

В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Увеличение эффективной массы квазичастиц в оптимально допированных купратных ВТСП

Одно из направлений поиска новых сверхпроводников с высокими критическими температурами T_c основано на предположении, что спаривающие взаимодействия усилены (или даже обусловлены) критическими флуктуациями, которые возникают из-за наличия при $T = 0$ квантовой критической точки (ККТ), разделяющей две фазы с различным типом нарушенной симметрии. Считается, что такие флуктуации играют важную роль в сверхпроводимости многих тяжелофермионных и органических соединений, а также пниктидов железа. По мере приближения к ККТ эти флуктуации приводят к усилению электронных корреляций и соответствующему увеличению эффективной массы квазичастиц m^* . Мнения о роли критических флуктуаций в купратных ВТСП расходятся. Увеличение T_c , верхнего критического поля и скачка теплоемкости (рис. 1), а также изменение симметрии основного состояния вблизи уровня оптимального допирования говорят в пользу существования сильных флуктуаций, имеющих отношение к сверхпроводимости.

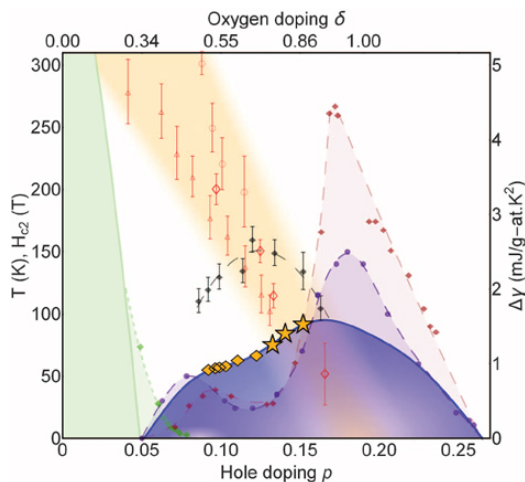


Рис.1. Фазовая диаграмма купратных ВТСП в координатах: T – температура, p – концентрация дырок. При $p \approx 0.05$ дальний антиферромагнитный порядок (сплошная зеленая линия) уступает место сверхпроводимости (сплошная синяя линия). Оранжевые ромбики и звездочки отвечают уровням допирования, при которых квантовые флуктуации наблюдались, соответственно, ранее и в работе [1]. Ближний антиферромагнитный порядок (зеленые ромбики) существует вплоть до ККТ при $p \approx 0.08$. При $p > 0.08$ он наблюдается выше T_c (сплошные черные ромбики). Зарядовый порядок (псевдощель) по данным нейтронного рассеяния (пустые красные кружки), электрооптического эффекта Керра (пустые красные ромбики) и изменению наклона температурной зависимости сопротивления (пустые красные треугольники) исчезает при $p = 0.18$, что указывает на возможное наличие ККТ при этом уровне допирования. Две термодинамические величины резко возрастают вблизи $p = 0.18$: скачок удельной теплоемкости ΔC при $T = T_c$ (бордовые ромбики) и верхнее критическое поле H_{c2} (сплошные фиолетовые кружки).

И далее ...

2 Ангармонические фононы и сверхпроводимость в сероводороде

3 О природе запаздывающего взаимодействия носителей заряда в купратных ВТСП

Спаривание без сверхпроводимости

ГРАФЕН

3 Адгезия и трение в графитовых контактах

4 Графен–опреснитель

Локальное восстановление оксида графена с помощью электронного пучка

5 Миниатюрный датчик давления на основе графена

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Углеродные нанотрубки помогут создать системы доставки лекарств в мозг

7 Графеновое обертывание

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

7 Живой кристалл

КОНФЕРЕНЦИИ

8 9th Energy, Materials, and Nanotechnology (EMN) Meeting, September, 1-4, 2015, San Sebastian, Spain

Но отсутствует непосредственное экспериментальное свидетельство того, что эти флуктуации приводят к усилению электронных взаимодействий в основном состоянии, то есть к росту m^* .

В работе [1] (США, Великобритания, Китай) для исследования изменения поверхности Ферми и величины m^* по мере приближения к оптимальному уровню допирования из недодопированной области изучены квантовые осцилляции магнитосопротивления купрата $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ с $x = 0.75, 0.8$ и 0.86 (концентрация дырок $p = 1.35, 1.4$ и 1.52 , соответственно) в магнитных полях до 91 Тл (рис. 1). Установлено, что в этом диапазоне допирования m^* увеличивается почти в три раза (рис. 2).

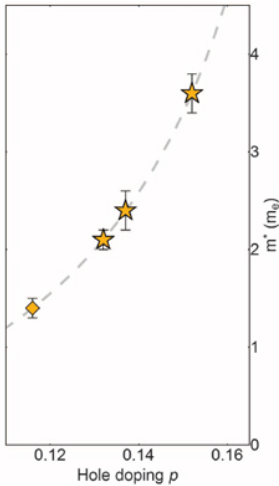


Рис.2. Эффективная масса квазичастиц m^* в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$, определенная при различных концентрациях дырок из экспериментов по квантовым осцилляциям магнитосопротивления.

Это согласуется с максимумами скачка теплоемкости и верхнего критического поля при $p \approx 0.18$ (рис. 1). Аналогичное поведение m^* и сверхпроводящих характеристик

наблюдается в окрестности ККТ в сверхпроводниках с тяжелыми фермионами и пниктидах железа. Так как электрон-фононное взаимодействие с ростом p ослабевает, то авторы делают вывод, что увеличение m^* обусловлено усилением электрон-электронных взаимодействий. В отличие от m^* , площадь поверхности Ферми A очень слабо зависит от p . Такое же поведение m^* и A наблюдается при подходе к ККТ в CeRh_2Si_2 , CeRhIn_5 и $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$.

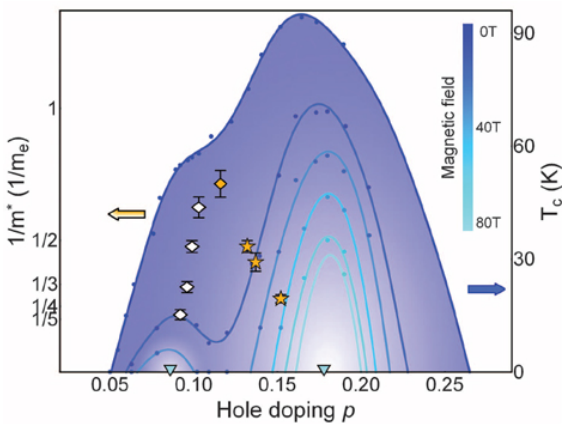


Рис. 3. Квантовая критическая точка вблизи уровня оптимального допирования. Сплошные синие кружки – критические температуры, определенные резистивным методом в магнитных полях $H = 0; 15; 30; 50; 70$ и 82 Тл (правая вертикальная ось). Левая вертикальная ось – обратная эффективная масса. Экстраполяция дает $1/m^* \rightarrow 0$ при $p \approx 0.08$ и $p \approx 0.18$.

Связь между увеличением m^* и высокотемпературной сверхпроводимостью иллюстрирует рис. 3. Видно, что T_c уменьшается с ростом H . При $H < 30$ Тл имеются два сверхпроводящих “купола”, центрированных около $p \approx 0.08$ и $p \approx 0.18$. При $H = 50$ Тл остается только купол около $p \approx 0.18$. Величина m^* максимальна при $p \approx 0.08$ и $p \approx 0.18$, то есть при тех же концентрациях дырок, при которых сверхпроводимость наиболее устойчива к магнитному полю. Не исключено, что критические флуктуации в окрестности $p \approx 0.08$ и $p \approx 0.18$ ответственны за два различных механизма спаривания. Здесь просматривается аналогия с CeCu_2Si_2 , где два купола $T_c(p)$ приходятся на ККТ для антиферромагнитного и валентного переходов. Интересно, что именно при $p \approx 0.18$ пропадают сразу несколько явлений, наблюдающихся в недодопированной области: обращается в нуль температура появления псевдощели, исчезают аномальный электрооптический эффект Керра и рассеяние нейтронов с переворотом спина. Кроме того, при $p \approx 0.18$ меняет знак коэффициент Холла, то есть электронная поверхность Ферми становится дырочной. Авторы обсуждают вопрос о том, какие именно фазы сменяют друг друга при ($p \approx 0.18, T = 0$) и является ли эта точка критической в общепринятом смысле.

Л.Опенев

1. B.J.Ramshaw et al., *Science* **348**, 317 (2015).

Ангармонические фононы и сверхпроводимость в сероводороде

Если подтвердится недавнее сообщение [1] о сверхпроводимости сероводорода H_2S при $T_c = 190$ К и $P = 200$ ГПа, то длительное время удерживаемый купратами рекорд (133 К) будет побит. А пока теоретики выясняют, какая из фаз, на которые H_2S разлагается при высоком давлении, ответственна за сверхпроводимость и пытаются вычислить ее T_c из первых принципов (при этом никто не сомневается в фононном механизме спаривания). В работе [2] (Франция, Великобритания, Китай, Канада) показано, что при учете нулевых колебаний H_2S может разлагаться как на H_3S и серу, так и на H_3S и HS_2 . Для H_3S численное решение уравнений Мигдала-Элиашберга дает $T_c = 194$ К при $P = 200$ ГПа. Авторы подчеркивают важную роль ангармонизма изгибных колебаний связей H-S. Заметим, что в [2] кулоновский псевдопотенциал μ^* фактически играл роль подгоночного параметра (согласие с экспериментом было достигнуто при $\mu^* = 0.16$). Это оставляет чувство некоторого неудовлетворения такими “первопринципными” расчетами. Наверное, неслучайно для статьи не нашлось места в таких журналах, как *Nature* и *Science*.

Л.Опенев

1. A.P.Drozдов et al., *arXiv:1412.0460* (2014).

2. I.Errea et al., *Phys. Rev. Lett.* **114**, 1570014 (2015).

О природе запаздывающего взаимодействия носителей заряда в купратных ВТСП

Фундаментальный вопрос физики высокотемпературной сверхпроводимости заключается в том, чтобы выяснить природу низкоэнергетических возбуждений, обмен которыми приводит к спариванию дырочных носителей заряда. Для ответа на него в работе [1] (Италия, Германия, Словения, Польша, Канада, Швейцария, Япония, США) использована оптическая спектроскопия, сочетающая предельно короткие световые импульсы ($9 \div 13$ фс) с широким спектральным диапазоном ($0.75 \div 2.4$ эВ). Показано, что в купратных ВТСП характерное время обмена энергией между фотовозбужденными дырками и бозонным резервуаром составляет около 20 фс – гораздо меньше, чем в БКШ-сверхпроводниках и обычных металлах (см. рис.).

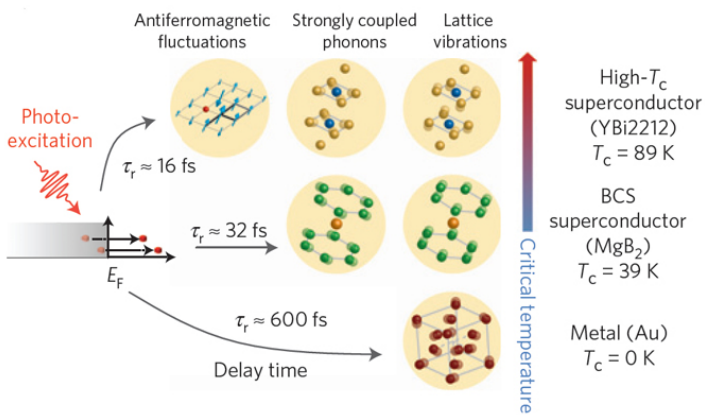


Иллюстрация различной динамики релаксации фотовозбужденных носителей в купратном ВТСП, обычном сверхпроводнике и несверхпроводящем металле.

Из этого авторы делают вывод, что причиной эффективного притяжения носителей в купратах является их обмен антиферромагнитными флуктуациями, а не фононами.

Л. Опенов

I. S. Dal Conte et al., Nature Phys. 11, 421 (2015).

Спаривание без сверхпроводимости

При добавлении в полупроводник SrTiO_3 носителей заряда (например, путем допирования) до концентрации $\approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ он становится сверхпроводником с критической температурой $T_c \approx 300$ мК, верхним критическим полем $H_{c2} \approx 0.2$ Тл и фазовой диаграммой, похожей на таковую в купратных ВТСП. Природа спаривания электронов в SrTiO_3 пока остается невыясненной. В работе [1] представлены результаты исследования транспортных характеристик сверхпроводниковых туннельных контактов на границе раздела $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3$. При $T > T_c$ и $H > H_{c2}$ обнаружены двухэлектронные резонансы туннельной проводимости, что указывает на присутствие в образце локальных электронных пар. Эти пары существуют вплоть до $T \approx 900$ мК и $H \approx 4$ Тл. При $T = T_c$ они образуют бозе-конденсат. Экс-

периментальные данные описаны в рамках модели Хаббарда с притяжением на узлах. Физический механизм этого притяжения неясен.

I. G. Cheng et al., Nature 521, 196 (2015).

ГРАФЕН

Адгезия и трение в графитовых контактах

В нашу компьютерно-цифровую эпоху начинаешь потихоньку забывать, что когда-то письма были не электронными, а обычными и писались карандашом с графитовым стержнем. Благодаря чрезвычайно слабому взаимодействию между графеновыми слоями, из которых состоит графит, они легко отслаиваются от грифеля и оставляют след на бумаге. По своей сути этот процесс обусловлен конкуренцией между адгезией графеновых слоев на графите и их трением друг о друга.

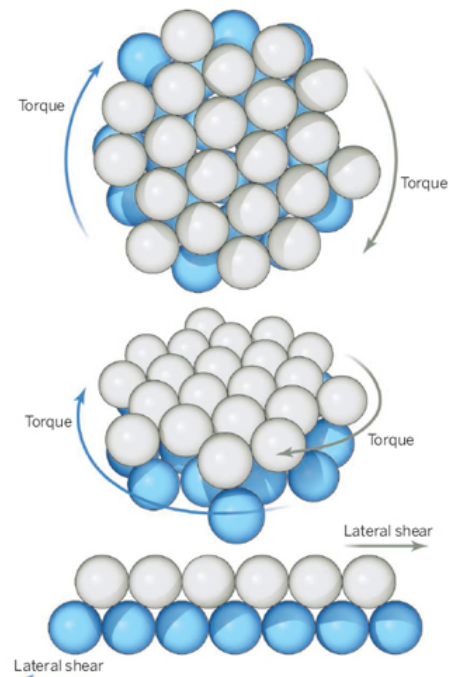


Иллюстрация поворота и сдвига двух кристаллических плоскостей слоистого материала относительно друг друга.

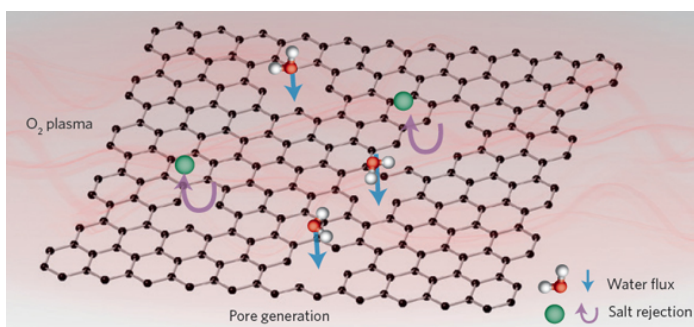
В работе [1] взаимодействие соседних слоев при сдвиге и повороте (см. рис.) изучено с использованием атомного силового микроскопа и дисков из ориентированного пиролитического графита толщиной 50 нм и радиусом $50 \div 300$ нм. Определены величины энергии адгезии $E \approx 0.23$ Дж/см² и коэффициента трения $\mu \approx 7 \cdot 10^{-5}$. Периодичность расположения атомов углерода в соприкасающихся слоях приводит к чередованию максимумов и минимумов энергии взаимодействия слоев по мере их смещения друг относительно друга. Это можно использовать для изготовления наномеханических запоминающих устройств.

По материалам заметки
 “Understanding friction in layered materials”,
K.M. Lechti, Science 348, 632 (2015).

I. E. Koren et al., Science 348, 679 (2015).

Графен–опреснитель

Хотя вода покрывает около 75 % поверхности нашей планеты, нехватка пригодной для питья и промышленных целей пресной воды представляет серьезную проблему в ряде регионов. По мере увеличения численности населения Земли эта проблема будет только усугубляться. Для опреснения воды сейчас используют полимерные мембраны, не отличающиеся высокой эффективностью. В работе [1] показано, что монослой графена с порами нанометровых размеров позволяет практически полностью очистить воду от содержащихся в ней солей (см. рис.), причем очень быстро (поток до $1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ при 40°C). Для создания в графене пор авторы использовали методику травления кислородной плазмой. Размер пор регулировали временем выдержки графена в плазме.



Графеновая мембрана с нанопорами задерживает соли и пропускает воду.

1. S.P.Surwade et al., *Nature Nanotech.* **10**, 459 (2015).

Локальное восстановление оксида графена с помощью электронного пучка

Один из наиболее широко распространенных подходов к получению графена основан на окислении графита и последующем восстановлении оксида графена (ОГ). Обычно для восстановления ОГ используют химические реагенты, такие как гидрид бора, гидразин и другие препараты, обладающие весьма высокой токсичностью и оказывающие вредное воздействие на окружающую среду. Кроме того, использование химического метода восстановления ОГ не позволяет осуществлять локальную обработку поверхности ОГ, создавая на ней строго локализованные участки, не содержащие кислород. Окисленный графен, в отличие от чистого графена, является электрическим изолятором, поэтому возможность создания таких участков в результате локального восстановления ОГ открывает путь к получению электронных схем заданной структуры. Интересный подход к решению этой задачи был продемонстрирован недавно исследователями из Georgia Inst. of Technology (США) [1], которые использовали для локального восстановления ОГ с высокой степенью разрешения сфокусированный электронный пучок.

Оксид графена в виде хлопьев был получен с использованием стандартного метода Хаммерса. Дисперсию хлопьев в водном растворе метилового спирта (17%) в течение 15 мин обрабатывали ультразвуком, после чего производили разделение фракций на центрифуге, вращающейся со скоростью 3000 об/мин. Полученные очищенные хлопья ОГ наносили при комнатной температуре на подложку SiO_2/Si методом Ленгмюра-Блоджетт. Последующие стадии эксперимента иллюстрируются на рис. 1.

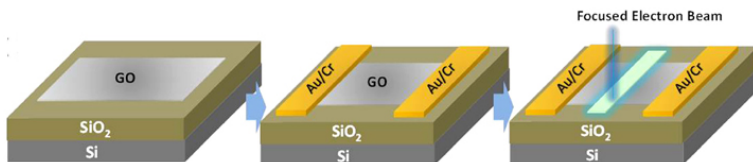


Рис. 1. Схема эксперимента по локальному восстановлению ОГ.

Для измерения проводимости графена по краям образца ОГ напыляли контакты Au/CF . В качестве источника пучка электронов с энергией 25 кэВ использовали сканирующий электронный микроскоп (СЭМ). С целью определения возможности восстановления графена из ОГ в результате воздействия электронного пучка измеряли вольт-амперные характеристики образца в отсутствие облучения и при различных дозах облучения. Результаты таких измерений, представленные на рис. 2, указывают на существенное (примерно на порядок) увеличение проводимости образца при дозе облучения 2×10^{18} электрон/см². При этом следует отметить, что используемая схема измерения включает в себя необработанные участки графенового листа, находящиеся в области контактов, так что реальное изменение проводимости, обусловленное воздействием электронного пучка, оказывается существенно выше.

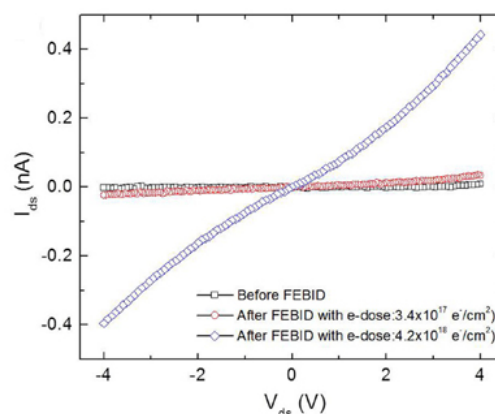


Рис. 2. Сравнение вольт-амперных характеристик графенового листа до обработки электронным пучком и после обработки пучками с дозами облучения 3.4×10^{17} электрон/см² и 4.2×10^{18} электрон/см².

Детальное исследование обработанной поверхности ОГ показывает, что использование сфокусированного электронного пучка обеспечивает возможность создания проводящих каналов с разрешением на уровне 100 нм. Этот результат открывает воз-

возможность использования оксида графена в качестве основы для получения электронных схем нанометровых размеров.

А. Елецкий

I. S. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 106, 133109 (2015).

Миниатюрный датчик давления на основе графена

Открытие графена и установление его физико-химических характеристик привело к разработке широкого круга измерительных приборов и датчиков на основе этого удивительного материала. Основная отличительная особенность таких приборов связана с миниатюрными размерами образцов графена. Датчик на основе графена может иметь микронные размеры, что позволяет его использовать в труднодоступных местах крупных промышленных объектов, представляющих потенциальную опасность для экологии или человека. К числу таких объектов относятся атомные и тепловые электростанции, нефтеперерабатывающие предприятия и химические производства. Учеными из Univ. of California, Riverside (США) [1] был изготовлен и продемонстрирован миниатюрный датчик давления на основе графена.

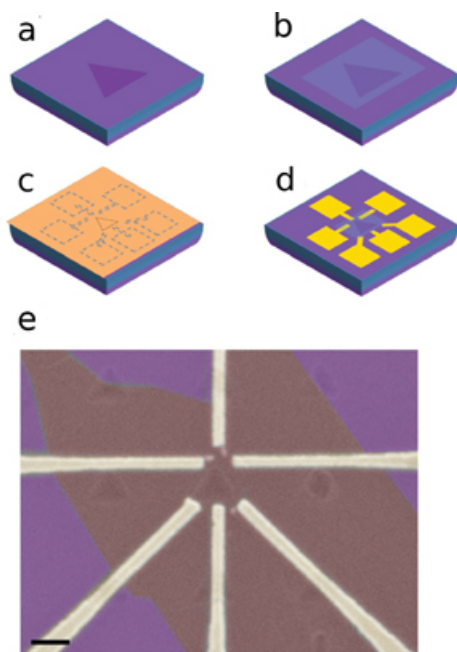


Рис. 1. Иллюстрация изготовления датчика давления: а – методом электронно-лучевой литографии с последующим ионным травлением. С помощью CHF_3 на пластине Si/SiO_2 вытравливают треугольные отверстия; б – на эти отверстия наносят листы графена, полученные в результате механического расщепления высокоупорядоченного пиролитического графита; в, д – методом электронно-лучевой литографии с использованием двухслойного резиста на основе полиметилметакрилата на пластину наносят электроды, представляющие собой пленки Ti толщиной 10 нм и Au толщиной 65 нм; е – раскрашенное изображение устройства, полученное с помощью электронного микроскопа: темный пурпур – графен; фиолетовый цвет – подложка; белый цвет – электроды. Масштабная полоска – 300 нм.

ПерсТ, 2015, том 22, выпуск 9/10

В качестве подложки использовали пластину Si/SiO_2 с толщиной оксидного слоя 300 нм. С использованием резиста из полиметилметакрилата (PMMA) и метода электронно-лучевой литографии на пластине вытравливали массив равноотстоящих треугольных отверстий со стороной 200 нм, имеющих глубину 150 нм. На эти треугольные отверстия наносили графеновые листы, полученные в результате механического расщепления кристаллов высокоупорядоченного пиролитического графита.

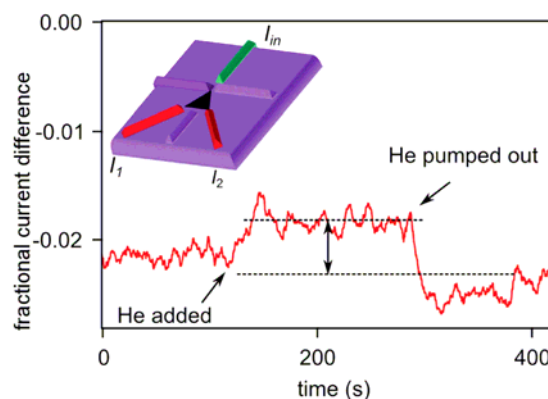


Рис. 2. Типичные показания датчика давления и иллюстрация принципа его работы. На графике показана эволюция разностного тока между контактами 1 и 2 при введении в систему He. На вставке показана электрическая схема работы прибора.

Электрическая схема, иллюстрирующая работу прибора, показана на вставке рис. 2. Действие прибора основано на зависимости разностного тока между контактами 1 и 2 от деформации графенового листа, вызванной давлением газа. Типичная зависимость показаний прибора от времени при введении He (давление 0.3 атм) и последующей откачке показана на рис. 2.

В качестве физического механизма, ответственного за зависимость показаний прибора от давления газа, авторы рассматривают эффект Холла, имеющий место в присутствии псевдомагнитного поля, которое возникает при деформации графенового листа.

А. Елецкий

I. J. Aguilera-Servin et al., Appl. Phys. Lett. 106, 083103 (2015).

ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

Углеродные нанотрубки помогут создать системы доставки лекарств в мозг

Углеродные нанотрубки обладают отличными транспортными свойствами, могут проникать сквозь липидные мембраны и даже через прочные клеточные стенки растений (см. ПерсТ [1,2]). Неудивительно, что исследователи предлагают использовать эти уникальные наноматериалы для диагностики и лечения различных заболеваний, в том числе заболеваний центральной нервной системы. Например, эксперименты *in vivo* на крысах показали, что инъекции углеродных нанотрубок, модифи-

цированных аминными группами, уменьшают инфарктные области мозга [3]. Однако до сих пор было неизвестно, способны ли нанотрубки преодолеть ненарушенный гематоэнцефалический барьер (физиологическую “перегородку между кровью и мозгом”). Первые доказательства такой возможности недавно получили в экспериментах *in vitro* и *in vivo* исследователи из Великобритании и Испании [4].

Гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) обеспечивает нормальное функционирование центральной нервной системы. Через него в ткань мозга из кровеносного русла поступают питательные вещества, а назад выводятся продукты жизнедеятельности. Основным элементом ГЭБ – слой эндотелиальных клеток, лежащих на базальной мембране. Со стороны нервной ткани к базальной мембране примыкает слой астроцитов (рис. 1). Между стенками эндотелиальных клеток образуются так называемые плотные контакты, которые препятствуют проникновению в нервную ткань микроорганизмов, токсинов, чужеродных клеток и молекул. Из-за наличия ГЭБ доставка в мозг многих лекарственных препаратов представляет серьезную проблему.

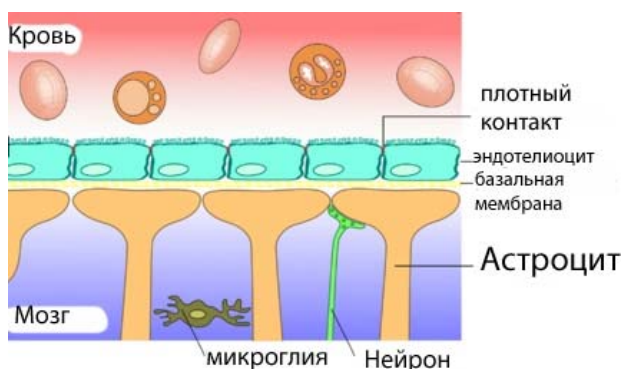


Рис. 1. Упрощенная схема ГЭБ.

Исследователи [4] использовали функционализированные многостенные углеродные нанотрубки (МСНТ) с аминными группами (NH_3^+), а также с радиоактивной меткой ^{111}In . Специальные эксперименты авторов работы показали, что эти нанотрубки не токсичны для эндотелиальных клеток.

Исследования *in vitro* были проведены на общепринятой модели ГЭБ (совместная культура эндотелиальных клеток свиного мозга и астроцитов крысы). Используя электронную микроскопию, авторы показали, что МСНТ способны преодолеть барьер посредством трансцитоза (рис. 2). МСНТ проникают через мембраны эндотелиальных клеток, при этом вокруг них формируются внутриклеточные “пузырьки” (везикулы), которые переносят содержимое от места поглощения к другой, обращенной к нервной ткани, стороне эндотелиальных клеток. Там везикулы частично открываются и выпускают содержимое (рис. 2). Интересно, что графитовая структура МСНТ, попавших в эпителиальные клетки, сохраняется (рис. 3).

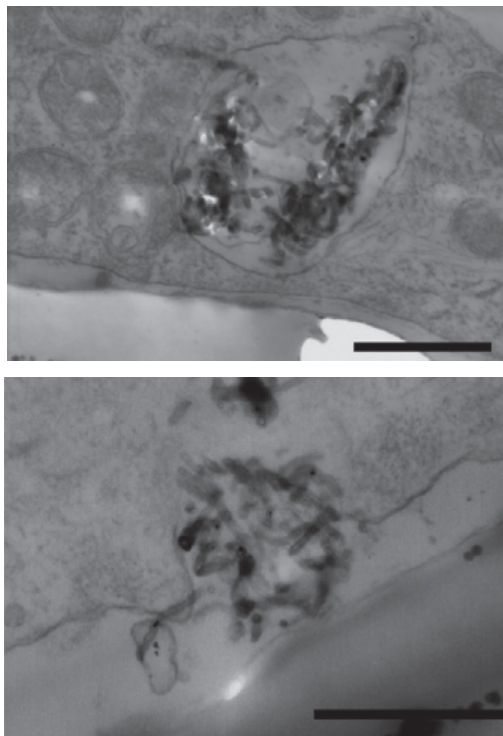


Рис. 2. Трансцитоз МСНТ через слой эпителиальных клеток.

Вверху: МСНТ внутри везикулы через 4 ч инкубации. Шкала 500 нм.

Внизу: Частичный выход МСНТ из везикулы на противоположной стороне слоя через 48 ч инкубации. Шкала 400 нм.

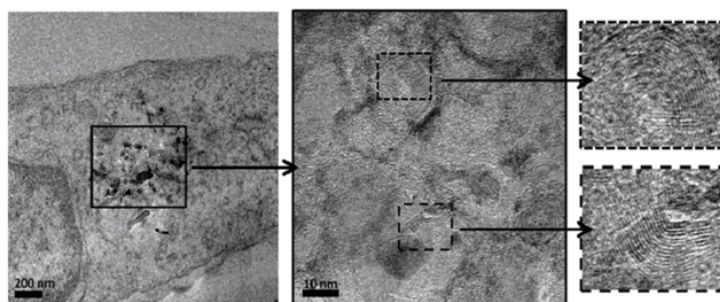


Рис. 3. ТЕМ изображение МСНТ в эпителиальных клетках. На изображении справа видно, что расстояние между стенками нанотрубок по-прежнему составляет 0,34 нм.

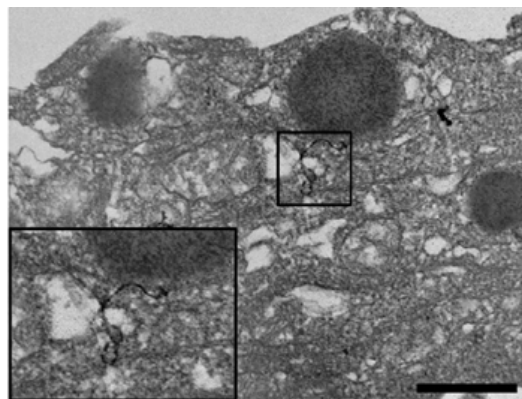


Рис. 4. МСНТ- NH_3^+ в астроцитах после пересечения слоя эпителиальных клеток (через 24 ч инкубации). Шкала 500 нм.

Измерения радиоактивности показали, что через 24 ч инкубации около 9% МСНТ с меткой ^{111}In пересекло слой эндотелиальных клеток, а через 72 ч – около 13%. С помощью электронной микроскопии через 24 ч инкубации индивидуальные МСНТ (не в везикулах) были обнаружены внутри астроцитов, что является дополнительным подтверждением преодоления барьера (рис. 4).

В экспериментах *in vivo* на мышах была использована суспензия ^{111}In -МСНТ в буферном растворе. Через 5 мин после инъекции в хвостовую вену заметное количество нанотрубок было детектировано в мозге.

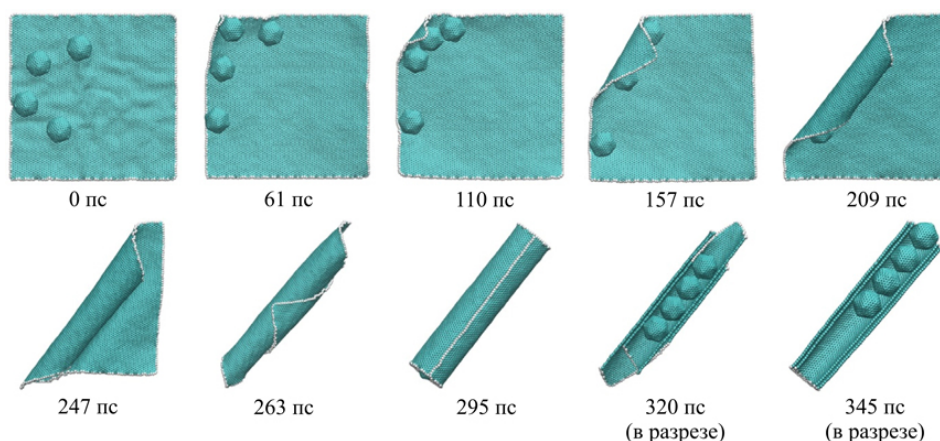
Результаты, полученные в работе [4], могут подсказать путь к созданию безопасных и эффективных систем доставки лекарственных средств в мозг.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 21, вып. 23, с. 4 \(2014\).](#)
2. [ПерсТ 16, вып. 9, с. 6 \(2009\).](#)
3. [ПерсТ 18, вып. 18, с. 5 \(2011\).](#)
4. *H. Kafa et al., Biomaterials 53, 437 (2015).*

Графеновое обертывание

С помощью классической молекулярной динамики (программный пакет LAMMPS) китайские исследователи детально рассмотрели интересные процессы самосборки различных фуллеренов диаметром от 0.7 до 2.3 нм и фрагментов графена при комнатной температуре [1]. Оказывается, что даже единственный фуллерен способен за счет ван-дер-ваальсового взаимодействия свернуть лист графена в трубку, а самосборка двух фуллеренов и графеновой наноленты (ГНЛ) приводит к более удивительным молекулярным конфигурациям: от обыкновенного химического связывания до “обертывания” и образования пиподов – эндодральных комплексов из углеродных нанотрубок и фуллеренов. Однако многое здесь зависит от диаметра фуллеренов и ширины ГНЛ. Если сравнительно небольшие молекулы, такие как C_{60} могут лишь “зацепиться” за плоскость графена и незаметно ее исказить, то более крупные C_{320} и C_{540} за счет “кооперативного” эффекта способны сильно закрутить достаточно широкие ГНЛ. Фуллерены буквально обертываются нанолентой (см. рис.).



Процесс обертывания четырех фуллеренов C_{540} графеновым листом размером $16 \times 16 \text{ nm}^2$

Этот процесс сильно напоминает модную процедуру талассотерапии в современных косметических салонах. Авторы отмечают, что эти процессы возможны лишь для подвешенного графена, как только появляется подложка обертывание становится невозможным. В конечном итоге, полученные авторами результаты свидетельствуют о том, что самосборка сложных конструкций из фуллеренов и графена вполне может использоваться как эффективный механизм для создания различного типа эндодральных соединений и соединений включения (так называемые, “core-shell” системы). Поскольку электронные свойства таких наноструктур в значительной степени зависят от геометрических параметров, то их вполне можно в дальнейшем использовать в качестве элементной базы различных наноустройств.

М.Маслов

I. J.-w. Feng et al., Carbon 90, 34 (2015).

ПерсТ, 2015, том 22, выпуск 9/10

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

Живой кристалл

Кристаллы – символ застывшего порядка, обычно противопоставляют самоорганизации живой материи. Однако американскими учеными из Rockefeller Univ. и Pittsburgh Univ. [1] это правило поставлено под сомнение: они обнаружили, что болотные бактерии могут образовывать упорядоченные структуры с высокой степенью симметрии, так называемые “активные кристаллы”, по аналогии с ранее введенным термином для жидкостей (см. ПерсТ [2]).

Если в обычном кристалле движение – помеха идеальному порядку, то активный кристалл своим существованием обязан движению: его “атомы”, крутясь на месте, порождают вихревой ток жидкости и благодаря этому притягиваются друг к другу (рис. 1а). Такое вращение на месте – естественное приспособление бактерий к среде обитания: вместо

того, чтобы, подобно другим бактериям, шнырять туда-сюда в поисках корма, они прижимаются ко дну болота и своим вращением направляют поток питательных веществ на себя, следуя известной максиме “хочешь жить – умей вертеться”.

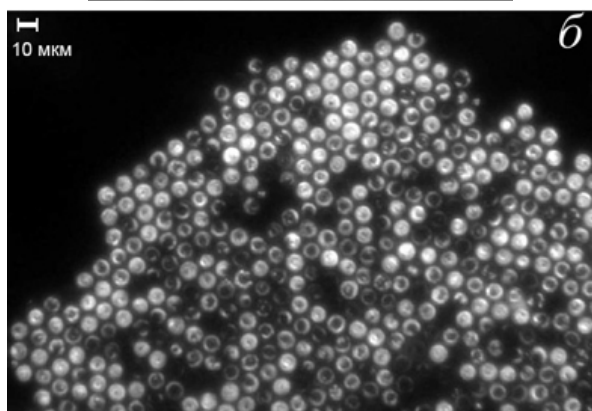
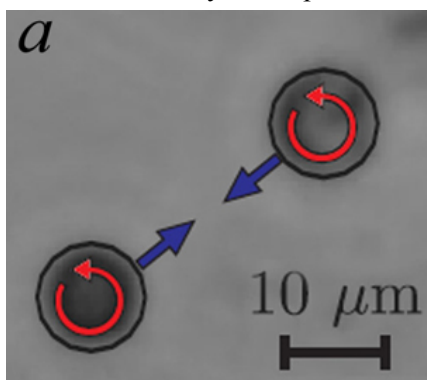


Рис. 1. Активный кристалл из бактерий *Thiovulum majus* – обитателей соляных болот: а – притяжение двух вихрей, порожденных вращающимися бактериями; б – снимок кристалла в темном поле.

При лабораторных экспериментах, где дном служила гладкая стеклянная поверхность, бактерии образовывали двумерный кристалл гексагональной симметрии (рис. 1б). Как следует из эксперимента, механизм, с помощью которого бактерии прижимаются ко дну тоже гидродинамического происхождения – за счет разницы давлений в вихре и вне его. При вращении бактерии воздействуют на дно и соседей с силой в несколько десятков пиконьютонов.

А.Пятаков

1. *A.P.Petroff et al., Phys. Rev. Lett. 114, 158102 (2015).*

2. [ПерсТ 20, вып.12, с. 7 \(2013\).](#)

КОНФЕРЕНЦИИ

9th Energy, Materials, and Nanotechnology (EMN) Meeting, September, 1-4, 2015, San Sebastian, Spain

Topics:

1. Advanced Functional Materials and Technologies: Energy and Sensing.
2. Advanced Materials, Properties, Processing and Performance.
3. Metamaterials, Microwave Power Engineering, High Frequency & Power Devices.
4. Magnetic Materials for Energy Applications.
5. Thin Films & Nanostructures.
6. Novel Materials and Phenomena.
7. Life Sciences & Applications.
8. Microscopy, Imaging & Characterization.

The conference website has been updated and the Abstract Submission and Registration are open at: <http://www.emnmeeting.org/spain/>

The Abstract deadline is **May. 31, 2015**

E-mail: emn.spain@gmail.com

Website: <http://www.emnmeeting.org/spain/>

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой ИФТТ РАН и НИЦ «Курчатовский институт»

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: irina@issp.ras.ru

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О. Алексеева, А. Елецкий, М. Маслов, Л. Опенов, А. Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а