

Искусственный интеллект помог точнее смоделировать рождение тяжёлых элементов при слиянии нейтронных звёзд

Дата публикации: 09.06.2026

Одним из самых впечатляющих процессов во Вселенной считается слияние нейтронных звёзд — сверхплотных объектов, остающихся после гибели массивных светил. Такие события сопровождаются колоссальными выбросами энергии, генерацией гравитационных волн и созданием условий для формирования самых тяжёлых химических элементов. Именно в подобных космических катастрофах, по мнению астрофизиков, рождаются значительные количества золота, платины, урана, тория и многих других элементов, которые невозможно эффективно синтезировать в обычных звёздах.

Однако изучение этих процессов остаётся одной из самых сложных задач современной астрофизики. Чтобы понять, каким образом формируются тяжёлые атомные ядра, учёным приходится моделировать огромное количество ядерных реакций, протекающих в экстремальных условиях. Такие расчёты требуют колоссальных вычислительных ресурсов и зачастую занимают недели или даже месяцы работы суперкомпьютеров.

Теперь международная группа исследователей из научного центра GSI/FAIR предложила новый подход к решению этой проблемы. Учёные впервые успешно применили технологии глубокого обучения и искусственного интеллекта для моделирования процессов выделения энергии во время так называемого r -процесса — механизма, который считается главным источником тяжёлых элементов во Вселенной.

Результаты исследования опубликованы в журнале *Physical Review D* и уже привлекли внимание специалистов по ядерной физике, астрофизике и вычислительному моделированию.

Чтобы понять значение новой работы, необходимо разобраться в том, как возникают тяжёлые элементы. В обычных звёздах синтезируются относительно лёгкие химические элементы, такие как углерод, кислород, кремний и железо. Однако для образования более тяжёлых атомов требуются экстремальные условия с огромной плотностью свободных нейтронов.

Именно такие условия возникают во время слияния нейтронных звёзд. В процессе столкновения выбрасываются гигантские массы вещества, насыщенного нейтронами. Атомные ядра начинают стремительно захватывать

эти частицы, постепенно превращаясь в более тяжёлые элементы. Этот механизм получил название процесса быстрого захвата нейтронов или r -процесса.

В течение долей секунды происходят тысячи ядерных превращений. Многие нестабильные ядра распадаются, выделяя энергию и создавая новые химические элементы. Именно эта энергия влияет на динамику выброшенного вещества, скорость его расширения и характеристики последующего электромагнитного свечения.

После слияния нейтронных звёзд возникает яркая вспышка, известная как килонова. Она может наблюдаться на огромных расстояниях и несёт информацию о процессах, происходящих внутри выбросов вещества. Чем точнее учёные моделируют нагрев, вызванный r -процессом, тем лучше они могут интерпретировать данные телескопов.

Главной проблемой остаётся сложность расчётов. Полное моделирование всех ядерных реакций требует обработки огромного числа параметров. Поэтому исследователи часто вынуждены использовать упрощённые схемы, которые снижают точность результатов.

Для решения этой задачи была создана новая система RHINE, название которой расшифровывается как реализация нагрева в r -процессе в гидродинамических симуляциях с использованием нейронных сетей. В основе технологии лежит искусственная нейронная сеть, обученная на большом массиве эталонных расчётов.

На первом этапе система анализирует тысячи детальных моделей ядерных реакций и выявляет закономерности между физическими параметрами и выделением энергии. После обучения нейронная сеть способна практически мгновенно оценивать характеристики нагрева без необходимости выполнять полный объём вычислений.

Проверка модели показала высокий уровень точности. Результаты, полученные с использованием искусственного интеллекта, практически совпали с традиционными расчётами, однако потребовали значительно меньше вычислительных ресурсов. Это открывает возможность для проведения гораздо более сложных и реалистичных астрофизических симуляций.

Исследование также позволило уточнить роль нагрева в r -процессе. Оказалось, что выделяемая энергия оказывает более заметное влияние на движение вещества и формирование наблюдаемого излучения килоновы, чем предполагалось ранее. Следовательно, будущие модели слияния нейтронных звёзд должны учитывать этот фактор значительно подробнее.

Особый интерес вызывает перспектива использования новой технологии в сочетании с будущими экспериментами на международном исследовательском комплексе FAIR, который строится в Германии. Этот уникальный научный центр позволит изучать свойства экзотических атомных ядер, существующих лишь доли секунды и играющих ключевую роль в космическом нуклеосинтезе.

Сочетание экспериментальных данных, искусственного интеллекта и современных астрофизических наблюдений может существенно продвинуть понимание происхождения химических элементов во Вселенной. Учёные надеются напрямую связать результаты лабораторных экспериментов с наблюдениями реальных слияний нейтронных звёзд и вспышек килоновых.

Особое значение подобные исследования приобрели после исторического события 17 августа 2017 года, когда астрономы впервые зарегистрировали столкновение двух нейтронных звёзд одновременно по гравитационным волнам и электромагнитному излучению. Это наблюдение стало важнейшим подтверждением того, что именно такие катастрофы являются одним из главных источников тяжёлых элементов в космосе.

Новая модель RHINE демонстрирует, как искусственный интеллект постепенно становится не только инструментом анализа данных, но и полноценным помощником в фундаментальной науке. Благодаря подобным технологиям исследователи получают возможность изучать процессы, происходящие в самых экстремальных уголках Вселенной, с ранее недостижимой точностью.

Ссылка: «Реализация г-процессного нагрева в гидродинамических симуляциях с использованием нейронных сетей» DOI: [10.1103/gl2l-7f3g](https://doi.org/10.1103/gl2l-7f3g).