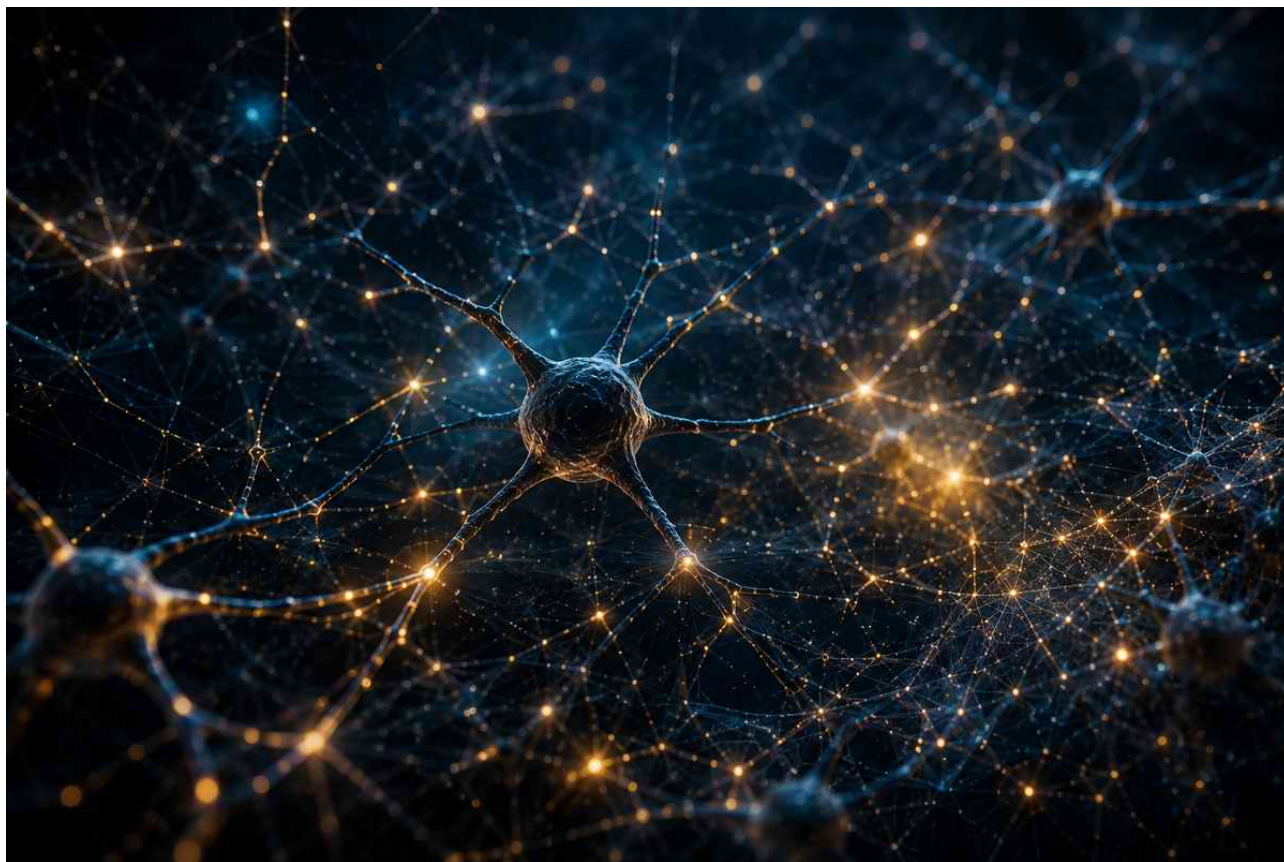


Физики нашли новый способ описывать работу тысяч нейронов мозга одновременно



Дата публикации: 28.08.2026

Человеческий мозг содержит десятки миллиардов нейронов, каждый из которых взаимодействует с множеством других клеток. Проследить одновременно за всеми этими связями практически невозможно. Физики Принстонского университета предложили другой подход: вместо попытки описать каждый нейрон отдельно они использовали математические методы статистической физики, первоначально созданные для изучения систем из огромного количества взаимодействующих частиц.

Основой работы стала теория среднего поля. В физике она позволяет значительно упростить сложную систему. Вместо расчета взаимодействия каждой частицы со всеми окружающими можно представить, что отдельная частица испытывает воздействие некоторого усредненного поля, создаваемого всей системой.

Подобные методы применяют при исследовании магнетизма, газов, жидкостей, конденсированного состояния вещества и других систем,

содержащих огромное количество взаимодействующих элементов. Исследователи решили проверить, насколько такой подход применим к биологическим нейронным сетям.

На первый взгляд между магнитом и мозгом мало общего. Однако на математическом уровне появляется любопытная аналогия. Нейрон способен генерировать короткий электрический импульс — потенциал действия. Если рассматривать очень небольшой временной интервал, состояние клетки можно условно записать двумя вариантами: нейрон активен или неактивен.

Это напоминает знаменитую модель Изинга, созданную для описания магнитных систем. В ней каждый элемент может находиться в одном из двух состояний, которые условно называют спином вверх и спином вниз. Коллективное поведение множества таких элементов порождает гораздо более сложные свойства всей системы.

С нейронами происходит нечто похожее. Если наблюдать одновременно за тысячей клеток, в каждый момент часть из них будет активна, а остальные — молчать. Возможных комбинаций становится астрономически много. Уже для сравнительно небольшой сети прямой перебор всех состояний превращается в практически неразрешимую вычислительную задачу.

Простейшая теория среднего поля пытается справиться с проблемой путем усреднения. Но исследование показало, что для реальных нейронных сетей этого недостаточно. Средняя активность может выглядеть одинаково у двух систем, хотя распределение совместных всплесков и флуктуаций в них существенно различается.

Именно поэтому ученые применили расширенную теорию среднего поля. Она учитывает не только среднее состояние отдельных элементов, но и дополнительную информацию о статистическом распределении коллективных паттернов. Флуктуации здесь перестают быть случайным шумом, который можно просто отбросить, и становятся важной характеристикой работы сети.

Для построения модели исследователи использовали принцип максимальной энтропии из теории информации. Его идея заключается в том, чтобы не приписывать системе свойства, которых непосредственно не требуют наблюдаемые данные. Среди множества возможных статистических моделей выбирается максимально случайная модель, которая одновременно воспроизводит известные экспериментальные ограничения.

В результате возникает математическая конструкция, связанная с распределением Больцмана — одним из фундаментальных инструментов статистической физики. Она позволяет присвоить различным конфигурациям

сети определенные вероятности и исследовать коллективное поведение, не пытаясь заранее описать каждую биологическую связь между клетками.

Это важное преимущество подхода. Мозг чрезвычайно сложен, и даже подробная карта соединений между нейронами сама по себе не обязательно позволяет предсказать их активность. Новая модель вместо реконструкции всех микроскопических взаимодействий использует наблюдаемую статистику работы сети.

Для проверки метода исследователи взяли записи активности более 1000 нейронов мозга мышей. Простые варианты теории среднего поля не смогли правильно воспроизвести наблюдавшиеся изменения коллективной активности. Расширенная модель значительно лучше описала статистическое распределение возникающих нейронных паттернов.

Такой результат показывает фундаментальное различие между средним поведением системы и ее реальной коллективной динамикой. Представим стадион, где в среднем половина зрителей стоит, а половина сидит. Одного этого показателя недостаточно, чтобы понять, вскакивают ли люди случайно или огромные группы синхронно поднимаются после опасного момента игры. Для мозга подобные корреляции могут быть еще важнее.

Новая работа интересна и потому, что соединяет две области, которые традиционно рассматриваются отдельно: нейробиологию и статистическую физику. Мозг при таком подходе становится сложной системой, где из взаимодействия огромного количества сравнительно простых элементов возникает коллективное поведение, которое невозможно понять, изучая клетки исключительно по отдельности.

Однако модель пока имеет существенное ограничение. Она описывает статистику нейронной активности, усредненную во времени, но не показывает полностью, как одно состояние сети превращается в другое. Между тем именно последовательность изменений необходима для понимания того, как мозг обрабатывает сенсорную информацию, принимает решения и управляет поведением.

Следующей задачей станет создание динамической версии теории. Исследователям предстоит связать статистические закономерности с реальным течением времени и поведением животных. Если это удастся, физические модели смогут помочь понять не только то, какие состояния доступны большой нейронной сети, но и каким образом мозг перемещается между ними.

Ссылка: «Расширенные теории среднего поля для сетей реальных нейронов»
DOI: [10.1103/nr71-phqw](https://doi.org/10.1103/nr71-phqw).