

Атомная точность: учёные раскрыли внутреннюю архитектуру платиновых катализаторов с помощью ядерного магнитного резонанса

Дата публикации: 08.07.2025

Учёные из Швейцарской высшей технической школы Цюриха (ETH Zurich) совершили значительный прорыв в области гетерогенного катализа, впервые получив подробное представление об окружении отдельных атомов платины в одноатомных катализаторах. С помощью усовершенствованного метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР), аналогичного применяемому в МРТ, они смогли визуализировать атомную «карту» и взаимодействия, которые ранее были недоступны ни одному аналитическому инструменту.

Одноатомные катализаторы — относительно новая категория материалов, где каждый атом катализатора (в данном случае платины) зафиксирован на носителе, например, в структуре углерода, стабилизированного азотом. Такие катализаторы обещают значительно сократить использование дорогостоящих и редких металлов, таких как платина, при сохранении или даже повышении эффективности химических реакций. Но до недавнего времени было невозможно точно оценить, как различия в локальном окружении каждого атома платины влияют на его активность.

Теперь, благодаря ЯМР высокого разрешения, разработанному в рамках сотрудничества ETH Zurich с университетами Лиона и Орхуса, исследователи смогли зарегистрировать тончайшие различия в атомных окружениях — например, различия в количестве и ориентации атомов азота, углерода и кислорода, находящихся рядом с платиной. Метод позволяет фиксировать множество резонансных частот, соответствующих уникальным конфигурациям атомов вокруг центра активности. Эти «атомные тоны» были интерпретированы с помощью специально созданного алгоритма, способного различать сложные спектры и извлекать структурную информацию с беспрецедентной точностью.

Это открытие даёт возможность не только лучше понять, как именно работает катализ на атомном уровне, но и выйти на новый уровень его инженерии. Создание «идеального окружения» для каждого атома платины становится теперь не абстрактной задачей, а конкретной целью, достижимой с использованием данных ЯМР. Такой подход позволит в будущем массово производить катализаторы с высокой воспроизводимостью, контролируемой структурой и минимальным расходом металла.

Применение данной технологии выходит далеко за пределы лабораторий.

Катализ используется в производстве более 80% всех химических продуктов: от синтетических удобрений и топлив до пластмасс, фармацевтики и экологических систем, таких как автомобильные выхлопные фильтры или водородные топливные элементы. Платина остаётся одним из самых эффективных, но одновременно самых дорогих катализаторов. Поэтому снижение её количества при сохранении активности имеет колоссальное значение как для экономики, так и для экологии.

Кроме того, возможность описания атомных структур с такой точностью открывает новые горизонты в патентовании. Технология позволяет не просто заявлять об использовании платины в катализаторах, а документально фиксировать конкретные атомные конфигурации, которые обеспечивают эффективность. Это создаёт прецедент для юридической защиты материалов и ускоряет трансфер технологий в промышленность.

Интересно, что этот научный прорыв стал возможен благодаря не только технологическим возможностям, но и счастливой случайности: спонтанная встреча учёных из разных университетов во время научной конференции привела к рождению идеи о применении ЯМР к одноатомным катализаторам. Таким образом, междисциплинарное сотрудничество вновь доказало свою эффективность в решении самых сложных научных задач.

Результаты работы уже опубликованы в журнале Nature и могут стать основой для целой новой области — «атомной инженерии катализа». Разработка и адаптация катализаторов на уровне отдельных атомов откроют возможность для создания химических процессов с максимальной эффективностью и минимальным экологическим следом.

В будущем такие подходы могут быть применены не только к платине, но и к другим редкоземельным или переходным металлам, что значительно расширит палитру возможных катализаторов и даст индустрии мощный инструмент для устойчивого роста. А пока исследователи ETH Zurich продолжают совершенствовать методику и работают над тем, чтобы сделать атомное картографирование доступным для любого лабораторного состава, открывая эру по-настоящему интеллектуального катализа.

Ссылка: «Координационная среда одноатомных катализаторов Pt по сигнатурам ЯМР» [DOI: 10.1038/s41586-025-09068-x](https://doi.org/10.1038/s41586-025-09068-x).