

В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### *Знакопостоянство параметра сверхпроводящего порядка в монослое FeSe*

Ультратонкие пленки сверхпроводящего селенида железа представляют интерес как из-за их очень высокой критической температуры, превышающей иногда 100 К [1] (у объемных образцов  $T_c = 8$  К), так и с точки зрения прояснения вопроса о симметрии сверхпроводящего параметра порядка  $\Delta$  в этом безмедном ВТСП. Одно время считалось, что  $\Delta$  в FeSe имеет так называемую  $s_{\pm}$ -волновую симметрию, то есть на одних участках поверхности Ферми является  $s$ -волной со знаком “плюс”, а на других – со знаком “минус”, и поэтому обращается в нуль при переходах между этими участками, формируя “узлы”. Обсуждались и другие варианты, но для всех общим было наличие узлов  $\Delta$  на поверхности Ферми.

В работе [2] (Китай, США) представлены результаты систематических исследований симметрии  $\Delta$  в монослое FeSe на подложке SrTiO<sub>3</sub>(001) методом сканирующей туннельной микроскопии. Характер интерференционных узоров при рассеянии квазичастиц между разными электронными “карманами” и в пределах одного “кармана” указывает на отсутствие у  $\Delta$  узлов, из чего авторы делают вывод о знакопостоянстве  $\Delta$  на всей поверхности Ферми, то есть об  $s$ -волновой (хотя и анизотропной) симметрии  $\Delta$ . Они называют ее  $s_{++}$ -волновой. Это согласуется с различным влиянием магнитных и немагнитных примесей на сверхпроводящие свойства монослоя: первые (Cr, Mn) подавляют сверхпроводимость, а вторые (Zn, Ag, K) – нет.

*Л. Оленов*

1. J.-F. Ge et al., *Nature Mater.* **14**, 285 (2015).
2. Q. Fan et al., *Nature Phys.* **11**, 946 (2015).

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### *Хиральная аномалия в дираковском полуметалле Na<sub>3</sub>Bi*

Хиральность частицы  $\chi = \pm 1$  определяется взаимным направлением  $e$  спина и импульса. Уравнение Дирака одинаково для частиц с  $\chi = +1$  и  $\chi = -1$ , то есть не “перемешивает” две разные хиральности (так называемая хиральная симметрия). В калибровочно-инвариантной релятивистской теории поля эта симметрия нарушается, когда фермионы помещают в электромагнитное поле, у которого магнитная и электрическая компоненты коллинеарны. Именно это нарушение приводит к распаду нейтрального пиона на два фотона. Твердотельным аналогом дираковских фермионов являются электроны и дырки в дираковских полуметаллах с коническим законом дисперсии. При этом дираковский конус расщепляется на два вейлевских конуса с разными хиральностями (рис. 1).

И далее ...

### ГРАФЕН

- 2 О новом способе получения графена
- 3 Синтез графена методом ионной имплантации

### СПИНТРОНИКА

- 4 Новые фигуранты в спинтронике или фононы тоже могут...

### МУЛЬТИФЕРРОИКИ

- 5 Терагерцовая динамика и аномально большая масса в спиновых скирмионных структурах

### НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 5 Бабочки-капустницы повышают эффективность солнечных батарей

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 7 Об устойчивости фуллеренов

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 Совместное заседание семинара по магнетизму и семинара-передвижника, 17 ноября 2015г.

Семинар по физике конденсированного состояния, 25 ноября 2015 г

7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'16), 25 - 28 July 2016, Malaga, Spain

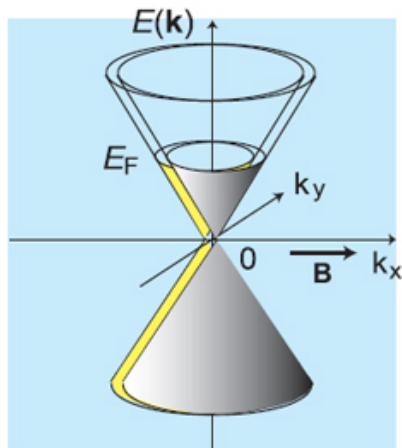


Рис. 1. Схематическое изображение слегка смещенных вейлевских конусов с хиральностями  $\chi = -1$  (серый цвет) и  $\chi = +1$  (желтый цвет).

Теория предсказывает, что в параллельном электрическому току магнитном поле вейлевские конусы становятся неэквивалентными, и между ними возможен перенос заряда. На эксперименте это должно проявляться в отрицательной величине продольного магнитосопротивления  $\rho_{xx}$ , то есть в уменьшении сопротивления с ростом магнитного поля. Недавно такое уменьшение действительно наблюдалось в дираковском полуметалле  $\text{Na}_3\text{Bi}$  [1]. Наиболее сильно оно выражено при низких температурах, но заметно и при  $T = 90$  К (рис. 2).

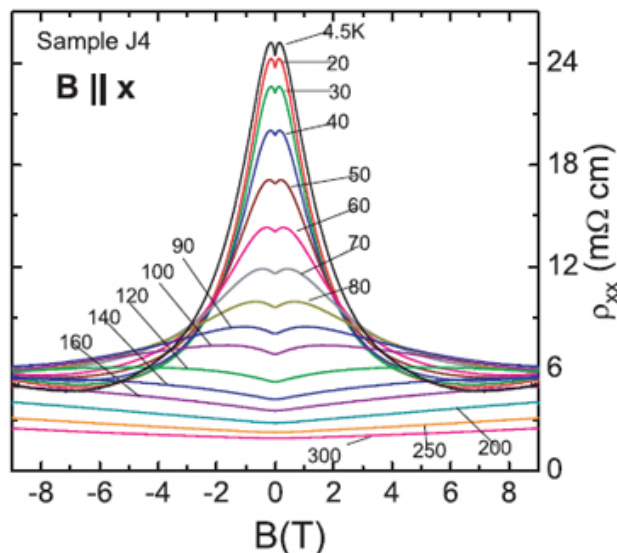


Рис. 2. Продольное сопротивление  $\text{Na}_3\text{Bi}$  при различных температурах.

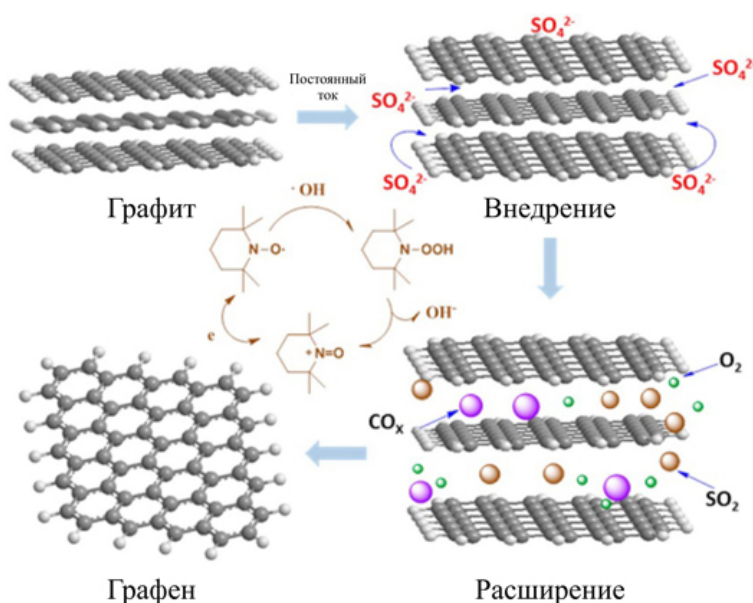
Мало какие из макроскопических квантовых эффектов выживают при столь высокой температуре. При повороте магнитного поля аномалия быстро исчезает – в соответствии с теорией.

1. J.Xiong et al., *Science* **350**, 413 (2015).

## ГРАФЕН

### О новом способе получения графена

Возможно, поиск эффективного метода получения графена высокого качества и в промышленных масштабах наконец-то увенчался успехом. В работе [1] (Германия, Франция) сообщается о разработке новой методики, основанной на электрохимическом отшелушивании графеновых листов от графита в растворе сульфата аммония с помощью органических функциональных групп (см. рис.).



Механизм электрохимического отшелушивания графена с помощью органических свободных радикалов

Само отшелушивание проводится в присутствии набора антиоксидантов, среди которых (2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-ил)оксил (ТЕМРО), аскорбиновая кислота и борогидрид натрия, для нейтрализации радикалов, которые могут повлиять на формирование дефектов на графене, что позволяет контролировать процесс синтеза.

Авторы особо отмечают, что использование ТЕМРО позволило получить достаточно большие листы графена ( $5 \div 10$  мкм) с высокой подвижностью дырок ( $\sim 405 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ), низким отношением интенсивностей  $I_D / I_G$  (менее 0.1) в рамановском спектре и высоким соотношением углерод/кислород ( $\text{C}/\text{O} \sim 25.3$ ). При этом выход чистого графена довольно значительный: лабораторные тесты показали скорость синтеза  $\sim 15.1$  г/час. Более того, полученный таким способом графен прекрасно совместим с различными растворителями, например,  $N,N$ -диметилформамидом, образуя стабильные дисперсные системы, так называемые, графеновые чернила, которые могут быть использованы для изготовления проводящих пленок и суперконденсаторов. Так, графеновая пленка толщиной 20 нм обладает сопротивлением  $3.91 \text{ k}\Omega/\square$ , которое можно уменьшить до  $0.51 \text{ k}\Omega/\square$  с помо-

щью дальнейшего  $\text{HNO}_3$ -допирования. Собранный же из листов “графеновой бумаги” суперконденсатор обладает высокой, по оценкам авторов, удельной емкостью  $11.5 \text{ мФ/см}^2$ .

Таким образом, полученный электрохимическим отшелушиванием графен окажется полезным для создания гибридных композиционных материалов, добавок для улучшения механических и электрических характеристик образцов, а также для аккумуляторов высокой емкости и различных электрических преобразователей. Учитывая, что все реагенты, используемые в предлагаемом в работе [1] методе получения графена, доступны и недороги, а сам процесс синтеза достаточно быстрый, масштабируемый и не использует загрязняющих окружающую среду химических веществ, авторы решительно настроены на завоевание значительной доли рынка промышленного графена. Посмотрим, что из этого выйдет.

М. Маслов

1. S. Yang et al., *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 13927 (2015).

### Синтез графена методом ионной имплантации

Графен, открытый чуть более 10 лет назад, является в настоящее время основой одного из важнейших направлений современной нанотехнологии. Развито более десяти различных методов получения графена, которые отличаются друг от друга своей трудоемкостью и качеством производимого материала. Для получения образцов графена более  $1 \text{ см}^2$  широко используется метод химического осаждения паров (CVD). Однако применение этого метода требует высокой температуры (порядка  $1000^\circ\text{C}$ ) и приводит к образованию значительного количества дефектов в структуре графена. Кроме того, данный метод несовместим с традиционными кремниевыми нанотехнологиями, что затрудняет его использование при массовом производстве электронных приборов. Недавно в Korea Univ. (Ю. Корея) был предложен новый подход к синтезу образцов графена большой площади, основанный на процессе ионной имплантации [1]. Этот метод реализуется при более низких температурах, чем CVD, и вполне совместим с современными процедурами, используемыми в рамках традиционной кремниевой технологии.

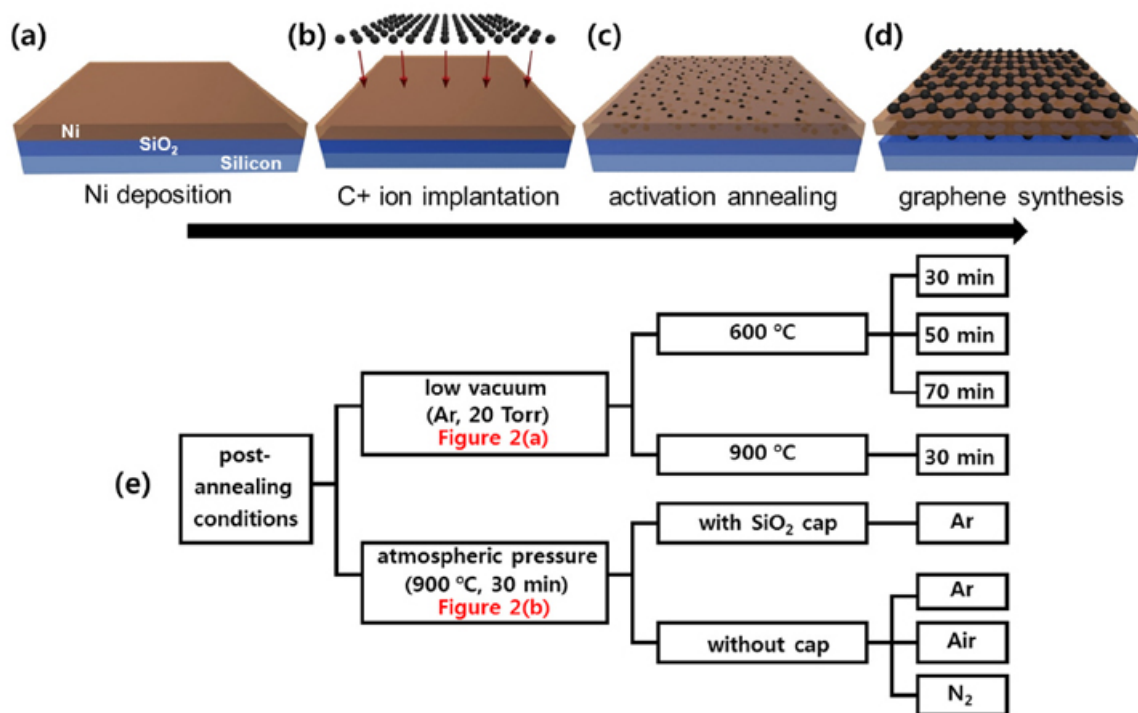


Схема процесса получения графена методом ионной имплантации:

- а – электронно-лучевое напыление Ni на подложку SiO<sub>2</sub>/Si; б – имплантация ионов углерода на Ni; в – отжиг образца при различных условиях; д – синтез графена с двух сторон никелевого слоя; е – условия постимплантационного отжига.

Процедура получения графена схематически представлена на рисунке. На подложку SiO<sub>2</sub>/Si диаметром 10 см и толщиной 300 нм/500 мкм методом электроннолучевого напыления наносят пленку Ni толщиной 200 нм. Никель, хорошо растворяющий углерод, является катализатором синтеза графена. С целью увеличения размера зерен Ni пластину Ni/SiO<sub>2</sub>/Si предварительно отжигают при темпера-

туре  $500^\circ\text{C}$ . Далее пластину при температуре  $500^\circ\text{C}$  облучают ионами C<sup>+</sup> при энергии 20 кэВ и дозе  $10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Согласно результатам стандартных расчетов, глубина проникновения ионов в никелевую пленку составляет примерно 24 нм. После отжига при температуре  $600^\circ\text{C}$  печь быстро охлаждают (со скоростью примерно  $15^\circ\text{C/c}$ ), что приводит к образованию с двух сторон графена никелевой пленки.

По завершении процедуры синтеза, полученные образцы графена исследовали методом комбинационного рассеяния света, после чего никелевую пленку растворяли в  $\text{FeCl}_3$ . Образование многослойного графена в результате ионной имплантации регистрировали по спектрам комбинационного рассеяния образцов. Обработка этих спектров позволила оценить среднее расстояние между структурными дефектами синтезированного графена, которое оказалось в пределах 15-17 нм. Существенно меньшее количество дефектов оказалось в образцах, отожженных при температуре  $900^\circ\text{C}$ , для которых среднее расстояние между дефектами составило 63 нм.

А. Елецкий

*J. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 107, 033104 (2015).*

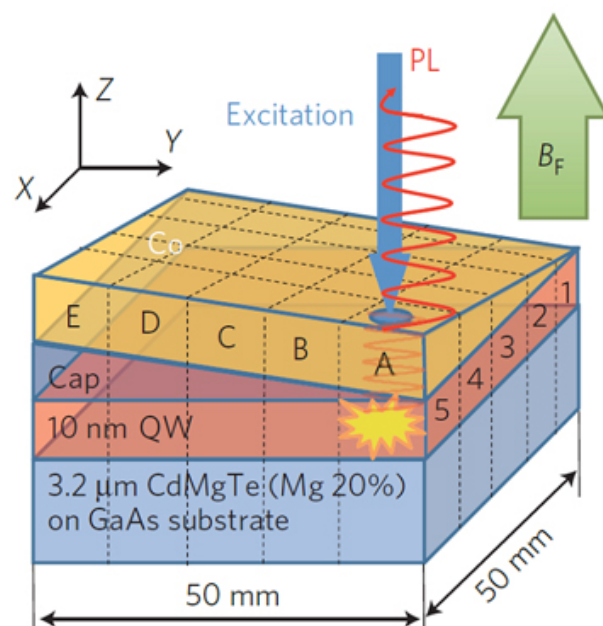
## СПИНТРОНИКА

### Новые фигуры в спинтронике или фононы тоже могут...

К неожиданному результату пришли авторы работы в *Nature Physics* [1]. Международный коллектив исследователей составили специалисты из ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Технического университета Дортмунда и Института физики Польской академии наук. В работе исследована поляризация люминесценции гибридной системы – полупроводника  $\text{CdTe}$ , находящегося под слоем магнитного металла ( $\text{Co}$ ), в случае, когда слои разделены между собой слоем диэлектрика. Общая идея исследования, помимо получения непосредственных сведений о поведении подобной системы – поиск нестандартных механизмов взаимовлияния магнитной и полупроводниковой подсистем, с возможным применением найденных эффектов.

Собственно механизмы взаимовлияния на малых расстояниях (proximity effects) для различных систем достаточно известны – это и сверхпроводимость нормальных металлов в тонких пленках на границе со сверхпроводником, и магнетизм, наведенный магнетиком в тонких пленках контактирующих с ним немагнитных металлов. Во всех этих эффектах в основе “утечки” эффекта в несвойственную среду лежит волновая природа электрона, проникновение его волновых функций в объем соседа. Примерно это, надо полагать, и ожидали увидеть исследователи. Имевшаяся возможность работать с образцом с диэлектрическим слоем-разделителем переменной толщины позволяла не только фиксировать эффект на качественном уровне, но и количественно отследить передачу спина на некоторое расстояние. Фактически, это было чем-то вроде спиновой полевой транзистора, только внешнее воздействие управляло не дрейфом носителей, как в обычных транзисторах, а спиновой поляризацией тяжелых дырок через бесспиновый и изолирующий затвор. В конце концов, спинтроника так и была задумана, чтобы вместо перемещения

электронов просто накапливать спины, где нужно – то здесь, то там.



Каково же было удивление исследователей, когда оказалось, что спиновая поляризация передается на значительно большее (в разы) расстояние, чем это можно было ожидать на основании имеющихся сведений об обменном взаимодействии. Для объяснения эффекта исследователи были вынуждены предположить, что существует еще один канал передачи спина, на который ранее не обращали внимания. Этот таинственный канал – фононы кристаллической решетки. Внимания на него не обращали по понятным причинам – при рассмотрении привычных подсистем электронов и ядер – т.е. подсистем заряженных частиц, было не принято вспоминать, что со спином связан не только магнитный момент, но и момент количества движения. Следовательно, он может существовать и у незаряженных частиц и этими частицами и переноситься. Хотя, опять-таки, если вспомнить то, чему учат в институтах, – эффект Эйнштейна-де-Гааза как раз и есть проявление механической природы спинового момента. Учет влияния неравновесных фононов с эллиптической поляризацией позволил свести концы с концами и объяснить неизвестно как и чем передававшийся спин.

До сих пор было принято считать, что фононы в спинтронике могут играть только негативную роль – ускоряя спиновую релаксацию электронов и/или ядер. Авторам обсуждаемой работы удалось показать, что фононы способны на большее и могут играть конструктивную роль в спиновых явлениях. Вот бы всем перейти от деструктивной деятельности к чему-нибудь полезному...

М.Компан

*V.L.Korenev et al., Nature Phys. (2015), adv. online publ.; doi:10.1038/nphys3497.*

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

### Терагерцовая динамика и аномально большая масса в спиновых скирмионных структурах

Магнитные скирмионы представляют большой интерес для устройств магнитной памяти, управляемых электрическим током благодаря своей высокой подвижности при малых плотностях тока. Статические и низкочастотные свойства магнитных скирмионов уже достаточно исследованы, а высокочастотная динамика оставалась мало исследованной. Международная группа исследователей из Германии, Нидерландов, Швейцарии, Великобритании и Индии [1] наблюдала терагерцовую динамику гиротропной собственной моды одиночного магнитного домена и по измерениям его траектории определила его топологию. Неожиданным результатом явилось обнаружение сильной инерции с эффективной массой много большей, чем предсказывали существующие теории. Инертная масса возникает из-за

способности скирмиона сохранять внутреннюю энергию в процессе своего движения. Инертность одномерного движения доменных стенок известна довольно давно, она вызывает эффекты запаздывания, но не искривляет траекторию движения стенки. Как показали авторы [1], в случае скирмионов инерция влияет на траекторию движения. Эксперименты были проведены на синхротроне BESSY II в Берлине, на станции рентгеновской голографии с временным разрешением UE52-SGM. Методом “накачка-проба” получено изображение гиротропной траектории магнитного скирмиона в многослойной структуре Pt(2)/[Co<sub>68</sub>B<sub>32</sub>(0.4)/Pt(0.7)]<sub>30</sub>/Pt(1.3) (толщина в нм) в виде диска диаметром 550 нм. Схема эксперимента показана на рис. 1a и 1b. Статическое поперечное магнитное поле величиной 120 мТл порождало состояние с двумя цилиндрическими магнитными доменами, их временная динамика показана на рис. 1c. Измеренная траектория скирмиона показана на рис. 1d.

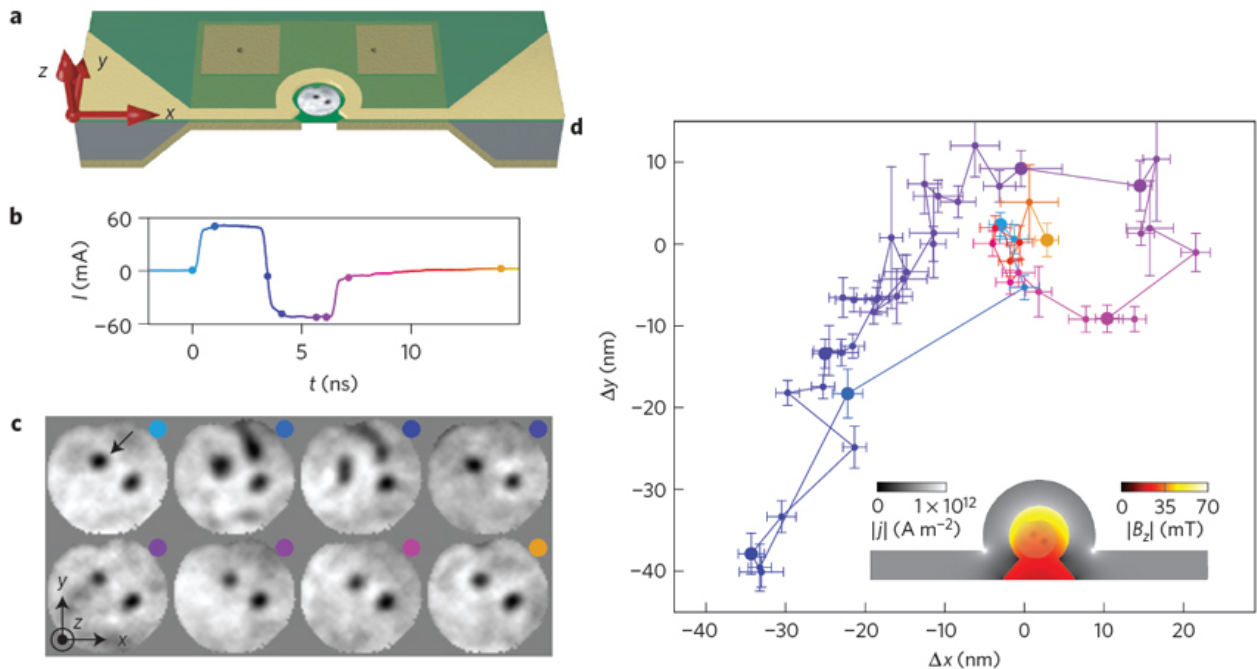


Рис. 1. Возбуждение многодоменного состояния импульсом внешнего магнитного поля. Схема образца (a), временная эволюция тока инжекции, генерирующего импульс магнитного поля (b), конфигурация доменов в различные моменты времени, отмеченные цветными точками на рис.1b; центр домена отмечен стрелкой (c), смещения центра домена в разные моменты времени (d).

Полученная траектория движения хорошо описывается уравнением движения центра массы, что позволило найти инертную массу  $M > 8 \cdot 10^{-22}$  кг, что в 5 раз превышает теоретические предсказания работы [2] и на два порядка превышает массу прямолинейного движения доменных стенок.

С.Овчинников

1. F.Büttner et al., *Nature Phys.* **11**, 225 (2015).
2. I.Makhfudz et al., *Phys. Rev. Lett.* **109**, 217201 (2012).

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### Бабочки-капустницы повышают эффективность солнечных батарей

Что получится, если к солнечной батарее присоединить крылья бабочки? Вы думаете, это из сборников “Физики шутят” или “Физики всё ещё шутят”? Ошибаетесь! Именно такой эксперимент провели исследователи из Univ. of Exeter, UK [1].

Для повышения эффективности солнечных батарей служат концентраторы, “собирающие” солнечный свет и направляющие его на фотоэлемент. Обычно

используют параболические зеркала или линзы Френеля. Эти устройства довольно сложные, дорогие, и, как правило, громоздкие и тяжелые. Авторы статьи [1] предположили, что прототипом легкого и эффективного устройства могут служить бабочки. Они обратили внимание на то, что белые бабочки-капустницы в пасмурный день начинают свой полет раньше других бабочек. Капустницы быстро прогревают свои летательные мышцы, раскрыв крылья под небольшим углом. С помощью ИК камеры исследователи выяснили, что оптимальный угол отклонения крыла от вертикали равен  $17^\circ$ . При таком положении прирост температуры тела бабочки оказался на  $7.3^\circ\text{C}$  больше, чем при полностью раскрытых крыльях (рис. 1).

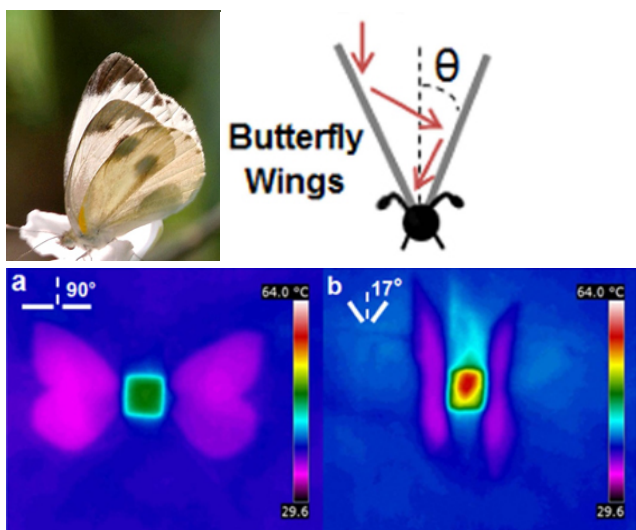


Рис. 1. Бабочка-капустница греется перед полетом. Оптимальный угол  $\theta = 17^\circ$ . Снимок с ИК камеры сделан через 10 сек воздействия искусственного источника, имитирующего яркий солнечный свет.

Высокую отражательную способность обеспечивает уникальная иерархическая структура крыльев бабочки-капустницы (рис. 2). В ячейках белых чешуек распределено много нанобусинок, содержащих пигмент птерин. В черных чешуйках, находящихся в двух черных пятнах на крыльях, этих нанобусинок существенно меньше.

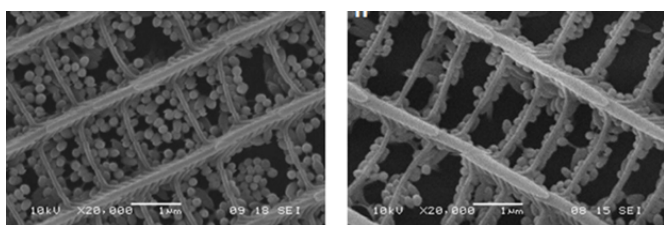


Рис. 2. SEM изображение структуры чешуек крыла бабочки-капустницы Слева – белые чешуйки, справа – чешуйки из черного пятна.

Детальному исследованию разнообразной структуры крыльев бабочек посвящено множество работ. Результаты помогают синтезировать новые функциональные материалы, например, сочетающие свойства фотонного кристалла и супергидрофоб-

ность [2]. Однако до авторов [1] никто не изучал возможность создания на основе крыльев бабочек светоотражающего материала для солнечных концентраторов.

Измерения [1] показали отличное соответствие между спектром отражения крыльев белой бабочки-капустницы и рабочим диапазоном Si-солнечного элемента ( $\sim 78.9\%$  во всем диапазоне 400-950 нм), рис. 3.

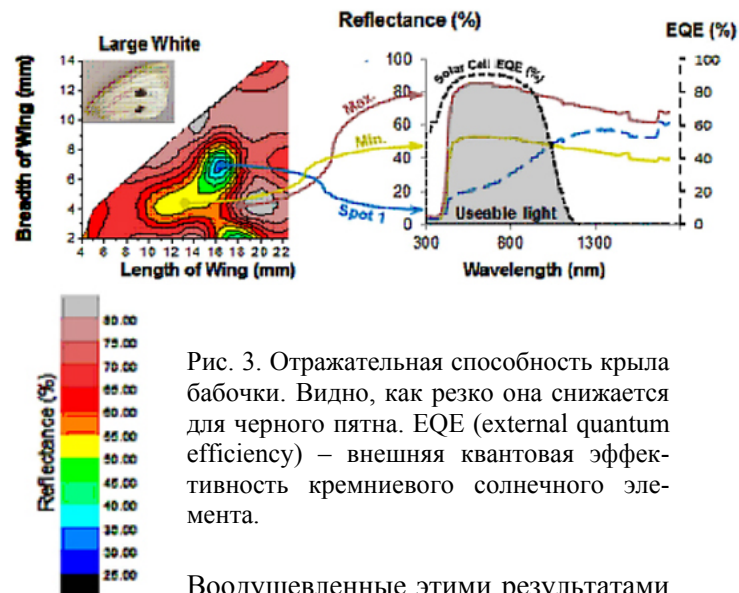


Рис. 3. Отражательная способность крыла бабочки. Видно, как резко она снижается для черного пятна. EQE (external quantum efficiency) – внешняя квантовая эффективность кремниевого солнечного элемента.

Воодушевленные этими результатами исследователи присоединили (под оптимальным углом) крылья бабочки к кремниевому элементу  $1\text{см} \times 1\text{см}$  (рис. 4). Выходная мощность выросла на 42.3% (с 16.8 мВт до 23.9 мВт). Если сравнить с весом стандартной отражающей пленки, то отношение мощность : вес увеличилось в 17 раз! Более того, авторы выяснили, что высокую отражательную способность ( $\sim 62\%$  в диапазоне 400-950 нм) сохраняет монослой ячеистых чешуек, отделенный от крыла и закрепленный на адгезионной пленке. В предыдущих работах другие исследователи утверждали, что высокую отражательную способность может обеспечить только структура крыла в целом. Авторы отмечают, что, поскольку крылья “собирают” и свет, и тепло, то для мощных концентраторов может потребоваться охлаждение.

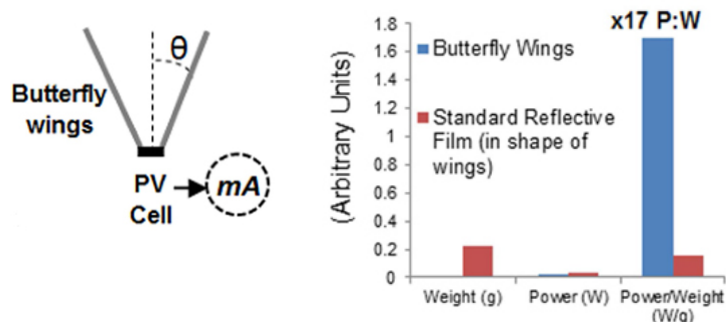


Рис. 4. Крылья бабочки-капустницы увеличивают выходную мощность и отношение мощность : вес солнечного элемента.

“Бабочка-капустница не просто вредитель, уничтожающий ваш урожай капусты! Это эксперт по сбору солнечной энергии”, – сказал один из авторов, prof. R. Ffrench-Constant [3]. Изучение бабочек опять помогает в развитии нанотехнологий – на этот раз для создания легких светоотражающих покрытий из ячеистых чешуек или, возможно, просто из упорядоченных нужным образом нанобусинок.

О. Алексеева

1. K. Shanks et al., *Sci. Rep.* **5**, 12267 (2015).
2. [ПерсТ 19, вып. 24, с.3 \(2012\).](#)
3. University of Exeter.  
[emps.exeter.ac.uk/csm/news/](https://emps.exeter.ac.uk/csm/news/)

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Об устойчивости фуллеренов

В фуллеренах каждый атом углерода образует три ковалентные связи со своими ближайшими соседями. Эти связи С–С формируют узор из шестиугольников и пятиугольников, причем число пятиугольников во всех фуллеренах  $C_n$  равно двенадцати, а число шестиугольников тем больше, чем больше  $n$  (их нет только в самом маленьком фуллерене  $C_{20}$ ). При данном  $n$  возможно различное взаимное расположение шестиугольников и пятиугольников, отвечающее разным изомерам. Количество изомеров быстро увеличивается с ростом  $n$ , превышая одну тысячу уже при  $n = 60$ . Согласно так называемому правилу изолированных пятиугольников (isolated-pentagon rule, IPR), наименьшую энергию имеет изомер, в котором отсутствуют пары смежных пятиугольников (adjacent pentagon pairs, APP), а с ростом числа таких пар энергия изомера возрастает (рис. 1а).

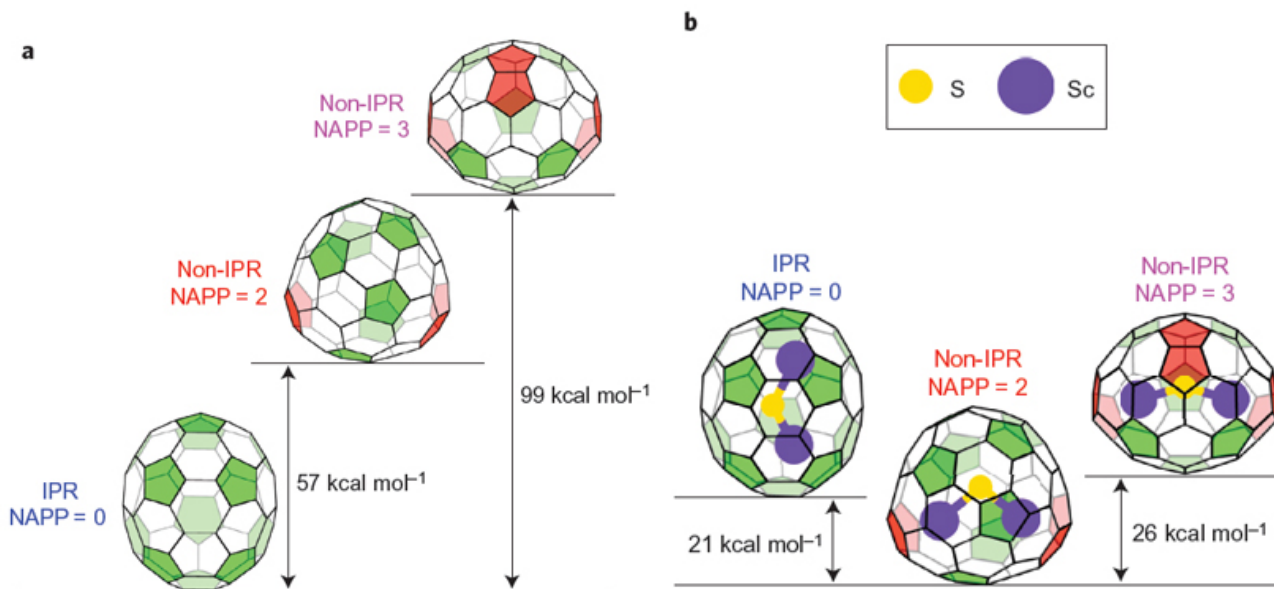


Рис. 1. Относительные энергии трех изомеров фуллерена  $C_{70}$  с различным числом пар смежных пятиугольников (NAPP): а - нейтральный фуллерен; б - отрицательно заряженный фуллерен с молекулой  $Sc_2S$  внутри него (электроны переходят с молекулы на фуллерен). Зеленым цветом выделены изолированные пятиугольники, а красным – пары соседних пятиугольников.

Все сказанное относится к нейтральным и положительно заряженным фуллеренам. Если же фуллерен несет на себе отрицательный заряд, то IPR часто нарушается, и изомер с соседними пятиугольниками оказывается энергетически более выгодным (рис. 1б). Чтобы вычислить энергию того или иного изомера, прибегают к сложным квантово-химическим расчетам, требующим больших временных затрат и компьютерных ресурсов. А если нужно сравнить энергии десятков или даже сотен таких изомеров?

В работе группы исследователей из Univ. Autónoma de Madrid (Испания) [1] показано, что для количественного анализа относительной устойчивости *ПерсТ*, 2015, том 22, выпуск 21

изомеров как нейтральных, так и заряженных фуллеренов подходит простая модель Хюккеля, которая позволяет без особого труда (хотя и численно) найти энергию подсистемы  $\pi$ -электронов. Все, что для этого требуется, – знать характер расположения атомов углерода на “поверхности” фуллерена и заряд последнего. Полученные результаты отлично согласуются с экспериментом и малопривлекательными численными расчетами в рамках теории функционала плотности.

1. Y. Wang et al., *Nature Chem.* **7**, 927 (2015).

## КОНФЕРЕНЦИИ

### **Совместное заседание семинара по магнетизму и семинара-передвижника, 17 ноября 2015г.**

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

Программа

**Д. Афанасьев** (Radboud University, Nijmegen, The Netherlands) – “Фотоиндуцированный переход Морина и сверхбыстрая динамика спинов в  $\text{DyFeO}_3$ ”

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию действия фемтосекундных лазерных импульсов на антиферромагнетик  $\text{DyFeO}_3$  вблизи точки Морина. Исследованы действие света на точку Морина и сверхбыстрая динамика фотоиндуцированной намагниченности. Показано, что направление фотоиндуцированной намагниченности зависит от поляризации света и ориентации антиферромагнитного вектора в  $\text{DyFeO}_3$ .

### **Семинар по физике конденсированного состояния, 25 ноября 2015 г.**

(17.00, многофункциональный зал библиотеки физического факультета МГУ, 5 этаж)

**Владимир Александрович Волков** (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва) - “Поверхностные состояния дираковских фермионов”

Представлен краткий обзор теоретических и экспериментальных работ по поверхностным состояниям в дираковских материалах, включая графен, топологические изоляторы и полуметаллы Дирака и Вейля. В рамках формализма огибающих волновых функций сформулирована минимальная модель, аналитически описывающая поверхностные и краевые состояния разного типа в нескольких системах с дираковскими фермионами. Обсуждены условия ее применимости.

Пропуск на физический факультет слушателей семинара будет осуществляться по предъявлению паспорта.

Предварительная запись на семинар на сайте <http://nano.msu.ru/education/seminars> (до 15:00 дня семинара).

Для расширения возможностей участия в семинаре предполагается обеспечить прямую он-лайн трансляцию заседаний через сайт <http://nano.msu.ru/video.php>

Видеозапись семинара впоследствии будет доступна на сайтах <http://cm.phys.msu.ru/?q=seminar> или <http://nano.msu.ru/research/seminars/condensed/seminars>

Дополнительная информация:

тел. +7(495)939-11-51

E-mail: [khokhlov@mig.phys.msu.ru](mailto:khokhlov@mig.phys.msu.ru)

### **7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'16), 25 - 28 July 2016, Malaga, Spain**

META'16 will cover the entire scope of Electromagnetic and Nanophotonic Complex Materials, including metamaterials, photonic crystals and plasmonics. All submitted papers will be blind reviewed and are expected to provide original results. Selection criteria will be based on relevance, originality, significance, impact, technical soundness and quality of the presentation.

Authors of accepted papers will be invited to submit extended article versions to one of the special issues associated with the conference:

- Applied Physics (Springer)
- Advanced Electromagnetics

#### **Topics**

- Plasmonics and nanophotonics
- Metamaterials and negative index materials
- Photonic crystals and cavities
- Acoustic metamaterials
- Materials for photonics (Graphene,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$ , etc)
- Photonics based on 2D materials
- Chiral and bianisotropic materials
- Metamaterial-based devices and antennas
- Metasurfaces and optical antennas
- Plasmon-enhanced photovoltaics, photocatalysis, and solar fuels
- Topological photonics
- Quantum photonics
- Nanobiophotonics
- Near-field optics and nano-optics
- Transformational electromagnetics, cloaking
- FSS, HIS and Extraordinary transmission
- Modeling, Computational Techniques and Verification of Theory
- Emerging applications
- Nanofabrication Technology

E-mail: [contact@metaconferences.org](mailto:contact@metaconferences.org)

Web site: [meta16.metaconferences.org](http://meta16.metaconferences.org)

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, М. Компан,

М. Маслов, С. Овчинников, Л. Опенов

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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