семейств для отбора событий, создаваемых первичными протонами:

$$\overline{E_{\text{исх}}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{исх}} / n_{\text{исх}} - \text{средняя энергия исходных семейств};$$

$D = \Delta n_{\text{исх}} (< 25 \text{мм}) / n_{\text{исх}}$  - градиент плотности частиц в семействе ( $\Delta n_{\text{исх}} (< 25 \text{мм})$  - число исходных квантов, расположенных на расстояниях меньших 25 мм от центра).

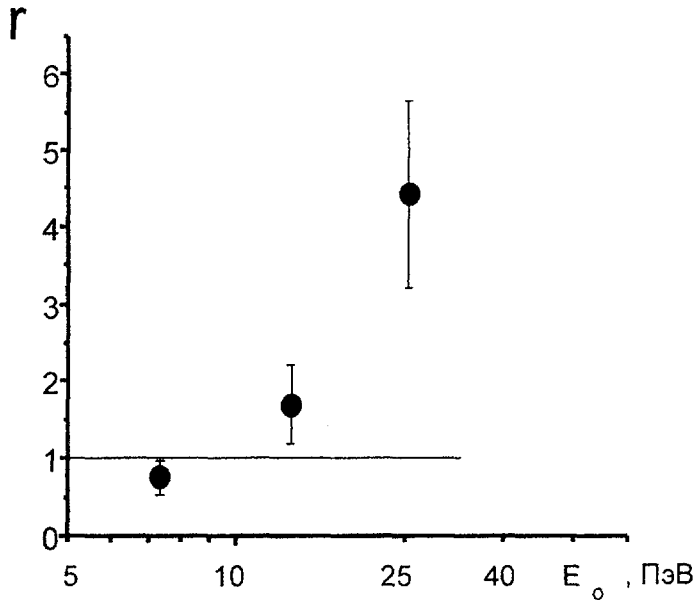


Рис.1

Согласно МСО-модели, средние значения этих характеристик и их распределения (см. рис.2) для событий, образованных первичными протонами (Р-семейства, сплошная линия) и ядрами (А-семейства, пунктир) сильно различаются:

$$\langle E_p \rangle = 18,0 \text{ ТэВ} \text{ и } \langle E_A \rangle = 14,0 \text{ ТэВ}, \quad \bar{D}_p = 0,53 \text{ и } \bar{D}_A = 0,37.$$

Эти характеристики были использованы в качестве критериев отбора Р-семейств в эксперименте:  $\bar{E} > 0,6 \langle \bar{E} \rangle$  и  $D > 0,6 \bar{D}$ , где  $\langle \bar{E} \rangle$ ,  $\bar{D}$  - средние значения характеристик, полученные по всем событиям.

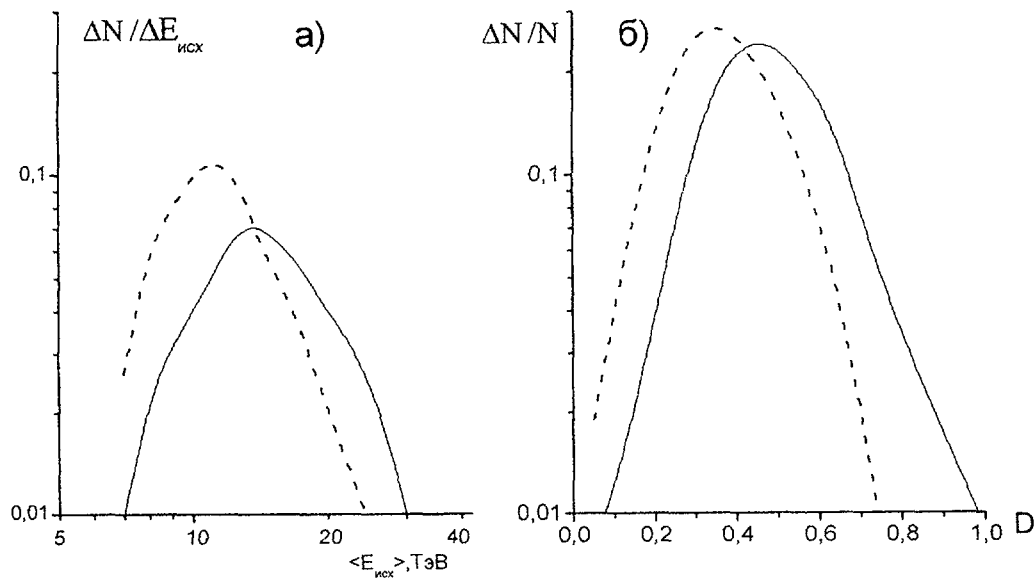


Рис.2.

Доля семейств, образованных первичными протонами, определяется из соотношения:

$$\Delta_p = \Delta_p^{кр} (1 - \Pi_A) / \eta_p, \quad (5)$$

где  $\Delta_p^{кр}$  - доля всех событий прошедших по критерию отбора,  $\Pi_A$  - доля А-семейств, прошедших по критерию отбора ("примесь" фоновых событий от первичных ядер),  $\eta_p$  - доля Р-семейств, отбираемых критерием (эффективность отбора событий от первичных протонов). Эти критерии отбора характеризуются высокой эффективностью (~80%) и малой примесью фона (~25%).

В результате доля первичных протонов, создающих выстроенные семейства, определённая с помощью 2-х критериев отбора, оказалась равной  $\Delta_p = 0,65 - 0,72$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдается резкое возрастание доли выстроенных событий среди семейств, не содержащих энергетически выделенных частиц, не описываемое моделью Кварк Глюонных Струн. Подавляющая доля выстроенных событий создаётся первичными протонами, а не ядрами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuldashbaev T.S., Nuritdinov Kh., Chudakov V.M. // Nuovo Cimento .C. 2001.V. 4-5. P. 569.
2. Erlykin A.D., Wolfendale A.W. // Nucl.Phys.B(Proc.Suppl.) .1999.75A. P.209.
3. Мухамедшин Р.А. // Изв. РАН, Сер.физ. 1997. Т.61. №3 . С. 434.