

Ученые создали металл-органические каркасы для биомедицинской визуализации

Сотрудники Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН синтезировали двумерные металл-органические каркасы на основе европия, иттрия и тербия. Совместно с коллегами из Университета ИТМО из этих структур ученые получили ультратонкие нанолиты, способные проявлять люминесценцию зеленого, красного и синего цвета. Разработка сибирских химиков может использоваться в изготовлении оптических зондов для проведения биомедицинской визуализации и диагностики различных заболеваний. Статья об этом опубликована в журнале ACS Applied Nano Materials.



Генетически модифицированные прозрачные рыбки данио-рерио

Металл-органические каркасы — это кристаллические структуры, состоящие из ионов металла, связанных органическими лигандами. Сегодня преобладают научные исследования трехмерных пористых структур, за открытие которых в 2025 году была присуждена Нобелевская премия по химии. Новосибирские ученые в лаборатории металл-органических координационных полимеров ИХХ СО РАН синтезировали двумерные металл-органические структуры, протяженные только в двух направлениях. Такие структуры по соотношению размеров сторон к толщине напоминают листы бумаги в наноразмерном диапазоне. Нанолиты, имеющие рекордное отношение линейных размеров к толщине — 2300 : 1, — практически идеально гладкие на атомарном уровне и могут достаточно прочно закрепляться

на различных плоских подложках. Одно из важнейших свойств полученных наноразмерных объектов — проявление люминесценции с эффективностью до 93 %, то есть поглощаемый свет практически полностью испускается в виде собственного излучения. По словам ученых, область применения таких нанолитов может быть очень широкой, однако в первую очередь они могут стать одним из компонентов для устройств медицинской диагностики.

«Мы синтезировали двумерные металл-органические каркасы европия, тербия и иттрия. Выбор металлов связан с возможностями модуляции излучения, выходящего из источника. Определенный металл отвечает за конкретный оттенок: европий дает красный цвет, итрий — голубой, а тербий — зеленый. Оптоволокну в общей конструкции выступает проводни-

ком излучения источника с определенной длиной волны, с помощью оптоволоконного свет может дойти до исследуемого объекта, например какого-либо органа животного или человека. Нанослой, полученные из металл-органических каркасов и прикрепленные к торцу оптоволоконка, способны модулировать цвет излучения в реальном времени, что исключает сложные и дорогостоящие модификации светового источника. Так как нанослой и оптоволоконно обладают гладкой поверхностью, они достаточно легко притягиваются друг к другу междоатомными взаимодействиями. Люминесценция нанослоя возбуждается под влиянием света и может приобретать различные цвета, в зависимости от металла, из которого состоит металл-органический каркас», — рассказал главный научный сотрудник лаборатории

металл-органических координационных полимеров ИХХ СО РАН доктор химических наук Андрей Сергеевич Потапов.

Для демонстрации инструмента сибирские ученые совместно с коллегами из Национального медицинского центра им. В. А. Алмазова (Санкт-Петербург) и Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН (Владивосток) используют в качестве объекта изучения генетически модифицированных рыбок данио-рерио, которые полностью прозрачны. С помощью эндоскопа и подсветки удается провести осмотр внутренних органов животного. При этом, как показал эксперимент, подобная эндоскопия оказалась абсолютно безопасной для рыбки не только во время процедуры, но и после извлечения зонда. Каркас нетоксичен и прочно связан с поверхностью оптоволоконка, поэтому его отделение внутри организма полностью исключено.

По мнению ученых, конструкция, состоящая из двумерного металл-органического каркаса и оптоволоконка, в будущем может стать вспомогательной технологией для биомедицинской визуализации в научных исследованиях и для модернизации оптоэлектронных устройств. Она также открывает дорогу к созданию новых малоинвазивных и многоразовых оптических зондов для диагностики и световой терапии.

Кирилл Сергеевич
Фото предоставлено
исследователем

Новая теоретическая модель поможет объяснить наблюдаемые на коллайдерах явления

Специалисты Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН разработали теоретическую концепцию, которая описывает процессы между сильновзаимодействующими частицами, рожденными в результате электрон-позитронных столкновений. Теоретическая модель российских физиков решает несколько важных задач: объясняет сильную зависимость вероятности рождения пар мезонов и барионов от энергии столкновения и, как следствие, позволяет описывать структуру сильных взаимодействий и свойства рожденных частиц; помогает экспериментаторам понять природу наблюдаемых на коллайдерах эффектов, то есть более точно определить, что перед ними: новая частица или резонансное взаимодействие уже известных.

Стандартная модель, современная теория микромира, описывает все известные элементарные частицы, а также электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия между ними. Однако если электромагнитные и слабые взаимодействия хорошо изучены и прекрасно предсказываются в рамках теории, то сильные известны хуже. Например, основные типы адронов, участвующие в сильных взаимодействиях, — мезоны и барионы — состоят из кварков. В некоторых случаях в рамках различных теорий, зная свойства кварков, можно вычислить параметры этих составных частиц, например массу. Если энергия сталкивающихся электронов и позитронов близка к массе таких составных частиц, то наблюдается резкое увеличение вероятности электрон-позитронной анниги-

ляции, называемое резонансом. Однако резонансы могут быть связаны не только с рождением новых мезонов или барионов, но и с взаимодействием уже известных.

Физика элементарных частиц — наука экспериментальная. С помощью ускорителей измеряются параметры частиц и изучаются их взаимодействия. Теория опирается на данные, полученные в таких экспериментах. Однако и эксперимент не может обойтись без теории. Поиск и изучение новых явлений, более глубокое погружение в уже известные невозможны без точных теоретических расчетов и предсказаний.

«Для электромагнитных и слабых взаимодействий достаточно легко производить теоретические вычисления и получать разные предсказания о свойствах и параметрах частиц, участвующих в них, — прокомментировал старший научный сотрудник ИЯФ СО РАН кандидат физико-математических наук Сергей Георгиевич Сальников. — В сильных взаимодействиях все эффекты гораздо существеннее, из-за чего получать предсказания из первых принципов, как мы это делаем для электромагнитных и слабых взаимодействий, не получается. В таких случаях теоретики в своих предсказаниях опираются на экспериментальные данные, создавая на их основе феноменологические, то есть описательные, модели, которые и объясняют детектируемые на коллайдерах явления».

Под первыми принципами понимаются теоретические вычисления, основанные на фундаментальных представлениях, с использованием фундаментальных уравнений, например лагранжиана Стандартной модели — уравнения квантовой теории поля, описывающего все известные эле-

ментарные частицы и их взаимодействия (кроме гравитации) на основе калибровочной симметрии. Если таким способом получить предсказание не получается, то физики-теоретики создают феноменологические теории, которые описывают наблюдаемые явления и их взаимосвязи на более высоком уровне без детального объяснения микроскопических причин или фундаментальных механизмов.

«Существует стандартное представление о мезонах и барионах как о составных частицах, — пояснил Сергей Сальников. — Большое их разнообразие — пси-мезоны, ипсилон-мезоны, D-мезоны, B-мезоны — наблюдается на электрон-позитронных коллайдерах и проявляется в виде резонансов. Естественное желание физиков при наблюдении подобного резонанса — описать его как какую-то ранее не наблюдавшуюся частицу. Собственно, так и происходят открытия новых частиц. Есть и другие процессы, которые тоже выглядят как резонансы, но не связаны с рождением новых частиц. Такие же эффекты могут наблюдаться при взаимодействии уже известных частиц, рождающихся в реакции (так называемое взаимодействие в конечном состоянии). Например, на коллайдере ВЭПП-2000 в процессе электрон-позитронной аннигиляции можно наблюдать резонанс, который появляется из-за взаимодействия протона и антипротона. Изучение таких эффектов не менее важно, чем изучение рождения новых частиц, потому что так мы получаем информацию о свойствах в данном случае протонов, о промежуточных частицах — в общем, извлекаем дополнительные сведения, которые другими способами просто не получить».

В течение нескольких лет физики ИЯФ СО РАН разрабатывали теоретическую модель, описывающую практически все взаимодействия частиц в конечном состоянии в условиях сильного взаимодействия. В основе феноменологической теории — экспериментальные данные, полученные на коллайдерах ВЭПП-2000 (Россия), Belle II (Япония), BES III (Китай).

«Сложно сказать в процентах, сколько частиц от общего числа, участвующих в сильных взаимодействиях, включает наша концепция, потому что всегда неожиданно могут появиться новые, — добавил Сергей Сальников. — Если считать по пальцам, то мы рассматривали пять условно разных процессов взаимодействий: протон-антипротон, лямбда-антилямбда, лямбда-С-антилямбда-С, D-мезон-анти-D-мезон, B-мезон-анти-B-мезон. На примете есть еще разные задачи на будущее, а когда в ИЯФ СО РАН построят коллайдер ВЭПП-6, то обязательно появится что-то новое для изучения. Если говорить о вкладе в уже существующие эксперименты, например в своей работе, посвященной B-мезонам, мы обратили внимание, что взаимодействие в конечном состоянии у заряженных и нейтральных частиц устроено по-разному. Для заряженных мезонов присутствует кулоновское притяжение, которое влияет на корректное измерение массы этих частиц. В недавнем международном эксперименте Belle II, в котором ИЯФ СО РАН принимает участие, наши коллеги учли этот момент и, проведя сложную обработку данных, получили более точное измерение разницы масс заряженных и нейтральных B-мезонов».

Пресс-служба ИЯФ СО РАН