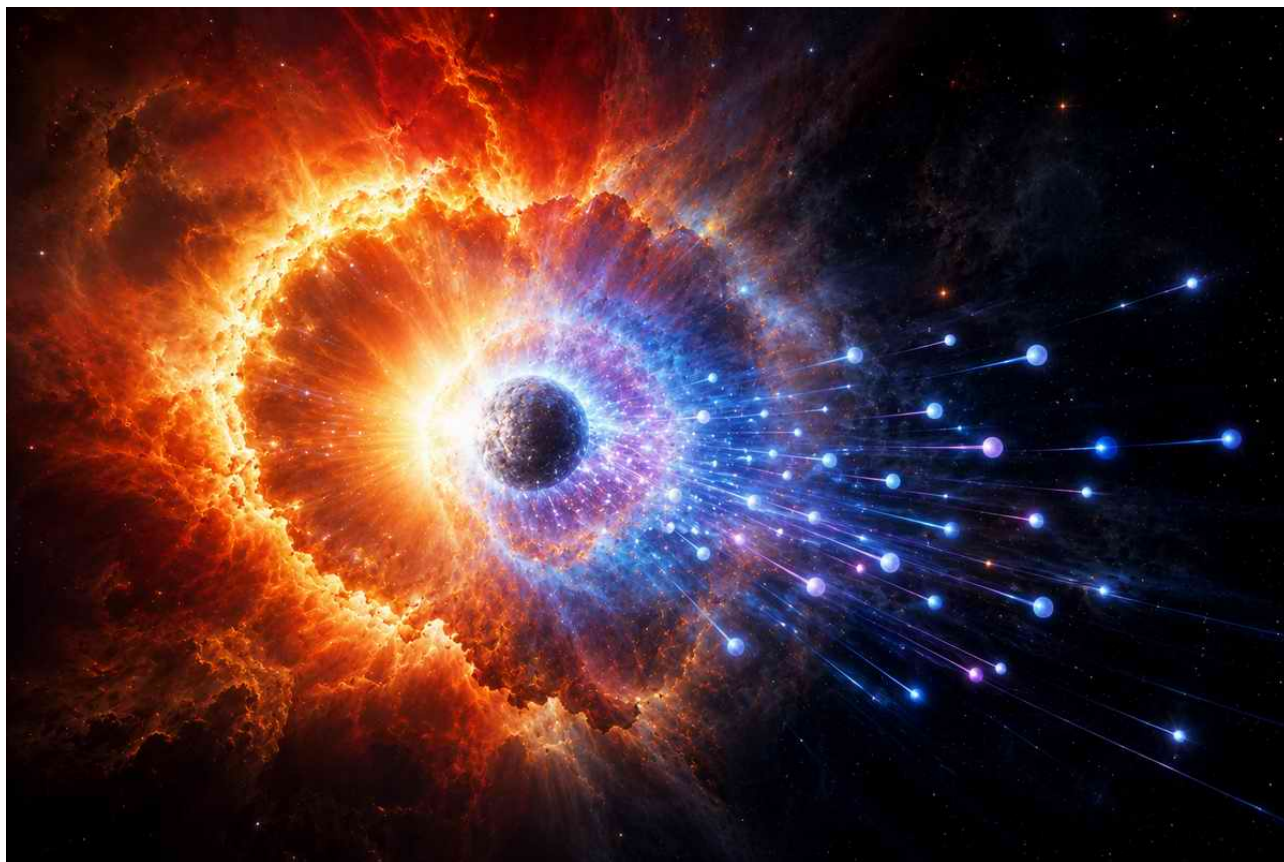


Ученые выяснили, как «переключение вкусов» нейтрино может запускать взрывы сверхновых



Дата публикации: 18.05.2026

Нейтрино считаются одними из самых загадочных частиц во Вселенной. Они практически не взаимодействуют с веществом, способны проходить сквозь целые планеты и триллионами пролетают через человеческое тело каждую секунду, оставаясь совершенно незаметными. Несмотря на эту неуловимость, именно нейтрино играют ключевую роль в самых мощных космических катастрофах — взрывах сверхновых звезд. Новое исследование японских ученых показывает, что необычное свойство нейтрино менять свой «аромат» может определять судьбу коллапсирующей звезды и запускать гигантские звездные взрывы.

Работа исследовательской группы под руководством Рюитиро Акахо из Университета Васэда была опубликована в журнале *Physical Review Letters* и посвящена одному из самых сложных процессов современной астрофизики — механизму возникновения сверхновых с коллапсом ядра.

Когда массивная звезда исчерпывает запасы термоядерного топлива, ее ядро теряет устойчивость и начинает стремительно сжиматься под действием

собственной гравитации. В течение долей секунды формируется чрезвычайно плотный объект — протонейтронная звезда. При этом выделяется колоссальное количество энергии и возникает ударная волна, которая потенциально способна разорвать звезду, породив сверхновую.

Однако астрофизики давно столкнулись с проблемой: многие компьютерные модели показывают, что одной только ударной волны недостаточно для полноценного взрыва. Волна быстро теряет энергию и затухает. Именно здесь в игру вступают нейтрино.

Во время коллапса ядра звезда выбрасывает невероятное количество нейтрино — примерно 10^{58} частиц всего за несколько секунд. Несмотря на слабое взаимодействие с веществом, столь огромный поток способен передавать энергию окружающим слоям звезды и «подогревать» ударную волну, помогая ей прорваться наружу.

Но ситуация оказывается значительно сложнее из-за явления нейтринных осцилляций. Нейтрино существуют в трех разновидностях, которые физики называют «ароматами»: электронные, мюонные и тау-нейтрино. Уникальность этих частиц заключается в том, что они могут спонтанно превращаться друг в друга во время движения.

Современная физика рассматривает нейтринные осцилляции как одно из важнейших доказательств того, что нейтрино обладают массой, хотя и чрезвычайно малой. За открытие этого явления в 2015 году была присуждена Нобелевская премия по физике.

Новое исследование сосредоточено на особенно загадочном процессе — быстрой конверсии ароматов нейтрино. В экстремальных условиях внутри коллапсирующей звезды нейтрино начинают коллективно взаимодействовать друг с другом, вызывая практически мгновенные переключения между ароматами.

Проблема заключается в том, что разные типы нейтрино по-разному взаимодействуют с веществом. Электронные нейтрино эффективнее передают энергию окружающей материи, тогда как другие ароматы взаимодействуют значительно слабее. Поэтому момент и характер «переключения» напрямую влияют на то, сколько энергии получит ударная волна сверхновой.

Особенность быстрой конверсии ароматов состоит в том, что она развивается на невероятно малых масштабах — на расстояниях всего в несколько сантиметров и за наносекунды. Для сравнения, размеры коллапсирующей звезды достигают тысяч километров. Именно поэтому подобные процессы крайне трудно учитывать в компьютерных моделях сверхновых.

Для решения этой задачи команда Акахо создала чрезвычайно детализированные модели коллапсирующих звезд разных масс. В расчетах учитывалось движение нейтрино во всех направлениях и их коллективное взаимодействие, что потребовало огромных вычислительных ресурсов.

Результаты оказались весьма неожиданными. Ученые обнаружили, что влияние быстрой конверсии ароматов зависит от скорости аккреции вещества на протонейтронную звезду — то есть от того, насколько интенсивно материя падает на сверхплотное ядро.

При относительно низкой скорости аккреции быстрая конверсия ароматов усиливала нагрев за счет нейтрино и способствовала развитию взрыва сверхновой. Однако при высокой скорости аккреции происходил противоположный эффект: преобразование ароматов уменьшало общий поток энергии нейтрино настолько сильно, что взрыв подавлялся.

Это означает, что судьба массивной звезды может зависеть от крайне тонких квантовых процессов на субатомном уровне. В одних случаях звезда превращается в яркую сверхновую, разбрасывая тяжелые элементы по галактике, а в других — может относительно «тихо» коллапсировать с образованием черной дыры.

Исследование также показало, что более упрощенные модели нейтринной физики могут серьезно искажать прогнозы. Некоторые методы либо полностью пропускают реальную быструю конверсию ароматов, либо предсказывают ее там, где она фактически не возникает. Это может приводить к ошибочным выводам о механизмах звездных взрывов.

Современные астрофизики считают сверхновые одним из ключевых процессов эволюции Вселенной. Именно в таких взрывах образуется значительная часть тяжелых химических элементов, включая железо, золото, уран и многие другие элементы, необходимые для формирования планет и жизни.

Кроме того, сверхновые играют важную роль в образовании нейтронных звезд, черных дыр и космических лучей. Поэтому понимание механизмов их возникновения остается одной из главных задач современной астрофизики.

Ученые предполагают, что дальнейшее развитие суперкомпьютеров позволит создавать еще более точные модели нейтринных процессов. Особенно важными направлениями исследований считаются: коллективные нейтринные взаимодействия, квантовые эффекты в плотной плазме, динамика коллапса ядра и влияние магнитных полей на распространение нейтрино.

По мнению исследователей, именно нейтрино могут оказаться тем «невидимым переключателем», который определяет, станет ли гибель массивной звезды одним из самых ярких событий во Вселенной или закончится почти незаметным коллапсом в черную дыру.

Ссылка: «Раздвоенное влияние быстрой конверсии ароматов нейтрино на сверхновые с коллапсом ядра, основанное на гидродинамике многоугольного нейтринного излучения» DOI: [10.1103/fksy-1jtw](https://doi.org/10.1103/fksy-1jtw).