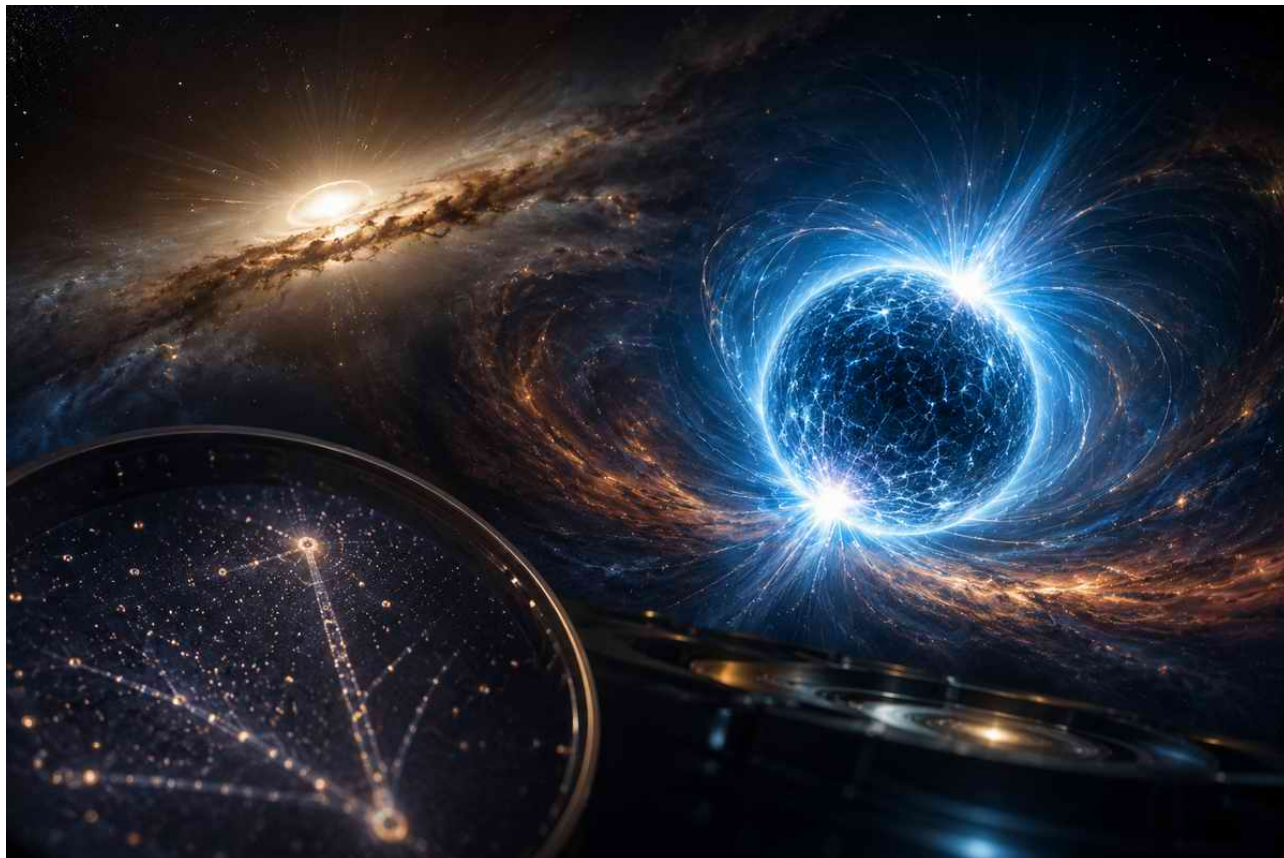


Как нейросети открыли дверь в недра нейтронных звезд: второе в истории двойное гиперядро



Дата публикации: 09.07.2026

Еще недавно поиск редчайших событий в физике элементарных частиц требовал десятилетий кропотливой работы исследователей. Сегодня эту задачу все чаще берет на себя искусственный интеллект. Международная группа ученых под руководством японского института RIKEN при участии специалистов GSI/FAIR в Дармштадте впервые в истории обнаружила двойное лямбда-гиперядро с помощью технологий глубокого обучения. Открытие стало первым однозначным наблюдением такого объекта за последние 25 лет и лишь вторым подтвержденным случаем за всю историю исследований после знаменитого события Nagara, зарегистрированного в 2001 году.

Работа основана на анализе данных эксперимента J-PARC E07, который изучает гиперядра — необычные разновидности атомных ядер. В обычном ядре находятся протоны и нейтроны, однако в гиперядре один или несколько из этих нуклонов заменяются гиперонами — частицами, содержащими странный кварк. Именно наличие странного кварка делает такие системы исключительно

ценными для фундаментальной физики, поскольку они позволяют исследовать сильное взаимодействие в условиях, недоступных при изучении обычных атомных ядер.

Особый интерес представляют двойные лямбда-гиперядра, содержащие сразу два Λ -гиперона. Подобные объекты встречаются чрезвычайно редко, но именно они позволяют напрямую измерить силу взаимодействия между двумя странными частицами внутри ядра. В новом исследовании ученым удалось идентифицировать ядро бора-13 с двумя лямбда-гиперонами, обозначаемое как $^{13}\Lambda\Lambda$. Анализ показал, что энергия связи двух лямбда-частиц составляет $B\Lambda = 25,57$ МэВ, а дополнительная энергия взаимодействия между ними $\Delta B\Lambda$ равна 2,83 МэВ. Эти параметры являются важнейшими экспериментальными ориентирами для современных моделей сильного взаимодействия.

Главной особенностью открытия стал способ его обнаружения. На протяжении десятилетий подобные исследования основывались на анализе специальных ядерных эмульсий — высокочувствительных фотопластин, в которых заряженные частицы оставляют микроскопические трехмерные следы. После облучения такие эмульсии содержат огромное количество пересекающихся треков, среди которых исследователям необходимо найти единичные события, соответствующие образованию двойного гиперядра. Ручной анализ подобных данных требует колоссальных затрат времени и может продолжаться многие годы.

Чтобы преодолеть это ограничение, исследователи разработали интеллектуальную систему поиска на основе сверточной нейронной сети Mask R-CNN. Однако для обучения алгоритма возникла неожиданная проблема: реальных примеров двойных гиперядер практически не существует. Поэтому ученые создали искусственный обучающий набор данных, объединив моделирование методом Монте-Карло с генеративно-состязательными сетями, способными синтезировать реалистичные изображения событий.

После обучения нейросеть научилась автоматически распознавать характерную топологию распада двойного гиперядра. Наиболее важным признаком стала структура из трех последовательных вершин, возникающая при образовании объекта и его дальнейшем распаде. Именно такая сложная пространственная конфигурация практически недоступна для быстрого поиска человеком, но хорошо распознается современными алгоритмами компьютерного зрения.

Результат оказался впечатляющим. Проанализировав всего около 0,2 процента экспериментальных данных, система обнаружила шесть наиболее перспективных кандидатов. После тщательной проверки под микроскопом один

из них был однозначно подтвержден как настоящее двойное лямбда-гиперядро. По оценкам авторов работы, если аналогичный подход применить ко всему массиву данных эксперимента E07, можно обнаружить более двух тысяч событий двойной странности, многие из которых до сих пор остаются скрытыми внутри архивов.

Значение открытия выходит далеко за пределы ядерной физики. Полученные данные непосредственно связаны с одной из главных загадок современной астрофизики — внутренним строением нейтронных звезд. Эти объекты представляют собой остатки массивных звезд после взрывов сверхновых и обладают плотностью, превышающей плотность атомных ядер в несколько раз. В таких экстремальных условиях вещество может переходить в необычное состояние, где помимо протонов и нейтронов начинают существовать гипероны.

Однако именно здесь возникает так называемая гиперонная загадка. Согласно многим теоретическим моделям, появление гиперонов должно слишком сильно уменьшать давление внутри звезды, делая вещество «слишком мягким». В этом случае невозможно объяснить существование наблюдаемых нейтронных звезд с массой около двух солнечных. Причина неопределенности заключается в том, что экспериментальных данных о взаимодействиях между гиперонами крайне мало.

Каждое новое двойное гиперядро становится уникальной лабораторией, позволяющей напрямую измерить силу притяжения между двумя Λ -гиперонами. Эти сведения используются для построения более точных моделей вещества сверхвысокой плотности, а значит, помогают понять, что на самом деле скрывается в недрах нейтронных звезд.

Не менее важным оказалось и методологическое значение работы. Искусственный интеллект впервые выступил не просто как инструмент ускорения вычислений, а как полноценный научный наблюдатель, способный обнаружить чрезвычайно редкое явление, практически незаметное при традиционном анализе. Как отметил руководитель исследования Такехико Сайто, это достижение демонстрирует, что искусственный интеллект способен выявлять чрезвычайно редкие события, скрытые в огромных массивах экспериментальных данных, которые было бы почти невозможно найти вручную.

Подобный подход меняет само представление об экспериментальной физике. Теперь научные открытия могут рождаться не только благодаря новым ускорителям, телескопам или детекторам, но и благодаря новым алгоритмам анализа уже накопленной информации. Данные, десятилетиями хранившиеся в архивах, способны раскрыть совершенно новые физические явления, если для их изучения появляется более совершенный способ обработки.

Открытие двойного лямбда-гиперядра с помощью искусственного интеллекта стало не просто техническим достижением, а настоящей сменой научной парадигмы. Оно приближает физиков к пониманию материи в экстремальных условиях, существующих внутри нейтронных звезд, где невозможно провести прямой лабораторный эксперимент. Одновременно новый метод открывает путь к созданию своеобразной «фабрики двойной странности», которая позволит систематически обнаруживать сотни и тысячи ранее недоступных событий. Эта работа напоминает, что самые глубокие открытия нередко скрываются не в новых экспериментах, а в уже существующих данных, ожидающих нового взгляда, а союз человеческой интуиции и машинного зрения постепенно становится одним из главных двигателей фундаментальной науки XXI века.