

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

НАУЧНЫЕ НОВОСТИ

НОВОСТИ ФИЗИКИ В СЕТИ INTERNET: ИЮНЬ 2026

(по материалам электронных препринтов)

Ю.Н. Ерошенко

PACS numbers: 01.10. – m, 01.30. – y, 01.90. + g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2026.05.040139>

1. Поиск эффектов за пределами Стандартной модели. Коллаборацией CMS (Compact Muon Solenoid) на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе выполнен поиск новой физики за пределами Стандартной модели элементарных частиц в наблюдениях углового распределения диджетов — парных высокоэнергетических струй частиц, рождавшихся при pp-столкновениях с энергией в системе центра масс 13 ТэВ [1]. Новые эффекты могли бы повлиять на статистические распределения или изменить сечения реакций по сравнению с предсказаниями Стандартной модели [2–4]. Данные эксперимента впервые сравнивались со второй поправкой (next-to-next-to) по отношению к ведущему порядку квантовой хромодинамики с учётом первой поправки к электрослабым процессам. Полученные ограничения на параметры теорий в ряде случаев значительно сильнее прежних. В частности, до энергии 13,4 ТэВ исключён обмен виртуальными гравитонами, а образование квантовых чёрных дыр исключено при их массах $< 6,3$ ТэВ и $< 8,5$ ТэВ, в зависимости от сценария. Получены ограничения на контактное взаимодействие кварков и на их возможную внутреннюю структуру — "субкварки". Векторные и аксиально-векторные медиаторы взаимодействия кварков и частиц тёмной материи исключаются в интервале масс 4–6,2 ТэВ. Также ограничена сверху аномальная тройная глюонная связь в теории эффективного поля и величина связи аксионоподобных частиц с глюонами.

2. Новый подход к объяснению стрелы времени. Одной из наиболее фундаментальных проблем физики является происхождение "стрелы времени", т.е. направления эволюции физических систем [5]. Новый подход представлен в работе С.Г. Рубина (НИЯУ МИФИ) [6] в рамках многомерной парадигмы [7]. С.Г. Рубин предложил связать направление хода времени с монотонным ростом объёма дополнительного пространства. В отличие от обычных подходов, связывающих направление времени с ростом энтропии вещества, новая модель отождествляет направление времени с ростом геометрической энтропии дополнительного пространства, выражаемой через число содержащихся в нём причинно-несвязанных областей. Важно, что при наличии дополнительных измерений данное число и, соответственно, общая энтропия растут экспоненциально быстрее, чем в случае обычного 3-мерного пространства. Благодаря этому, глобальный энтропийный градиент доминирует над локальными флуктуациями и задаёт необратимое направление времени в каждой 3-мерной точке нашего пространства. В основе теории С.Г. Рубина лежит фундаментальный постулат причинности, неявно использующийся при обсуждении хорошо известной космологической стрелы времени, согласно которому существует цепочка переходов между состояниями со всё большей энтропией. В работе [8] предложена модификация описанной модели с применением энтропийного метода Г. Перельмана. А именно, стрела времени связана с изменением формы дополнительного пространства при сохранении его объёма, что позволяет согласовать модель с известными из опыта ограничениями на переменность постоянной всемирного тяготения G .

3. Ядерные реакции при низких энергиях. Ядерные реакции с энергией ниже 1 МэВ на нуклон представляют большой интерес для понимания процессов в звёздах, однако их сложно воспроизвести в лабораторных условиях из-за малой вероятности взаимодействия ядер. Хорошие возможности для изучения низкоэнергетических реакций дают накопительные кольца тяжёлых ионов. На накопителе CRYRING@ESR в GSI (Центр исследований тяжёлых ионов им. Гельмгольца в Дармштадте, Германия) ионы азота замедлялись до требуемой энергии и с высокой точностью направлялись на мишень — пучок водорода при криогенной температуре [9]. Для регистрации продуктов реакций применялись кремниевые ленточные

детекторы. Сечение реакции $^{15}\text{N}(p,p)^{15}\text{N}$ при энергии ниже 1 МэВ на нуклон следовало формуле Резерфорда для упругого рассеяния, а при > 1 МэВ/и наблюдалась более сложная зависимость, объясняемая резонансными состояниями ядер ^{15}O . Также была исследована реакция $^{15}\text{N}(p,\alpha_0)^{12}\text{C}$ при 426 кэВ/и, что соответствует рекордно низкой энергии в системе центра масс 403 кэВ. Полученное сечение реакции $62,3 \pm 7,0$ мбн хорошо согласуется с результатами других измерений. Разработанные экспериментальные методы открывают новые перспективы в изучении ядерных реакций при низких энергиях.

4. Трансмерный аномальный эффект Холла. В отличие от обычного эффекта Холла, аномальный эффект Холла возникает даже при отсутствии внешнего магнитного поля [10, 11]. Как правило, длина свободного пробега электронов l_2 много меньше толщины системы, и эффективно имеет место двумерный эффект Холла с усреднением по толщине. В эксперименте Q. Li (Нанкинский университет, Китай) и соавторов был реализован противоположный случай, когда толщина образца много больше толщины атомного слоя, но меньше или сравнима с l_2 , и впервые продемонстрирован принципиально новый тип аномального эффекта Холла [12]. Изучалась гетероструктура с 9-слойным ромбоэдрическим графеном, инкапсулированным между двумя слоями гексагонального нитрида бора (hBN) и тонкими пластинками графита. Было обнаружено сосуществование магнитного гистерезиса холловского сопротивления с намагниченностью как в плоскости образца (in-plane), так и в перпендикулярном направлении. Это гибридное состояние возникает из-за особой металлической фазы, которая нарушает симметрию обращения времени. Авторы назвали новый промежуточный режим между 2D и 3D случаями "трансмерным" (transdimensional) аномальным эффектом Холла.

5. Гамма-излучение высоких энергий от остатка сверхновой IC 443. На расположенной в Китае высокогорной гамма-обсерватории LHAASO (Large High Altitude Air Shower Observatory) [13] выполнено наблюдение морфологии и спектра остатка сверхновой IC 443, находящегося на расстоянии 1,5 кпк [14]. В окрестности IC 443 регистрировался как точечный гамма-источник, наблюдавшийся ранее на нескольких гамма-телескопах при меньших энергиях, так и протяжённое гамма-излучение, обнаруженное обсерваторией им. Э. Ферми. По данным LHAASO, спектр точечного источника продолжается по степенному закону с показателем $\simeq 3,0$ до максимальной измеренной энергии ~ 30 ТэВ без видимого завала и имеет особенность, соответствующую распадам π^0 -мезонов. Это может свидетельствовать о том, что гамма-фотоны родились по адронному механизму при взаимодействии космических лучей с газом, причём энергия космических лучей достигала ~ 300 ТэВ. Тем самым остатки сверхновых, как это уже давно предполагается, могут являться источниками космических лучей с энергиями в суб-ПэВной области (пэватронами). В коллаборации LHAASO принимают участие российские учёные из ИЯИ РАН и МФТИ.

Список литературы

1. CMS Collab., arXiv:2603.25458, DOI:10.48550/arXiv.2603.25458
2. Казаков Д И *УФН* **189** 387 (2019); Kazakov D I *Phys. Usp.* **62** 364 (2019)
3. Боос Э Э *УФН* **192** 697 (2022); Boos E E *Phys. Usp.* **65** 653 (2022)
4. Матвеев В А *УФН* **194** 1250 (2024); Matveev V A *Phys. Usp.* **67** 1180 (2024)
5. Менский М В *УФН* **177** 415 (2007); Menskii M B *Phys. Usp.* **50** 397 (2007)
6. Rubin S G *Eur. Phys. J. C* **86** 584 (2026) DOI:10.1140/epjc/s10052-026-15852-4
7. Рубаков В А *УФН* **171** 913 (2001); Rubakov V A *Phys. Usp.* **44** 871 (2001)
8. Galautdinov A, arXiv:2601.19819v1, DOI:10.48550/arXiv.2601.19819
9. Marsh J J et al. *Eur. Phys. J. A* **62** 10 (2026) DOI:10.1140/epja/s10050-025-01783-3
10. Николаев С Н и др. *УФН* **195** 658 (2025); Nikolaev S N et al. *Phys. Usp.* **68** 617 (2025)
11. Девиатов Э В *УФН* **196** 473 (2026); Deviatov E V *Phys. Usp.* **69** (5) (2026) DOI:10.3367/UFNr.2025.04.039962
12. Li Q et al. *Nature* **653** 384 (2026) DOI:10.1038/s41586-026-10471-1
13. Стенкин Ю В *УФН* **192** 1048 (2022); Stenkin Yu V *Phys. Usp.* **65** 980 (2022)
14. Cao Z et al. (LHAASO Collab.) *Phys. Rev. Lett.* **136** 161002 (2026) DOI:10.1103/prx6-qzhz

Ю.Н. Ерошенко. Институт ядерных исследований РАН, просп. 60-летия Октября 7а, 117312 Москва, Российская Федерация E-mail: erosh@ufn.ru