**Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук в 1 квартале 2022 года**

Сотрудниками Института в первом квартале опубликовано 49 научных статей в высокорейтинговых журналах и сборниках докладов на международных конференциях. Наиболее важные достижения перечислены ниже

***Комптоновское рассеяние аннигиляционных фотонов в запутанном и декогерентном квантовых состояниях.***

В ИЯИ РАН создана экспериментальная установка по исследованию процесса комптоновского рассеяния аннигиляционных фотонов в различных квантовых состояниях. Такие фотоны с рождаются в процессе позитрон-электронной аннигиляции, а их энергия 551 кэВ на пять порядков превышает энергию оптических фотонов. Это позволяет контролировать процесс декогеренции и изучать свойства фотонов, находящихся как в запутанном, так и в смешанном (сепарабельном) квантовых состояниях. Современные теоретические описания данных процессов являются противоречивыми. Так, согласно стандартному подходу с использованием матрицы плотности [1], у пар, рассеянных аннигиляционных фотонов в декогерентом состоянии не должно наблюдаться угловых азимутальных корреляций. Однако, согласно недавнему теоретическому описанию открытых квантовых систем [2], угловые корреляции рассеянных фотонов одинаковы для обоих квантовых состояний.

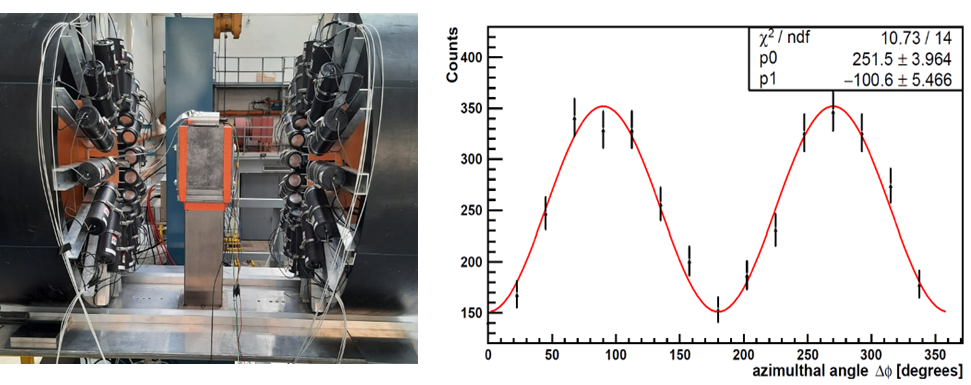


Рис.1 Слева – фотография установки. Справа – азимутальные угловые корреляции пар декогерентных фотонов.

Созданная в ИЯИ РАН экспериментальная установка из системы комптоновских поляриметров (рис.1, слева) позволила изучить рассеяние аннигиляционных фотонов и определить, что угловые корреляции запутанных и декогерентных фотонов совпадают (рис.1, справа). Экспериментальные данные по сравнению комптоновского рассеяния запутанных и декогерентных фотонов получены впервые в мире и найдут применение в создании новых поколений позитрон-эмиссионных томографов (ПЭТ).

[1]Bohm D. and Aharonov Y. 1957. Phys. Rev. 108, 1070.

[2] Hiesmayr B. and Moskal P. 2019. Sci Rep 9, 8166.

**Публикация:**

D. Abdurashitov et al. 2022. JINST 17 P03010.

**Координатор работ: Ивашкин Александр Павлович**

Тел: 8(495)850-42-56

Эл. почта: ivashkin@inr.ru

**ПФНИ**

***Связь компланарности наиболее энергичных частиц во взаимодействиях космических лучах и near-side «ridge» эффекта малоэнергичных частиц на БАК при сверхвысоких энергиях***

Опубликована статья с результатами сравнительного анализа азимутальных эффектов заряженных адронов в центральной области псевдобыстрот |η| < 2.4, найденных в экспериментах на LHC при √s = 7 ТэВ, и компланарности наиболее энергичных вторичных частиц в адрон-ядерных взаимодействиях космических лучей, обнаруженных в экспериментах с рентгеноэмульсионными камерами, при сверхвысоких (E0 ≳ 1016 эВ, √s ≳ 5 ТэВ) энергиях. Впервые показано, что т.н. long-range near-side «ridge» эффект Коллаборации CMS, а именно, рост двухчастичной корреляционной функции R (Δη, Δφ) при Δφ~0 и |Δη| ≳ 3 (рис. 1а), который не объясняется ни одной из существующих теоретических моделей, воспроизводится (рис. 1б) в рамках модели FANSY 2.0 как побочный результат компланарной генерации наиболее высокоэнергичных частиц в *pp* взаимодействиях. Это может означать, что современные теоретические представления о генерации наиболее энергичных частиц в множественных процессах не полностью описывают характеристики адронных взаимодействий при сверхвысоких энергиях.

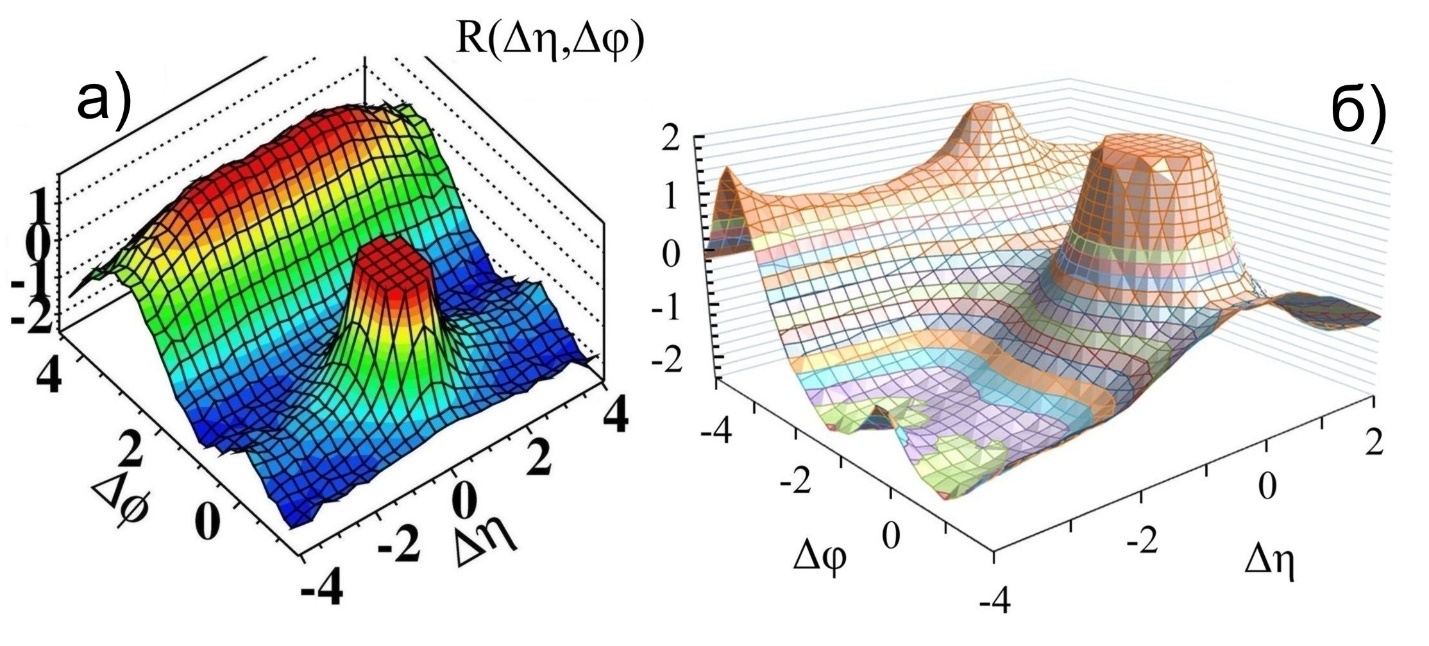


Рисунок 1. Двухчастичная корреляционная функция R (Δη, Δφ), полученная Коллаборацией CMS (рис. 1а), и в результате моделирования в рамках модели FANSY 2.0 (рис. 1б). На обоих рисунках виден рост функции при Δφ~0 и |Δη| ≳ 3 (long-range near-side «ridge» эффект).

**Публикация:**

On connection between the collider long-range near-side ”ridge” effect at |η| < 2.4 and cosmic-ray coplanarity of most energetic particles. R.A. Mukhamedshin. Eur. Phys. J. C (2022) 82:155. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10082-w>.

**Координатор работ: Мухамедшин Рауф Адгамович**

Тел: 8(903)212-34-88

Эл. почта: [rauf\_m@mail.ru](mailto:rauf_m@mail.ru)

**ПФНИ** 1.3.3.4. “Физика космических лучей”.

***Исследование влияния 3N-сил на величину nn-длины рассеяния, извлекаемой в реакциях dd- и nd-развала***

На нейтронном канале РАДЭКС ИЯИ РАН проведен кинематически полный эксперимент по исследованию реакции *nd-*развала при энергии 8 МэВ и 11 МэВ с регистрацией всех трех вторичных частиц. Значения 1*S*0 длины *nn-*рассеяния *ann* = ‒19.8 ± 0.4 Фм при *En* = 8 МэВ и *ann* = ‒19.0 ± 0.5 Фм получены из сравнения экспериментальной зависимости выхода реакции *nd-*развала от относительной энергии *nn-*пары с результатами моделирования. Анализ полученных значений длин *nn-*рассеяния в совокупности с данными других экспериментов подтверждают гипотезу о зависимости извлекаемых параметров *nn-*взаимодействия от относительного расстояния *R* между *nn-*парой и третьей частицей. В рамках трехпараметрической экспоненциальной зависимости *ann*(*R*)*= a* + *b*·exp(−*R*/*r*0), где *b* отвечает за вклад 3*N-*сил, *a* определяет асимптотическое значение *ann* и должен быть свободным от вклада 3*N-*сил получена новая оценка асимптотической длины *nn-*рассеяния *a*= *−*16*.*1 *±* 0*.*1 Фм.

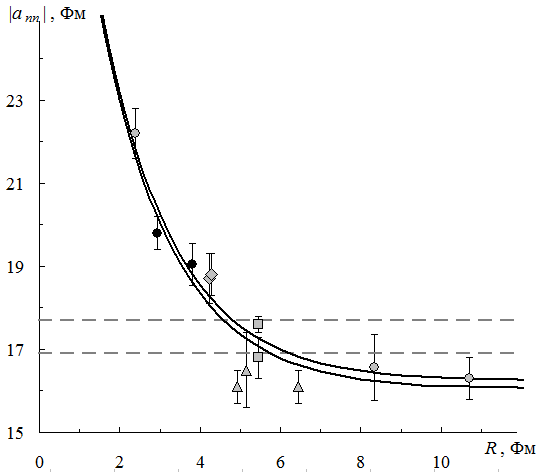


Рисунок 1. Зависимость значений *|ann|*, полученные в реакциях *dd-* и *nd-*развала от параметра *R*. Штриховые линии соответствуют предельным значениям *|app|*= 17*.*3±0*.*4 Фм; сплошные – аппроксимация экспериментальных точек при значении параметра *а* = *−*16*.*1*±*0*.*1 Фм. Точки – данные научных групп: ◊ – TUNL, △ – BONN, □ – TUNL*-*BONN, ○ – ИЯИ РАН, ● – результаты настоящей работы.

**Координатор: Каспаров Александр Александрович**

**Публикация:**

Е. С. Конобеевский, А. А. Каспаров, М. В. Мордовской, С. В. Зуев, С. И Поташев, А. А. Афонин, В. В. Мицук // Ядерная физика, 2022, том 85, № 3, с. 1–7.

***Оценка первичного спектра протонов кандидата в галактические ПэВатроны HAWC J1825-134***

Коллаборация HAWC недавно объявила о наблюдении гамма-квантов с энергиями> 200 ТэВ от галактического источника HAWC J1825-134. [1] HAWC J1825-134 является одним из лучших кандидатов в адронные ПэВатроны (объекты, ускоряющие протоны до энергий >1 ПэВ = 10^ {15} эВ), так как спектр этого источника не имеет признаков высокоэнергичного обрыва. Мы провели поиск источника в открытых данных космического гамма-телескопа Fermi-LAT и поставили верхние пределы на интенсивность гамма-квантов в диапазоне энергий 1 ГэВ - 1 ТэВ. Было установлено, что только жёсткий первичный спектр протонов с наклоном <1.8 адекватно описывает наблюдения. Этот результат может указывать, на удержание протонов сравнительно низких энергий (<10 ТэВ) в магнитных полях галактических ПэВатронов.

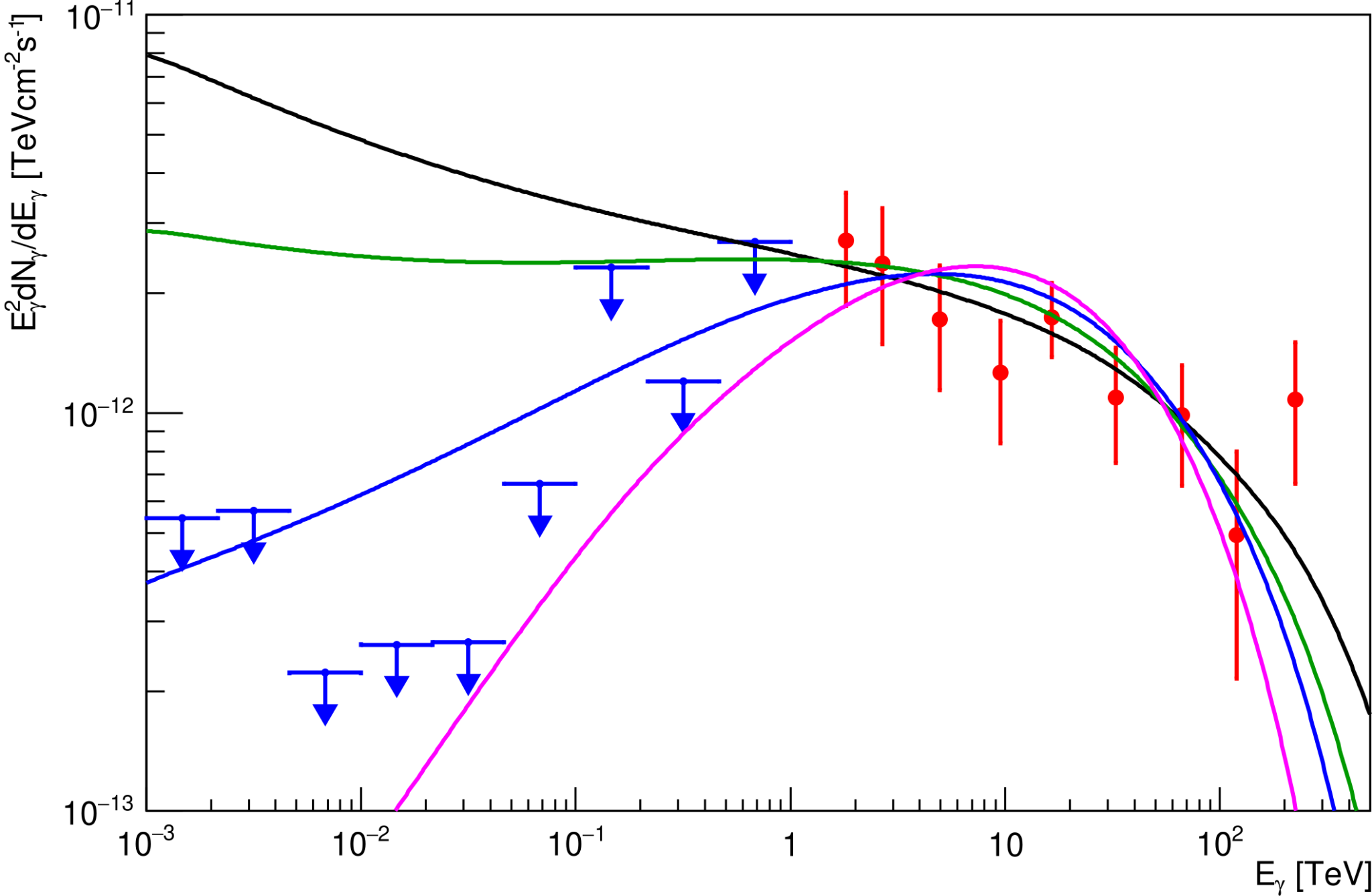


Рис. 1. Спектральное распределение энергий (SED= E2dN/dE) источника HAWC J1825-134, измеренное HAWC (красные кружки), верхние пределы на SED Fermi-LAT (синие стрелки), а также модельные SED для различных параметров спектра первичных протонов (кривые).

[1] [Albert et al., Astrophysical Journal Letters, **907**, L30 (2021)]

**Координатор: Джатдоев Тимур Ахматович**

**Публикация:**

<https://arxiv.org/abs/2101.10781> (“The primary proton spectrum of the hadronic PeVatron candidate HAWC J1825-134”), принято к печати в Astrophysical Journal

Результат получен в рамках контракта 075-15-2020-778 "Нейтрино и астрофизика частиц" **ПФНИ** 1.3.3.4. “Физика космических лучей”.