

МОЖНО ЛИ ОЦЕНИТЬ ПАРАМЕТРЫ 2D-ЭВОЛЮЦИИ СИГНАТУРЫ МЕТРИКИ ПРОСТРАНСТВА С ЭНЕРГИЕЙ ПО КОРРЕЛЯЦИЯМ АЗИМУТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЦ?

© 2023 г. Р. А. Мухамедшин^{1)*}

Поступила в редакцию 12.07.2023 г.; после доработки 12.07.2023 г.; принята к публикации 12.07.2023 г.

Компланарность подстволов в гамма-адронных семействах и так называемый long-range near-side “ridge”-эффект, обнаруженный CMS Коллаборацией на LHC, могут быть описаны в рамках модели FANSY 2.0, которая воспроизводит компланарную генерацию наиболее энергичных частиц в адронных взаимодействиях при сверхвысоких энергиях. Компланарная генерация, в свою очередь, может объясняться, в частности, гипотезой об эволюции сигнатуры метрики пространственно-временного континуума, а именно, переходом основного трехмерного состояния в двухмерное ($3D \leftrightarrow 2D$) с ростом энергии. Предлагается способ экспериментальной проверки этой гипотезы через анализ азимутальных корреляций частиц, генерируемых во взаимодействиях адронов.

DOI: 10.31857/S0044002723060120, EDN: ORUPJO

1. ВВЕДЕНИЕ

В высокогорных и стратосферных экспериментах с рентгено-эмульсионными камерами была обнаружена [1–9] тенденция к компланарности относительно изолированных друг от друга наиболее энергичных частиц (γ , $e^\pm$, $h^\pm$) и/или подстволов (т.е. развившихся каскадов от вышеупомянутых частиц) в составе так называемых гамма-адронных (γ - h) семейств (групп генетически связанных частиц с высокой ($\gtrsim 5$ ТэВ) энергией). Это явление было первоначально интерпретировано как результат компланарной генерации наиболее энергичных частиц (КГЧ) с большими поперечными импульсами в плоскости компланарности, $p_t^{\text{corl}} \gtrsim 1$ ГэВ/с [10–12].

Идеи, предложенные для объяснения появления КГЧ при сверхвысоких энергиях, разделяются на две принципиально разные группы:

1. ядерно-физические механизмы адронных взаимодействий, подразумевающие большие p_t^{corl} в плоскости компланарности, и связывающих эффект с

1.1. образованием специфических лидирующих систем [13–16];

1.2. угловым моментом кварк-глюонной струны [17];

2. гипотеза, предполагающая переход размерности пространства на малых масштабах от трех

к двум измерениям ($3D \leftrightarrow 2D$) с ростом энергии [18, 19].

Коллаборация CMS (LHC) обнаружила при энергии взаимодействия протонов $\sqrt{s} = 7$ ТэВ так называемый long-range near-side “ridge”-эффект (далее “ridge”-эффект) [20], т.е. аномально высокое значение двухчастичной корреляционной функции $R(\Delta\eta, \Delta\varphi) = f(S(\Delta\eta, \Delta\varphi)/B(\Delta\eta, \Delta\varphi))$ при $3 \lesssim |\Delta\eta| \lesssim 4$ и $|\Delta\varphi| \approx 0$ в событиях с высокой ($n_{\text{ch}} > 110$) множественностью заряженных адронов ($h^\pm$) в области $|\eta| < 2.4$. Здесь $S(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ и $B(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ — функции сигнала и фона соответственно, $\Delta\eta$ — разность псевдобыстрот адронов, $\Delta\varphi$ — разность их азимутальных углов φ . Для функции $S(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ величины переменных $\Delta\eta$ и $\Delta\varphi$ вычисляются перебором пар частиц внутри одного рассматриваемого взаимодействия. Для функции $B(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ величины $\Delta\eta$ и $\Delta\varphi$ вычисляются для каждой частицы из рассматриваемого взаимодействия поочередно со всеми частицами другого случайно выбранного взаимодействия.

Для анализа возможной связи компланарности и “ridge”-эффекта была разработана феноменологическая модель FANSY 2.0 [21–24], воспроизводящая как традиционную, так и компланарную генерацию частиц (соответственно версии QGSJ [21] и CPG [22]). В модели FANSY 2.0 CPG максимальная компланарность связана с самыми энергичными адронами. При уменьшении быстроты $|y|$ компланарность слабеет и совсем исчезает в центральной кинематической области при $|y| \lesssim y_{\text{thr}} = |y^2| - \Delta y \approx 2-3$, где Δy — параметр.

¹⁾Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия.

*E-mail: rauf_m@mail.ru

При моделировании взаимодействий процесс “копланаризации” применяется после розыгрыша взаимодействия в рамках традиционной версии FANSY 2.0 QGSJ. При этом поперечные импульсы частиц разворачиваются в сторону случайно выбранной плоскости компланарности, относительно которой азимутальные углы поперечных импульсов распределены по Гауссу с $\sigma \sim \sigma_0(|y_2/y|)^\beta$. Здесь y_2 — быстрота второй по энергии частицы. При $|y| < |y_{\text{thr}}| \sim 2-3$ эффект отсутствует.

Подчеркнем, что FANSY 2.0 — это модель адрон, т.е. чисто феноменологическая, поскольку ее физические основы остаются неясными. Если оставаться в рамках общепринятых концепций, то теоретические модели [13–17] почти неизбежно требуют для описания компланарности большие значения поперечного импульса p_t^{copl} (что противоречит данным LHC [25]), иначе придется предположить уменьшение компонент поперечного импульса, направленных перпендикулярно плоскости компланарности (что не вписывается в рамки современных представлений). Поэтому с феноменологической точки зрения наиболее подходящим является предположение об уменьшении размерности пространства с трех до двух [18, 19] (далее, для краткости, 2D-гипотеза).

В настоящей работе не рассматриваются модели [13–16], связанные с образованием специфических лидирующих систем, в частности, дифракционных кластеров. Можно только отметить следующее: подобные процессы а) не могут детально изучаться на LHC; б) не связаны с эффектами в центральной кинематической области, в частности, с “ridge”-эффектом; в) требуют отдельного исследования в экспериментах с космическими лучами, поскольку дифракционные процессы играют там очень важную роль.

Далее будут обсуждаться две важные проблемы в рамках предположения о справедливости 2D-гипотезы. Во-первых, будет рассмотрено, какие экспериментальные данные было бы необходимо, в идеале, проанализировать для окончательного решения этой проблемы. Во-вторых, попробуем проанализировать, какие данные, бросающие какой-то свет на поставленные вопросы, можно получить на существующих установках на LHC.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И СИГНАТУРА ПРОСТРАНСТВА

С экспериментальной точки зрения очень важным отличием двух конкурирующих концепций является то, что ядерно-физические механизмы протекают однократно в течение очень малого промежутка времени, $t_{\text{int}} \sim 2r_p/c \lesssim 5 \times 10^{-24}$ с (r_p — радиус протона, c — скорость света), тогда как в

рамках 2D-гипотезы степень компланарности частиц, рожденных в течение того же времени t_{int} , и частиц, реально существующих в каждый последующий момент времени, может существенно зависеть от развития во времени процессов последовательных распадов тяжелых резонансов в более легкие частицы.

Предположим, что по неизвестным нам причинам при энергиях взаимодействия адронов $\sqrt{s} \sim 7$ ТэВ имеет место локальный переход трехмерного состояния в двухмерное и обратно ($3D \leftrightarrow 2D$). Допустим, что таковыми причинами являются, например, очень высокая кратковременная пространственно-временная плотность энергии и/или какие-то релятивистские эффекты. Продолжительность времени существования 2D-эволюции неизвестна, но она не может быть меньше t_{int} . Ниже для удобства используется величина τ_{2D} , отсчет которой начинается от момента генерации прямых частиц, т.е. полное время 2D-состояния равно сумме $t_{\text{int}} + \tau_{2D}$. Рассмотрим экспериментальные возможности оценки этого параметра, имея в виду, что при генерации частиц рождаются как относительно стабильные частицы, так и резонансы с малыми временами жизни.

Если частицы рождаются в 2D-пространстве, то они разлетаются компланарно. Резонансы со средним временем жизни $\langle \tau \rangle = \tau_0 \gamma_L$ (τ_0 — среднее время жизни резонанса в покое, γ_L — его Лоренц-фактор) могут распадаться как в 2D-пространстве, если их реальное время жизни $\tau \lesssim \tau_{2D}$, так и в 3D-пространстве, если $\tau > \tau_{2D}$.

Моделирование показывает, что экспериментальная и расчетная функции $R(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ в области “ridge”-эффекта близки друг к другу при “копланаризации” в области быстрот $|y| \gtrsim 3$ [22], что соответствует энергии частиц $E \gtrsim 20$ ГэВ. Тогда для ρ -, ω -, η - и π^0 -мезонов имеем $\langle \tau \rangle \gtrsim 10^{-22}$, 10^{-21} , 10^{-17} и 10^{-14} с соответственно. Отметим только, что распад π^0 -мезонов (последний в цепочке распадов) должен влиять на наблюдаемую компланарность уже меньше, так как поперечные импульсы гамма-квантов относительно направленные движения π^0 -мезонов при их распадах равен ~ 70 МэВ/с, тогда как, например, поперечные импульсы нейтральных пионов в распаде ρ -мезонов равен ~ 360 МэВ/с.

В рамках 2D-гипотезы эти величины задают примерные масштабы временных интервалов, где можно искать какие-то изменения в степени компланарности поперечных импульсов различных типов частиц. Рисунок 1 иллюстрирует эту картину для основных каналов распадов $\rho^{\pm,0}$ -, ω -, η -резонансов и π^0 -мезонов.

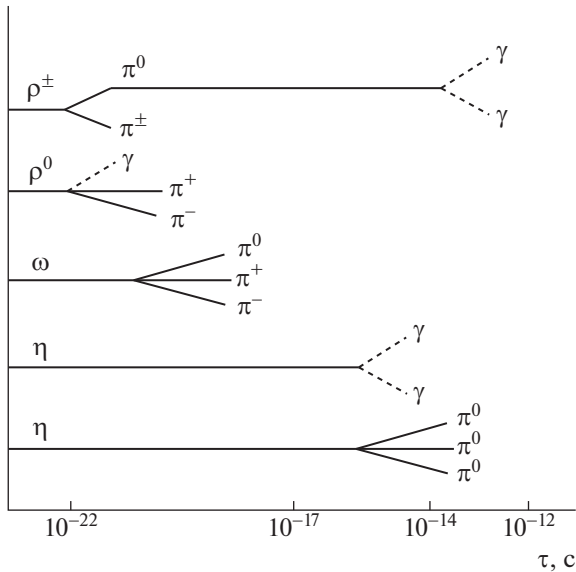


Рис. 1. Примерные временные масштабы некоторых каналов распадов первичных резонансов ($\rho^{\pm,0}$, ω , η) с энергией $E \sim 20$ ГэВ и последующих распадов вторичных частиц.

Рисунок 2 показывает временную зависимость вероятности распада $\rho^{\pm,0}$ -, η -резонансов и π^0 -мезонов в покое. Очевидны сильные различия времен распадов частиц. Естественно, для движущихся адронов время их распада увеличивается в соответствии с их Лоренц-фактором.

При различных значениях τ_{2D} высокую компланарность могут иметь 1) ρ -, ω -, η -резонансы (и другие адроны прямой генерации) при $\tau_{2D} \lesssim 10^{-22}$ с; 2) η - и π^0 -мезоны, родившиеся в результате распада более тяжелых резонансов при $\tau_{2D} \lesssim 10^{-16}$ с; 3) дополнительно π^0 -мезоны от распада η -мезонов при $\tau_{2D} \lesssim 10^{-14}$ с; 4) дополнительно γ -кванты от распада π^0 -мезонов при $\tau_{2D} \gtrsim 10^{-14}$ с. Таким образом, при $\tau_{2D} \gtrsim 10^{-14} - 10^{-13}$ с импульсы всех наблюдаемых частиц должны лежать в единой плоскости компланарности (или, по крайней мере, в одной из полусфер).

Отметим, что, в рамках концепции изменения размерности пространства, как минимум, первый случай уже имеет место. На возможность четвертого случая намекают характеристики стратосферного события "JF2af2" [9] с энергией $\Sigma E_{\gamma} \gtrsim 1.4$ ПэВ и числом частиц $n_{\gamma,e\pm} = 38$, имеющее экстремальную выстроенность треков вдоль прямой линии. Вероятность наблюдать подобное событие в результате флуктуаций крайне низка ($\lesssim 10^{-10}$) [24].

Для проведения анализа данных с целью проверки гипотезы о существовании $3D \leftrightarrow 2D$ процесса, необходимы эксперименты по изучению характеристик генерации и распада энергичных адронов

в широком кинематическом диапазоне ($|\eta, y| \gtrsim 3$, $x_F \gtrsim 0.01$) при сверхвысоких энергиях (в диапазоне ЛНС), для получения информации о каналах рождения, энергии и импульсах и угловых характеристиках резонансов; заряженных частиц; γ -квантов, а также осуществления полного кинематического анализа каждого взаимодействия и восстановления кинематической истории распадов нестабильных частиц. Крайне необходимо продолжить исследование явления компланарности в космических лучах, где впервые наблюдался этот феномен. Совместный анализ данных, полученных на ЛНС и в космических лучах, может дать очень интересные и неожиданные результаты.

Таким образом, предлагается следующий алгоритм действий.

1. Осуществить полный кинематический анализ каждого взаимодействия в широком интервале быстрот y и/или x_F (до максимально возможных значений) вторичных частиц.
2. Восстановить полную кинематическую историю распадов всех нестабильных частиц.
3. Проанализировать степень компланарности ρ -, ω -, η -резонансов, π^0 -мезонов, γ -квантов.

Рассмотрим возможные варианты экспериментальных результатов (при выполнении вышеприведенных критериях отбора):

1. Высокая степень компланарности наблюдается у ρ -мезонов (и других частиц прямой генерации), а у остальных частиц она уже меньше. Отсюда мы имеем $10^{-23} \lesssim \tau_{2D} \lesssim 10^{-22}$ с.
2. Высокая степень компланарности наблюдается также у η -мезонов. Это означает, что $10^{-17} \lesssim \tau_{2D} \lesssim 10^{-16}$ с.
3. Высокая степень компланарности наблюдается у π^0 -мезонов. Это означает, что $10^{-16} \lesssim \tau_{2D} \lesssim 10^{-14}$ с.
4. Наблюдается высокая степень компланарности γ -квантов. Это означает, что $\tau_{2D} \gtrsim 10^{-14}$ с (что, кстати, существенно больше значения, данного в обзоре [19]).

Наконец, можно попытаться искать корреляции частиц, рождающихся в двухчастичных распадах и разлетающихся строго вперед и назад в с.ц.м. Возможно, хотя и маловероятно, что это даст какие-то указания на существование ($3D \leftrightarrow 2D \leftrightarrow 1D$) эволюции сигнатуры метрики.

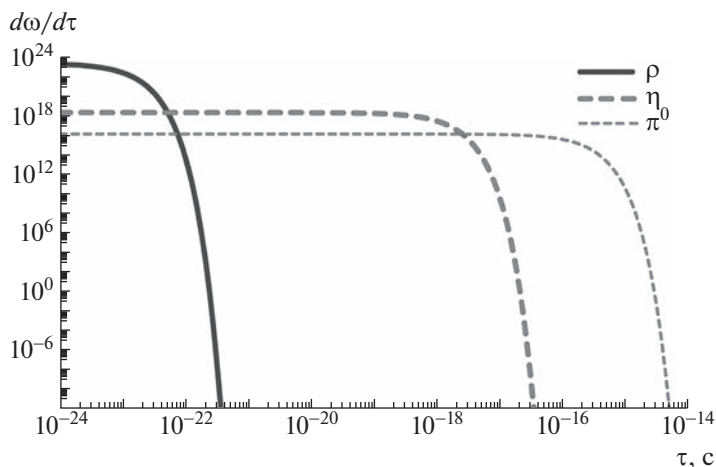


Рис. 2. Временная зависимость вероятности распада $\rho^{\pm,0}$ -, η -резонансов и π^0 -мезонов в покое.

3. ПОИСК 2D-ЭВОЛЮЦИИ СИГНАТУРЫ МЕТРИКИ НА LHC

В данный момент только эксперименты на LHC позволяют исследовать нужную область энергий. Диапазон псевдобыстрот $|\eta| \lesssim 2.4$, использованный Коллаборацией CMS для анализа “ridge”-эффекта в pp -взаимодействиях [20], не является оптимальным для анализа эффектов, связанных с компланарной генерацией наиболее энергичных частиц. Тем не менее, для анализа возможной связи процесса КГЧ и “ridge”-эффекта первоначально было проведено моделирование в рамках FANSY 2.0 CPG, а именно версии “moderate” [23, 24] (моделирование КГЧ в 3D-пространстве и случайной ориентации всех последующих распадов). Наиболее важными параметрами процесса “копланаризации” поперечных импульсов вторичных частиц являются параметры, определяющие степень компланарности, а именно: а) дисперсия отклонения азимутального угла адрона от плоскости компланарности $\sigma_{\varphi 0}$; б) скорость уменьшения степени компланарности с уменьшением быстроты адрона, определяемая параметром β ; в) минимальное значение быстроты y_{thr} , зависящее от параметра Δy . Эффективное значение y_{thr} может быть выбрано только феноменологически. Величины этих параметров для FANSY 2.0 CPG “moderate” и FANSY 2.0 2D даны в табл. 1.

Было показано [23], что FANSY 2.0 CPG качественно воспроизводит “ridge”-эффект при сечении КГЧ-процесса $\sigma_{\text{CPG}} = 42$ мбн. На рис. 3а (рис. 7г в [22]) показана экспериментальная функция $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ для пар заряженных частиц, а на рис. 3б (рис. 6 в [23]) показана соответствующая расчетная функция. Оба рисунка демонстрируют “ridge”-эффект в области $|\Delta\eta| \gtrsim 3$, $\Delta\varphi \sim 0$. Для

более точного сравнения экспериментальных данных и результатов моделирования дополнительно требуется моделирование отклика детекторов и других методических проблем.

Была начата работа по анализу возможной связи процесса КГЧ с 2D-эволюцией сигнатуры метрики. Первые предварительные результаты были опубликованы в [26]. В настоящей работе приведены более поздние результаты для различных частиц, основанные на большей статистике и полученные с помощью уточненных алгоритмов.

Было проведено моделирование двухчастичных корреляционных функций $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$, $R_{h^{\pm}\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$, полученные для пар $h^{\pm}h^{\pm}$, $h^{\pm}\gamma$, $\gamma\gamma$ соответственно при различных значениях τ_{2D} (от 0 до 10^{-12} с).

Поскольку, с одной стороны, эффективность КГЧ в рамках 2D-гипотезы резко возрастает с ростом τ_{2D} , а с другой стороны мы ограничены экспериментальной величиной “ridge”-эффекта для пар заряженных частиц, то все расчетные результаты необходимо нормировать на данные эксперимента. В настоящей работе сделана нормировка на площадь сечения функции $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (для пар $h^{\pm}h^{\pm}$) при $|\Delta\eta| = 4$. Поскольку главными критериями будут различия между функциями $R(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ для различных вариантов пар частиц

Таблица 1. Параметры версий “moderate” и “2D” модели FANSY 2.0

Параметры	“Moderate”	“2D”
Δy	4.5	6.0
$\sigma_{\varphi 0}$	0.09	0.001
β	0.82	0.01

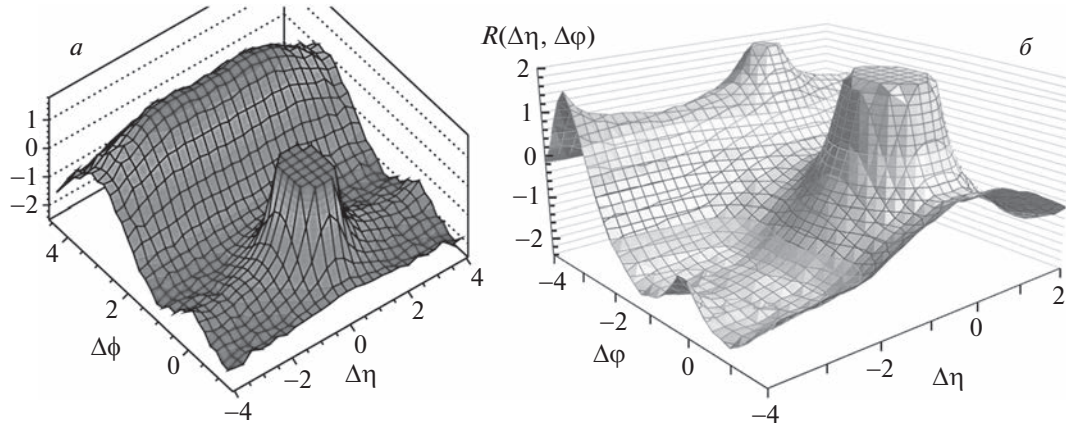


Рис. 3. *a* — Экспериментальная функция $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ для пар заряженных частиц в событиях с высокой множественностью (рис. 7*г* в [22]); *б* — соответствующая функция $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$, полученная в рамках модели FANSY 2.0 CPG “moderate” при $\sigma_{\text{CPG}} = 42$ мбн (рис. 6 в [23]).

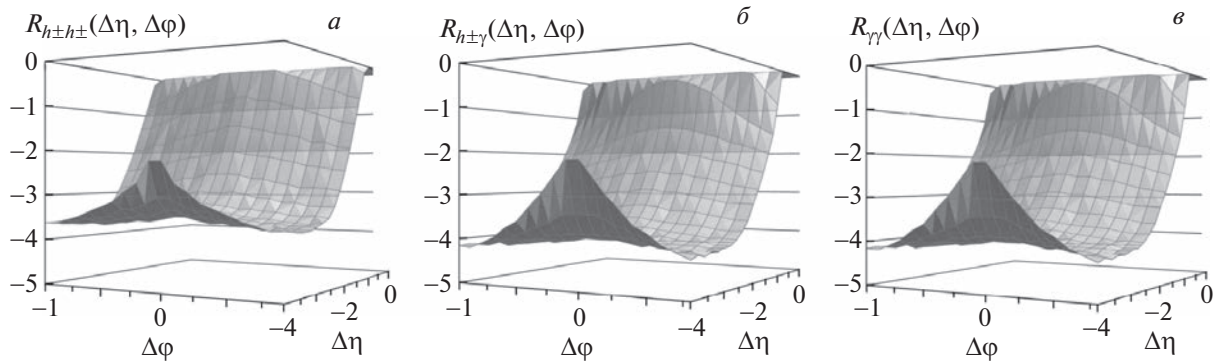


Рис. 4. Функции $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*a*), $R_{h^{\pm}\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*б*) и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*в*), полученные для пар $h^{\pm}h^{\pm}$, $h^{\pm}\gamma$, $\gamma\gamma$ соответственно при $\tau_{2D} = 10^{-24}$ с и $\sigma_{2D} = 11.0$ мбн.

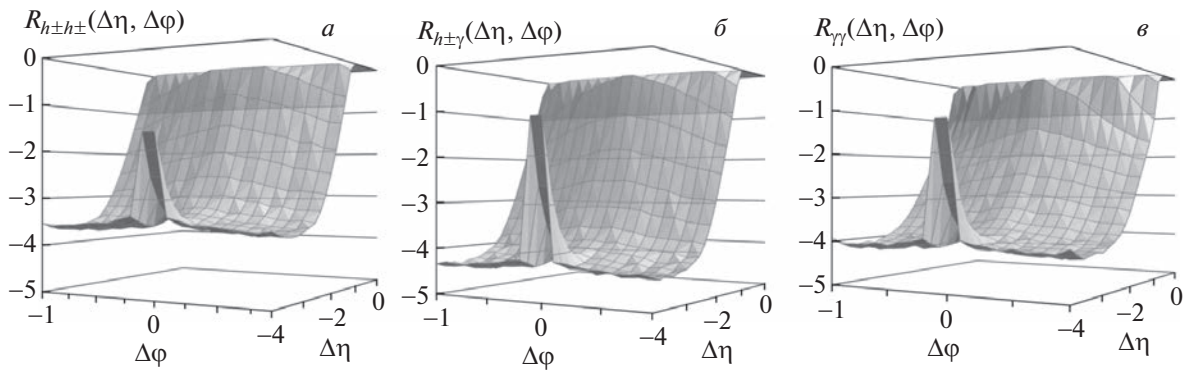


Рис. 5. Функции $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*a*), $R_{h^{\pm}\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*б*) и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*в*), полученные для пар $h^{\pm}h^{\pm}$, $h^{\pm}\gamma$, $\gamma\gamma$ соответственно при $\tau_{2D} = 10^{-12}$ с и $\sigma_{2D} = 2.2$ мбн.

при фиксированном значении τ_{2D} , то используется приблизительная нормировка.

На рис. 4 представлена непосредственно область “ridge”-эффекта ($|\Delta\eta| \leq 4$, $-1 < \Delta\varphi < 1$) функций $R_{h^{\pm}h^{\pm}}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*a*), $R_{h^{\pm}\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*б*) и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ (*в*), полученных для пар $h^{\pm}h^{\pm}$,

$h^{\pm}\gamma$, $\gamma\gamma$ соответственно при сечении процесса 2D-эволюции сигнатуры метрики $\sigma_{2D} = 11$ мбн и ее времени существования $\tau_{2D} = 0$ с (после компланарной 2D-генерации адронов).

На рис. 5 показаны аналогичные функции, полученные при $\tau_{2D} = 10^{-12}$ с и $\sigma_{2D} = 2.2$ мбн.

При $\tau_{2D} = 0$ (после компланарной генерации адронов) вся последующая цепочка распадов нестабильных частиц, от резонансов до π^0 -мезонов, происходит в 3D-пространстве. Как результат, пики функций $R_{h^\pm h^\pm}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$, $R_{h^\pm \gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ при $\Delta\varphi \approx 0$ довольно широкие, похожие на пики версии “moderate” [23, 24] (см. рис. 3б) (естественно, с учетом поправки на значения сечений генерации КГЧ).

При $\tau_{2D} = 10^{-12}$ с (когда уже распались все π^0 -мезоны) имеет место другая картина. Пики становятся высокими и узкими. Из трех типов корреляций самый сильный эффект проявляют $h^\pm \gamma$ -корреляции. Самое главное, что пик при $\Delta\varphi \approx 0$ для $\gamma\gamma$ -корреляций заметно выше пика для заряженных частиц. Это сильный маркер, означающий, что реальное значение времени существования 2D-флуктуации $\tau_{2D} \gtrsim 10^{-14}$ с.

Очевидно, при промежуточных значениях τ_{2D} соответственно меняются формы и взаимная величина пиков.

Напомним, что все вышеизложенные результаты получены в предположении, что процесс КГЧ не имеет отношения к гипотезам [13–16], связанным с образованием специфических лидирующих систем. Поскольку подобные процессы не могут изучаться на ЛНС, требуются специальные исследования в экспериментах с космическими лучами, поскольку дифракционные процессы играют там очень важную роль.

Для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными необходимо дополнительно учесть методические эффекты отклика детектора, искажающие форму функции $R(\Delta\eta, \Delta\varphi)$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальное исследование азимутальных корреляций резонансов и других частиц, а также цепочек их распадов в мезоны и γ -кванты во взаимодействиях сверхвысоких энергий, может помочь подтвердить существование или, как минимум, установить верхний предел локальной (3D $\leftrightarrow$ 2D) эволюции сигнатуры метрики с энергией.

Анализ двухчастичных $h^\pm h^\pm$ -, $h^\pm \gamma$ - и $\gamma\gamma$ -корреляций в области $|\eta| \lesssim 2.4$, $|\Delta\eta| \gtrsim 3$ может помочь поиску связи азимутальных корреляций с 2D-эволюцией сигнатуры метрики.

При времени существования 2D-эволюции сигнатуры метрики $\tau_{2D} \gtrsim 10^{-14}$ с (когда уже распались все π^0 -мезоны) пики функций $R_{h^\pm h^\pm}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$, $R_{h^\pm \gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ и $R_{\gamma\gamma}(\Delta\eta, \Delta\varphi)$ при $\Delta\varphi \approx 0$ становятся узкими. Самый сильный эффект проявляют

$h^\pm \gamma$ -корреляции, пик для $\gamma\gamma$ -корреляций заметно выше пика для заряженных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. S. Borisov *et al.* (Pamir Collab), in *Proceedings of the 4th ISVHECRI Beijing, 1986*, p. 4.
2. I. P. Ivanenko and B. L. Kanevsky, JETP Lett. **50**, 2125 (1992).
3. V. V. Kopenkin, A. K. Managadze, I. V. Rakobolskaya, and T. M. Roganova, Phys. Rev. D **52**, 2766 (1995).
4. Pamir Collab., Preprint INP MSU, no. 89-67/144 (1989).
5. A. S. Borisov, R. A. Mukhamedshin, V. S. Puchkov, S. A. Slavatsky, and G. B. Zhdanov, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **97**, 118 (2001).
6. L. Xue, Z. Q. Dai, and J. Y. Li, in *Proceedings of the 26th ICRC Salt Lake City, 1999*, Vol. 1, p. 127.
7. A. V. Apanasenko, N. A. Dobrotin, L. A. Goncharova, K. A. Kotelnikov, and N. G. Polukhina, in *Proceedings of the 15th ICRC Plovdiv, 1977*, Vol. 7, p. 220.
8. V. I. Osedlo, I. V. Rakobolskaya, V. I. Galkin, A. K. Managadze, L. G. Sveshnikova, L. A. Goncharova, K. A. Kotelnikov, A. G. Martynov, and N. G. Polukhina, in *Proceedings of the 27th ICRC, Hamburg, 2001*, Vol. 1, p. 1426.
9. J. N. Capdevielle, J. Phys. G **14**, 503 (1988).
10. R. A. Mukhamedshin, JHEP **0505**, 049 (2005).
11. R. A. Mukhamedshin, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **196**, 98 (2009).
12. A. K. Managadze, P. A. Мухамедшин, Изв. РАН. Сер. физ. **77**, 1573 (2013) [A. K. Managadze and R. A. Mukhamedshin, Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. **77**, 1315 (2013)].
13. I. I. Royzen, Mod. Phys. Lett. A **9**, 3517 (1994).
14. J. N. Capdevielle, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **175**, 137 (2008).
15. T. S. Yuldashbaev, Kh. Nuritdinov, and V. M. Chudakov, Nuovo Cimento C **24**, 569 (2001).
16. R. A. Mukhamedshin, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **75**, 141 (1999).
17. T. Wibig, hep-ph/0003230.
18. L. Anchordoqui, D. C. Dai, M. Fairbairn, G. Landsberg, and D. Stojkovic, Mod. Phys. Lett. A **27**, 1250021 (2012).
19. D. Stojkovic, arXiv: 1406.2696v1 [gr-qc].
20. The CMS Collab., JHEP **1009**, 091 (2010).
21. R. A. Mukhamedshin, Eur. Phys. J. Plus. **134**, 584 (2019).
22. R. A. Mukhamedshin and T. Sadykov, J. Phys.: Conf. Ser. **1181**, 012089 (2019).
23. R. A. Mukhamedshin, Eur. Phys. J. C **82**, 155 (2022).
24. P. A. Мухамедшин, Изв. РАН. Сер. физ. **85**, 534 (2021) [R. A. Mukhamedshin, Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. **85**, 402 (2021)].
25. R. A. Mukhamedshin, Eur. Phys. J. C **79**, 441 (2019).
26. P. A. Мухамедшин, Изв. РАН. Сер. физ. **87**, 962 (2023) [R. A. Mukhamedshin, Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. **87**, 900 (2023)].

IS IT POSSIBLE TO ESTIMATE THE PARAMETERS OF THE 2D EVOLUTION OF THE SPACE METRIC SIGNATURE WITH ENERGY FROM THE CORRELATIONS OF THE AZIMUTHAL CHARACTERISTICS OF PARTICLES?

R. A. Mukhamedshin¹⁾

¹⁾Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The coplanarity of subcores in γ -ray–hadron families and the so-called long-range near-side “ridge” effect discovered by the CMS Collaboration at the LHC can be described in terms of the FANSY 2.0 model, which reproduces the coplanar generation of the most energetic particles in hadronic interactions at superhigh energies. Coplanar generation can be explained, in particular, by the hypothesis of change of the signature of the metric of the space–time continuum, namely, a fluctuation transformation of the basic three-dimensional state into two-dimensional one ($3D \leftrightarrow 2D$). A method is proposed for experimental verification of this hypothesis by studying the azimuthal correlations of different particles in hadron interactions.