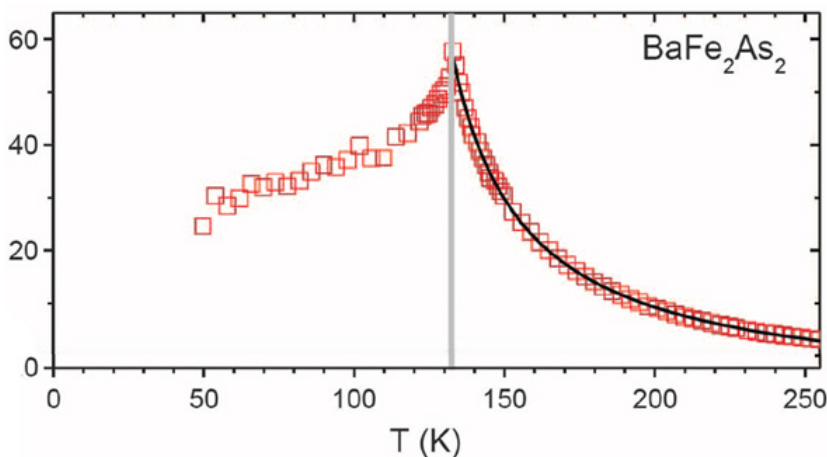


В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Признаки нематических критических флуктуаций в безмедных ВТСП

Согласно стандартной теории сверхпроводимости, спаривание носителей заряда обусловлено обменом виртуальными коллективными флуктуациями (фононами в обычных сверхпроводниках или спиновыми флуктуациями в соединениях с тяжелыми фермионами и, возможно, в купратных ВТСП). Сила таких флуктуаций определяется величиной соответствующей восприимчивости. В работе [1] изучено влияние анизотропной деформации на удельное сопротивление различных безмедных ВТСП и на основе полученных данных определены температурные зависимости нематической магнитной восприимчивости. Во всех исследованных образцах (четырёх пниктидах и одном халькогениде) эта восприимчивость имеет кюри-вейссовский вид (см. рис.) с тенденцией к расходимости, что говорит о близости нематической квантовой критической точки. Даже если связанные с этой точкой нематические флуктуации и не являются единственной причиной спаривающих взаимодействий в железосодержащих сверхпроводниках, они, уж во всяком случае, должны усиливать его.



Нематическая восприимчивость

Л.Опенев

1. H.-H.Kuo et al., *Science* 352, 958 (2016).

Волна плотности куперовских пар в купратном ВТСП

В теории сверхпроводимости обычно считается, что импульс куперовских пар равен нулю и, следовательно, квантовый конденсат пар трансляционно инвариантен. Но ничто не мешает парам иметь конечный импульс, что приводит к пространственной модуляции плотности пар. Давно предсказанное (Ларкин, Овчинников, Фулде, Феррел), такое состояние в сверхпроводниках ни разу не наблюдалось. В работе [1] (США, Великобритания, Корея, Япония) оно наконец-то обнаружено. Используя джозефсоновскую туннельную микроскопию с нанометровым разрешением, авторы зарегистриро-

И далее ...

ГРАФЕН

2 Большие монокристаллы двухслойного графена

Графен, кофе и сигареты

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

3 Золотые нанодиски для фототермического уничтожения бактерий

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

5 Магнитоэлектрические частицы атакуют мозг

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Фуллереновая сварка графена

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

6 Коллайдер для квазичастиц

КОНФЕРЕНЦИИ

7 The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems (NGSCES 2016), 26-30 September 2016, ICTP Trieste, Italy

вали в ВТСП $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ волны плотности куперовских пар с волновыми векторами $Q_F = (0.25, 0)2\pi/a$ и $(0, 0.25)2\pi/a$, где a – период решетки. Амплитуда этих волн составила около 5% от средней плотности конденсата. Интересно, что, согласно некоторым моделям, волны куперовских пар присутствуют в псевдощелевой фазе купратов.

Л.Опенев

1. M.H.Hamidian et al., Nature 532, 143 (2015).

ГРАФЕН

Большие монокристаллы двухслойного графена

Двухслойный графен (bilayer graphene, BLG) с АВ упаковкой Бернала представляет собой полупроводник, у которого ширину запрещенной зоны E_g можно регулировать поперечным электрическим полем. Для применения BLG в электронике и фотонике требуются большие качественные монокристаллы, которые долгое время получить не удавалось. В работе [1] (США, Корея, Китай) монокристаллы BLG миллиметровых размеров выращены путем химического осаждения из паров CH_4 на медную фольгу с примесями кислорода. Сначала на внешней стороне фольги образуется первый монослой графена, а затем, после полной диссоциации молекул CH_4 , в результате диффузии атомов углерода с обратной стороны фольги, под первым слоем формируется второй (рис. 1).

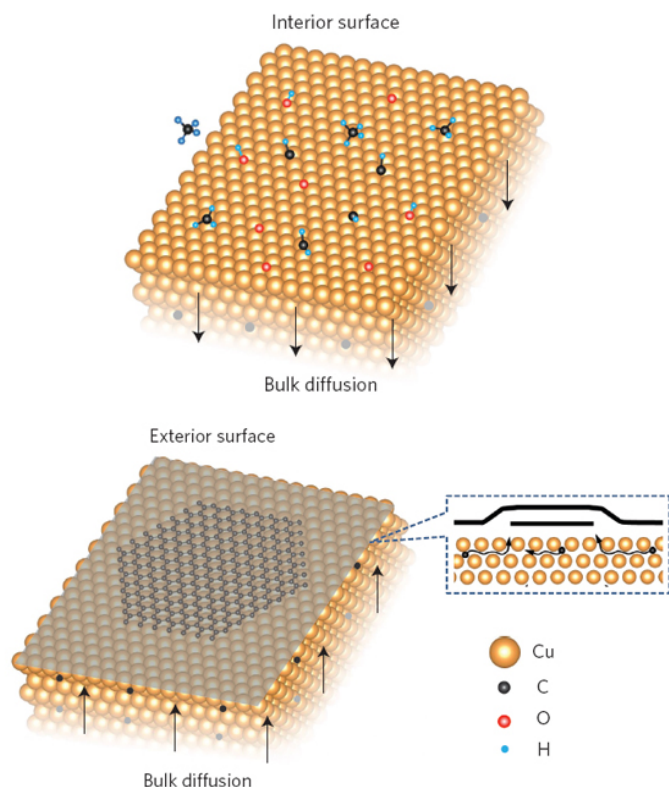


Рис. 1. Иллюстрация процесса роста двухслойного графена на внешней стороне медной фольги за счет диффузии атомов углерода с ее внутренней стороны.

Наличие в меди примесных атомов кислорода является необходимым условием этого процесса, то есть кислород выполняет функцию своего рода катализатора роста BLG. В достаточно сильном электрическом поле величина E_g может достигать 100 мэВ (рис. 2).

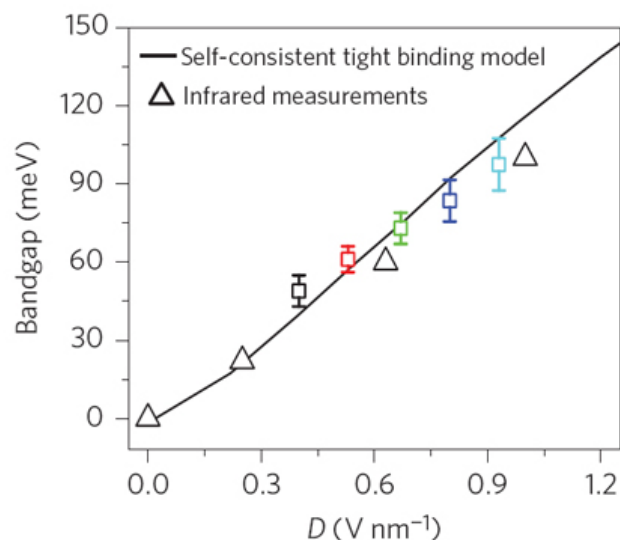


Рис. 2. Ширина запрещенной зоны двухслойного графена как функция напряженности поперечного электрического поля. Сплошная линия – теория, квадраты и треугольники – эксперимент.

1. Y.Hao et al., Nature Nanotech. 11, 426 (2016).

Графен, кофе и сигареты

Всем известно, что капля никотина убивает лошадь, а дискуссии о вреде и пользе кофе не прекращаются на страницах научных и околонаучных изданий. В общем, чтобы не пропустить ничего лишнего (и вредного) в организм, авторы работы [1] предлагают на суд научного сообщества сенсоры нового поколения, способные отслеживать присутствие никотина и кофеина (см. рис. 1). Сенсоры, в наш век нанотехнологий, они, разумеется, предлагают реализовать на графене. Графен авторы рассмотрели трех типов: идеальный, дефектный (содержащий дефекты Стоуна-Уэльса) и пористый (см. рис. 2).

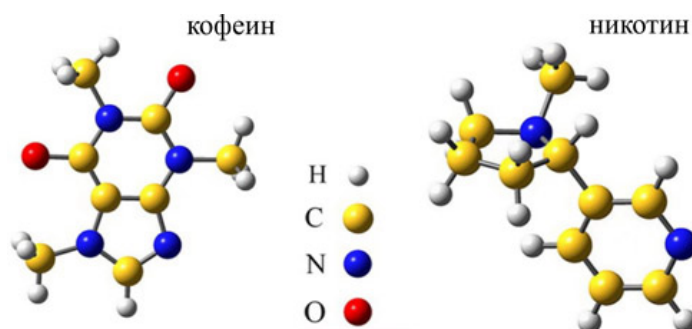


Рис. 1. Молекулы кофеина и никотина

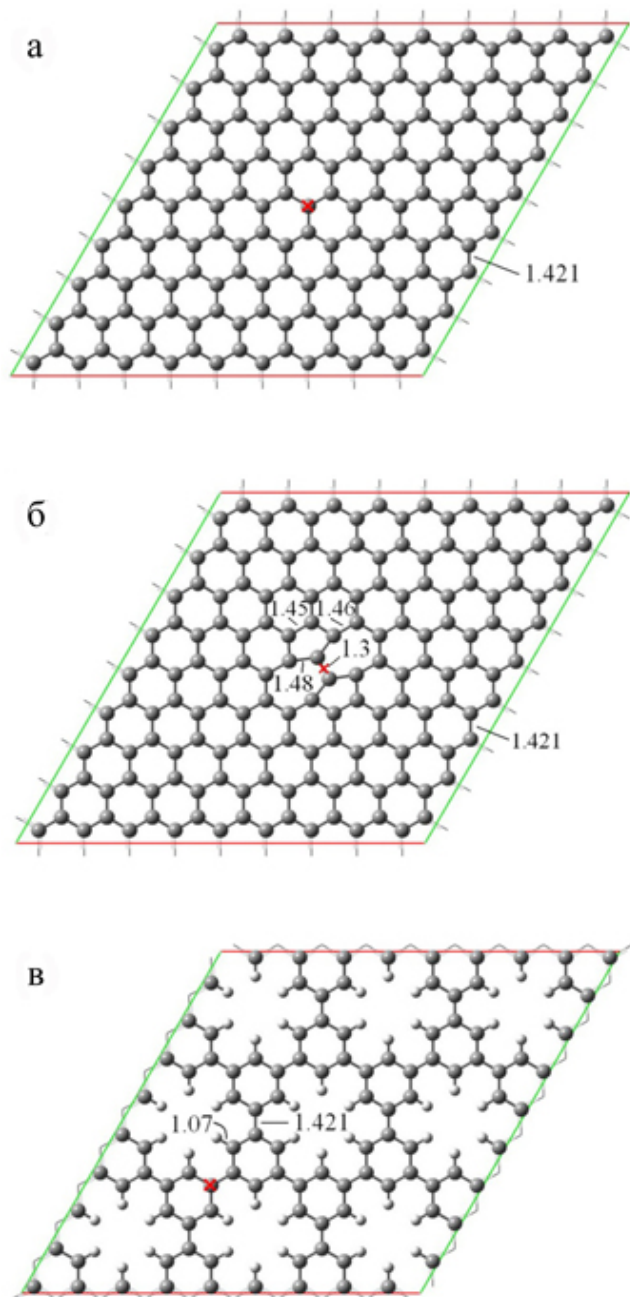


Рис. 2. Структура идеального (а), дефектного (б) и пористого (в) графеновых листов, используемых авторами. Длины связей указаны в Å

Непосредственно адсорбцию никотина и кофеина на графене они изучили с помощью теории функционала плотности (программный пакет OpenMX). Исследователи рассчитали целый набор физических величин: энергии адсорбции, многочисленные геометрические характеристики, перенос заряда и электронную структуру для адсорбентов и допантов во всех возможных комбинациях. Оказалось, что и никотин, и кофеин прекрасно адсорбируются на графеновых листах всех типов, однако сила связывания молекул с идеальным графеном гораздо выше, чем с дефектным и пористым. В целом же кофеин демонстрирует более сильное взаимодействие с графеном, чем никотин. Авторы особо отмечают, что электронные свойства рассматриваемых графенов очень чувствительны к присутствию мо-

лекул кофеина и никотина, что собственно они и предлагают использовать в качестве основного механизма их детектирования. При этом, по их мнению, наиболее перспективным кандидатом является именно пористый графен, так как изменение диэлектрической щели, вызванное адсорбцией, для него максимально по сравнению с графенами других типов.

М. Маслов

I. R. Majidi et al., Diamond Relat. Mater. 66, 47 (2016).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Золотые нанодиски для фототермического уничтожения бактерий

Спектр применения золотых наночастиц в биологии и медицине очень широк: диагностика, терапия, адресная доставка лекарственных средств, гигиена и др. (см., например, обзор [1]). Уникальные оптические свойства, связанные с возбуждением локализованных поверхностных плазмонов под действием внешних электромагнитных волн, позволяют использовать эти наночастицы для фототермической терапии опухолей или уничтожения бактерий. Исследователи из Univ. of Houston (США) синтезировали структуру из пористых золотых нанодисков (NPGD), которая способна за секунды уничтожить патогенные бактерии при воздействии лазерного излучения [2]. С помощью метода магнетронного распыления, травления в плазме и химической обработки авторы получили на стеклянной подложке монослой пористых Au дисков диаметром 400 нм и толщиной 75 нм (рис. 1 а-d). Средний размер пор 13 нм.

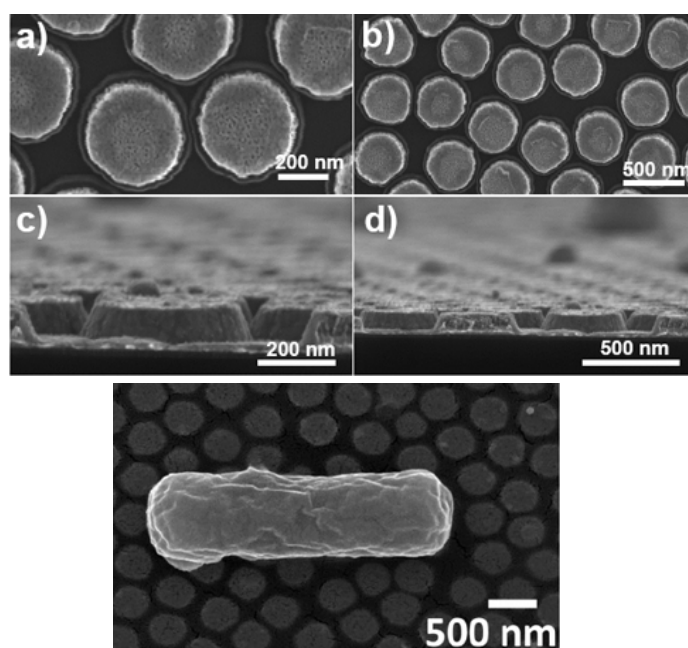


Рис. 1. SEM изображения структуры из NPGD на стекле. (а,с) шкала 200 нм, (b,d) шкала 500 нм. а, б – вид сверху, с, d – сбоку. Внизу – бактерия *Exiguobacterium sp.* на структуре NPGD (до облучения).

Такая структура эффективно поглощает свет в ближней инфракрасной области, безопасной для живых тканей. Максимум поглощения соответствует длине волны 1050 нм, но и в диапазоне 700-900 нм эффективность фототермической конверсии достаточно высока – 56%. В работе [2] использовали лазерное излучение с длиной волны 785 нм. Термографические измерения показали, что температура области облучения за несколько секунд достигала 200°C. Для проверки возможности инактивации бактерий суспензии бактериальных клеток были нанесены на слой NPGD и после 45 мин инкубации закрыты покровным стеклом для предотвращения испарения жидкости. Патогенные бактерии разных типов (грамотрицательные *Escherichia coli*, грамположительные *Bacillus subtilis* и грамположительные термофильные *Exiguobacterium sp.*), помещенные на NPGD, погибали после 5-25 с облучения (рис. 2). Дополнительные исследования показали, что к гибели клеток приводит повреждение их стенок из-за контактов с “наноагрегаторами” – каждая клетка имеет 5-15 контактов (в зависимости от типа бактерий) с золотыми дисками, рис. 1.

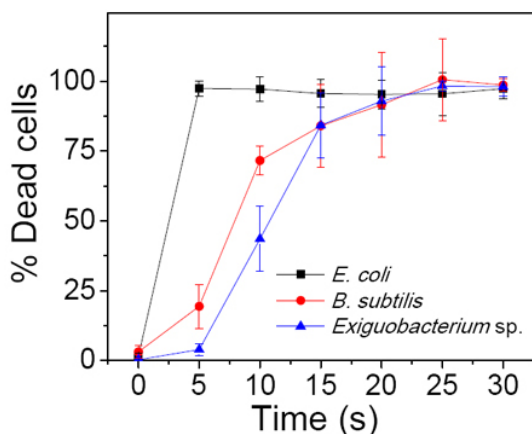


Рис. 2. Гибель бактерий *Escherichia coli* и более устойчивых к повышенной температуре *Bacillus subtilis* и *Exiguobacterium sp.*, помещенных на стекло с NPGD, при облучении лазером (785 нм; 0,085 Вт/мм²) в течение 0-30 с. Показано число мертвых клеток (%).

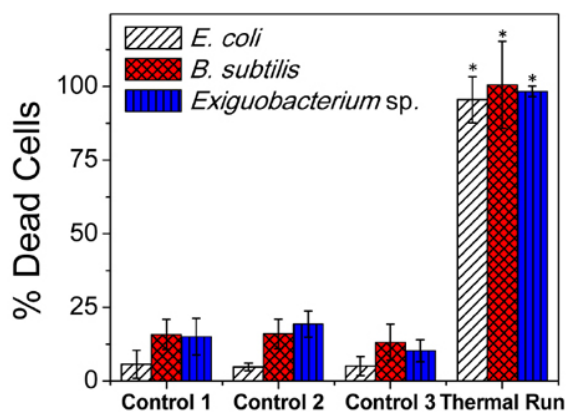


Рис. 3. Количество мертвых клеток после 25 с лазерного воздействия.

На рис. 3 показано число клеток (в %), погибших на NPGD за 25 с лазерного воздействия, в сравнении с контрольными экспериментами. Контроль 1 – бактериальные клетки на стеклянной подложке, контроль 2 – бактериальные клетки на стеклянной подложке с NPGD (проверка токсичности пористых золотых дисков), контроль 3 – бактериальные клетки на стеклянной подложке без золотых дисков под воздействием лазерного излучения (рис. 4).

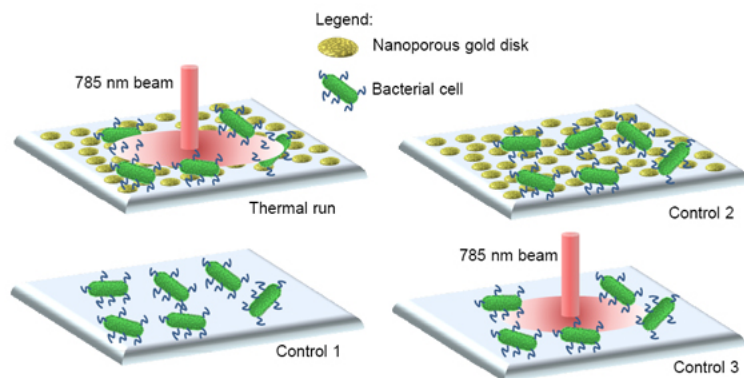


Рис. 4. Схемы экспериментов по инактивации бактерий.

Метод, предложенный в работе [2], позволяет бороться с некоторыми инфекциями без использования антибиотиков, к которым бактерии, как известно, “привыкают”. Уничтожение бактерий на структуре золотых дисков происходит за секунды, то есть гораздо быстрее, чем позволяет стандартная стерилизация в автоклавах, и быстрее, чем при использовании золотых наночастиц. Кроме того, не требуется дополнительной модификации поверхности для предотвращения агрегации, типичной для наночастиц в растворах. NPGD на подложке можно использовать многократно без снижения эффективности (наноструктура не меняется). Одно из перспективных применений – дезинфекция загрязненных жидкостей. Пористые золотые диски можно также наносить на катетеры для подавления инфекций или на устройства для нанотерапии. Модификация наноструктуры (изменение диаметра, толщины дисков, плотности их размещения на подложке, размера пор) и подбор параметров излучения могут дополнительно повысить эффективность передачи тепла в живые ткани, пораженные инфекцией.

О. Алексеева

1. Л.А. Дыкман и др., *Acta Naturae* 3, 36 (2011).
2. G.M. Santos et al., *Opt/Mater. Express* 6, 1217 (2016).

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

Магнитоэлектрические частицы атакуют мозг

Гемато-энцефалический барьер – физиологический механизм, стоящий на страже нашего мозга, препятствуя проникновению туда по кровеносным сосудам посторонних веществ и токсинов. Однако при лечении нейрозаболеваний он же является главным препятствием на пути доставки лекарственных веществ в ткани мозга. Один из способов его преодоления – использование наночастиц, которые проникают сквозь плотные контакты между клетками, выстилающими внутреннюю поверхность кровеносных сосудов, заграждая путь для более крупных объектов. В статье [1] исследователи из нескольких медицинских центров США сообщили об успешном преодолении гематоэнцефалического барьера магнитоэлектрическими наночастицами.

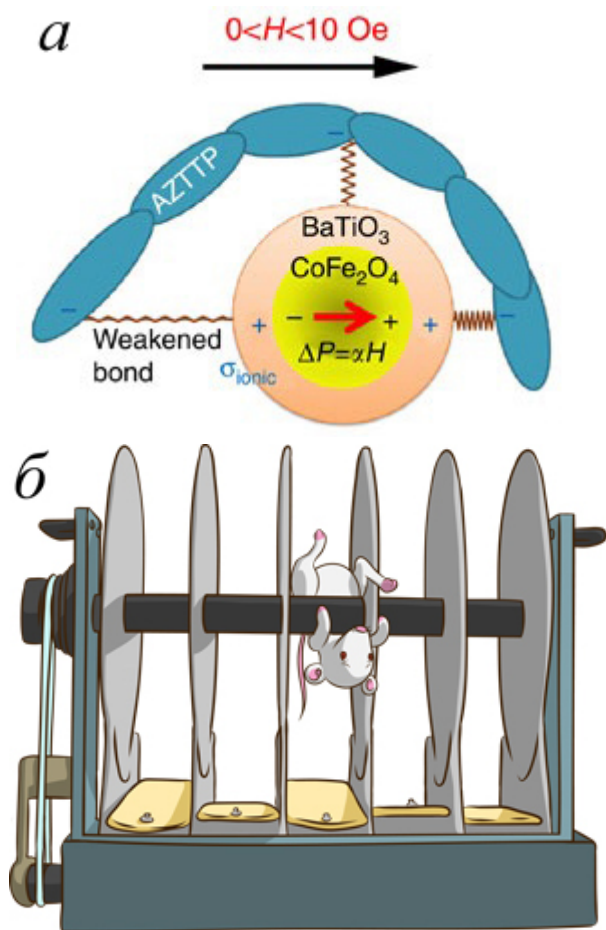


Рис. 1. Магнитоэлектрические наночастицы в медицине [1]: а - строение композиционной наночастицы: магнитное ядро CoFe_2O_4 и сегнетоэлектрическая оболочка из титаната бария [2], синим показана органическая молекула лекарства, отслаивающаяся от поверхности частицы под действием наведенных зарядов, б - тест вращающегося стержня (rotarod) и другие тесты на поведение испытываемые мыши выполняли не хуже мышей контрольной группы, которым не вводились наночастицы.

Чем отличаются магнитоэлектрические наночастицы от более привычных в медицинской практике

магнитных наночастиц? Они позволяют создавать локальные электрические поля под действием внешнего магнитного поля за счет своего композиционного строения: магнитное поле деформирует ферритовое ядро наночастицы вследствие магнито-стрикции, а пьезоэлектрическая оболочка преобразует это механическое напряжение в электрическую поляризацию (рис. 1а). Такое локальное поле может достигать напряженности до 1кВ/см, что позволяет перфорировать мембрану клетки, а также стимулировать сброс лекарства с поверхности наночастицы (рис. 1а) [2].

Ранее подобные опыты проводились только на клетках *in vitro* [2]. В новой работе [1] впервые проведены испытания магнитоэлектрических наночастиц на мышах *in vivo*. После внутривенного введения наночастиц мыши ведут себя совершенно обычно, выполняя те же упражнения, что и мыши контрольной группы (рис. 1б), никаких признаков токсического действия наночастиц выявлено так же не было. Может быть, гемато-энцефалический барьер сработал и на этот раз? Но нет, последующее электронно-микроскопическое исследование тонких срезов тканей головного мозга мышей показало, что магнитоэлектрические частицы размером 20-30 нанометров обильно усыпали клетки мозга. Более того, они оказались равномерно распределенными внутри клеток, многие из них добрались до ядра клетки, что недоступно для традиционно используемых наночастиц. Как полагают исследователи [1], магнитоэлектрические наночастицы позволяют лечить широкий спектр заболеваний мозга: от онкологических и вирусных до нейродегенеративных, таких как болезнь Альцгеймера.

А. Пятаков

1. A.Kaushik et al., *Sci. Rep.* 6, 25309 (2016).
2. R.Guduru et al., *Sci. Rep.* 3, 2953 (2013).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Фуллереновая сварка графена

Интересную методику заращивания разрезов графенового листа предложили авторы работы из Northwest A&F Univ. (Китай) и Australian National Univ. (Австралия) [1]. Основная идея этого способа состоит в использовании фуллерена достаточно большого диаметра (C_{240} или C_{540}), движущегося непосредственно по разрезу и стягивающего края графена (см. рис. 1). Как только расстояние между двумя сторонами графена из-за ван-дер-ваальсового притяжения становится достаточно малым, “висящие” углеродные связи восстанавливаются, образуя прочную ковалентную сцепку. Сами авторы назвали предложенный метод фуллереновой сваркой. Для демонстрации всех тонкостей процесса они использовали молекулярную динамику с эмпирическим межатомным потенциалом AIREBO. Оказалось, что помимо размеров фуллерена существен-

ное влияние на формирование межуглеродных связей оказывает скорость движущегося бакибола. В то время как медленный фуллерен (скорость меньше 0.02 нм/пс) создает значительные краевые деформации, и две стороны графена могут попросту перекрыться, быстрый фуллерен (скорость выше 0.1 нм/пс) слабо взаимодействует со свободными краями, несущественно сокращая расстояние между ними, что также не приводит к идеальному “сварному шву”. Разумеется, авторы оценили оптимальные скорости для различных разрезов. Так, для фуллерена C_{240} при зарастивании разреза шириной $5L$ ($L = 0.12305$ нм) скорость лежит в диапазоне $0.04 \div 0.08$ нм/пс. К слову, максимальная ширина разреза, который исследователям удалось зарастить с помощью фуллерена C_{540} при скорости 0.05 нм/пс, составила $16L$.

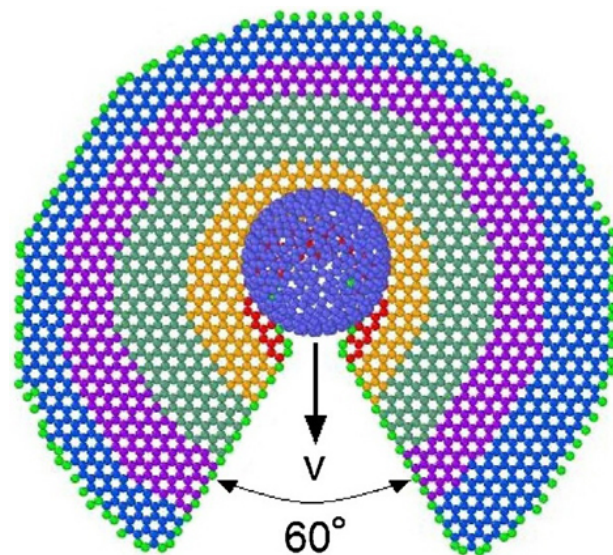


Рис. 2. Фуллерен C_{540} и фрагмент графена с секторальным разрезом

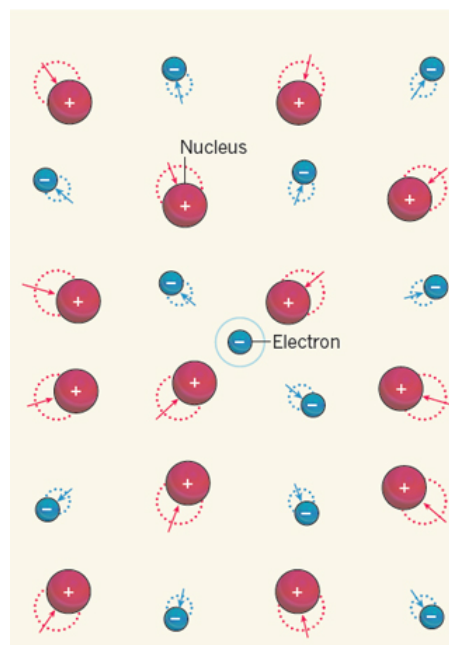
М. Маслов

I. D. Yin et al., Carbon 102, 273 (2016).

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

Коллайдер для квазичастиц

Попав в твердое тело, электрон по закону Кулона взаимодействует с огромным количеством окружающих его атомных ядер и других электронов. Комбинацию этого электрона с порожденным им движением всех остальных частиц твердого тела можно рассматривать как некое коллективное образование, называемое квазичастицей (см. рис.).



Электрон в металле как квазичастица.

Существуют и другие типы квазичастиц: поляроны, экситоны, дроплетоны и т.д. Они ответственны за самые разнообразные макроскопические явления, включая спиновое и зарядовое упорядочение, сверхпроводимость и пр., поэтому так важно знать

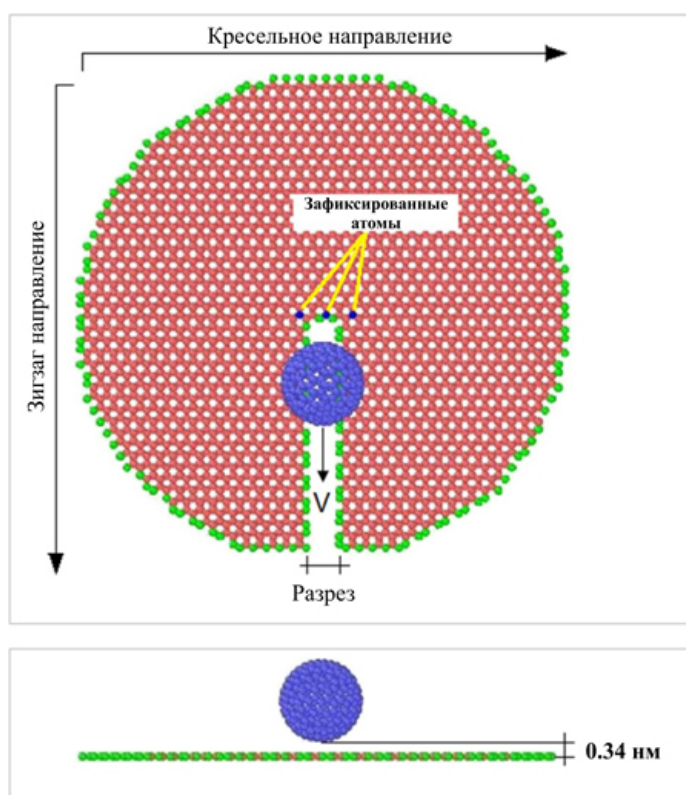


Рис. 1. Модель для молекулярно-динамических расчетов, содержащая круговой фрагмент графена с прямоугольным разрезом по радиусу вдоль зигзаг-направления и фуллерен (C_{240} или C_{540})

Авторы обращают внимание на то, что разрез может быть сварен только с помощью фуллерена с диаметром большим, чем его ширина. При этом если он имеет вид не полоски (см. рис. 1), а сектора (см. рис. 2), то с помощью фуллереновой сварки можно получить идеальный конус. По мнению авторов, это обстоятельство может оказаться полезным в дальнейшем для формирования соответствующих компонентов различных наноструктур.

их структуру и динамические характеристики. А где взять эту информацию? В физике элементарных частиц ее получают при помощи коллайдеров. По такому же пути пошли и авторы работы [1] (Германия, США): используя ультракороткие (10-100 фс) импульсы света, они генерировали в диселениде вольфрама WSe_2 пары квазичастиц с противоположным зарядом (электроны и дырки), а затем сталкивали их и смотрели, что получится. В равновесных условиях взаимодействие этих двух разноименно заряженных квазичастиц привело бы к образованию новой составной квазичастицы – экситона. А при столкновении они аннигилировали с испусканием фотона подобно электрону и позитрону. Изменяя условия эксперимента и анализируя спектр испускаемого излучения, авторы определили энергию связи экситонов в WSe_2 . В дальнейшем “коллайдерную идеологию” можно попробовать для изучения поляронов в титанате стронция, тяжелых фермионов, квазичастиц с дробным зарядом и т.п.

*По материалам заметки
“Quasiparticles on a collision course”,
D. van der Marel, Nature 533, 186 (2016).*

I. F.Langer et al., Nature 533, 225 (2016).

КОНФЕРЕНЦИИ

*The New Generation in Strongly Correlated
Electron Systems (NGSCES 2016),
26-30 September 2016, ICTP Trieste, Italy*

NGSCES 2016 will bring together young researchers (PhD students, postdocs, young professors and group leaders) working in the field of strongly correlated electrons to foster the exchange of ideas and stimulate new research directions. This conference focuses on new theoretical and experimental research devoted to the improvement of our understanding of strongly correlated models and materials.

Topical sessions will cover non-equilibrium dynamics, topological insulators and spin-orbit coupled systems, first principles correlations from micro to macro world, exotic magnetism and superconductivity. NGSCES 2016 is organized as a workshop with introductory lectures, invited and contributed talks, and a poster session. All the information can be found on the website.

The deadline for abstract submission is **June 15 2016**.

E-mail: NGSCES2016@elettra.eu

Web: www.ngsces2016.org

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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