

ISSN: 2782-5515

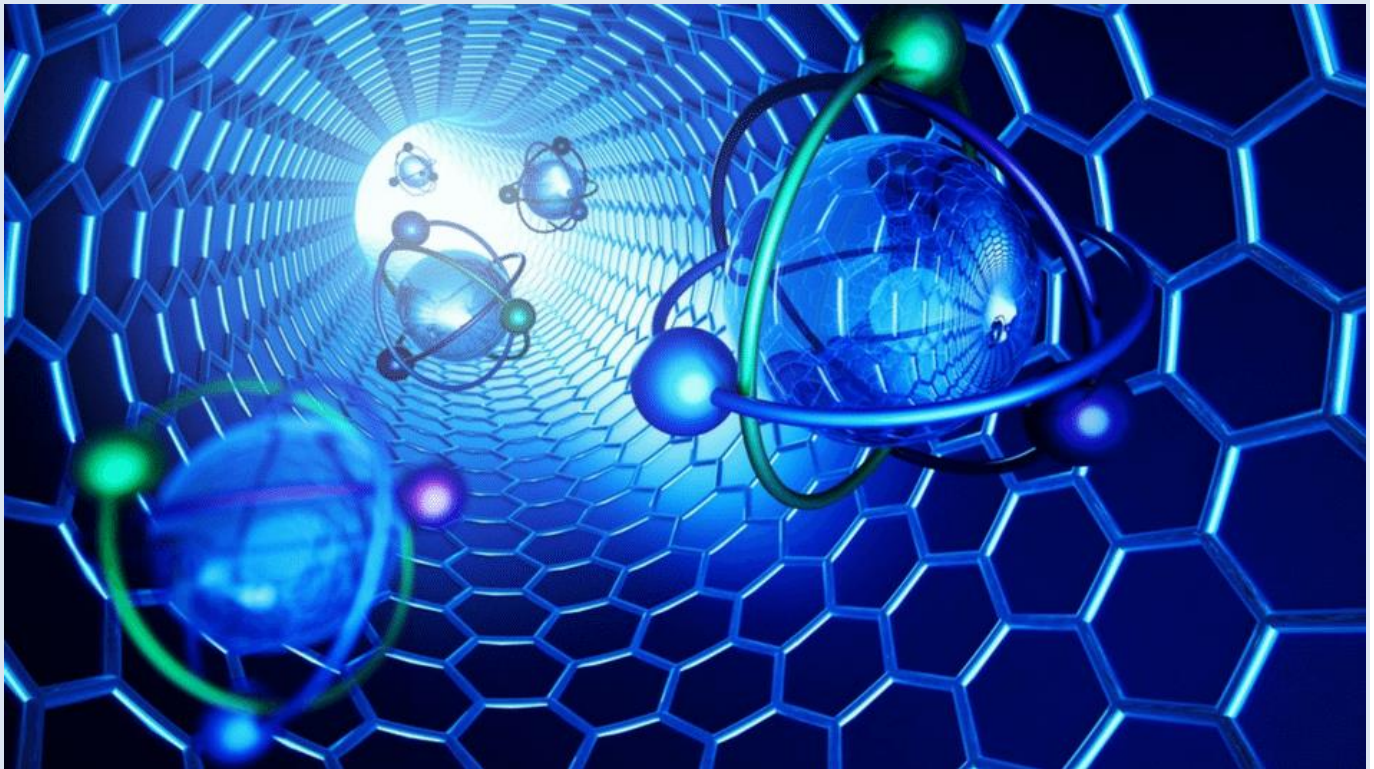


Перст

Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 29, выпуск 8/9

август/сентябрь 2022 г.



pvsrn.ru/nanotechnologii/298350

Черноголовка

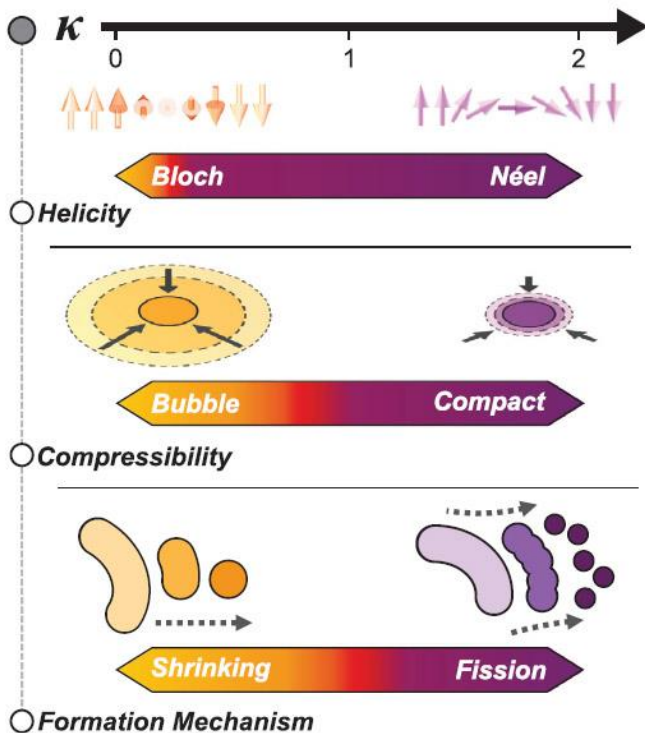
В этом выпуске:

СПИНТРОНИКА

Можно ли описать скирмион одним числом

Магнитные скирмионы (магнитные вихри, в центре которых намагниченность противоположна направлению намагниченности на периферии), рассматриваются в настоящее время как элементы магнитной памяти будущего. Наноразмерные скирмионы в отличие от их аналогов микронных размеров – цилиндрических магнитных доменов, обязаны своим возникновением взаимодействию Дзялошинского-Мории.

В связи с большим разнообразием наблюдаемых скирмионоподобных структур, возникает потребность какого-то универсального их описания, чтобы, используя выражение Гоголя, скирмион был бы “одной чертой обрисован с ног до головы”. В работе [1] исследователи из Сингапура и США утверждают, что таким параметром может служить отношение поверхностной энергии Дзялошинского-Мории πD к поверхностной энергии доменной границы $4\sqrt{AK}$, где A – обменная жесткость, K – константа магнитной анизотропии.



Изменение типа структуры при увеличении параметра K , характеризующего относительную силу взаимодействия Дзялошинского-Мории [1].

И далее ...

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Перфторкубан: маленький пожиратель электронов

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 5 Наноструктуры в природе. Нанометровая пленка липидов обнаружена на лапках гекконов

ФОТОНИКА

- 6 Локализация в субволновой области и связанные состояния в континууме

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 8 Паутина собирает информацию о микрозагрязнениях воздуха

КОНФЕРЕНЦИИ

- 9 Вторая Всероссийская научно-практическая конференция “Задачи и методы нейтронных исследований конденсированных сред” 7-11 ноября 2022 г., Государственный университет “Дубна”, г. Дубна, Московская обл.

Свои выводы они делают на основании анализа большого числа экспериментальных изображений, полученных методами лоренцевской просвечивающей электронной микроскопии и магнитной просвечивающей рентгеновской микроскопии на серии многослойных образцов Co/Pt с различной величиной взаимодействия Дзялошинского-Мории. На рисунке схематически показано, как меняется тип скирмионных структур по мере увеличения этого параметра (он обозначен греческой буквой “каппа” κ).

По мере роста параметра κ структура приобретает одинаковую хиральность (направление вращения намагниченности остается постоянным), уменьшается в размерах (цилиндрический магнитный домен превращается в компактный скирмион), меняется также способ образования скирмионов из полосовой структуры (при малой величине параметра κ они формируются путем сжатия полосовых доменов, а при больших κ – путем их дробления).

От себя заметим, что хотя такая попытка заслуживает внимания, и сделан ряд интересных наблюдений, но описание одним параметром является, все же, чрезмерным упрощением. Так, скирмионы бывают двух типов – Блоха и Нееля, и те и другие образуют хиральные структуры и своим происхождением обязаны взаимодействию Дзялошинского-Мории, и не стоит отождествлять, как это делают авторы [1], нехиральные структуры с блоховскими, а хиральные – с неелевскими. Также, кроме цилиндрических магнитных доменов и классических скирмионов, существует целый “зоопарк” топологических структур: антискирмионы, скирмиониумы, бимероны, скирмионы высших порядков, которые одним параметром “каппа” не опишешь.

А. Пятаков

1. X.Chen et al., *Adv. Sci.* **9**, 2103978 (2022).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Перфторкубан: маленький пожиратель электронов

Очередная гипотетическая молекулярная структура стала реальностью. Синтез углеводородного кубана C_8H_8 почти шестьдесят лет назад стал значимым событием в органической химии как благодаря уникальной эстетике соединения, воплощенной в высокой симметрии, так и из-за явно нетрадиционной геометрии связей. И теперь, уже в наши дни, химики из нескольких университетов Японии получили и охарактеризовали производное кубана перфторкубан (октафторкубан), в котором каждый атом водорода заменена на фтор [1]. Другими словами, молекула C_8F_8 построена из кубического углеродного остова с атомами фтора, присоединенными к каждой из его восьми вершин. Для получения “кубика” C_8F_8 исследователи применили достаточно оригинальный подход. Дело в том, что, как показал имеющийся опыт, классическое поэтапное введение восьми атомов фтора в кубан нецелесообразно: наилучшим достижением к настоящему времени можно считать успешное присоединение лишь двух атомов фтора к кубановой основе. Поэтому для синтеза C_8F_8 авторы остановились на прямом фторировании, то есть замене атомов водорода фтором с использованием молекул F_2 (рис. 1).

Реакция молекул фтора с органическим материалом весьма экзотермична и способна вызвать разрыв углерод-углеродных связей, поэтому “приручить” такие взрывные реакции совсем непросто. Первоначально прямое фторирование проводили путем разбавления F_2 азотом при низкой температуре в хлорфторуглеродном растворителе. Впоследствии этот метод был усовершенствован за счет присоединения фторированного лиганда к углеродному каркасу. Таким образом был получен гептафторкубан (C_8HF_7), а оставшийся водород затем был заменен фтором с использованием стандартных реакций монофторирования с выходом желанного C_8F_8 . Такой “идеальный”, по мнению авторов, подход позволил получить окта-, гепта- и гексафторкубаны, что, ко всему прочему, дополнительно способствовало анализу влияния степени фторирования кубана на его сродство к электрону.

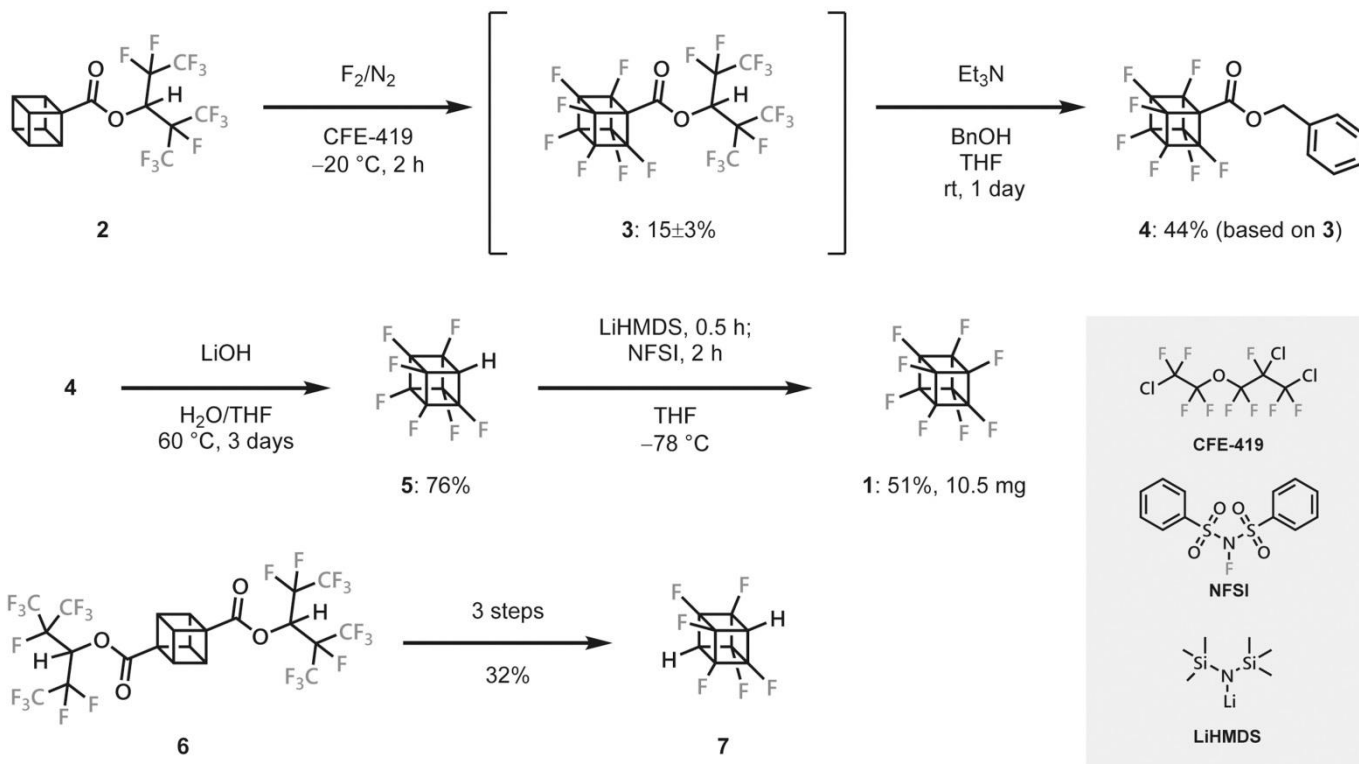


Рис. 1. Путь синтеза фторированных кубанов.

Структуры полученных молекул однозначно подтвердились с помощью рентгеноструктурного анализа построенного из перфторкубанов молекулярного кристалла (рис. 2): идентичные длины всех двенадцати С–С ковалентных связей в остове ясно указывают на неискаженную кубическую форму. При этом авторы отмечают, что эта длина связи (1.570 Å) согласуется с предсказаниями теории функционала плотности для C_8F_8 и совпадает с аналогичной величиной в классическом углеводородном кубане. Помимо всего прочего, полученные исследователями результаты выявили редкую направленную нековалентную связь между атомом фтора и перфторкубаном. Другими словами, атом фтора одного из C_8F_8 в кристалле взаимодействует с центром циклобутанового кольца ближайшей молекулы (рис. 2). Энергия такого взаимодействия была оценена в 3.5 ккал/моль. Кроме того, данные авторов показывают, что перекрытие всех восьми разрыхляющих орбиталей С–F связей образует протяженную звездообразную молекулярную орбиталь. Результатом этого является ярко выраженное сродство к электрону и способность разместить электрон не на поверхности, а внутри кубического остова, образуя анион-радикал C_3F_8^- .

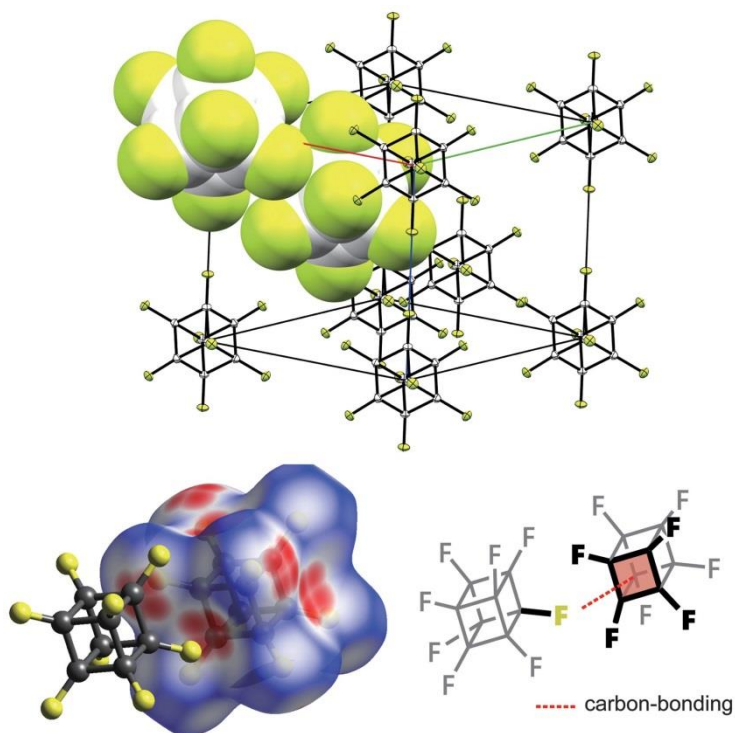


Рис. 2. Строение элементарной ячейки молекулярного кристалла C_8F_8 (сверху). Поверхность Хиршфельда для димеров перфторкубана в кристаллической структуре (слева-снизу) и схематическая иллюстрация взаимодействия в димерах (справа-снизу)

По мнению авторов, предсказанное свойство улавливать электрон в углеродном полиэдре окажется полезным для дальнейшего молекулярного дизайна функциональных органических материалов на основе фторкубанов, которые обязательно найдут применение в нанoeлектронике и спинтронике. А нам остается лишь порадоваться. Приятно наблюдать за тем, как такие удивительные и уникальные молекулы не остаются на бумаге и в памяти компьютеров, а создаются в нашем реальном мире.

М. Маслов

I. M. Sugiyama et al., Science 377, 756 (2022).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Наноструктуры в природе. Нанометровая пленка липидов обнаружена на лапках гекконов

Способность гекконов и некоторых пауков перемещаться по вертикальным поверхностям и даже по потолку уже давно вызывает большой интерес ученых и нанотехнологов. Как убедительно доказали исследования, о которых рассказывал ПерсТ [1-3], важную роль играет иерархическая структура щетинок на подошвах лапок. Щетинки на концах разветвляются на еще более тонкие волоски с нанопластинками (спатулами). Эти контактные элементы обеспе-

чивают прочную адгезию за счет сил молекулярного взаимодействия, т.е. сил Ван дер Ваальса. Однако, как отметили авторы недавней работы [4], при исследованиях не уделяли должного внимания химии поверхности, хотя она должна быть важна для адгезии и, конечно, для будущих биомиметических применений. Ученые (коллектив специалистов из Дании, США, Германии) решили восполнить этот пробел. Особое внимание они обратили на липиды, которые недавно были обнаружены в щетинках гекконов. Липиды – жиры и жироподобные органические вещества (жиры, масла, воски, фосфолипиды, холестерин и др.), практически нерастворимые в воде, но растворимые в неполярных органических растворителях. Они в разных количествах содержатся в каждой живой клетке и выполняют ряд важных функций – энергетическую, запасающую, структурную и др. Поверхностная липидная пленка эпидермиса млекопитающих, рептилий, птиц играет защитную роль, обеспечивает термоизоляцию и водный барьер. Для того, чтобы выяснить, есть ли липиды в контактных элементах геккона (рис. 1) и как они структурированы, авторы [4] использовали NEXAFS спектроскопию с использованием синхротронного излучения (NEXAFS на К-краях поглощения углерода и азота).

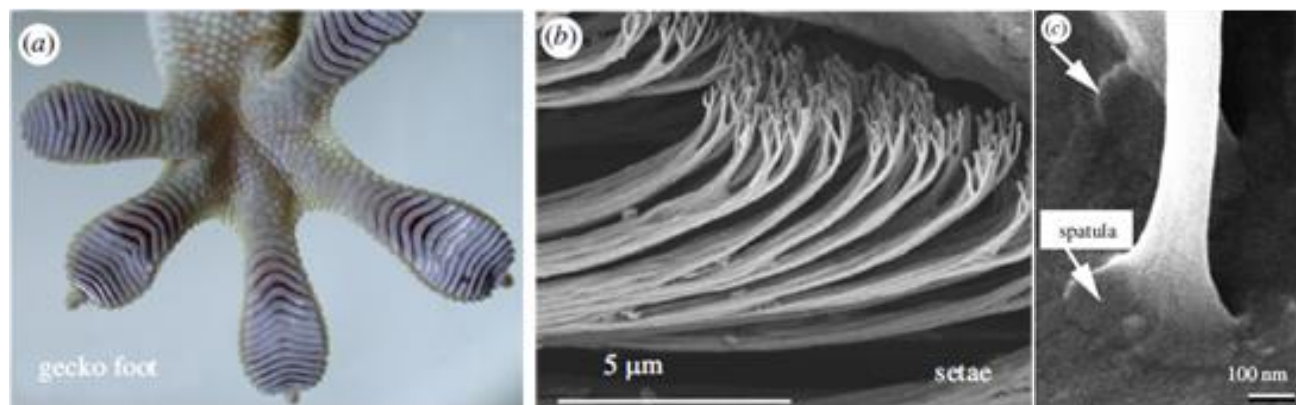


Рис. 1. а) – Фотография лапки геккона на стеклянной пластинке (видны ряды щетинок); б) – SEM изображение рядов щетинок (на разветвлённых кончиках щетинок находятся спатулы – контактные элементы, обеспечивающие адгезию); в) – спатула в контакте с поверхностью.

Была исследована поверхность контактных элементов – спатул щетинок геккона, а также три контрольных образца тканей (чешуйки со спинки, с задней поверхности стопы и с века). Схема эксперимента представлена на рис. 2.

Синхротронные спектры NEXAFS на К-крае поглощения углерода во всех образцах похожи

и соответствуют β -белкам. Есть и слабые пики, относящиеся к липидам, несколько более интенсивные для контактной поверхности щетинки. Синхротронные спектры NEXAFS на К-крае поглощения азота во всех образцах тканей одинаковы и указывают на β -белки. Простые липиды содержат только атомы углерода, водорода и

кислорода, однако в более сложных могут присутствовать атомы азота. Надо было убедиться, что они не дают вклад в спектры. Для этого авторы [4] удалили липиды из всех образцов и снова провели исследования. Разницы в спектрах не наблюдали. Регистрация от спатулы сигнала азота, соответствующего белку, указывает на то, что липидный слой на её поверхности тоньше 5 нм - глубины зондирования в данных экспериментах.

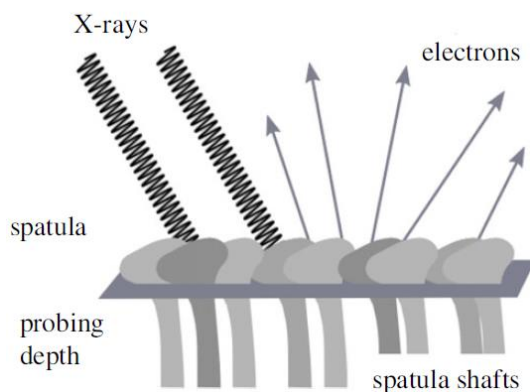


Рис. 2. Схема NEXAFS эксперимента.

Изучение угловой зависимости NEXAFS спектров на С К-крае позволило определить структуру и ориентацию липидного покрытия. Образцы спатул до и после удаления липидов расположили под углами 80° и 30° к излучению. Анализ разностных спектров для каждого угла показал, что липиды ориентированы вертикально. Это указывает на высокую плотность слоя. Поскольку средняя длина липида ~ 2 нм, а толщина липидной пленки ~ 5 нм, то, вероятно, имеется 3 слоя липидов. Конечно, представить их расположение можно только схематично (рис. 3).

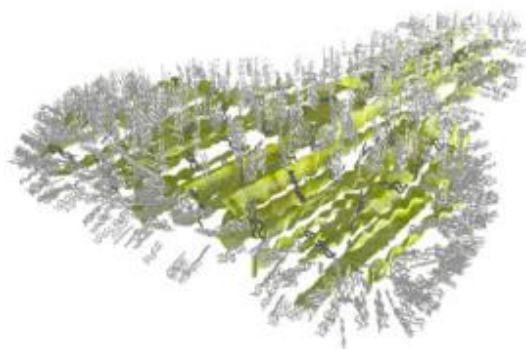


Рис. 3. Белковая основа (желтый цвет) покрыта и пронизана липидами (серый цвет).

Функции липидного слоя ещё предстоит выяснить. Такое плотное покрытие должно защищать белки от дегидратации. Возможно, оно отталкивает влагу из-под лапок (точнее контакт-

ных элементов), облегчая адгезию, и обеспечивает самоочищение. Авторы работы считают, что полученные данные о составе и структуре покрытия контактных элементов на лапках геккона помогут в создании новых адгезионных материалов.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 28, вып. 13/16, с.1 \(2021\).](#)

2. [ПерсТ 26, вып. 5/6, с.4 \(2019\).](#)

3. [ПерсТ 13, вып. 6, с.4 \(2006\).](#)

4. *M.H.Rasmussen et al., Biol. Lett. 18, 20220093 (2022).*

ФОТОНИКА

Локализация в субволновой области и связанные состояния в континууме

Проблема локализации излучения в малой области пространства вызывает существенный интерес исследователей в связи с многочисленными возможностями применений – в микрокопии, квантовой памяти, обработке информации. Поэтому появляются новые теоретические и экспериментальные подходы, связанные с анализом волноводов и микрорезонаторов. Для стандартных мод резонатора есть естественное ограничение – размер резонатора в одном из направлений должен быть сравним с длиной волны. Такое ограничение не действует для связанных состояний в континууме (ССК) – состояний открытой системы с энергией, лежащей в области непрерывного спектра. Исследованию таких состояний и посвящена недавняя статья [1] авторов из Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, которые теоретически исследовали электронный волновод с резонатором в виде расширения и дополнительным притягивающим потенциалом внутри и проанализировали решения уравнения Шредингера для волновой функции электрона.

Вблизи резонатора, как показали авторы, может образоваться локализованное ССК, причем при сколь угодно малой длине рассеивающей области. Для образования такого состояния необходимо учесть взаимодействие большого числа мод. Механизм образования локализованных состояний состоит в интерференции мод свободного пространства с образованием максимумов волновой функции в области неоднородности – резонатора. Волны, уходящие на бесконечность, при этом гасят друг друга.

Характеристики локализованных волн, прежде всего размер их области локализации, зависит

от параметров резонатора и энергии самой волны. С уменьшением энергии область локализации волновой функции сужается (рис. 1).

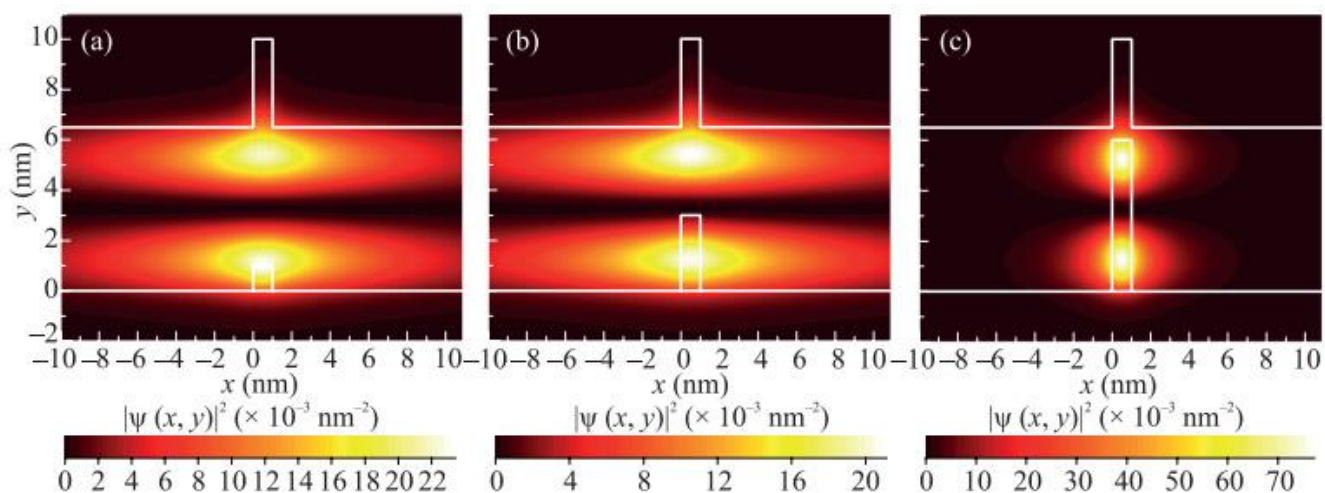


Рис.1. Плотность вероятности для ССК, локализованных вблизи резонаторов различных потенциалов. С уменьшением энергии состояния (от *a* к *c*) сужается область локализации волновой функции.

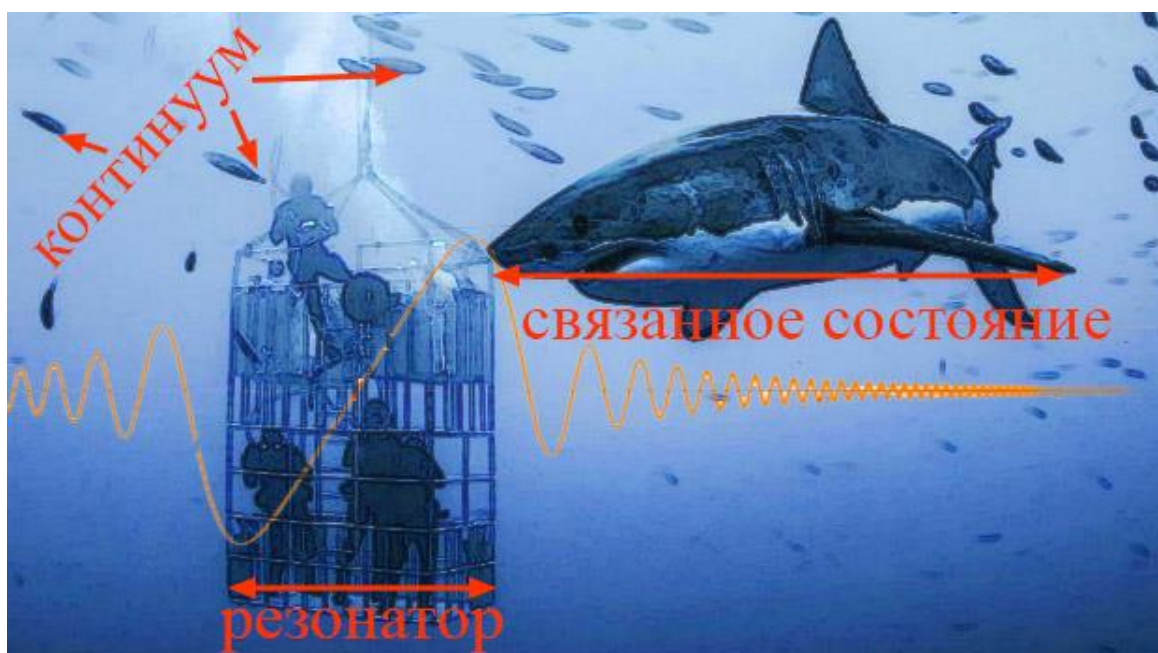


Рис.2. Дайвинг с акулами и связанные состояния в континууме. Коллаж и стилизация на основе доступных фотографий.

Численное решение показало, что возможно достичь области локализации волны, в 10 раз меньшей по размеру, чем длина волны де Бройля электронов в волноводе.

Такие оптимистичные результаты, бесспорно, открывают большие возможности для применений [2], однако авторы [1] настроены осторожно и утверждают, что “нельзя непосредственно перенести полученный результат на

оптические волноводные системы, где он бы имел первостепенное значение”.

Тем не менее, в сложных анизотропных оптических системах, таких как магнитофотонные кристаллы, ССК имеют место [3] и могут приводить к усилению магнитооптических и других эффектов взаимодействия излучения с веществом.

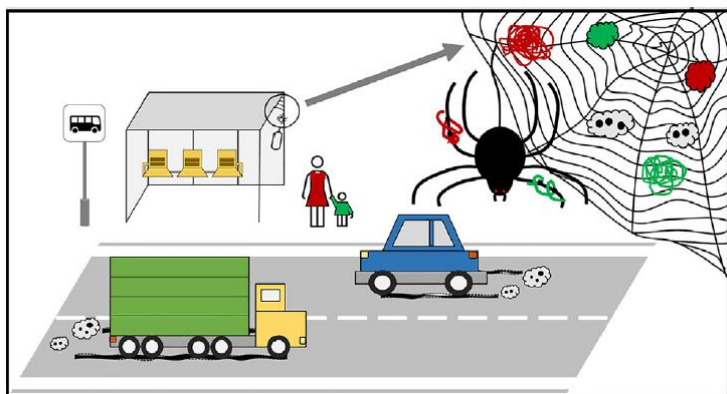
В заключение хотелось бы привести аналогию из жизни. Невозможно запереть акулу в клетке размером меньше самой акулы (рис. 2), но можно локализовать её в непосредственной близости к этой клетке для удовлетворения любопытства исследователей.

3. Пятакова

1. Н.М.Шубин и др., *Письма в ЖЭТФ* **116**, 204, (2022).
2. S.I.Azzam, A.V.Kildishev, *Adv. Optical Mater.* **9**, 2001469 (2020).
3. D.O.Ignatyeva, V.I.Belotelov, *Opt. Lett.* **45**, 6422 (2020).

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

Паутина собирает информацию о микрозагрязнениях воздуха



Паутина обладает уникальными свойствами – прочностью, эластичностью, чрезвычайно высокой теплопроводностью (которая при растяжении нити становится выше, чем у меди). ПерсТ уже рассказывал, как исследования наноструктуры нитей паутины с помощью современных методов помогли объяснить эти свойства и использовать их для создания новых материалов и приборов [1,2]. Но, как оказалось, важны и самые простые, знакомые нам всем, и не всегда приятные свойства – цепкость и липкость. Они делают паутину источником полезной информации о загрязнении воздуха!

Кроме оксидов азота, CO_2 , озона воздух содержит много микрочастиц различных полимеров, текстильных микроволокон, смеси из нано- и микрочастиц от износа дорожного покрытия и шин, краски от разметки. Вот их-то и ловит паутина. Исследователи из Ольденбургского университета (Германия) с её помощью впервые проанализировали загрязнения воздуха микрочастицами пластика в городских условиях [3]. Паутину снимали деревянными зубочистками в верхних углах полузакрытых автобусных оста-

новок, куда не попадали пыль, песок и сухая листва (см. рисунок). Образцы собрали в марте, апреле и июне 2020 года на нескольких остановках на магистрали, проходящей через центр города, на улице в жилом массиве и на улице, ведущей из города (высокая загруженность грузовым автотранспортом). Качественный и количественный состав определяли с помощью газовой хроматографии и масс-спектрометрии после пиролиза образцов. В целом в образцах в большом количестве присутствовал пластик ПЭТ (~36%), вероятно, из текстильных волокон сидений, одежды и из домов вблизи остановок. Наличие ПВХ (~12%) объяснили краской от дорожной разметки. Обнаружили довольно много частиц, возникающих от износа шин легкового автотранспорта (~41%). Соотношение различных загрязнений в конкретных образцах менялось в зависимости от места и времени сбора. Например, в образцах, взятых на магистрали, идущей через центр города, до 67% состава приходилось на частицы от износа шин легкового автотранспорта. В жилом массиве, где скорость меньше и мало светофоров, содержание ПВХ и частиц от износа шин и дорожного покрытия низкое. Временное распределение менялось не только от времени года, но и от ситуации. Так, в образцах, взятых вблизи торгового центра во время локдауна из-за COVID-19, резко снизилась концентрация ПЭТ и частиц от шин легковых автомобилей. Концентрация частиц от шин грузовиков и автобусов практически не изменилась.

В целом исследования показали, что сбор паутины дает возможность быстро и без особых затрат провести анализ временного и пространственного распределения загрязнений в городском воздухе.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 19, вып. 17, с. 2 \(2012\)](#).
2. [ПерсТ 24, вып. 1/2, с. 1 \(2017\)](#).
3. I.Gossmann et al., *Sci.Total Environ.* **832**, 155008 (2022).

КОНФЕРЕНЦИИ

Вторая Всероссийская научно-практическая конференция “Задачи и методы нейтронных исследований конденсированных сред”
7-11 ноября 2022 г., Государственный университет “Дубна”, г. Дубна, Московская обл.

Целью конференции является обсуждение последних достижений в области теории взаимодействия нейтронного излучения с веществом и методики нейтронного эксперимента, исследования кристаллических и магнитных структур, динамических свойств и элементарных возбуждений в конденсированных средах, исследования биологических систем и объектов культурного наследия, фундаментальных исследований с нейтронами.

Тематика конференции:

- Исследования конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов,
- Разработка и моделирование станций нейтронного рассеяния,
- Детекторы нейтронного излучения,
- Детекторная электроника,
- Методика нейтронного эксперимента
- Автоматизация и обработка экспериментальных данных
- Науки о жизни (Life science)

Ключевая дата:

регистрация участников и прием тезисов – до **17.10.2022 г.**

Подробная информация о конференции на сайте: <https://conf.uni-dubna.ru/>.

Контакт: Пискунова Оксана Ивановна
адрес электронной почты: ifi@uni-dubna.ru

Информационный бюллетень ПерсТ
издается информационной группой ИФТТ РАН

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О. Алексеева, М. Маслов, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64