

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### К 100-летию сверхпроводимости

Сегодня во всем мире обсуждают свойства высокотемпературных сверхпроводников и перспективы их применений в науке и технике. Но впервые о сверхпроводимости - ярком и необычным явлении физики твердого тела - стало известно в апреле 1911 года, когда нидерландский физик Хейке Камерлинг-Оннес на заседании Королевской академии наук в Амстердаме сообщил об обнаруженном им эффекте - полном исчезновении электрического сопротивления ртути, охлажденной жидким гелием до температуры 4.15 К.



Вскоре после открытия сверхпроводимости ее обнаружили не только у ртути, но и в целом ряде других металлов и сплавов. Перспективы практического применения открытого явления казались безграничными: линии передачи электроэнергии без потерь, сверхмощные магниты, трансформаторы новых типов и так далее. Однако... для охлаждения сверхпроводников до столь низких температур приходилось пользоваться остродефицитным (и дорогим!) гелием, да и сама сверхпроводимость оказалась весьма "капризной дамой".

Сразу после открытия сверхпроводимости, в том же 1911 году, Камерлинг-Оннес попытался получить сильное магнитное поле в сверхпроводящей катушке. Идея была очень соблазнительной, однако из нее ничего не вышло: даже относительно слабые поля оказывались критическими, при  $H > H_c$  сверхпроводимость разрушалась.

Механизм разрушения стал более понятен только в 1933 г., когда немецкие физики В. Мейснер и Р. Оксенфельд обнаружили, что металл в сверхпроводящем состоянии ведет себя как идеальный диамагнетик - полностью выталкивает магнитное поле, так что магнитный поток внутри него становится равным нулю. При  $H > H_c$  такое состояние оказывается невыгодным, и металл снова возвращается в нормальное состояние. Эффект Мейснера показывает, что сверхпроводимость - гораздо более сложное явление, чем просто потеря электрического сопротивления.

Микроскопическую природу скачкообразного исчезновения сопротивления при охлаждении металла до критической температуры  $T_c$  смогли объяснить американские физики Дж. Бардин, Л. Купер и Дж. Шриффер, создав в 1957 году теорию, названную по начальным буквам их фамилий БКШ. За эту работу они были удостоены Нобелевской премии по физике 1972 года. Существенный вклад в понимание природы сверхпроводимости внесли советские физики-теоретики Лев Ландау, Николай Боголюбов, Виталий Гинзбург, Алексей Абрикосов, Лев Горьков. За работы по сверхпроводимости

И далее ...

- 2 От металла к сверхпроводнику через два фазовых перехода

Секрет песочных часов

### ГРАФЕН

- 3 Диэлектрическая щель в нанолентах из графана

Ковалентная функционализация графена

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 4 Рукотворные спиновые узоры в атомном моттовском диэлектрике

### МИКРОТЕХНОЛОГИИ

- 4 Магнитоэлектрические кантилеверы – в массы

### СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 5 Электронная структура монокристаллов  ${}^4\text{He}$  при высоких давлениях

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Парадоксальная почечная фильтрация углеродных нанотрубок

- 7 Синтез полупроводниковых углеродных нанотрубок большого диаметра

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 International conference "Spin physics, spin chemistry, and spin technology", 1-6 November 2011, Kazan, Russia

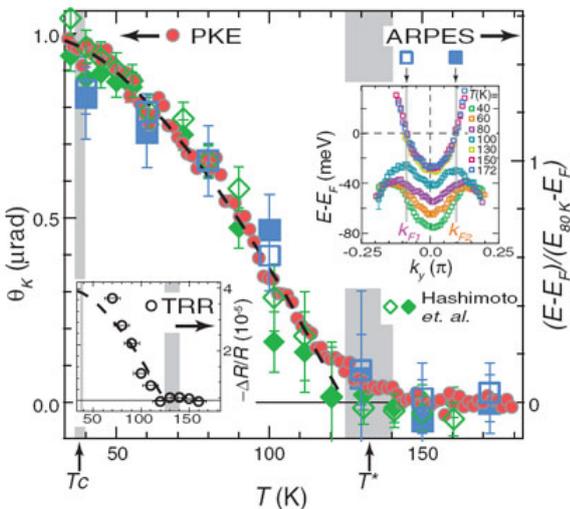
### ТОРЖЕСТВО

академики Гинзбург и Абрикосов (совместно с британским физиком Энтони Леггетом) в 2003 году были удостоены Нобелевской премии по физике.

**От металла к сверхпроводнику через два фазовых перехода**

Достаточно сложное физико-химическое устройство купратных ВТСП приводит к тому, что они, наряду с высокотемпературной сверхпроводимостью, обладают и другими необычными свойствами. Так, фотоэмиссионная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES) показывает, что при охлаждении купратов до температуры  $T^* \gg T_c$  в плотности состояний вблизи границ зоны Бриллюэна появляется псевдощель, тогда как на диагоналях зоны сохраняются бесщелевые участки (фермиевские дуги). До сих пор продолжается дискуссия о природе псевдощели: связана ли она со сверхпроводящими флуктуациями (некогерентными куперовскими парами) или же возникает вследствие зарождения какого-то другого (несверхпроводящего) порядка, нарушающего ту или иную симметрию.

В работе [1] (США, Япония, Таиланд) представлены результаты комплексного исследования последовательности переходов почти оптимально допированных монокристаллов  $Pb_{0.55}Bi_{1.5}Sr_{1.6}La_{0.4}CuO_{6+\delta}$  сначала в псевдощелевое ( $T^* = 132 \pm 8$  К), а затем – в сверхпроводящее ( $T_c = 38$  К) состояние. Наряду с ARPES были изучены температурные зависимости полярного эффекта Керра и динамики носителей тока. Резкое изменение спектров ARPES (появление псевдощели в антиузловом направлении) сопровождалось поворотом плоскости поляризации отраженного света и изменением динамики релаксации носителей (см. рис.), откуда авторы сделали вывод, что псевдощелевое состояние формируется из нормального в результате фазового перехода.



Сопоставление данных ARPES, PKE (polar Kerr effect) и TRR (time-resolved reflectivity).

Как следует из данных ARPES, этот переход сопровождается нарушением электрон-дырочной сим-

метрии. При понижении температуры до  $T_c$  на ARPES-спектрах появляются сверхпроводящие особенности, которые сосуществуют с псевдощелевыми. Хотя при  $T > T_c$  имеются признаки сверхпроводящих флуктуаций, они полностью исчезают при  $T \approx 60$  К, то есть намного ниже  $T^*$ . Что из себя представляет псевдощелевой порядок и конкурирует ли он со сверхпроводящим (или все же связан с ним каким-то хитрым образом, не через флуктуации), остается неясным.

Л.Опенев

*I. R.-H. He et al., Science 331, 1579 (2011).*

**Секрет песочных часов**

Сверхпроводимость слоистых купратных ВТСП возникает при добавлении носителей тока в слои  $CuO_2$  с антиферромагнитным упорядочением медных спинов. Эти носители разрушают дальний антиферромагнитный порядок, но сильные спиновые флуктуации сохраняются и в сверхпроводящей фазе. Данные по неупругому рассеянию нейтронов говорят о том, что в широком диапазоне составов (как сверхпроводящих, так и несверхпроводящих) спектр магнитных возбуждений купратов имеет вид песочных часов (рис. 1b), наиболее отчетливо выраженный в недодопированных образцах. Расчеты показали, что причиной столь необычной формы спектра могут быть спиновые и зарядовые страйпы (полоски) в слоях  $CuO_2$ . Страйпы действительно были обнаружены, но только в  $La_{1.875}Ba_{0.125}CuO_4$ . Между тем специфическая дисперсия магнитных флуктуаций (рис. 1b) наблюдается и в купратах без страйпов, что ставит ее страйповую природу под сомнение.

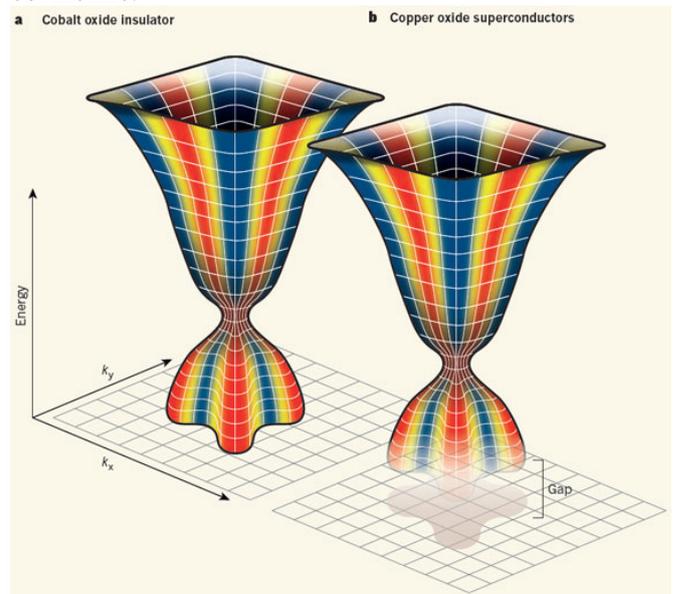


Рис. 1. Спектры магнитных возбуждений в  $La_{5/3}Sr_{1/3}CoO_4$  (a) и купратных ВТСП (b).

В работе [1] (Великобритания, Швейцария, Франция) обнаружено, что такую же форму песочных часов (рис. 1a) имеет магнитный спектр  $La_{2-x}Sr_xCoO_4$  (рис. 2a) – изоструктурного с купратом

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  диэлектрика, наличие страйпов в котором (рис. 2b) надежно установлено в независимых экспериментах. В отличие от допированных купратов, свободные носители заряда в  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_4$  отсутствуют, поэтому объяснить результаты спиновыми возбуждениями системы подвижных электронов не удастся. Остаются страйпы. Но почему же тогда страйпы не наблюдаются в большинстве купратов с таким же спектром? Наверное, потому, что страйповый порядок в купратах является не статическим, как в  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_4$ , а динамическим (флуктуирующим). Об этом свидетельствует наличие в магнитных спектрах купратов щели при низких энергиях (рис. 1b), которая отсутствует в спектрах  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_4$  (рис. 1a).

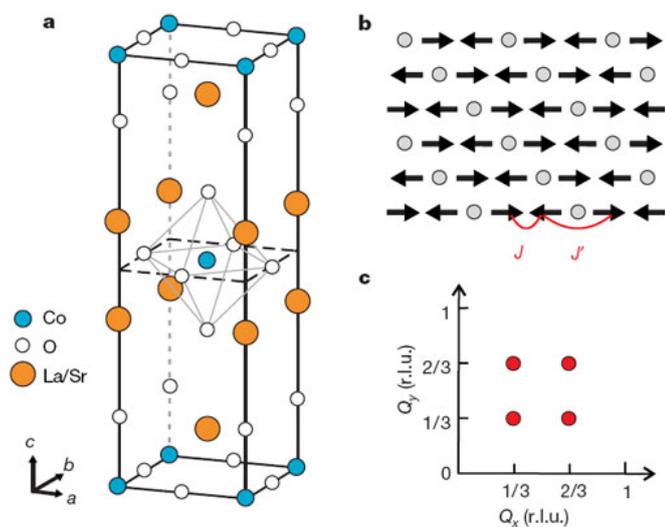


Рис. 2. а - Кристаллическая структура  $\text{La}_{5/3}\text{Sr}_{1/3}\text{CoO}_4$ ; б - спиновый и зарядовый порядок в слоях  $\text{CoO}_2$  (стрелки – спины магнитных ионов  $\text{Co}^{2+}$ , кружки – немагнитные ионы  $\text{Co}^{3+}$  (атомы кислорода не показаны);  $J$  и  $J'$  – энергии обменного взаимодействия внутри страйпов и между страйпами, соответственно); в - положения магнитных пиков в обратном пространстве (пары пиков при  $(1/3, 1/3)$ ,  $(2/3, 2/3)$  и  $(1/3, 2/3)$ ,  $(2/3, 1/3)$  отвечают двум различным (ортогональным друг другу) ориентациям страйпов).

Напомним, что страйпы – не единственная форма сосуществования “организованной” сильнокоррелированной квантовой материи с высокотемпературной сверхпроводимостью. Есть еще и спонтанные “диамагнитные” токи, и квантовая нематичность. Но далеко не факт, что вся эта (или какая-то другая) экзотика имеет непосредственное отношение к механизму куперовского спаривания. Ведь максимальные критические температуры в купратных ВТСП достигаются при достаточно больших концентрациях носителей, когда электронные корреляции (и сопутствующие им эффекты) становятся уже не такими существенными.

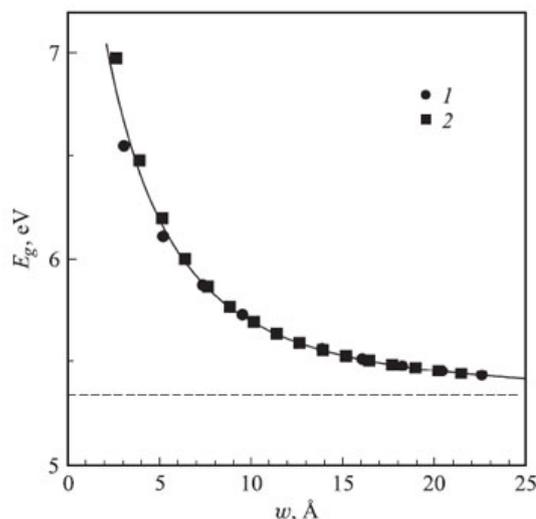
По материалам заметки  
*J.Zaanen, Nature 471, 314 (2011).*

*1. A.T.Boothroyd et al., Nature 471, 341 (2011).*

## ГРАФЕН

### Диэлектрическая щель в нанолентах из графана

Так как графен представляет собой бесщелевой полупроводник, то в качестве диэлектрических компонентов наноприборов на его основе можно попытаться использовать графен – недавно предсказанный и вскоре синтезированный квазидвумерный углеводородный материал, представляющий собой монослой графена, полностью насыщенный водородом с обеих сторон. Графен, в отличие от графена, является широкозонным диэлектриком с  $E_g \approx 5$  эВ. Поскольку в наноприборах графеновые элементы могут иметь размеры  $\sim 1 - 10$  нм, то важно знать зависимость  $E_g$  от ширины  $w$  таких нанолент. Численный расчет этой зависимости выполнен в работе [1]. Показано, что при уменьшении  $w$  величина  $E_g$  монотонно увеличивается (см. рис.).



Зависимость диэлектрической щели  $E_g$  от ширины  $w$  графеновых нанолент с зигзагообразными (1) и кресельными (2) границами. Пунктирная линия отвечает величине  $E_g = 5.34$  эВ в графене (при  $w \rightarrow \infty$ ).

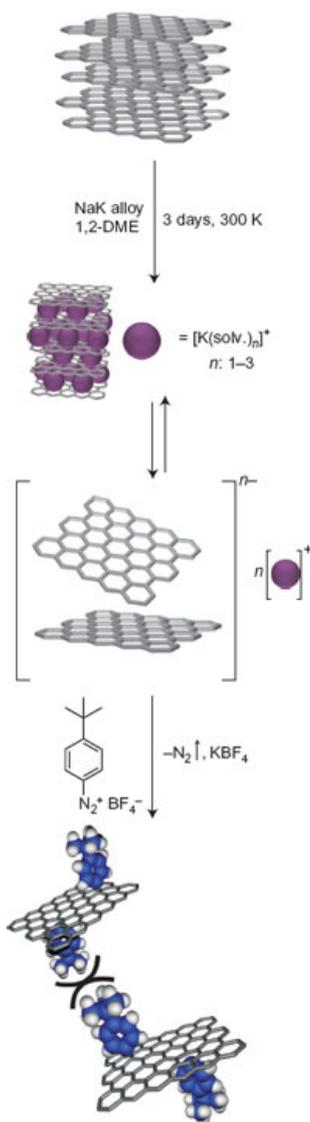
При этом зависимости  $E_g$  от  $w$  в нанолентах с зигзагообразными и кресельными границами практически не различаются, то есть диэлектрическая щель определяется только шириной наноленты, но не структурой ее границ (в отличие от графеновых нанолент). Зависимость  $E_g$  от  $w$  существенна только для очень узких нанолент, а при  $w > 1$  нм щель очень быстро выходит на константу, характеризующую макроскопический в двух направлениях графен.

*1. ФТП 45, 644 (2011).*

### Ковалентная функционализация графена

Большинство работ по функционализации графена основано на использовании оксида графена в качестве исходного материала. Одним из недостатков этого подхода является то, что окисление графенового монослоя приводит к формированию в нем дефектов.

В статье [1] немецкие специалисты из University of Erlangen-Nurnberg предложили двустадийную методику химического отслаивания графена от графита и его дальнейшей функционализации (см. рис.):



1) выдержка чешуек графита в растворе сплава NaK в 1,2-диэтилметиловом эфире (интеркаляция калия приводит к расщеплению графита на отдельные слои);  
2) добавление в раствор солей диазония.

Химическое отслаивание графеновых слоев от графита и их последующая функционализация.

Ковалентная связь органических функциональных групп с графеном подтверждена рамановской спектроскопией, силовой атомной микроскопией, просвечивающей электронной микроскопией высокого разрешения и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией. Процесс присоединения этих групп к графену является обратимым. Развитую технологию предполагается использовать в молекулярной электронике.

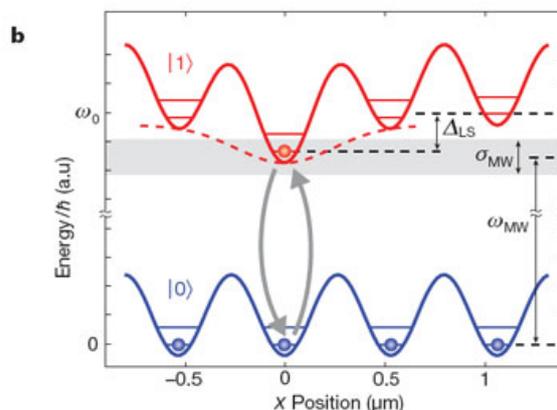
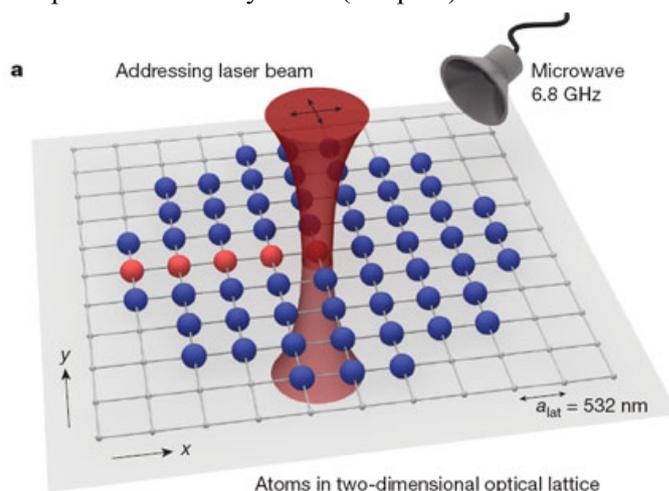
1. J.M.Gotfried et al., Nature Chem. 3, 279 (2011).

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Рукотворные спиновые узоры в атомном моттовском диэлектрике

Холодные атомы в оптических решетках допускают высокий уровень контроля параметров межатомного взаимодействия и потому используются для исследования таких фундаментальных многочастичных явлений как квантовые фазовые переходы и пр. Особый интерес представляет адресное управление состояниями отдельных атомов, что требуется, например, при квантовых вычислениях. В работе [1] немецкие физики продемонстрировали возможность выборочного поворота спинов атомов  $^{87}\text{Rb}$ , занимающих узлы двумерной оптической решетки и находящихся в моттовском диэлектрическом состоянии. Для этой цели они использовали сфокуси-

рованный на конкретном атоме лазерный пучок и микроволновое излучение (см. рис.).



а - Атомы  $^{87}\text{Rb}$  находятся в узлах квадратной оптической решетки с периодом 532 нм (диаметр лазерного пучка  $\approx 600$  нм; координата центра пучка в плоскости  $x$ - $y$  фиксируется с точностью  $\approx 50$  нм); б - при воздействии лазерного пучка энергии уровней  $|0\rangle = |F=1, m_F=-1\rangle$  и  $|1\rangle = |F=2, m_F=-2\rangle$  локально изменяются. Переход  $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$  происходит только на одном атоме за счет резонансного СВЧ-импульса.

Точность операции составляет 95%. Перемещая пучок с узла на узел, можно формировать произвольные “спиновые узоры”. При этом колебания атомов не возбуждаются, то есть они остаются в основном состоянии. Развитую в [1] методику можно, в частности, использовать для создания неравновесных спиновых состояний и изучения динамики спиновых примесей.

1. C.Weitenberg et al., Nature 471, 319 (2011).

## МИКРОТЕХНОЛОГИИ

### Магнитоэлектрические кантилеверы – в массы

Микроэлектромеханические системы (МЭМС), объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты, применяются для создания разнообразных миниатюрных датчиков, таких как акселерометры, гироскопы, магнитометрические датчики и сенсоры. Современные МЭМС устройства используют пьезоэлектрические мате-

ПерТ, 2011, том 18, выпуск 7

риалы на основе цирконата-титаната свинца (ЦТС). Однако ввиду нарастающей озабоченности общества токсичностью соединений свинца, в настоящее время ему активно ищут замену. Наиболее интересный кандидат – феррит висмута  $\text{BiFeO}_3$ , который не только обладает пьезоэлектрическим эффектом, не уступающим ЦТС, но известен как один из немногих материалов, проявляющих магнитоэлектрические свойства при комнатных температурах. В недавней публикации индийских ученых [1] предлагается массовый способ производства упругих консолей – кантилеверов из феррита висмута для устройств МЭМС. Данная технология основана на химической микрообработке кремниевых пластин, аналогичной производству микросхем.

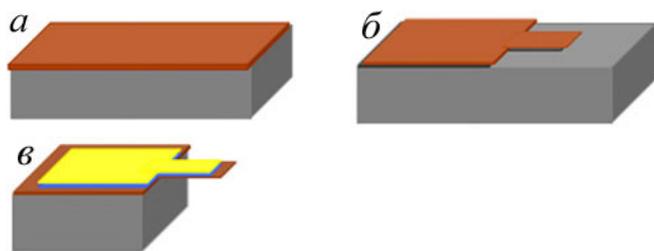


Рис. 1. Производство кантилеверов из феррита висмута [1]: *a* - пластина кремния с осажденным на ней 400 нм слоем феррита висмута; *б* - структура, получаемая методом фотолитографии; *в* - окончательная стадия изготовления – кантилевер с электродом из двухслойной пленки хром-золото.

На кремниевую подложку осаждают пленку из феррита висмута (рис. 1а). Далее с помощью стандартной процедуры фотолитографии, состоящей из последовательных этапов облучения сквозь маску и химического травления, получают структуру нужной конфигурации (рис. 1б). Повторяя тот же цикл с нанесением металлических пленок, получают кантилевер (рис. 1в) с двухслойным электродом из хрома и золота.

В таком кантилевере проявляется как прямой, так и обратный пьезоэлектрический эффект: он генерирует электрическое напряжение при изгибе, и, наоборот, изменяет свою форму под действием электрического напряжения (300 микронная консоль отклоняется на величину порядка одного микрона под действием напряжения 15 В). Данное отклонение может быть измерено с помощью емкостного датчика. Но самое интересное, что аналогичное действие оказывает и магнитное поле около 500 Э, что делает такую технологию привлекательной не только с экологической точки зрения, но и в плане многофункционализации МЭМС устройств.

А. Пятаков

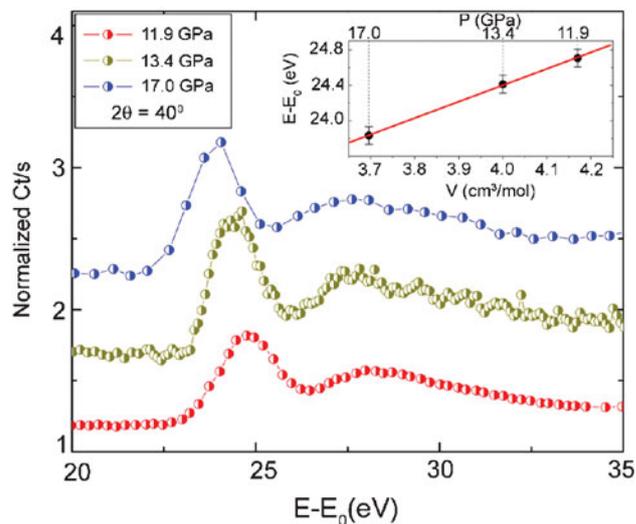
*I. K. Prashanthi et al., Sensors and Actuators A 166, 83 (2011).*

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Электронная структура монокристаллов ${}^4\text{He}$ при высоких давлениях

При комнатной температуре и давлениях выше 11 ГПа  ${}^4\text{He}$  образует монокристаллы с ГЦК-решёткой. Интерес к твёрдому гелию обусловлен не только его свойствами квантового кристалла при низких температурах. Гелий при высоких давлениях представляет большой интерес и для астрофизики. В частности, для планет с массой Юпитера и больше с ростом давления возможно уменьшение диэлектрической щели вплоть до металлизации. Однако до сих пор вся информация об электронных свойствах твёрдого гелия при высоких давлениях была основана только на теоретических расчетах.

В работе американских авторов [1] сообщается о первых прямых измерениях электронных спектров при  $P > 11$  ГПа. Благодаря высокой энергии ионизации гелия щель  $E_g$  между валентной зоной и зоной проводимости выше 20 эВ, что затрудняет типичные оптические эксперименты. С помощью синхротронного излучения (СИ) были измерены спектры неупругого рентгеновского рассеяния (IXS) в интервале электронных возбуждений 20 ÷ 40 эВ. Поскольку у гелия очень низкое сечение рассеяния, то сигнал невелик даже при ярком источнике СИ. Авторы [1] оптимизировали технику измерений IXS в алмазных наковальнях (DAC). Эксперименты проводили на трёх линиях СИ – двух в Argonne National Laboratory (США) и на Spring 8 в Японии. Результаты измерений при разных давлениях приведены на рисунке.



Измерены спектры электронно-дырочных возбуждений в  $\Gamma$  точке. Большой пик с энергией 24–25 эВ соответствует экситону, видны также спутники с большей энергией. На вставке показано понижение энергии экситона с ростом давления. Авторы [1] измерили также дисперсию IXS вдоль направления ГМ и сравнили её с результатами теоретических расчетов. Расчёты зонной структуры методом LDA были дополнены учётом корреляционных эффектов в схеме GW, что увеличило щель от 17.1 эВ (LDA)

до 27.1 эВ. Эксперименты и теоретические расчёты [1] показали достаточно разумное согласие.

С. Овчинников

I. H.K.Mao et al., *Phys. Rev. Lett.* 105, 186404 (2010).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Парадоксальная почечная фильтрация углеродных нанотрубок

В последнее время внимание биологов и медиков всё чаще привлекают волокнистые наноструктуры. Среди них есть и природные (например, вирусы и амилоидные фибриллы разных белков), и синтезированные (нанотрубки, нановолокна). Их исследования важны как для понимания причин и механизмов различных заболеваний, в том числе нейродегенеративных, так и для создания новых контролируемых систем доставки лекарственных или диагностических средств.

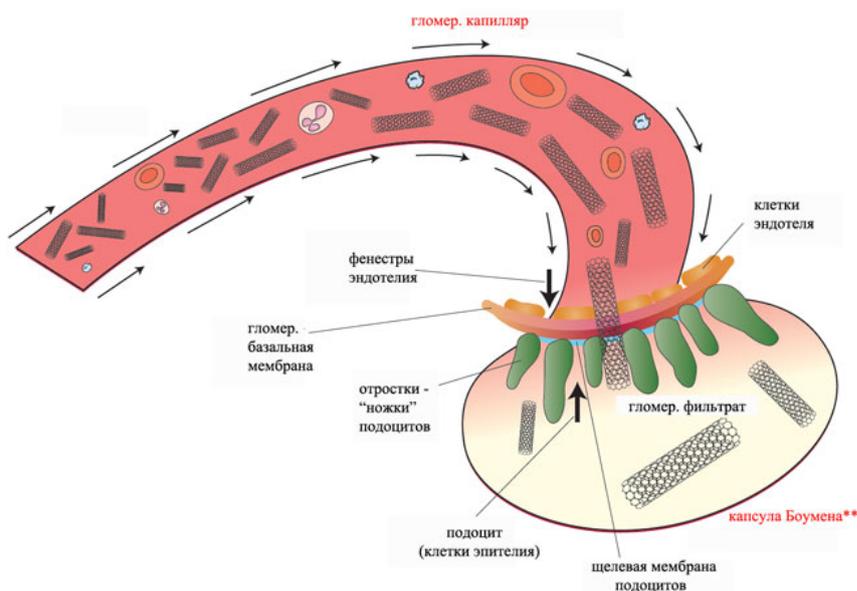
Распределение наноматериалов в тканях, их аккумуляция и удаление – динамические процессы, которые определяют баланс между фармакологиче-

ской активностью и нежелательной токсичностью. Неожиданный механизм фильтрации, с помощью которого организм эффективно выводит одностенные углеродные нанотрубки (ОСНТ), был обнаружен и изучен в работе [1]. “Парадоксальная гломерулярная фильтрация углеродных нанотрубок” – так охарактеризовали этот механизм авторы. (Гломерулярная, или клубочковая фильтрация — начальный этап мочеобразования). Парадокс в том, что в экспериментах [1] молекулярный вес ОСНТ после функционализации достигал 350-500 кДа\*, а это в 10-20 раз больше величины, предельной для гломерулярной фильтрации.

В своих комментариях к этой работе К. Kostarelos, известный учёный в области наномедицины (School of Pharmacy, University of London), представил наглядную схему прохождения нанотрубок через почечный фильтр (рис. 1) [2].

Рис.1. Схема гломерулярной (гломер.) фильтрации.

Приведём некоторые пояснения к схеме. Как известно, основной структурно-функциональной единицей почки является нефрон (в каждой почке взрослого человека их более миллиона). Начальная часть нефрона – сосудистый клубочек (гломерула) и покрывающая его капсула Шумлянско-Боумена\*\* (рис.1). Клубочек содержит около 50 капиллярных петель, на схеме показан один из капилляров. В полость капсулы из капилляра через гломерулярный фильтр проходит жидкость. Это так называемая первичная моча, то есть плазма крови без форменных элементов крови (тромбоцитов, лейкоцитов и эритроцитов) и практически без белка. Суточный объем первичной мочи – десятки литров, в ней есть не только вредные для организма вещества, например, мочевины, но и необходимые – глюкоза, аминокислоты, некоторые соли, которые потом вместе с водой всасываются обратно в кровь. Полученный концентрированный остаток – вторичная, или конечная, моча выводится из организма. Гломерулярный фильтр – замечательная синергетическая система. Он состоит из трёх слоев: эндотелиальных клеток капилляров, базальной мембраны и эпителиальных клеток – подоцитов. В эндотелии есть фенестры (“оконца”) 50-100 нм. Базальная мембрана, основная часть фильтра, имеет поры 3-7.5 нм. Третий слой фильтра обра-



зован “ножками” (отростками) подоцитов, между которыми остаются щелевые поры размером около 10 нм. При этом не только размер пор фильтра, но и их отрицательный заряд противодействуют прохождению определённых молекул, например, большинства белков. Считается, что через гломерулярный фильтр не могут проходить вещества с молекулярным весом более 30-50 кДа.

Опыты в работе [1] проводили на мышах *in vivo* и *ex vivo*, а также на некоторых клеточных культурах *in vitro*. ОСНТ (длина от 100 до 500 нм) вводили инъекцией в вену хвоста мышей. Специальная ковалентная функционализация с добавлением радиоизотопных и флуоресцентных меток позволила использовать для изучения почечного клиренса (очистки) изображения, полученные с помощью пози-

тронной эмиссионной томографии (ПЭТ), флуоресцентных методов, микроскопии. На рис. 2а показаны изображения ПЭТ, демонстрирующие эффективный почечный клиренс для ОСНТ. После инъекции нанотрубки очень быстро (< 1 мин) начинают накапливаться в почках, пик наблюдается примерно через 3 мин;  $t_{1/2}$  для клиренса ~ 6-10 мин. Почти сразу радиоактивность появляется в мочевом пузыре, её уровень выходит на плато через 20 мин (рис. 2б).

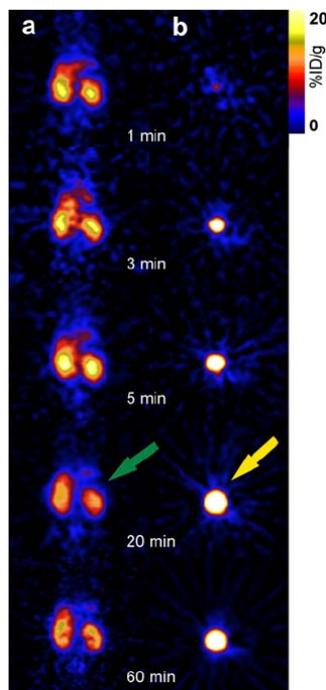


Рис. 2. Динамические ПЭТ изображения после инъекций функционализированных ОСНТ с метками  $^{86}\text{Y}$ : а - почки, б - мочевой пузырь.

Исследование тканей мышей *ex vivo* через час после инъекции подтвердило данные ПЭТ. Анализ образцов мочи показал, что введенные ОСНТ с метками за время нахождения в организме не изменились.

Для того чтобы пройти через узкие (< 10 нм) поры фильтра, нанотрубки длиной 100-500 нм должны выстроиться перпендикулярно мем-

бране, как показано на рис. 3. Что же заставляет их поворачиваться подобным образом?

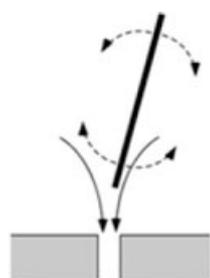


Рис. 3. Схема приближения молекулы – “стержня” к поре

Авторы [1] предложили математическую модель, учитывающую, с одной стороны, воздействие потока жидкости, “выстраивающее” частицы, а с другой стороны – броуновское движение, стремящееся сообщить им хаотическую ориентацию. Расчёты показали, что для тонких стержней диаметром 1 нм и длиной 200-300 нм (средняя длина ОСНТ в экспериментах) и для стержней большей длины высока вероятность ориентирования по кровотоку, что облегчает фильтрацию. Для стержней длиной менее 30 нм предпочтительная ориентация отсутствует.

Такой необычный механизм прохождения нанотрубок через фильтр требует дальнейшего изучения. Ясно, что он резко отличается от механизма для сферических частиц – для фильтрации важен не только молекулярный вес и заряд частиц, но и аспектное отношение (отношение длины к диаметру). Эти результаты (конечно, подкреплённые дальнейшими исследованиями) позволяют целенаправленно

синтезировать наноматериалы для различных биомедицинских применений: для диагностики – такие, которые быстро удаляются из организма, для лечения – такие, которые дольше задержатся в нужном месте. Важно, что в своих экспериментах авторы [1] не обнаружили токсичного воздействия нанотрубок на почки.

\* *Дальтон (Да)* – единица измерения массы атомов, молекул, вирусов, клеток и др., равная 1/12 массы атома углерода ( $^{12}\text{C}$ ), или  $1.661 \cdot 10^{-24}$  г. Название дано в честь английского физика и химика Дж. Дальтона (1766–1844).

\*\* В русскоязычной литературе это капсула Шумлянского-Боумана. А.М. Шумлянский (1748-1795), врач, один из основоположников микроскопической анатомии в России, подробно описал микроскопическое строение почек, в том числе сосудистый клубочек “glomerulus” и окружающую его капсулу, на 60 лет раньше английского врача У. Боумана (Bowman).

О. Алексеева

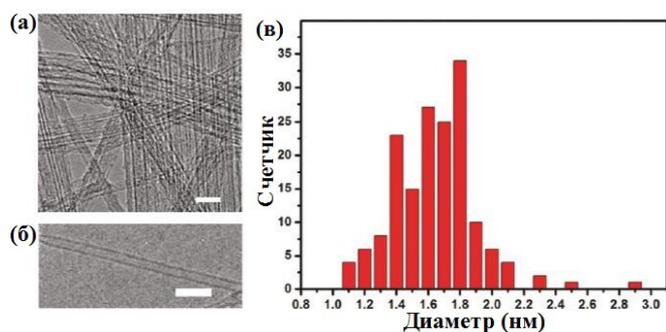
1. A.Ruggiero et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **107**, 12369 (2010).
2. K.Kostarelos, *Nature Mater.* **9**, 793 (2010).

### Синтез полупроводниковых углеродных нанотрубок большого диаметра

Исследовательский коллектив из Китая и Финляндии предложил новый способ синтеза полупроводниковых одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), который позволяет получать ОУНТ определенного диаметра в достаточно больших количествах [1]. Авторов интересовали вопросы, связанные с получением полупроводниковых ОУНТ для использования в производстве полевых транзисторов, так как традиционные методики имеют ряд недостатков, например, небольшой выход продуктов синтеза, представляющих собой смесь полупроводниковых и металлических углеродных нанотрубок. Кроме того, характеристики полевых транзисторов на основе ОУНТ сильно зависят от их диаметра, поэтому одним из ключевых требований к получаемым нанотрубкам, является их узкое распределение по диаметрам.

В результате исследователи предложили селективный синтез полупроводниковых ОУНТ с узким распределением по диаметрам, позволяющий получать миллиграммы нанотрубок. Авторы использовали методику, так называемого, химического осаждения из газовой фазы с плавающим катализатором (floating catalyst chemical vapor deposition – FCCVD) с использованием кислорода и серы. Кислород применялся для вытравливания металлических ОУНТ *in situ*, в то время как, сера играла роль активатора, позволяя интенсифицировать рост полупроводниковых ОУНТ необходимого диаметра. Подобрал оптимальные условия, авторам удалось

получить образцы, содержащие около 90% полупроводниковых ОУНТ с диаметрами в диапазоне 1.4–1.8 нм. После дальнейшей специальной очистки, их структурные и электронные свойства исследовали методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рамановской спектроскопии, абсорбционной спектроскопии и непосредственных измерений характеристик полевых транзисторов на основе полученных ОУНТ. На рисунке представлены ПЭМ изображения синтезированных углеродных нанотрубок. Авторы отмечают, что получившиеся ОУНТ достаточно “прямые” и на их поверхности практически отсутствует аморфный углерод. На рисунке также приведена гистограмма распределения диаметров 160 нанотрубок, построенная на основании анализа изображений ПЭМ. Средний диаметр составляет 1.6 нм. Исследователи полагают, что синтезированные ими полупроводниковые ОУНТ окажутся многообещающим материалом для производства электронных устройств, в том числе и полевых транзисторов.



ПЭМ изображения (а, б) одностенных углеродных нанотрубок, полученных методом FCCVD (шкала – 10 нм); гистограмма, показывающая распределение синтезированных ОУНТ по их диаметрам (в).

М. Маслов

*I. B. Yu et al., J. Am. Chem. Soc. 133, 5232 (2011).*

## КОНФЕРЕНЦИИ

**International conference “Spin physics, spin chemistry, and spin technology”, 1-6 November 2011, Kazan, Russia**



### Topics

- Electron spin-based methods for electronic and spatial structure determination in physics, chemistry and biology

- Spin-based information processing
- Strongly correlated spin systems
- Spins in low-dimensional structures
- Spin-dependent properties of semiconductors
- Quantum spin-Hall effect in semiconductor nanostructures
- Spin-orbit physics
- Magnetic phase transitions at high field studied by EMR
- Quantum electronics
- Spin-dependent processes in optics and quantum electronics
- Effects of magnetic field on chemical reactivity
- Chemically induced spin polarization (CIDEP and CIDNP)
- Para-hydrogen induced nuclear polarization (PHIP)
- Magnetic isotope effect
- Photoreceptor and photosynthetic proteins
- Molecular magnets
- Molecular dynamics as probed by spin-dependent phenomena
- Spintronics
- Spin-dependent current
- Spin valves
- Spin transistors
- Spin-dependent phenomena in nanostructures
- Biofunctional spin science and technology
- Magnetic resonance imaging

Deadlines:

Registration **June 1, 2011**

Abstracts **June 1, 2011**

E-mail: [kazan.spin2011@gmail.com](mailto:kazan.spin2011@gmail.com)

Web: [http://kazan\\_spin2011.kfti.knc.ru/](http://kazan_spin2011.kfti.knc.ru/)

## ТОРЖЕСТВО

**Поздравляем!**

**12 апреля 1961 года**, ровно 50 лет назад советский гражданин Юрий Алексеевич Гагарин совершил первый в истории человечества космический полет. Началась новая эра – эра освоения космического пространства. Многое изменилось за это время (и возможно не в лучшую для нас сторону)! Но...мы были первыми. И это останется неизменным. С праздником!

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

Ответственный редактор: И.Чугуева, e-mail: [irina@issp.ras.ru](mailto:irina@issp.ras.ru)

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, М.Маслов,

С.Овчинников, Л.Опенев, А.Пятаков

Компьютерный ввод, макет: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>