

Ученые обнаружили неизвестный кристалл, образовавшийся после ядерного взрыва «Тринити»



Дата публикации: 13.05.2026

Спустя восемь десятилетий после первого в истории ядерного испытания «Тринити» ученые продолжают находить следы экстремальных процессов, произошедших в момент детонации. Новое исследование показало, что в остатках расплавленного материала, образовавшегося после взрыва в пустыне Нью-Мексико в 1945 году, сохранился ранее неизвестный тип кристалла. Его структура оказалась настолько необычной, что исследователи считают находку уникальным свидетельством поведения материи при колоссальных температурах и давлениях.

Испытание «Тринити» стало первым взрывом атомной бомбы в истории человечества. В момент детонации температура в эпицентре достигала тысяч градусов, а давление превышало атмосферное в десятки тысяч раз. Подобные условия существуют лишь доли секунды, однако этого оказалось достаточно, чтобы окружающий песок, металлические конструкции и элементы измерительного оборудования буквально расплавились и превратились в

странный стекловидный материал, известный как тринитит.

Большинство образцов тринитита имеют зеленоватый оттенок и напоминают оплавленное стекло. Однако существует значительно более редкая разновидность — красный тринитит. Он содержит большое количество металлов, испарившихся во время взрыва из башни испытательного полигона, кабелей и научной аппаратуры. Именно в этом материале ученые обнаружили новый кристалл, который никогда ранее не фиксировался среди продуктов ядерных взрывов.

Исследование было опубликовано в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Для анализа образцов ученые использовали электронно-микронный анализ, рентгеновскую дифракцию и современные методы компьютерного моделирования. Внутри богатых медью металлических капель исследователи обнаружили необычное соединение с клатратной структурой.

Клатраты представляют собой особый тип кристаллов, в которых атомы формируют своеобразную пространственную «клетку», способную удерживать другие атомы или молекулы внутри. Подобные структуры давно интересуют физиков и материаловедов, поскольку обладают необычными электронными и тепловыми свойствами. Некоторые клатраты рассматриваются как перспективные материалы для термоэлектрических устройств, хранения энергии и даже квантовых технологий.

Новый кристалл оказался соединением кремния, кальция, меди и железа. Его структура относится к редкому клатрату типа I. Внутри кристаллической решетки атомы образуют сложную трехмерную систему ячеек, в центре которых удерживаются атомы кальция. По словам исследователей, ранее подобная структура никогда не наблюдалась среди продуктов ядерного взрыва.

Особенность открытия заключается не только в необычном составе вещества, но и в условиях его формирования. Авторы работы подчеркивают, что такой материал возник в крайне короткий промежуток времени при экстремальном сочетании температуры, давления и стремительного охлаждения. В обычных лабораторных условиях воспроизвести подобный процесс чрезвычайно трудно.

Ученые отмечают, что обнаруженный кристалл относится к так называемым метастабильным формам материи. Это означает, что структура может существовать длительное время после образования, хотя при других условиях она была бы нестабильной. Подобные материалы особенно интересны физике твердого тела, поскольку позволяют изучать необычные состояния вещества, возникающие вне равновесия.

Исследование также помогло лучше понять природу еще одного загадочного

материала, обнаруженного в тринитите несколько лет назад, — квазикристалла. Квазикристаллы занимают промежуточное положение между обычными кристаллами и аморфными веществами. Их структура обладает сложной симметрией, которая долгое время считалась невозможной для кристаллических материалов.

Ранее в красном тринитите уже находили богатый кремнием квазикристалл, однако ученые не могли точно определить его происхождение. Теперь исследователи попытались выяснить, существует ли связь между новым клатратом и загадочным квазикристаллом, поскольку оба материала сформировались в одинаковых условиях внутри богатых медью металлических включений.

Для этого команда провела серию квантово-механических расчетов методом теории функционала плотности. Моделирование показало, что структуры клатрата остаются стабильными только при относительно низком содержании меди. Когда концентрация меди возрастает до уровня, характерного для квазикристалла «Тринити», структура начинает разрушаться и теряет свою упорядоченность.

Полученные результаты позволили исключить гипотезу о том, что квазикристалл мог быть разновидностью клатрата. Несмотря на схожее происхождение, эти материалы формируются по разным механизмам. Исследователи считают, что экстремальные события вроде ядерных взрывов, ударов молнии и высокоскоростных столкновений способны создавать совершенно необычные формы вещества, которые невозможно получить традиционными методами синтеза.

Особый интерес вызывает тот факт, что подобные открытия позволяют использовать последствия высокоэнергетических катастроф как своеобразные природные лаборатории. В течение долей секунды в таких условиях возникают температуры и давления, недоступные большинству современных научных установок. Это дает возможность наблюдать процессы формирования экзотических материалов, которые иначе могли бы остаться неизвестными.

Исследователи подчеркивают, что тринитит продолжает оставаться ценным источником информации о поведении материи в экстремальных условиях. Даже спустя 80 лет после первого ядерного взрыва внутри этих оплавленных стекловидных фрагментов сохраняются микроскопические структуры, способные рассказать о физике сверхвысоких температур и мгновенных фазовых переходов.

По мнению ученых, дальнейшее изучение подобных материалов может

привести к открытию новых типов кристаллов, необычных электронных состояний и неизвестных ранее механизмов формирования вещества. Такие исследования важны не только для фундаментальной науки, но и для будущих технологий, связанных с энергетикой, квантовыми материалами и сверхпрочными соединениями.

Ссылка: «Экстремальный неравновесный синтез клатрата Ca-Cu-Si во время ядерного испытания «Тринити»» DOI: [10.1073/pnas.2604165123](https://doi.org/10.1073/pnas.2604165123).