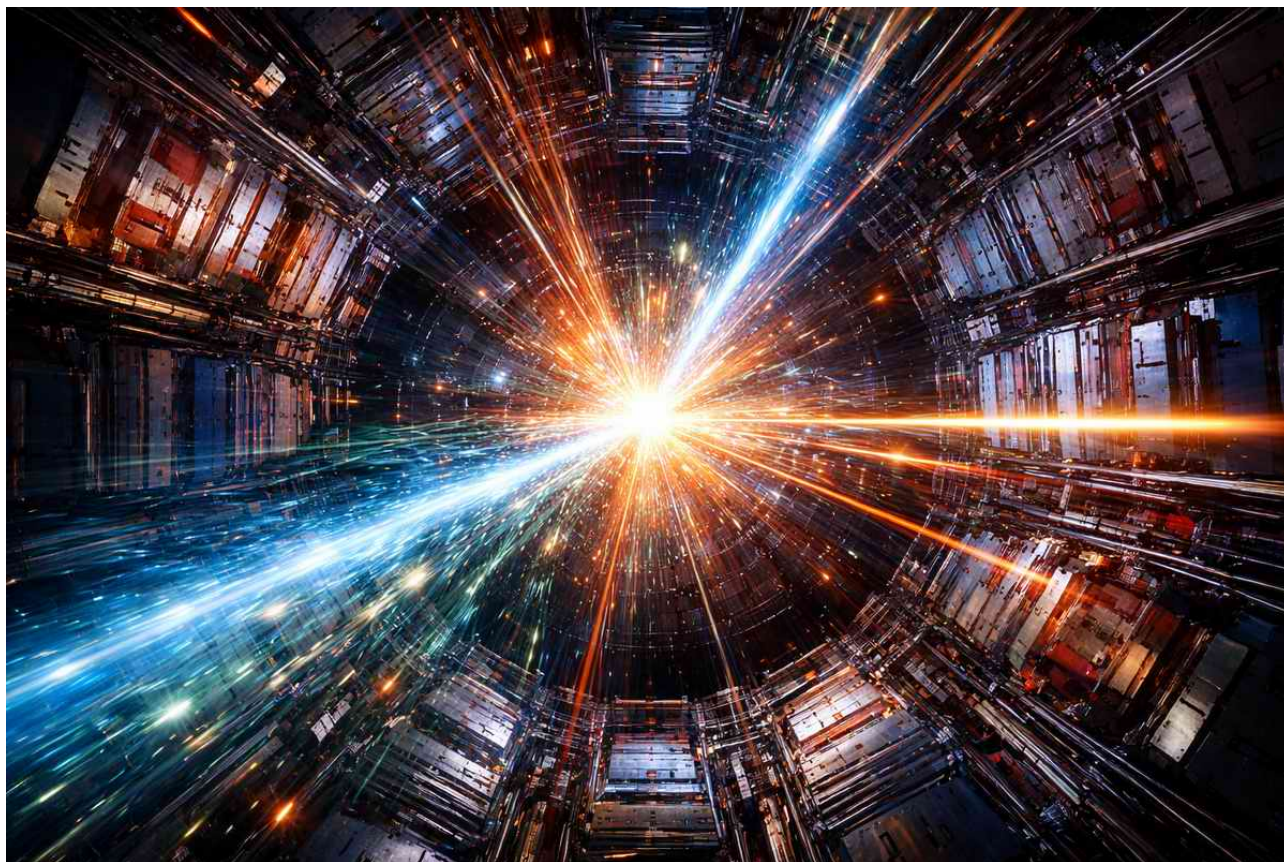


Кварки остаются неделимыми: эксперимент CMS не обнаружил их внутренней структуры



Дата публикации: 17.04.2026

Современная физика рассматривает кварки как фундаментальные частицы, не имеющие внутренней структуры. Однако этот статус постоянно проверяется с помощью экспериментов высокой энергии, поскольку история науки показывает, что ранее «неделимые» объекты неоднократно оказывались составными. Новейшие результаты коллаборации CMS experiment дают одно из самых точных подтверждений того, что кварки действительно ведут себя как точечные объекты вплоть до экстремально малых масштабов.

Исследования проводятся на ускорителе Large Hadron Collider, где протоны разгоняются до околосветовых скоростей и сталкиваются с огромной энергией. В таких условиях становится возможным «заглянуть» внутрь элементарных частиц, подобно тому как в начале XX века эксперименты позволили открыть атомное ядро. В ходе столкновений протоны распадаются на кварки и глюоны, которые затем формируют струи вторичных частиц, регистрируемые детекторами.

Методика анализа основана на изучении углов рассеяния этих струй. Если бы кварки имели внутреннюю структуру, это проявилось бы в отклонении распределения углов от предсказаний теории для точечных частиц. Однако результаты эксперимента показали полное соответствие ожиданиям Стандартной модели, что свидетельствует об отсутствии наблюдаемой составности на исследуемых масштабах.

Достигнутый уровень чувствительности впечатляет: ученые смогли исследовать расстояния порядка 10^{-20} метра. Это на несколько порядков меньше размеров атомного ядра и приближает нас к фундаментальным пределам современной физики. Если кварки и обладают внутренней структурой, то она проявляется на еще меньших масштабах, недоступных текущим экспериментам.

Исторический контекст подчеркивает важность подобных исследований. Сначала материя считалась непрерывной, затем были открыты молекулы, атомы, ядра и, наконец, кварки. Каждый новый уровень требовал более высоких энергий для своего обнаружения. Классическим примером служит эксперимент Эрнест Резерфорд, который доказал существование атомного ядра с помощью рассеяния альфа-частиц.

Современные эксперименты продолжают эту традицию, но на принципиально новом уровне энергии. Анализ данных второго этапа работы коллайдера позволил установить жесткие ограничения на возможную «составность» кварков. В частности, введено ограничение на энергетическую шкалу порядка десятков тераэлектронвольт, при которой могли бы проявляться новые субструктуры.

Основные параметры исследования включают: анализ протон-протонных столкновений, реконструкцию струй частиц, измерение углов рассеяния, сравнение с теоретическими моделями, установление ограничений на энергетическую шкалу составности.

Полученные результаты имеют фундаментальное значение для теоретической физики. Они подтверждают предсказания Стандартной модели и одновременно сужают пространство для новых теорий, предполагающих существование более глубокого уровня структуры материи. Тем не менее, отсутствие обнаруженной структуры не означает ее окончательного отсутствия — это лишь указывает на необходимость более высоких энергий и более точных измерений.

Перспективы дальнейших исследований связаны с модернизацией ускорителей и накоплением новых данных. Будущие этапы работы коллайдера, включая режим высокой светимости, позволят значительно повысить точность

измерений и расширить диапазон доступных энергий. Это может привести либо к окончательному подтверждению фундаментальности кварков, либо к открытию новых уровней структуры материи.

Таким образом, современные эксперименты продолжают проверять один из ключевых вопросов физики: существуют ли более элементарные компоненты материи, чем кварки. Пока что данные свидетельствуют в пользу их фундаментальности, но поиск продолжается, и каждое новое поколение экспериментов приближает нас к более глубокому пониманию устройства Вселенной.

Ссылка: «Измерение угловых распределений диджетов и поиск физики за пределами стандартной модели в протон-протонных столкновениях при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ» DOI: [10.48550/arxiv.2603.25458](https://doi.org/10.48550/arxiv.2603.25458).