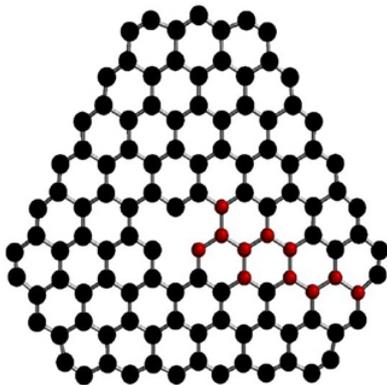


В этом выпуске:

## ГРАФЕН

### Графен заживает раны

В рамках теории функционала плотности и молекулярно-динамического моделирования с классическим потенциалом меж-атомного взаимодействия авторы работы [1] проследили за эволюцией дефекта-вакансии в графене. Дефект искусственно формировался в центре слоя посредством удаления одного из атомов углерода (см. рис.). Детальный расчет энергетических характеристик ряда таких фрагментов с отсутствующим атомом показал, что позиция вакансии на краю графенового листа энергетически более выгодна, чем в глубине образца. Таким образом, исследователи пришли к выводу, что созданная вакансия должна переместиться из центра на периферию. С помощью метода молекулярной динамики они убедились в этом непосредственно. Моделирование проводили с шагом в 2 нс при температуре 2500 К. Вакансия действительно устремлялась к ближайшему краю образца (см. рис.).



Траектория движения вакансии (выделено красным) в гексагональном графеновом фрагменте  $C_{116}$

При этом энергетический барьер, препятствующий ее движению, понижался по мере уменьшения расстояния между дефектом и краем графена. Среднее время и траектория также зависели от расстояния до границы. Авторы детально рассмотрели все метастабильные конфигурации, образующиеся на пути скольжения вакансии, нашли переходные состояния и точно описали механизм зарывания дефекта в графене. Исследователи отмечают, что для инициирования движения вакансии нет необходимости в экстремально высоких температурах, вполне хватит и комнатной. При этом оценка среднего времени одного “шага” дефекта составила 0.4 мс.

*М.Маслов*

*1. A. Santana et al., Chem. Phys. Lett. 557, 80 (2013).*

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Алмазные ЭнВи

Для квантовой информатики и квантовых вычислений требуются запутанные состояния двух или нескольких кубитов. В твердых телах такие состояния, в принципе, можно приготовить из спиновых кубитов (например, электронных спинов доноров в кремнии). Однако сильное взаимодействие спинов с их твердотельным окружением приводит к очень быстрой декогерентизации, поэтому приходится охлаждать образцы до сверхнизких ( $\sim 1$  мК) температур. В недавней работе [1] немецкие физики продемонстрировали перепутывание спинов двух удаленных друг от друга на  $\sim 25$  нм NV центров в алмазе (см. рис.). Каждый NV (произносится “энви”) центр

И далее ...

- 2 Ионы в ловушке: на пути к квантовому процессору

### СНОВА К ОСНОВАМ

Гигантская отрицательная линейная сжимаемость дицианоаурата цинка

### НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 3 Суперомнифобная нанокompозитная химическая защита

### СПИНТРОНИКА

- 4 Перепрограммируемые спинтронные логические устройства

### ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 4 Волны в миске: пусть расцветают все цветы

### МАГНИТЫ

- 5 Фотография магнитного солитона

### СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

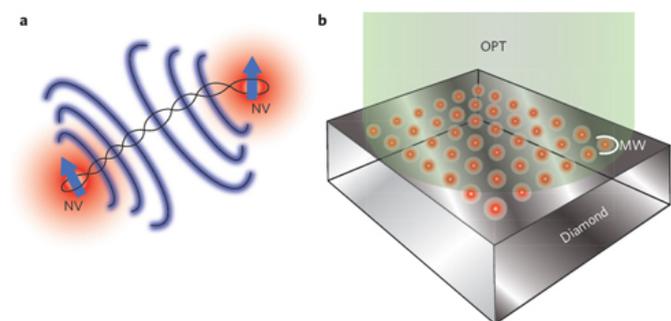
- 6 Исследования состояний с переменной валентностью с помощью синхротронного излучения

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Искусственные мышцы из углеродных нанотрубок

- 8 КОНФЕРЕНЦИИ

представляет собой пару из имплантированного атома азота и расположенной по соседству с ним углеродной вакансии. Он имеет спин  $1/2$ , который не подвержен “магнитному шуму” благодаря 1) немагнитной природе окружающих атомов углерода и 2) использованию современной технологии выращивания качественных беспримесных кристаллов. Перепутанное состояние  $|\uparrow\uparrow\rangle + |\downarrow\downarrow\rangle$  формировалось после воздействия на NV центры определенной последовательности СВЧ импульсов. Так как ядерные спины атомов азота ориентируются вдоль электронных спинов, то возможен “перенос запутанности” с электронных кубитов на ядерные. Это позволяет сохранить когерентность перепутанного состояния в течение нескольких миллисекунд, а в перспективе – даже секунд. Никаких препятствий для дальнейшего увеличения числа “алмазных кубитов” нет (см. рис.).



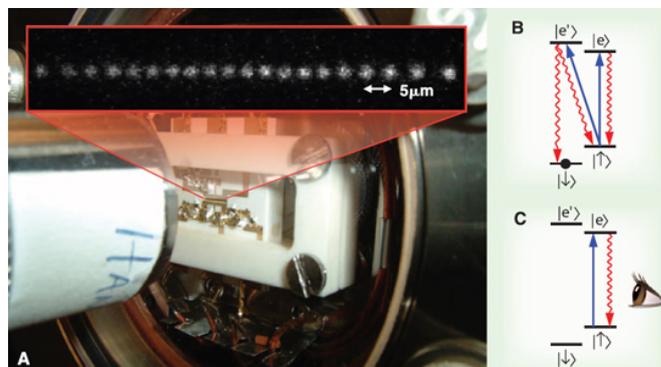
*a* - Спинные состояния двух NV центров (синие стрелки) в алмазе перепутываются за счет магнито-дипольного взаимодействия между ними; *b* - многокубитное квантовое состояние большого массива NV центров можно контролировать посредством оптических и СВЧ импульсов.

1. F. Dolde et al., *Nature Phys.* **9**, 139 (2013).

### Ионы в ловушке: на пути к квантовому процессору

Носители квантовой информации – квантовые биты (кубиты) – представляют собой когерентные суперпозиции классических 0 и 1. На роль физических носителей кубитов были испробованы, и не без успеха, фотоны, ядерные и электронные спины, сверхпроводниковые контуры и пр. Но всякий раз дело ограничивалось одним-двумя, в лучшем случае – пятью-шестью кубитами. Дальнейшее масштабирование системы кубитов сопряжено как с техническими сложностями, так и с фундаментальными проблемами (быстрая декогерентизация из-за взаимодействия с окружением). А для того, чтобы в полной мере ощутить преимущества квантовых вычислений перед классическими (экспоненциальное ускорение), число кубитов в квантовом процессоре должно достигать нескольких десятков или даже сотен. Авторы недавнего обзора “Scaling the ion trap quantum processor” [1] считают, что на сегодняшний день для этой цели лучше всего подходят ионы в электромагнитной ловушке (см. рис.). Будучи охлажденными до низких температур, ионные кубиты

очень долго сохраняют когерентность, а для их инициализации, перепутывания и измерения (в том числе селективного) развиты надежные оптические методики. Как правило (хотя и не всегда) при увеличении размеров физическая система теряет свои квантовые свойства и становится классической. Удастся ли этого избежать для ионов в ловушке?

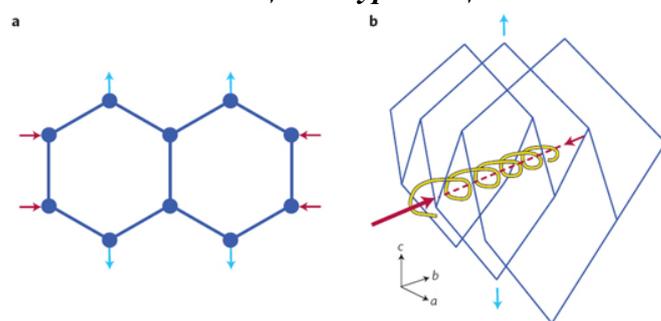


*A* - Вакуумная камера с электродами, формирующими линейную ловушку для ионов. *B*, *C* - Энергетическая диаграмма иона  $^{171}\text{Yb}^+$ . Отмечены уровни, отвечающие двум базисным состояниям кубита и соответствующие им возбужденные уровни.

1. C. Monroe, J. Kim, *Science* **339**, 1164 (2013).

### СНОВА К ОСНОВАМ

#### Гигантская отрицательная линейная сжимаемость дицианоаурата цинка



Возможные механизмы отрицательной линейной сжимаемости. Сжатие гексагональной решетки (*a*) или супрамолекулярных спиралей (*b*) в одном направлении (красные стрелки) приводит к расширению в другом (синие стрелки).

При гидростатическом сжатии подавляющего большинства известных материалов все их линейные размеры  $l$  уменьшаются, что количественно характеризуется изотермическим коэффициентом сжимаемости  $K_1 = -(\partial \ln l / \partial p)_T$ , который определяет относительную скорость изменения  $l$  при увеличении давления  $p$ . Типичная величина  $K_1$  для металлов, сплавов и керамик составляет  $\sim 5 \text{ ГПа}^{-1}$ , то есть при увеличении давления на 1 ГПа размеры образца уменьшаются на 0.5%. Известны, однако, и исключения – вещества (селен, ниобат лантана, моногидрат метанола и пр.), размеры которых при сжатии уменьшаются только в двух направлениях, а в третьем увеличиваются – так называемый эффект отрицательной линейной сжимаемости (ОЛС). При этом коэффициент  $K_{\text{ОЛС}}$  отрицателен и по модулю

*ПерТ*, 2013, том 20, выпуск 5

близок к  $1 \text{ ТПа}^{-1}$ , хотя может достигать и  $-10 \text{ ТПа}^{-1}$  (в  $\text{KMn}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_3$ ). В работе [1] (Великобритания, Франция, Германия) обнаружено, что в дицианоаурате цинка  $\text{Zn}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2$  имеет место гигантская ОЛС: величина  $K_{\text{ОЛС}}$  достигает  $-40 \text{ ТПа}^{-1}$  в широком диапазоне давлений. Авторы связывают это со спиралевидными структурами из атомов Au (см. рис.). На практике ОЛС предполагается использовать для изготовления искусственных мускулов и сверхчувствительных датчиков давления нового поколения.

*Л. Опенюв*

*1. A.B. Cairns et al., Nature Mater. 12, 212 (2013).*

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Суперомнифобная нанокompозитная химическая защита

Ученые из Univ. of Michigan (США) под руководством A. Tuteja в сотрудничестве с коллегами из Air Force Research Laboratory (AFRL) (США) создали нанокompозит, поверхность которого является суперомнифобной (т.е. несмачиваемой) практически для всех жидкостей [1].

В качестве основы авторы работы использовали мелкаячеистую сетку из нержавеющей стали. На нее методом электроспиннинга нанесли покрытие из раствора смеси полимеров. Электроспиннинг (вытягивание волокон под действием сильного электрического поля) в прошлом году отметил 110 лет со дня рождения, точнее, патентования [2], но, благодаря развитию нанотехнологий, стал использоваться еще шире, чем раньше. С помощью электроспиннинга можно синтезировать нановолокна из полимеров, композитов, полупроводников, металлов, даже керамики; декорировать углеродные волокна наночастицами металлов [3]. Ранее A. Tuteja и его коллеги этим методом получили супергидрофобные и олеофобные покрытия с разной морфологией поверхности [4]. Осаждать не только волокна, но и частицы в виде “нить бус” и даже отдельных “бусинок” удается при изменении концентрации раствора полимера (рис. 1).

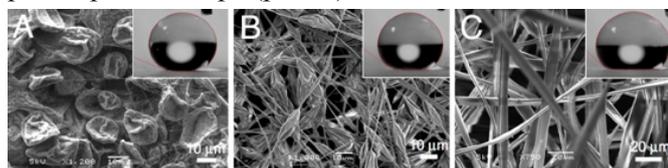


Рис. 1. Морфология поверхностей, полученных методом электроспиннинга из раствора смеси полиметилметакрилата с 44 вес.% фторированного ПОСС различной концентрации (A, B, C – 2.5; 5 и 7.5 вес.%, соответственно). На врезках – капли гексадекана на этих поверхностях [4].

В новой работе исследователи использовали раствор смеси полидиметилсилоксана (ПДМС) с 50 вес.% полиэдрического олигомерного фтордецилсилесквioxсана (фтор-ПОСС). ПДМС они выбрали из-за стойкости ко многим химическим соединениям, которую он приобретает после сшивки. Фторированный ПОСС, разработанный в AFRL (США)

*ПерсТ, 2013, том 20, выпуск 5*

имеет очень низкую поверхностную энергию и повышает химическую стойкость композита.

После нанесения покрытия на сетку была проведена термическая обработка при  $70^\circ\text{C}$  для сшивки полимеров. На поверхности нового иерархически структурированного композита (рис. 2А, С) авторы [1] обнаружили очень высокую концентрацию фтора и объяснили это миграцией на поверхность молекул фтор-ПОСС с образованием наноагрегатов. Дополнительное исследование с помощью SEM, AFM и др. методов подтвердило предпочтительную поверхностную сегрегацию молекул фтор-ПОСС. В то время как после термообработки поверхность ПДМС, нанесенного электроспиннингом, выглядит довольно гладкой (рис. 3А, С), поверхность образца, полученного с использованием смеси ПДМС с 50% фтор-ПОСС, неровная, видно образование агрегатов фтор-ПОСС (рис. 3В, D).

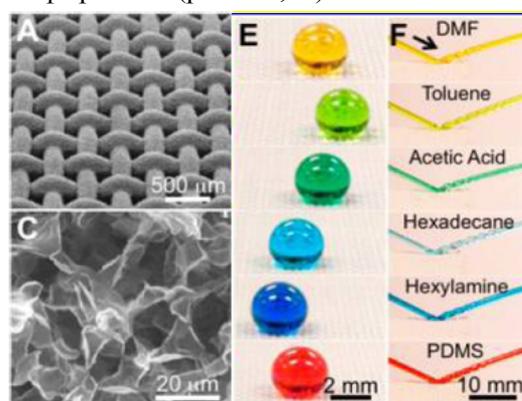


Рис. 2. А, С – SEM изображение иерархически структурированной поверхности. Е – Капли различных ньютоновских жидкостей на этой поверхности. F – Струйки жидкостей, отскакивающие от поверхности.

Миграция молекул фтор-ПОСС на поверхность обеспечила низкую поверхностную энергию и высокую коррозионную стойкость. Краевой угол  $\theta$  для капель различных полярных и неполярных жидкостей на поверхности иерархически структурированного композита оказался больше  $150^\circ$  (рис. 2Е, в статье приведены данные для 35 жидкостей). Гистерезис краевого угла (различие между крайевыми углами натекания и оттекания) очень мал; от покрытия отскакивают даже струйки жидкостей (рис. 2F).

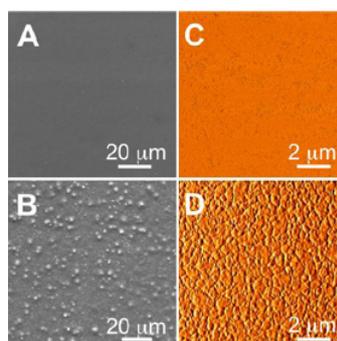


Рис. 3. А, С – SEM и AFM изображения поверхности ПДМС (электроспиннинг, термообработка). В, D – SEM и AFM изображения поверхности смеси ПДМС + 50% фтор-ПОСС (электроспиннинг, термообработка).

Уникальность разработки [1] заключается в том, что поверхность иерархически структурированного композита является суперомнифобной и для неньютоновских жидко-

стей. В статье приведены данные для 25 различных неньютоновских жидкостей (растворов полимеров с разными молекулярными весами, концентрациями, растворителями). Такие поверхности раньше практически не разрабатывались.

Удивительные свойства нанокompозита объясняются тремя факторами. Это химический состав, текстура и так называемая “re-entrant” кривизна поверхности (рис. 4). Ранее авторы [1] и другие исследователи предсказали и показали, что получение структур с такой кривизной важно для обеспечения супергидро- и олеофобности (например [4,5]). В новом нанокompозите [1] с “re-entrant” кривизной на всех уровнях иерархии (рис. 2А, С) включения воздуха (“воздушные карманы”) образуют целую сеть между выступами, и контакт капли жидкости с твердой поверхностью радикально снижен.

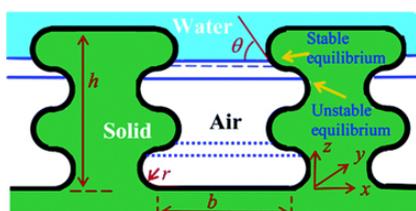
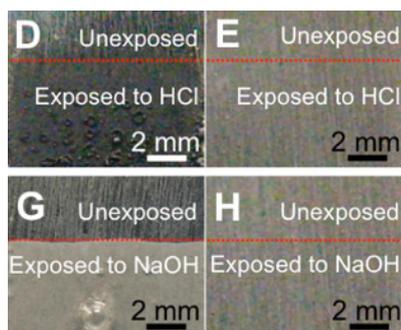


Рис. 4. Схема поверхности с “re-entrant” кривизной [5].

Новые иерархически структурированные поверхности имеют исключительную химическую стойкость. С них скатываются капли и кислот, и оснований. Исследователи покрыли разработанным составом Al пластинки и опустили их в концентрированные растворы HCl и NaOH. На пластинках без покрытия наблюдали бурную реакцию – выделение пузырьков газообразного водорода (рис. 5D, G). Пластинки с покрытием остались неповрежденными (рис. 5E, H).

Рис. 5. D, G – Поверхности Al пластинок без покрытия до и после погружения в HCl и NaOH. Видны пузырьки водорода. E, H – Поверхности Al пластинок с покрытием до и после погружения в HCl и NaOH



Разработанные суперомнифобные нанокompозиты представляют большой интерес для военных (защитные дышащие покрытия на одежде, сенсорные системы, контроль утечки топлива или масла), но также могут быть использованы для создания антикоррозионных покрытий, защиты от биообрастания и др.

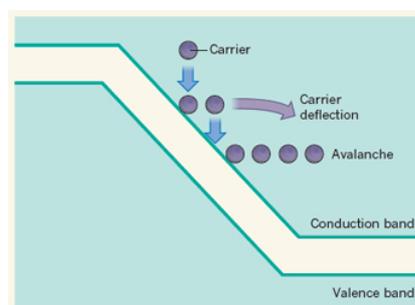
О.Алексеева

1. S.Pan et al., *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 578 (2013).
2. J.F.Cooley, *U.S. Patent 692,631* (1902).
3. *ПерсТ 15*, вып. 23, с. 5 (2008).
4. A.Tuteja et al., *PNAS* **105**, 18200 (2008).
5. M.Nosonovsky, *Langmuir* **23**, 3157 (2007).

## СПИНТРОНИКА

### Перепрограммируемые спинтронные логические устройства

Теоретически переход от обычной зарядовой электроники к спинтронике сулит увеличение быстродействия и уменьшение потребляемой мощности. Однако на практике все упирается в очень низкое отношение сигнал/шум. В работе [1] (Южная Корея, США) для изготовления магнитных логических устройств предложено использовать не эффекты, обусловленные спин-зависимым транспортом носителей, а большое магнитосопротивление немагнитных полупроводников в сильном электрическом поле. Идея авторов [1] заключается в том, что при надлежащей модификации конструкции лавинного диода ток через него начинает существенно зависеть от направления магнитного поля (см. рис.).



Магнитное поле отклоняет носители заряда от их траектории в p-n контакте, что приводит к изменению электрического тока через контакт.

Продемонстрированы простейшие логические операции AND, OR, NAND, NOR. Устройства такого типа можно легко перепрограммировать путем воздействия электрического или магнитного поля.

По материалам заметки S.Salahuddin, “A new spin on spintronics”, *Nature* 494, 43 (2013).

I. S.Joo et al., *Nature* **494**, 72 (2013).

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Волны в миске: пусть расцветают все цветы

Нелинейные эффекты часто порождают весьма причудливые волны вроде солитонов или блуждающих волн (последние в английском варианте так и называются волны-чудаки “freak waves”). Необычные и даже удивительные формы волн наблюдали в мелкой посудине исследователи из Univ. de Nice–Sophia Antipolis (Франция) [1].

В качестве жидкости использовали силиконовое масло, вязкость которого в десять раз превышает вязкость воды, а поверхностное натяжение в три раза меньше. Длины волн намного превышали глубину слоя масла в сосуде, которая составляла всего 7 мм, при этом сосуд подвергался тряске в вертикальном направлении с частотой около 10 Гц. Пока амплитуда колебания сосуда не превышала полутора миллиметров, в посудине наблюдали простые круговые стоячие волны, но по мере приближения амплитуды колебаний к 2 мм, осевая симметрия волн нарушалась: в них начинала угадываться фор-

*ПерсТ*, 2013, том 20, выпуск 5

ма пятиугольника (рис. 1а). При дальнейшем увеличении амплитуды форма становилась все причудливее, напоминая цветки (рис. 1б, в) или даже эмблему фестивалей молодежи и студентов (рис. 2а, б). При этом форма фронтов не зависела от формы и величины сосуда: пятиугольники и лепестки наблюдали и в сосуде прямоугольной формы (рис. 2в).

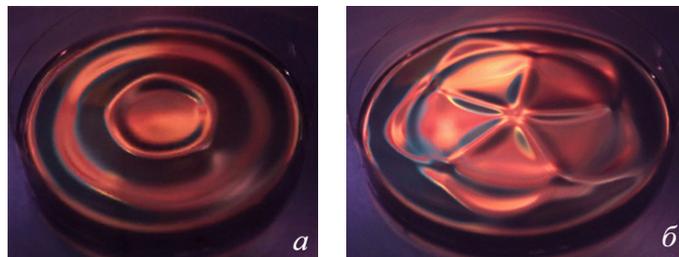


Рис. 1. *а* – Волны в сосуде с силиконовым маслом глубиной 7 мм и амплитудой вертикальных колебаний сосуда 1.85мм; *б* – те же условия при амплитуде 1.95мм; *в* – цветочек с пятью лепестками

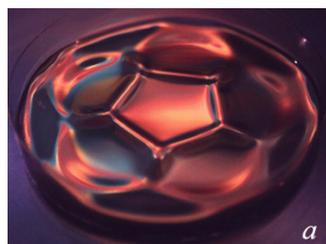


Рис. 2. *а* – Другая фаза колебаний при амплитуде колебаний сосуда 1.95мм; *б* – значок с эмблемой Международного фестиваля молодежи и студентов; *в* – волны в прямоугольном контейнере 17x17см<sup>2</sup>

Примечательно, что симметрия пятого порядка считается отличительным признаком живых организмов, в то время как для символа неживой природы и холодного покоя – кристаллов, характерна тетрагональная и гексагональная симметрии. Впрочем, слишком серьезно к этому факту относиться не стоит, поскольку при других величинах толщины слоя масла и амплитуд колебаний наблюдали структуры как с симметрией четвертого, так и шестого порядков.

А. Пятаков

*I. J. Rajchenbach et al., Phys. Rev. Lett. 110, 094502 (2013).*

ПерСт, 2013, том 20, выпуск 5

## МАГНИТЫ

### Фотография магнитного солитона

Как известно, в магнитных кристаллах, имеющих хиральную пространственную группу (типа MnSi, Fe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>Si, Cr<sub>1/3</sub>NbS<sub>2</sub>, CsCuCl<sub>3</sub>), а также в молекулярных магнетиках суммарный орбитальный и спиновый магнитный момент электронов образует геликоидальные структуры в хиральной решетке атомов благодаря взаимодействию Дзялошинского-Мории. В основном о наличии таких спиновых “завихрений” известно из нейтронографии [1].

Авторы [2] продемонстрировали возможность наблюдения хиральной магнитной солитонной решетки кристаллов Cr<sub>1/3</sub>NbS<sub>2</sub> (структуру см. на рис. 1а) с помощью лоренцевой электронной микроскопии и подтвердили свои наблюдения малоугловой электронной дифракцией. Исследователям практически удалось получить “фотографию” хиральной спиновой структуры взамен традиционных нейтронных рефлексов, мало понятных непосвященному человеку. Теоретические представления о хиральных солитонах появились около 15 лет назад и были необходимы для объяснения неожиданных экспериментальных результатов о намагниченности кристаллов (рис. 1б и 1с). И только теперь удалось наблюдать не только солитоны, но и динамику их преобразования в обычную ферромагнитную фазу под действием магнитного поля, направленного перпендикулярно хиральной оси (рис. 2).

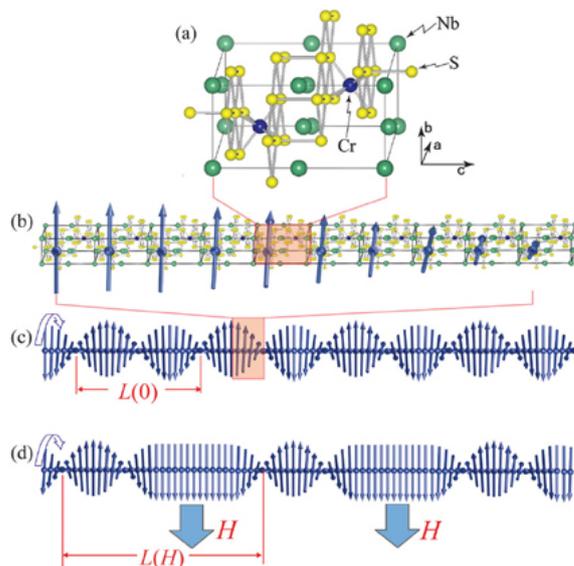


Рис. 1. Схема кристаллической и магнитной структур Cr<sub>1/3</sub>NbS<sub>2</sub>: *а* – единичная ячейка кристалла; спиновые моменты локализованных электронов вращаются в плоскости *ab* вдоль оси спирали *c*; *б* – часть левовращающейся структуры магнитного солитона показана на десяти элементарных ячейках; *с* – полная структура солитона; *д* – в магнитном поле, перпендикулярном оси геликоида, солитонная структура непрерывно трансформируется в обычную ферромагнитную решетку.

Пятнистые линии со светлым и темным контрастом воспроизводимо повторяются перпендикулярно оси *c* практически во всех областях образца. Контраст

изменяется по синусоидальному закону с периодом около 46 нм (рис. 2). Детали этого контраста были уточнены методом малоугловой электронной дифракции (рис. 2c, d, e).

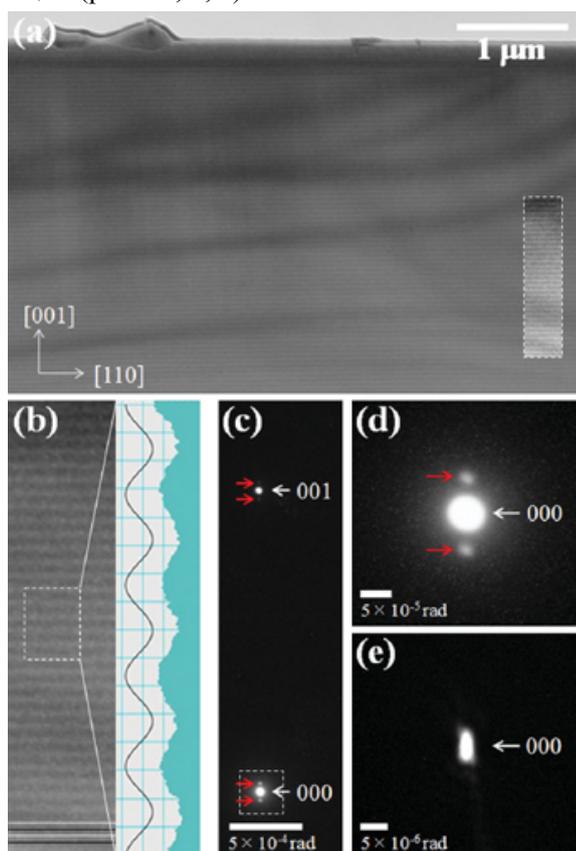


Рис. 2. Недофокусированная лоренцева микрофотография и малоугловая электронная дифракция хирального магнитного солитона при 0 Т и температуре 110 К: а – широкие изогнутые темные полосы являются изгибами контура; участки, в которых контрастность повышается, соответствуют полю зрения; б – уширенные линии магнитного солитона вместе с линией профиля контраста по интенсивности собраны в квадратики, отмеченном пунктиром; белые и черные линии проведены для удобства восприятия; вертикальная сетка имеет шкалу 15 нм (период солитона равен примерно 46 нм); в, d – малоугловая электронная дифракция (пятна электронной дифракции 000 и 001 на (с) соответствуют пространственной частоте  $1,2 \text{ nm}^{-1}$  в обратном пространстве; хиральный солитон обеспечивает магнитные сателлиты с пространственной частотой  $48 \text{ nm}^{-1}$  вблизи 000 и 001 (отмечены стрелками)); е – эллипсоидальная форма центрального пятна электронной дифракции.

В результате анализа полученного профиля хирального солитона было установлено, что в кристалле самоорганизуются спиновые спирали, закрученность которых регулируется магнитным полем. Если величина магнитного поля выше пороговой, солитон “распрямляется” и хиральная структура исчезает. Главной движущей силой солитонной “закрученности” является взаимодействие Дзялошинского-Мория. Однако можно ожидать, что и в отсутствие этого релятивистского взаимодействия хиральные спиновые солитоны также могут возникать [3], по-

видимому, представляя собой новое универсальное физическое явление.

Стабильный и четкий магнитный хиральный порядок может быть использован для конструирования магнитных наноструктур макроскопического масштаба. Возможность контроля периода таких наноспиралей в магнитном поле имеет огромное значение для спинтроники и различных технических приложений. Это открывает новые возможности для использования молекулярного магнетизма при создании магнитоуправляемых хиральных нанообъектов.

О.Коплак

1. V.Simoneta et al., *Eur. Phys. J. Special Topics* **213**, 5 (2012).
2. Y.Togawa et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 107202 (2012).
3. D.Solenov et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 096403 (2012).

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### *Исследования состояний с переменной валентностью с помощью синхротронного излучения*

Спектроскопия рентгеновского поглощения (XAS) и магнитного кругового дихроизма (XMCD) известны как элементно-чувствительные методы. В последние годы появилась возможность измерять спектры XAS и XMCD в сильных магнитных полях, что оказалось очень привлекательно для исследования соединений с промежуточной валентностью. По-видимому, первые XMCD измерения в сильных импульсных полях до 26 Тл были сделаны на синхротроне ESRF в Гренобле на станции ID24 в жестком рентгеновском диапазоне [1]. В Японии на синхротроне SPRING-8 на станции BL39XU в сильных магнитных полях до 40 Тл спектры XMCD также в жестком рентгеновском диапазоне были измерены вблизи L-края Eu на двух соединениях с промежуточной валентностью –  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0,18}\text{Ge}_{0,82})_2$  и  $\text{EuNi}_2\text{P}_2$  [2]. Поскольку L-край формируется 2p-5d переходами, а M-край в мягком рентгеновском диапазоне обусловлен 3d-4f переходами, то XMCD вблизи M-края предпочтительнее для изучения магнитных состояний 4f электронов редкоземельных элементов. К тому же в мягком диапазоне применимы правила сумм, позволяющие выделять спиновые и орбитальные вклады в полный магнитный момент. Японские ученые из группы проф. А. Котани измерили M-спектры XAS и XMCD в сильных переменных магнитных полях до 21.3 Тл на станции BL25SU синхротрона SPRING-8 [3]. Они исследовали то же соединение  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0,18}\text{Ge}_{0,82})_2$ , спектры поглощения и дихроизма которого показаны на рис. 1.

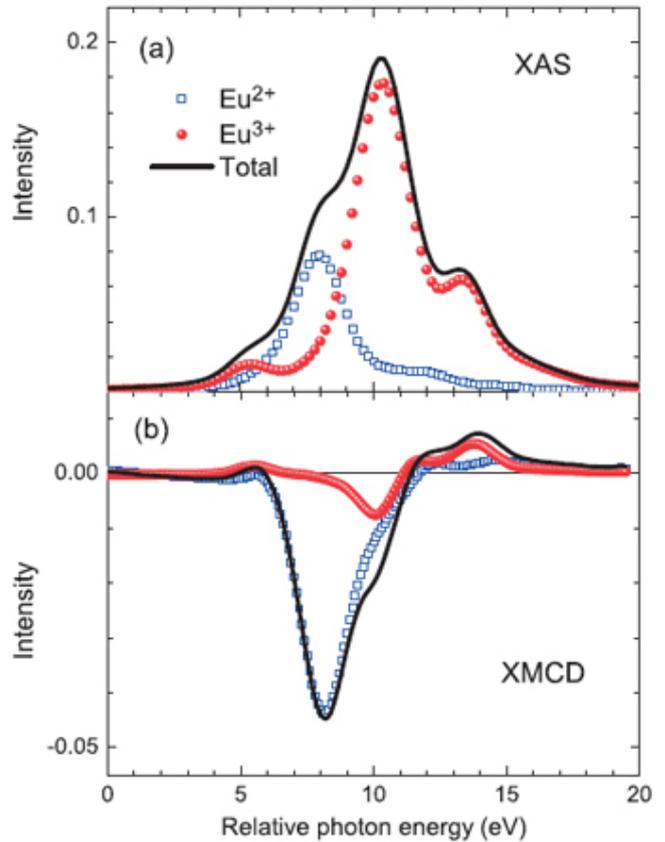
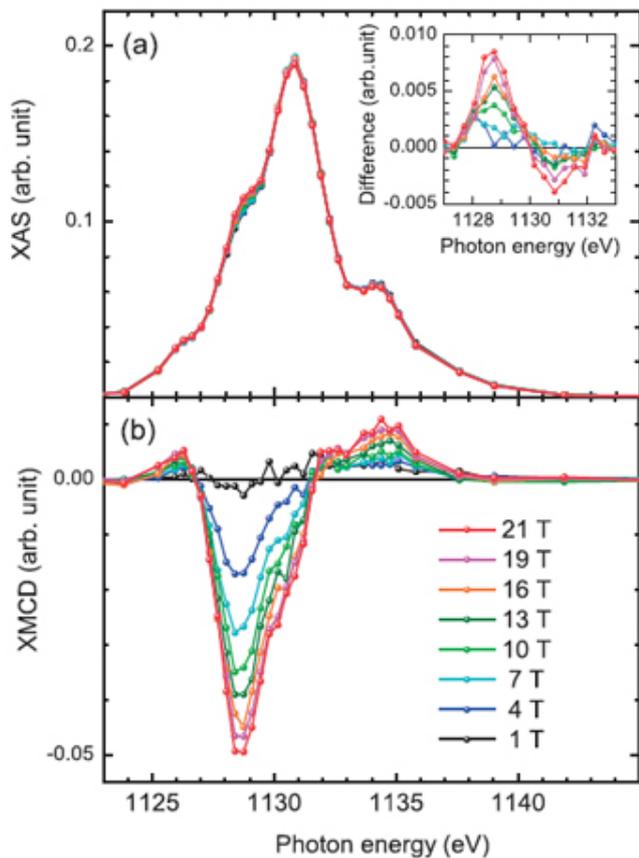


Рис. 1. Экспериментальные (слева) и рассчитанные (справа) спектры поглощения (а) и дихроизма (b)  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.18}\text{Ge}_{0.82})_2$  вблизи  $M_5$ - края Eu при температуре 7К при различных величинах магнитного поля.

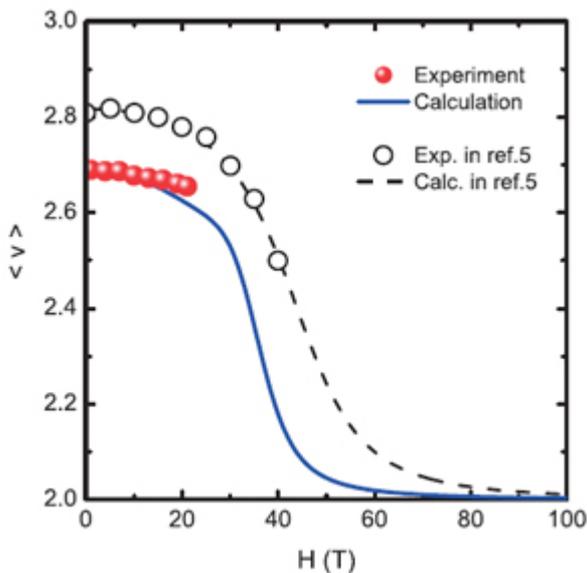


Рис. 2. Зависимость средней валентности ионов Eu от магнитного поля, полученная в работе [3] в мягком диапазоне (красные заполненные кружки) и в работе [2] в жестком диапазоне (незаполненные кружки).

Спектры рассчитывали в рамках однопримесной модели Андерсона, учитывающей наличие двух конфигураций  $\text{Eu}^{3+}$  ( $4f^6$ ) и  $\text{Eu}^{2+}$  ( $4f^7$ ) с разностью энергий  $D$  и гибридизацией  $V$  с зонными электронами. Параметры  $D$ ,  $V$  найдены подгонкой под экспериментальные спектры. В результате, как видно из правой части рис.1, удалось отделить вклады

различных валентных состояний в спектры. На рис.2 показана зависимость средней валентности ионов Eu от магнитного поля.

Количественное различие данных XMCD в жестком и мягком диапазонах явно налицо, однако полного понимания причин различия пока нет.

С.Овчинников

1. O.Mathon et al., *J. Synchrotron Radiat.* **14**, 409 (2007).
2. Y.H.Matsuda et al., *Phys.Rev.Lett.* **103**, 046402 (2009).
3. T.Nakamura et al., *J. Phys. Soc. Jpn* **81**, 103705 (2012).

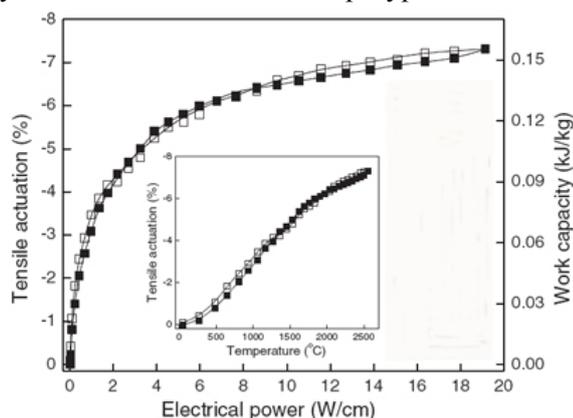
## ФУЛЛЕРЕНА И НАНОТРУБКИ

### Искусственные мышцы из углеродных нанотрубок

Возможность создания нитей и пряжи на основе углеродных нанотрубок (УНТ) появилась уже около 10 лет назад (см., например, [1]), однако до недавнего времени этот удивительный материал не находил своего применения. Коллективу исследователей из США, Китая, Австралии, Кореи, Бразилии и Канады [2], удалось создать на основе такой пряжи искусственные мышцы, приводимые в действие посредством электрического, оптического или химического стимулирования.

В качестве исходного материала для пряжи использовали массивы многослойных УНТ высотой около 350 мкм и диаметром около 9 нм, содержащих примерно 6 слоев и объединенных в большие жгуты. Эти жгуты скручивали в пряжу подобно обычным нитям и заполняли полимерным материалом, придающим пряже обратимые упругие свойства, присущие живым мышцам. В качестве модельного наполнителя в экспериментах использовали парафиновый воск, обладающий термической стабильностью, высоким коэффициентом теплового расширения в достаточно широком температурном диапазоне и способностью к смачиванию УНТ.

Простейший способ приведения в действие искусственного мускула, изготовленного из УНТ пряжи, основан на растяжении нитей под действием джоулева нагрева. На рисунке показаны результаты испытаний такого мускула, представляющего собой свитую нить диаметром 11.5 мкм. Здесь показаны зависимости относительного сжатия нити (пустые квадраты) и удельная работа ее сокращения (зачерненные квадраты) от величины удельной электрической мощности, вводимой в нить. На вставке показаны те же зависимости, на которых в качестве аргумента использована температура нити.



Результаты проведенных испытаний указывают на высокие рабочие характеристики искусственного мускула на основе УНТ. Максимальная частота обратимого относительного сжатия до 3% достигает 1200 циклов в минуту при полном числе циклов свыше 1.4 миллиона. При наложении импульсного напряжения величиной 32 В/см с частотой 20 Гц мышца способна поднять нагрузку, в 175000 раз превышающую ее собственный вес. Удельная механическая мощность, развиваемая искусственной мышцей, достигает 30 кВт/кг, что в 85 раз выше, чем у мышц млекопитающих. Следует отметить, однако, что с ростом мощности, развиваемой искусственным мускулом, уменьшается число его рабочих циклов, что обусловлено испарением парафина при нагреве. С ростом диаметра нити максимальная степень ее относительного сжатия возрастает, однако это сопровождается увеличением времени, необходимого для восстановления исходного состояния нити. Так, максимальное относительное сжатие нити диаметром 150 мкм составляет 10%, но полное время ее

восстановления составляет 2.5 с, что примерно в 100 раз превышает соответствующую величину для нити диаметром 11.5 мкм. Такое различие связано с тем, что скорость охлаждения нити обратно пропорциональна от квадрата ее диаметра. Следует отметить, что наряду с парафиновым воском в эксперименте использовали и другие высокомолекулярные полимерные наполнители, что, однако, не привело к положительным результатам.

*А.Елецкий*

1. M.Zhang et al., *Science* **306**, 1358 (2004).

2. M.D.Lima et al., *Science* **338**, 928 (2012).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**International Conference “Advanced Carbon Nanostructures” (ACNS'2013), July 1-5, 2013, St. Petersburg, Russia**

**Topics** will include new carbon nanostructures, members of nanocarbon family - fullerenes, carbon nanotubes, graphene, carbide derived carbon, onions, nanographite and nanodiamonds.

Deadline for registration: **20 April 2013**

Contact Dr. Sergey Kidalov,

Ioffe Institute, 26 Polytechnicheskaya,  
194021 St. Petersburg, Russia

Fax: +7 (812) 297 00 73

Phone: +7 (812) 292 73 77

E-mail: [info@acns2013.org](mailto:info@acns2013.org)

Web: <http://acns2013.org>

**International Conference on Diamond and Carbon Materials, 2-5 September 2013, Riva del Garda, Italy**

**Topics:**

- Diamond
- Diamond applications
- Carbon materials for energy harvesting
- Carbon Nanotubes (CNT)
- Nanodiamond
- Diamond Like Carbon (DLC)
- Graphite
- Fullerenes, buckyballs
- Graphene
- Interfaces and heterojunctions

Deadline abstract: **18 March 2013**

Web: [www.diamond-conference.elsevier.com](http://www.diamond-conference.elsevier.com)

**Donostia International Conference on Nano-scaled Magnetism and Applications (DICNMA 2013), 9-13 September 2013, Donostia-San Sebastian, Spain**

**Conference topics:**

1. Soft and hard magnetic materials and applications. Functional magnetic materials and applications

2. Sensors, high frequency & power devices
3. Spin electronics & applications (non-recording)
4. Magnetic thin films & nanostructures
5. Magnetization dynamics
6. Magnetic recording
7. Fundamental properties & interdisciplinary topics.  
Modelling and computational magnetism
8. Microscopy, imaging & characterization
9. Life sciences & applications, Magnetism in biology and medicine
10. Magnetic shape-memory alloys and Magnetocaloric effect
11. Magnetophotonics
12. Diluted Magnetic Semiconductors and Oxides

#### Important dates:

Abstract submission opens **February 28, 2013**

Abstract submission closes **April 20, 2013**

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

Web: [www.dicnma.com](http://www.dicnma.com)

#### **International Conference Functional Materials (ICFM'2013), September 29 - October 5, 2013, Parthenit, Crimea, Ukraine**

#### Conference Topics

1. Fundamental Physics of Functional Materials
2. Hard & Soft Magnetic Materials
3. Materials for Spintronics & Photonics
4. Electrooptic & Magneto optic Materials
5. Multiferroics & Magnetoelectric Materials
6. Magnetoelastic & Adaptive Materials
7. Microwave & THz Materials. Metamaterials
8. Luminescent & Radiation Sensing Materials
9. Nanotechnologies for Functional Materials
10. Materials for Medical Applications. Biosensors
11. "Green" Materials & Technologies for Sustainable Development
12. New Techniques and Equipment for Materials Research

#### Deadlines

Pre-Registration **April 30, 2013**

Abstracts **May 31, 2013**

E-mail: [icfm@crimea.edu](mailto:icfm@crimea.edu)

Web: [www.icfm.crimea.edu](http://www.icfm.crimea.edu)

#### **International Symposium on "Physics and Mechanics of New Materials and Underwater Applications" (PHENMA 2013), June 5-8, 2013, Kaohsiung, Taiwan, ROC**

#### Program of the Symposium

Materials, Synthesis & Processing, Characterization and Research Methods, Underwater Technologies, Applications

Deadline for Abstracts: **April 1, 2013**

E-mail: [PHENMA2013@pie.com/tw](mailto:PHENMA2013@pie.com/tw)

Web: <http://phenma.math.rsu.ru/>

#### **Семинар по магнетизму, 19 марта 2013 г.**

(17-00, конференц-зал ИФП им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2).

Программа:

Поваров К.Ю. (ИФП РАН) – "Переключение анизотропии и фазовая диаграмма квазидвумерного  $S=1/2$  антиферромагнетика на квадратной решетке  $Cu(pz)_2(ClO_4)_2$ ".

#### **Семинар по мессбауэровской спектроскопии, 21 марта 2013 г.**

(16-00, конференц-зал ИК РАН, Ленинский проспект, 59).

Программа:

1. Г.Н. Степанов (ИФВД РАН) – "Изомерный сдвиг в  $BaSnO_3$  под давлением до 15 ГПа"

2. К.В. Фролов (ИК РАН) и М.П. Алексеев (ООО "Криотрейд") – "Специализированная станция для проведения низкотемпературных мессбауэровских измерений в интервале температур 5-295 К на базе первого отечественного безжидкостного гелиевого криостата замкнутого цикла. Опыт создания и эксплуатации"

Для прохода на территорию ИК РАН вам необходимо иметь с собой паспорт или другое удостоверение личности.

E-mail: [ms2@crys.ras.ru](mailto:ms2@crys.ras.ru), [msms.box@gmail.com](mailto:msms.box@gmail.com)

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

Главный 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, А.Елецкий, О.Коплак,

М.Маслов, С.Овчинников, Л.Опенев, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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