

«Шёпот» погибших звёзд: как физики впервые услышали нейтринное эхо 13 миллиардов лет космической истории



Дата публикации: 23.07.2026

Вселенная хранит следы каждого события, которое когда-либо происходило в её истории. Одни из них проявляются в виде света далёких галактик, другие — в гравитационных волнах, возникающих при столкновении чёрных дыр. Однако существует ещё один, гораздо более тихий и почти неуловимый источник информации — поток нейтрино, рождающихся во время гибели массивных звёзд. В июне 2026 года физики сделали важный шаг к регистрации этого космического «шёпота». На Международной конференции по физике нейтрино и астрофизике Neutrino 2026, проходившей в Калифорнийском университете в Ирвайне, коллаборация Super-Kamiokande объявила о первом в истории указании на существование диффузного нейтринного фона сверхновых, известного как DSNB. Это событие многие исследователи уже называют началом новой эпохи нейтринной астрономии.

Диффузный нейтринный фон сверхновых представляет собой своеобразное эхо всей истории звёздной эволюции. Каждую секунду где-то в наблюдаемой

Вселенной происходит несколько взрывов сверхновых с коллапсом ядра. Во время такой космической катастрофы высвобождается колоссальное количество энергии, причём более 99 процентов её уносится именно нейтрино. Эти почти невесомые частицы практически не взаимодействуют с веществом и способны беспрепятственно проходить через звёзды, планеты и целые галактики. За последние тринадцать миллиардов лет произошло неисчислимо количество подобных взрывов. Испущенные ими нейтрино распространились по всему космосу, перемешались и сформировали постоянный фоновый поток, который буквально заполняет Вселенную.

Зафиксировать нейтрино от отдельной далёкой сверхновой практически невозможно. Большинство таких вспышек произошло настолько давно и настолько далеко, что поток частиц от каждой из них чрезвычайно слаб. Именно поэтому физики десятилетиями пытались зарегистрировать не отдельные события, а совокупный сигнал, складывающийся из всех звёздных катастроф, когда-либо произошедших в истории космоса. По сути, речь идёт о своеобразном коллективном голосе миллиардов погибших звёзд, который непрерывно проходит через пространство и через каждого из нас.

Главным инструментом этого поиска стал знаменитый японский детектор Super-Kamiokande, расположенный примерно в километре под землёй в префектуре Гифу. Подземное размещение защищает установку от космического излучения, которое могло бы заглушить крайне слабые сигналы. Внутри гигантского резервуара находится около пятидесяти тысяч тонн ультрачистой воды. Лишь в исключительно редких случаях нейтрино сталкивается с атомами воды, вызывая появление слабой вспышки черенковского излучения. Эти едва заметные сигналы регистрируются тысячами сверхчувствительных фотоумножителей, позволяющих восстановить характеристики прошедшей частицы.

Ключевой технологический прорыв последних лет связан с добавлением в воду гадолиния. Этот химический элемент обладает исключительно высоким сечением захвата нейтронов и значительно облегчает регистрацию процессов обратного бета-распада, возникающих при взаимодействии электронных антинейтрино с веществом. Благодаря гадолинию эффективность обнаружения искомых событий выросла почти вдвое, а уровень фонового шума существенно снизился. Именно эта модернизация позволила приблизиться к регистрации одного из самых слабых сигналов, существующих в современной астрофизике.

Для получения результата исследователи проанализировали архив наблюдений, накопленный почти за пять тысяч дней непрерывной работы детектора. После сложной обработки данных удалось обнаружить статистически значимый избыток событий, соответствующий ожидаемым характеристикам

диффузного нейтринного фона сверхновых. Уровень статистической значимости составил 2,6 сигма, что соответствует вероятности около 99,5 процента. В физике элементарных частиц такой результат ещё не считается окончательным открытием, поскольку общепринятый порог составляет пять сигма. Поэтому учёные осторожно называют полученный результат первым указанием на существование DSNB. Тем не менее измеренный поток около $3,6 \pm 1,6$ нейтрино на квадратный сантиметр в секунду хорошо совпадает с предсказаниями современных космологических моделей.

Научная ценность этой регистрации выходит далеко за рамки самой нейтринной физики. Диффузный нейтринный фон позволяет изучать скорость образования звёзд в разные эпохи существования Вселенной, механизмы рождения нейтронных звёзд и чёрных дыр, процессы синтеза тяжёлых химических элементов, включая углерод, кислород, кремний и железо. Эти данные дают независимую возможность проверить современные модели эволюции галактик, историю звездообразования и распределение масс звёзд. В дальнейшем исследователи рассчитывают объединить результаты Super-Kamiokande с данными строящегося детектора нового поколения Hyper-Kamiokande, который будет обладать значительно большей чувствительностью и сможет окончательно подтвердить существование диффузного нейтринного фона.

В этой истории есть и глубокий философский смысл. Частицы, зарегистрированные современными приборами, появились задолго до рождения Солнечной системы, формирования Земли и возникновения человечества. Некоторые из них начали своё путешествие через космос миллиарды лет назад, когда ещё не существовало привычных нам галактических структур. Они беспрепятственно пересекали огромные пространства Вселенной, проходили сквозь звёзды, планеты и облака межзвёздного газа, чтобы спустя невероятное время столкнуться с одним из атомов воды в подземном резервуаре японского детектора. Каждая такая вспышка света становится своеобразным посланием из глубочайшего прошлого, позволяющим современному человеку услышать события, свидетелями которых уже не может быть никакой телескоп.

Первое указание на существование диффузного нейтринного фона сверхновых — это значительно больше, чем очередное техническое достижение экспериментальной физики. Перед человечеством открывается совершенно новый способ изучения космической истории, основанный не на свете, а на потоках почти неуловимых элементарных частиц. Это открытие показывает, что даже самые слабые сигналы, накапливавшиеся на протяжении миллиардов лет, становятся доступными наблюдению, если создать достаточно чувствительные инструменты и проявить научное терпение. История DSNB напоминает, что

величайшие открытия рождаются не только из поиска ярких космических вспышек, но и из умения услышать почти абсолютную тишину, в которой скрываются голоса бесчисленных звёзд, сформировавших современную Вселенную.