

Методы космологии помогли ученым научиться точнее обнаруживать источники нейтронного излучения



Дата публикации: 07.07.2026

Современные методы ядерной безопасности во многом зависят от способности быстро и точно определять происхождение радиоактивного излучения. Однако обнаружение источников нейтронов остается одной из наиболее сложных задач прикладной физики. Многие опасные и безопасные материалы испускают очень похожие потоки нейтронов, поэтому традиционные методы анализа далеко не всегда позволяют уверенно установить, какой именно источник находится перед детектором. Теперь исследователи из Мичиганского университета предложили необычное решение этой проблемы, позаимствовав математические методы из космологии — науки, изучающей происхождение и эволюцию Вселенной.

Результаты работы опубликованы в журнале *Physical Review Applied* и уже рассматриваются как важный шаг в развитии технологий обнаружения радиоактивных материалов. Новый подход позволяет идентифицировать источник нейтронного излучения непосредственно по измеренному

энергетическому спектру, не полагаясь на косвенные признаки, которые могут быть искажены или полностью скрыты.

Нейтроны представляют собой электрически нейтральные частицы, входящие в состав атомных ядер. Именно отсутствие электрического заряда делает их чрезвычайно сложными объектами для регистрации. В отличие от гамма-излучения или рентгеновских лучей, нейтроны не взаимодействуют с веществом столь активно, поэтому их обнаружение требует специальных детекторов и сложной обработки данных.

Особую проблему представляет тот факт, что различные источники нейтронов обладают очень похожими энергетическими характеристиками. Например, промышленный радиоизотоп и материал, пригодный для создания ядерного устройства, могут формировать практически одинаковые спектры излучения. Именно поэтому существующие системы часто вынуждены анализировать дополнительные сигналы — гамма-кванты или рентгеновское излучение. Однако такие сигналы значительно легче экранировать, что снижает надежность обнаружения.

Новая методика принципиально отличается от традиционного подхода. Вместо анализа косвенных признаков исследователи предложили работать непосредственно с нейтронными спектрами, используя вероятностные методы, которые давно применяются в современной космологии и астрофизике.

Подобные математические модели широко используются при изучении гравитационных волн, поиске экзопланет и исследовании самых удаленных галактик. Во всех этих случаях ученым приходится извлекать полезную информацию из крайне слабых и зашумленных сигналов. Для этого применяется байесовский статистический анализ — один из наиболее мощных инструментов современной обработки экспериментальных данных.

Байесовский подход основан на постоянном обновлении вероятности различных гипотез по мере поступления новой информации. Вместо простого ответа «да» или «нет» алгоритм оценивает, насколько хорошо экспериментальные данные соответствуют каждой возможной модели, а затем вычисляет вероятность правильности каждого варианта.

Исследователи адаптировали эту математическую схему для анализа нейтронного излучения. Алгоритм получает данные от детектора, после чего сравнивает их с библиотекой заранее известных спектров различных источников. Среди них присутствуют, например, калифорний-252, плутоний-бериллий и другие широко используемые нейтронные источники.

Далее система автоматически строит несколько возможных сценариев. Она

рассматривает вероятность того, что зарегистрированное излучение принадлежит одному конкретному источнику, смеси нескольких материалов или иной комбинации известных вариантов. После этого вычисляется так называемое байесовское доказательство — численная оценка степени соответствия каждой гипотезы экспериментальным данным.

На заключительном этапе программа определяет наиболее вероятный источник нейтронов и одновременно рассчитывает уровень статистической достоверности полученного результата. Такой подход позволяет не просто назвать предполагаемый материал, но и количественно оценить уверенность в правильности сделанного вывода.

Для проверки эффективности новой технологии ученые провели серию лабораторных экспериментов. В качестве регистратора использовался детектор, содержащий двенадцать сцинтилляционных элементов из органического стекла. При взаимодействии с нейтронами этот материал испускает световые вспышки, которые фиксируются электроникой и используются для восстановления характеристик излучения.

В ходе испытаний исследователи поочередно использовали различные источники нейтронов: калифорний-252, плутоний-бериллий, а также их комбинации. Дополнительно моделировались реальные условия эксплуатации. Для этого радиоактивные материалы помещались внутрь свинцовых экранов, которые частично искажали регистрируемые сигналы и усложняли задачу алгоритма.

Несмотря на такие ограничения, новая система продемонстрировала исключительно высокую эффективность. Даже при небольшом объеме данных и наличии экранирования алгоритм правильно определял источник нейтронов с вероятностью более 99 процентов.

Дополнительно ученые сравнили два различных метода определения энергии нейтронов. Первый основан на измерении времени пролета частицы между двумя детекторами, второй использует спектроскопию отдачи, анализируя энергию протонов, возникающих после столкновения нейтронов с веществом сцинтиллятора. Результаты показали, что спектроскопия отдачи обеспечивает более быстрое получение достоверных результатов при значительно меньшем количестве зарегистрированных событий.

Практическое значение новой разработки трудно переоценить. Современные системы радиационного контроля используются в морских портах, аэропортах, на сухопутных границах, атомных электростанциях и объектах хранения радиоактивных материалов. Возможность быстро и надежно определить

происхождение нейтронного излучения существенно повысит эффективность борьбы с незаконным оборотом ядерных материалов и позволит быстрее принимать решения в чрезвычайных ситуациях.

Не менее важным является универсальный характер предложенного подхода. Исследование демонстрирует, что математические методы, первоначально разработанные для изучения происхождения Вселенной, могут успешно применяться для решения прикладных инженерных задач на Земле. Подобное объединение различных научных дисциплин становится одной из характерных особенностей современной науки, когда достижения фундаментальной физики находят применение в технологиях безопасности, медицине, материаловедении и промышленности.

Авторы исследования считают, что следующим этапом станет проверка алгоритма в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. Предстоит научиться уверенно работать с еще более слабыми сигналами, сложной геометрией объектов, различными типами экранирования и короткими интервалами измерений. Если эти испытания окажутся успешными, новая технология может стать основой следующего поколения интеллектуальных систем радиационного контроля, значительно повысив уровень глобальной ядерной безопасности и эффективность обнаружения потенциально опасных материалов.

Ссылка: «Идентификация источников нейтронов с использованием спектроскопии отдачи и времяпролетной спектроскопии» DOI: [10.1103/v6j6-f4rx](https://doi.org/10.1103/v6j6-f4rx).