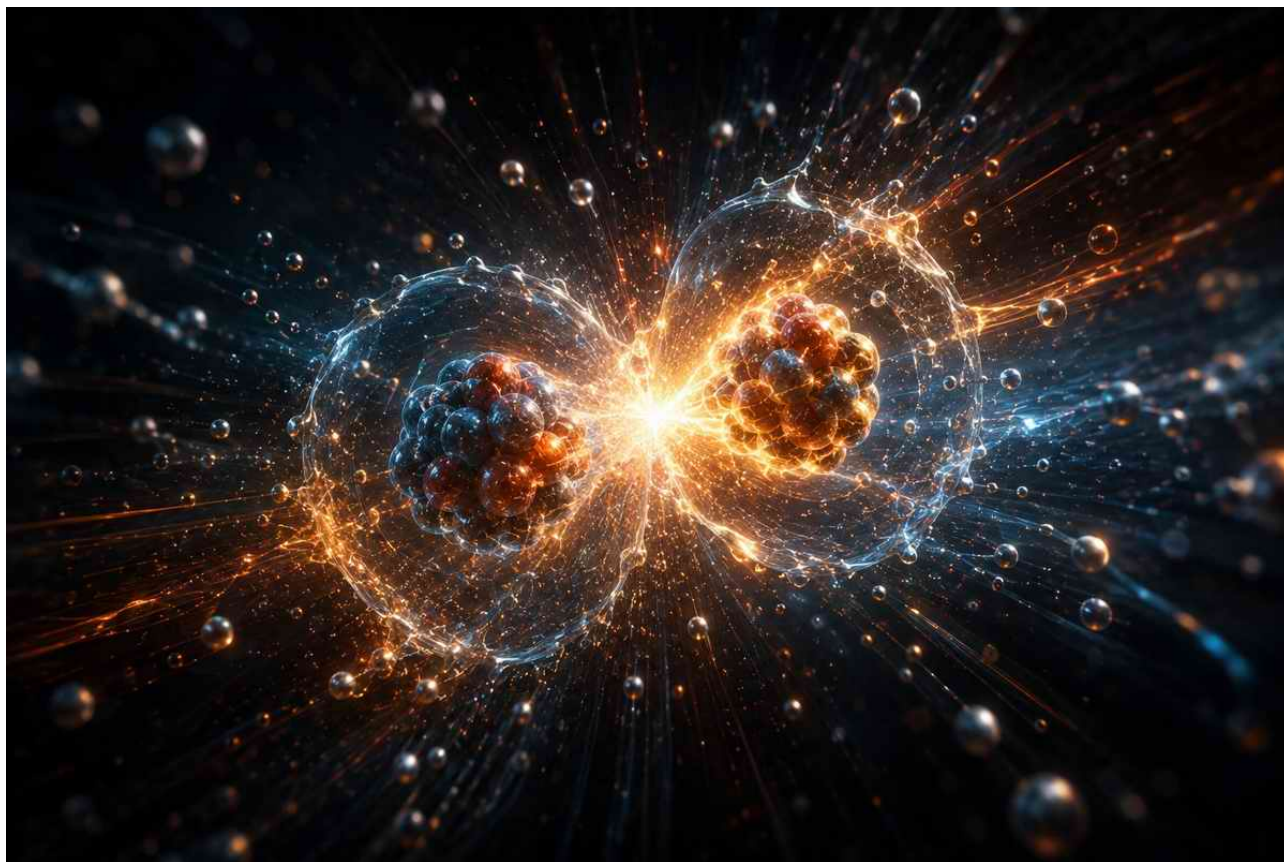


Физики создали «маленький Большой взрыв» и получили первичную материю Вселенной



Дата публикации: 21.08.2026

Физики приблизились к пониманию того, какой была материя в первые мгновения после Большого взрыва. В эксперименте ALICE на Большом адронном коллайдере ЦЕРНа исследователям удалось получить признаки кварк-глюонной плазмы при столкновениях сравнительно легких атомных ядер — кислорода-16 и неона-20. Ранее для подобных экспериментов преимущественно использовали гораздо более тяжелые ядра, например свинец.

Кварк-глюонная плазма представляет собой экстремальное состояние вещества, существовавшее в ранней Вселенной до образования привычных протонов и нейтронов. При обычных условиях кварки прочно связаны сильным взаимодействием внутри частиц. При колоссальной температуре и плотности эти связи временно перестраиваются, и возникает горячая среда из кварков и глюонов.

Именно такое состояние, согласно современной космологии, заполняло Вселенную в течение первых миллионных долей секунды после Большого

взрыва. Затем пространство расширялось и остывало, кварки объединились в протоны и нейтроны, позднее появились атомные ядра и атомы, а спустя сотни миллионов лет сформировались первые звезды и галактики.

В лаборатории подобные условия создаются буквально на мгновение. Атомные ядра разгоняют почти до скорости света и сталкивают друг с другом. Энергия удара превращается в крошечную сверхгорячую каплю вещества, существующую чрезвычайно короткое время. Увидеть ее непосредственно невозможно, поэтому физики изучают тысячи частиц, разлетающихся после столкновения, и восстанавливают свойства первоначальной среды по характеру их движения.

Новый эксперимент интересен прежде всего размером столкнувшихся систем. Долгое время считалось, что для надежного образования кварк-глюонной плазмы необходим достаточно большой объем вещества, поэтому особенно подходящими были тяжелые ядра свинца. Результаты с кислородом и неоном показывают, что коллективное поведение первичной материи может возникать и в значительно меньших системах.

Это позволяет приблизиться к одному из важных вопросов физики высоких энергий: насколько маленькой может быть система, прежде чем кварк-глюонная плазма перестанет формироваться. Ученые пока не знают точной границы. Следующим интересным кандидатом для экспериментов могут стать еще более легкие ядра, включая гелий-4.

Но столкновения неожиданно оказались полезны и для исследования самих атомных ядер. Ядро нельзя представлять как идеально твердый шар из протонов и нейтронов. Распределение этих частиц способно создавать сложную пространственную геометрию, а особенности исходной формы отражаются в движении частиц после высокоэнергетического столкновения.

В эксперименте столкновения кислорода создавали одну картину распределения частиц, тогда как неон оставлял заметно иной след. Полученные данные согласуются с представлением о том, что ядро неона-20 обладает выраженной деформацией, которую исследователи образно сравнивают с кеглей для боулинга. Эта начальная геометрия передается образовавшейся среде, а затем проявляется в направлениях движения конечных частиц.

Принцип напоминает определение формы предмета по его тени. Сам исходный объект в момент столкновения непосредственно рассмотреть невозможно, но его геометрия оставляет статистический отпечаток в огромном количестве измеренных частиц. Чем точнее детекторы и математические модели, тем подробнее физики могут восстановить исходную структуру ядра.

Так эксперимент ALICE одновременно становится инструментом ядерной физики и космологии ранней Вселенной. Форма ядра, кварк-глюонная плазма, сильное взаимодействие, коллективное движение частиц и экстремальная температура оказываются частями одного физического процесса.

Исследование формы атомных ядер имеет давнюю историю. Еще Ааге Бор и его коллеги показали, что ядра способны вращаться, колебаться и принимать несферические конфигурации. Эти работы сыграли фундаментальную роль в развитии ядерной физики и принесли Бору Нобелевскую премию по физике в 1975 году. Традиционно подобные свойства исследовали при сравнительно низких энергиях, тогда как эксперименты на Большом адронном коллайдере предлагают практически противоположный подход.

Вместо осторожного исследования поведения ядра его разрушают столкновением при максимально доступной энергии, а затем восстанавливают первоначальную структуру по разлетевшимся частицам. Если метод удастся развить, он может стать дополнительным способом изучения ядер, геометрия которых пока известна недостаточно хорошо.

Главная интрига теперь связана с минимальным размером системы, способной образовать кварк-глюонную плазму. Чем легче будут сталкиваемые ядра, тем ближе физики подойдут к границе возникновения коллективного поведения материи. Такие эксперименты способны одновременно уточнить устройство атомных ядер и показать, какие минимальные условия необходимы для появления вещества, существовавшего в первые мгновения после рождения Вселенной.

Ссылка: «Доказательства анизотропного потока, обусловленного геометрией ядра, в столкновениях $O + O$ и $Ne + Ne$ при $\sqrt{s_{NN}} = 5,36$ ТэВ» DOI: [10.1103/gymp-vp87](https://doi.org/10.1103/gymp-vp87).