

## **Физики открыли новое квантовое правило внутри атомных ядер: протоны и нейтроны выбирают партнеров не случайно**

Дата публикации: 04.06.2026

Несмотря на то что атомные ядра изучаются уже более ста лет, их внутреннее устройство продолжает преподносить сюрпризы. Новое исследование, проведенное физиками в Национальном ускорительном центре имени Томаса Джефферсона Министерства энергетики США, позволило обнаружить ранее неизвестное квантовое правило, которое определяет, каким образом протоны и нейтроны объединяются в пары внутри ядра атома. Открытие помогает глубже понять фундаментальные процессы, лежащие в основе строения вещества во Вселенной.

В центре внимания исследователей находилось явление, известное как короткодействующие корреляции. В определенные моменты времени два нуклона — протона и нейтрона, два протона или два нейтрона — могут образовывать тесно связанную пару внутри атомного ядра. Такие пары существуют очень недолго, однако именно они отвечают за появление частиц с высокими энергиями и импульсами, которые невозможно объяснить классическими моделями строения ядра.

За последние годы короткодействующие корреляции стали одной из наиболее активно исследуемых тем в ядерной физике. Ученые выяснили, что они оказывают влияние не только на структуру самих ядер, но и на внутреннее распределение кварков внутри протонов и нейтронов. Именно поэтому понимание механизмов образования таких пар имеет большое значение для фундаментальной науки.

До настоящего времени считалось, что вероятность формирования короткодействующих корреляций во многом определяется числом протонов и нейтронов в ядре. Особенно популярной была гипотеза о доминирующей роли избытка нейтронов. Согласно этой идее, увеличение количества нейтронов должно было существенно повышать вероятность образования определенных типов пар. Однако новые данные показали, что реальность значительно сложнее.

Для проверки существующих представлений физики решили использовать так называемые магические и дважды магические ядра. В ядерной физике магическими называют ядра, у которых полностью заполнены определенные энергетические оболочки для протонов или нейтронов. Такие структуры

обладают повышенной устойчивостью и позволяют изучать влияние отдельных факторов без вмешательства дополнительных переменных.

Особую роль в эксперименте сыграли изотопы кальция и железа. Именно поэтому проект получил название CaFe — по химическим обозначениям кальция и железа. Исследователи сравнили кальций-40, кальций-48 и железо-54, которые отличаются количеством протонов и нейтронов, но обладают хорошо изученной оболочечной структурой.

Первый этап анализа включал сравнение кальция-40 и кальция-48. Во втором ядре содержится на восемь нейтронов больше. Если бы решающим фактором действительно являлся избыток нейтронов, то вероятность образования короткодействующих корреляций должна была существенно увеличиться. Однако результаты оказались неожиданными. Рост числа корреляций составил всего около десяти процентов, что значительно меньше ожидаемого значения.

Еще более интересной оказалась следующая проверка. Исследователи сравнили кальций-48 и железо-54. В этом случае число нейтронов оставалось одинаковым, но добавлялись шесть протонов. Простые расчеты позволяли ожидать увеличение числа корреляций примерно на тридцать процентов. Однако эксперимент показал рост почти на пятьдесят процентов.

Подобный результат заставил ученых пересмотреть первоначальные предположения. После детального анализа стало ясно, что ключевым фактором выступает не масса ядра и не избыток нейтронов как таковой, а расположение протонов и нейтронов по энергетическим оболочкам. Другими словами, образование пар определяется квантовой архитектурой ядра.

С точки зрения квантовой механики это означает существование своеобразных правил отбора, которые определяют, какие частицы могут эффективно взаимодействовать друг с другом. Если протоны и нейтроны находятся на одинаковых или близких энергетических уровнях, вероятность образования пары значительно возрастает. Если же они разделены различными оболочками, взаимодействие становится намного менее эффективным.

Это открытие имеет гораздо более широкие последствия, чем может показаться на первый взгляд. Ядерная оболочечная структура играет ключевую роль в процессах нуклеосинтеза внутри звезд, образовании тяжелых элементов, механизмах радиоактивного распада и поведении вещества в экстремальных астрофизических условиях.

Особенно важным новое правило может оказаться для понимания строения нейтронных звезд. В этих сверхплотных объектах вещество находится в условиях колоссального давления, а взаимодействия между протонами и нейтронами

определяют многие физические свойства звездных остатков. Более точное описание короткодействующих корреляций позволит улучшить модели сверхплотной ядерной материи и повысить точность астрофизических расчетов.

Сам эксперимент проводился на ускорительном комплексе CEBAF, который считается одним из ведущих мировых инструментов для исследования структуры материи. Высокоэнергетические электроны с энергией 10,5 гигаэлектронвольт направлялись на различные ядерные мишени. Анализируя выбитые из ядер протоны и рассеянные электроны, исследователи смогли реконструировать внутренние процессы, происходящие внутри атомных ядер.

Примечательно, что сам сбор данных занял всего несколько дней. Однако столь быстрый результат стал возможен благодаря почти двадцати годам развития экспериментальных методик и совершенствования технологий обнаружения короткодействующих корреляций. То, что раньше требовало многих лет работы, сегодня можно исследовать значительно быстрее благодаря накопленному опыту и современным детекторам.

Исследование уже вызвало большой интерес среди специалистов, поскольку фактически добавляет новое правило в описание поведения нуклонов внутри ядра. Теперь физикам предстоит проверить, насколько универсален обнаруженный механизм и действует ли он для более легких и более тяжелых элементов периодической таблицы.

Полученные результаты показывают, что даже в хорошо изученной области ядерной физики остаются фундаментальные загадки. Открытие нового квантового критерия выбора партнеров для протонов и нейтронов не только углубляет понимание строения материи, но и открывает новые направления исследований, которые могут повлиять на ядерную физику, астрофизику и наше понимание эволюции Вселенной.

**Ссылка:** «Ядерная оболочечная структура определяет короткодействующее спаривание нуклонов» [DOI: 10.1038/s41586-026-10616-2](https://doi.org/10.1038/s41586-026-10616-2).