

Материя под давлением: как тяжёлые кварки раскрывают тайны Вселенной в экстремальных условиях

Дата публикации: 15.07.2025

В глубинах коллайдеров, где атомные ядра сталкиваются со скоростями, приближающимися к скорости света, на мгновения рождаются условия, напоминающие те, что существовали сразу после Большого взрыва. Это уникальное окно в прошлое позволяет учёным воссоздавать и исследовать фундаментальные состояния материи — от сверхгорячей кварк-глюонной плазмы до стабильной структуры привычного мира. Новое исследование, опубликованное в *Physics Reports*, раскрывает, как тяжёлые кварки — строительные блоки массивных частиц — помогают раскрывать законы, действовавшие в первые микросекунды жизни Вселенной.

Работа международной команды исследователей из Барселоны, Индии и США фокусируется на поведении частиц, содержащих с- и b-кварки, известных как D- и B-мезоны. Эти тяжёлые адроны играют роль своеобразных зондов: их высокая масса делает их инертными по сравнению с лёгкими частицами, и они дольше сохраняют следы взаимодействия с окружающей средой. Это свойство позволяет использовать их как сенсоры для исследования свойств вещества при экстремальных температурах и плотностях.

В лабораторных условиях подобные экстремальные состояния достигаются в столкновениях тяжёлых ядер на установках вроде Большого адронного коллайдера (LHC) и Релятивистского коллайдера тяжёлых ионов (RHIC). При таких столкновениях на доли секунды формируется кварк-глюонная плазма — раскалённая субстанция, в которой кварки и глюоны существуют свободно, не связываясь в протоны, нейтроны или другие адроны. Это состояние считается аналогом материи, существовавшей в первые моменты после Большого взрыва.

Однако после стремительного расширения и охлаждения плазма переходит в стадию адронной материи — уже привычных составных частиц. До недавнего времени основное внимание исследований было сосредоточено на горячей фазе, в то время как фаза охлаждения — ключевая для формирования наблюдаемых сигналов — оставалась в тени. Новое исследование переориентирует фокус внимания: оказывается, именно в переходной фазе происходит значительная часть потерь энергии и перераспределения импульса частиц.

Авторы работы моделируют, как тяжёлые адроны взаимодействуют с окружающей средой в процессе остывания. Эти процессы формируют

характерные потоки, влияют на угловое распределение частиц и служат источником ценнейших экспериментальных данных о состоянии вещества. Игнорировать влияние этой фазы — значит терять информацию о важнейших параметрах среды, в которой происходят фундаментальные превращения.

Особое внимание уделяется эффектам, связанным с квантовой хромодинамикой (КХД) — теории, описывающей сильное взаимодействие, удерживающее кварки внутри адронов. Поведение тяжёлых частиц в адронной фазе, их потери энергии и взаимодействия с лёгкими мезонами и барионами напрямую зависят от деталей КХД. Это даёт возможность не только проверять существующие модели, но и вносить поправки, уточняющие описание сильных ядерных взаимодействий.

Практическая значимость таких исследований выходит далеко за пределы теоретической физики. Создание детальной карты фазового перехода от кварк-глюонной плазмы к стабильной материи необходимо для понимания механизмов, запустивших эволюцию космоса. Сравнение результатов экспериментов с компьютерным моделированием помогает уточнить временные шкалы, температуру и плотность, характерные для ранней Вселенной. Эти данные необходимы для построения точной космологической модели, охватывающей этапы от инфляции до формирования первых галактик.

Дополнительно полученные знания лягут в основу экспериментов будущих установок, таких как комплекс FAIR в Германии и Суперсинхротрон в ЦЕРН. Эти проекты направлены на изучение материи при более низких энергиях, но с большей плотностью, что позволит дополнить картину, полученную в LHC и RHIC. Таким образом, поле исследования сдвигается к более тонкому анализу материи на грани стабильности.

Кроме того, понимание поведения тяжёлых адронов в условиях плотной среды поможет развивать технологии, связанные с управлением плазмой, энергетикой, а в долгосрочной перспективе — с возможным синтезом веществ, способных существовать в экзотических условиях, например, в недрах нейтронных звёзд.

В конечном счёте, каждое столкновение ядер на высокой энергии — это миниатюрная Вселенная, дающая шанс изучить физику начала времени. И хотя продолжают поиски объединяющей теории, соединяющей квантовую механику, гравитацию и термодинамику в единую систему, уже сегодня становится ясно: материя в экстремальных условиях хранит ответы на самые фундаментальные вопросы. Откуда мы? Из чего состоит наш мир? Какие силы определяют его структуру?

Ответы на эти вопросы не просто украсят учебники. Они станут основой новых технологий, расширят границы познания и, возможно, подскажут, как управлять самой материей на фундаментальном уровне.

Ссылка: «Ученые раскрывают тайны материи в экстремальных условиях»
[Universe Today](#).