

Скрытый квантовый мир внутри протона: новые открытия в ядерной физике

Дата публикации: 09.02.2025

Физики сделали значительный прорыв в понимании структуры протона, выявив, что внутри этой элементарной частицы скрывается сложная сеть квантовой запутанности. Протоны, которые считались относительно стабильными образованиями из кварков и глюонов, оказались динамическими системами, где запутанность частиц играет ключевую роль. Этот новый взгляд на фундаментальные частицы открывает перспективы для более точного описания ядерных взаимодействий и предсказания поведения частиц при **высокоэнергетических** столкновениях.

Исследование основывалось на анализе столкновений электронов с протонами, в ходе которых фотон, испущенный электроном, проникал внутрь протона, взаимодействуя с его компонентами. В этих процессах квантовая запутанность частиц проявляется в том, что изменение состояния одной из частиц мгновенно влияет на поведение остальных, даже если информация физически не успевает передаться. Это явление объясняет наблюдаемые эффекты при рассеянии частиц и может стать основой новой модели описания сильных взаимодействий.

Экспериментальные данные были собраны в ходе **анализа** глубоконеупругих столкновений, проведенных в лабораториях DESY и Брукхейвенской национальной лаборатории. Эти столкновения позволяют изучать структуру протона с беспрецедентной детализацией, поскольку энергию, передаваемую частицам, можно контролировать и анализировать возникающие вторичные частицы. Ключевым элементом нового исследования стало использование концепции энтропии запутанности — показателя, характеризующего уровень квантовой связи между частицами внутри протона.

Основные выводы исследования:

- **Кварки и глюоны** внутри протона находятся в состоянии квантовой запутанности, что влияет на процесс генерации вторичных частиц при столкновениях.
- Запутанность не ограничивается несколькими частицами, а распространяется на всю структуру протона, создавая сложную динамическую систему.
- Измерение энтропии запутанности позволяет предсказывать количество и свойства частиц, образующихся в ходе взаимодействий.
- Результаты исследования согласуются с данными экспериментов на ускорителях, таких как HERA и будущий электронно-ионный коллайдер (EIC).

Физики предполагают, что этот новый теоретический подход поможет объяснить, как сильные взаимодействия формируют структуру материи на субатомном уровне. Запутанность внутри протона может сыграть решающую роль в понимании таких явлений, как формирование адронных частиц, процесс конфайнмента кварков и влияние ядерной среды на свойства частиц.

Будущие исследования сосредоточатся на анализе столкновений не только одиночных протонов, но и более сложных атомных ядер, что позволит проверить, распространяются ли принципы квантовой запутанности на более крупные системы. Ожидается, что новый электронно-ионный коллайдер предоставит дополнительные данные, которые позволят уточнить предсказания модели.

Эти открытия открывают путь к новой эпохе ядерной физики, в которой квантовая механика становится не просто инструментом описания микромира, а основой для пересмотра фундаментальных принципов, на которых строится наша Вселенная.

Ссылка: «Эволюция энтропии запутанности в КХД» [DOI: 10.1088/1361-6633/ad910b](https://doi.org/10.1088/1361-6633/ad910b).