

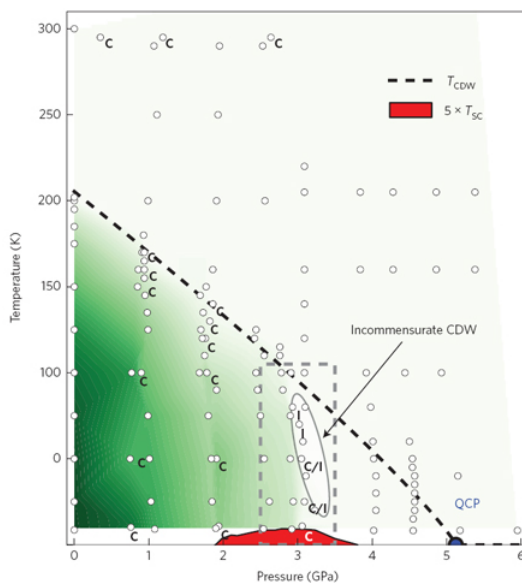
В этом выпуске:

СВЕРХПРОВОДНИКИ

Волна зарядовой плотности, квантовая критическая точка и сверхпроводимость в $TiSe_2$

“Необычными” (unconventional) называют сверхпроводники, свойства которых не удастся описать в рамках стандартной модели БКШ. К ним относятся купратные и безмедные ВТСП, соединения с тяжелыми фермионами, рутенаты, органические материалы и пр. Общим для всех необычных сверхпроводников является близость сверхпроводящего состояния к какой-либо другой упорядоченной фазе с нарушенной симметрией (антиферромагнитной, зарядовой, страйповой, орбитальной, нематической и др.). Это наводит на мысль, что “необычная” сверхпроводимость обусловлена взаимодействием носителей с флуктуациями несверхпроводящего параметра порядка, причем конкретная природа последнего не столь существенна.

Классическим примером необычных сверхпроводников являются слоистые дихалькогениды переходных металлов MX_2 ($M = Nb, Ti, Ta, Mo$; $X = Se, S$), в которых существует состояние типа волны зарядовой плотности (charge density wave, CDW). Предыдущие исследования показали, что увеличение гидростатического давления приводит к подавлению CDW и возникновению сверхпроводимости. Поскольку это, по-видимому, происходит в окрестности квантовой критической точки (quantum critical point, QCP), соответствующей $T_{CDW} = 0$, то высказывались предположения о связи сверхпроводимости с квантовыми критическими флуктуациями. Однако точное расположение QCP относительно сверхпроводящего участка фазовой диаграммы до недавнего времени оставалось неизвестным.



Фазовая диаграмма $TiSe_2$ в координатах давление-температура. T_{sc} – температура сверхпроводящего перехода, T_{CDW} – температура формирования волны зарядовой плотности, QCP – квантовая критическая точка.

И далее ...

- 2 Индуцированный магнитным полем переход сверхпроводник-диэлектрик в недодопированном купрате $La_{2-x}Sr_xCuO_4$

ГРАФЕН

Электрическая емкость суперконденсатора на основе графена с двойным электрическим слоем

НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 4 Наноматериалы повышают эффективность фотосинтеза растений *in vivo*

НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОСТРУКТУРЫ

- 6 Гибкие “металлические” наноленты из дихалькогенидов переходных металлов

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 7 Сюрприз от ультратонких пленок $LaNiO_3$

СНОВА К ОСНОВАМ

- 7 Магнитный момент протона

Электризация трением и последний день Помпеи

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 8 Новые формы из фуллерена C_{60}

- 9 Премия имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук

КОНФЕРЕНЦИИ

В работе [1] (США, Германия) эволюция CDW по мере увеличения давления P изучена путем анализа спектров рассеяния рентгеновских лучей на монокристаллах TiSe_2 с $T_{\text{CDW}}(P=0) = 202$ К. Впервые непосредственно доказано существование QCP при $P_c = (5.1 \pm 0.2)$ ГПа. Это давление более чем на 1 ГПа выше соответствующего правой границе сверхпроводящей области, расположенной в интервале $2 \text{ ГПа} < P < 4 \text{ ГПа}$ (см. рис.), что на первый взгляд заставляет усомниться в причастности QCP и флуктуаций CDW к сверхпроводимости. Но картина оказалась более сложной (а значит, и более интересной). Выяснилось, что при $P \approx 3$ ГПа, то есть внутри “сверхпроводящего купола” (см. рис.) происходит переход от соизмеримой (относительно периода кристаллической решетки) структуры CDW к несоизмеримой. При этом в CDW-порядке возникает проскальзывание фазы и формируются доменные стенки, квантовая динамика которых и может оказаться ответственной, как считают авторы, за сверхпроводимость. Интересно, что аналогичная взаимосвязь между флуктуациями фазы упорядоченных зарядовых доменов и сверхпроводимостью наблюдалась в купратных ВТСП. Такая универсальность может послужить стимулом к разработке новой теории сверхпроводимости, более общей, нежели БКШ.

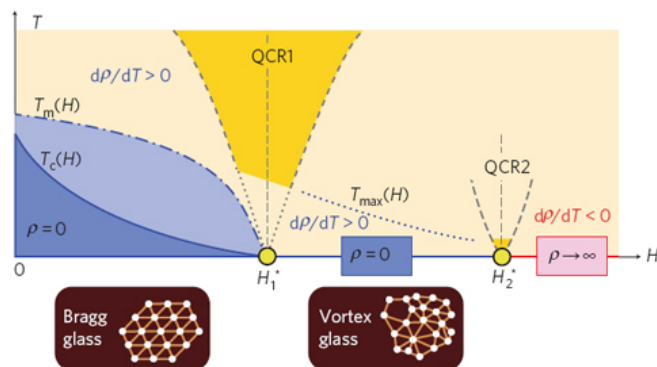
Л. Опенов

1. W.I. Joe et al., *Nature Phys.* **10**, 421 (2014).

Индукцированный магнитным полем переход сверхпроводник-диэлектрик в недодопированном купрате $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

Переход сверхпроводник-диэлектрик представляет собой квантовый фазовый переход, который имеет место при $T=0$ и контролируется каким-либо параметром (например, уровнем допирования или внешним магнитным полем H). Хотя исследованию этого перехода посвящено довольно много экспериментальных и теоретических работ, остаются не до конца ясными некоторые его особенности в двумерных и квазидвумерных системах, таких как купратные ВТСП. В работе [1] (США, Япония) представлены результаты измерения магнитосопротивления недодопированных пленок и монокристаллов купрата $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ($x = 0.06 \div 0.07$, $T_c = 4 \div 5$ К) в полях до 18 Тл. Выяснилось, что с ростом H переход в диэлектрическую фазу происходит не сразу, а через “промежуточное” сверхпроводящее состояние. Если $H < H_1^* \approx 3.5$ Тл, то удельное сопротивление ρ при понижении температуры уменьшается ($d\rho/dT > 0$), обращается в нуль при $T = T_c(H)$ и остается таковым вплоть до $T=0$. В диапазоне $H_1^* < H < H_2^* \approx 13.5$ Тл величина ρ равна нулю только при $T=0$ (то есть $T_c=0$). При $H > H_2^*$ производная $d\rho/dT$ отрицательна, так что $\rho(T=0) \rightarrow \infty$ (диэлектрик с локализованными куперовскими парами). Две сверх-

проводящие фазы при $H < H_1^*$ и $H > H_2^*$ различаются характером упорядочения магнитных вихрей: брэгговское стекло и вихревое стекло, соответственно (см. рис.). Скейлинг $\rho(T, H)$ вблизи H_1^* и H_2^* согласуется с моделью разрушения 2D сверхпроводимости квантовыми фазовыми флуктуациями.



Фазовая диаграмма недодопированного купрата $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ в координатах H - T .

T_c – температура перехода в сверхпроводящее состояние с $\rho = 0$. T_m – температура плавления вихревой решетки. T_{max} – температура, при которой производная $d\rho/dT$ меняет знак. QCR1 и QCR2 – квантовые критические области, отвечающие критическим полям H_1^* и H_2^* , соответственно.

Л. Опенов

1. X. Shi et al., *Nature Phys.* **10**, 437 (2014).

ГРАФЕН

Электрическая емкость суперконденсатора на основе графена с двойным электрическим слоем

Суперконденсаторы (СК) являются эффективным средством накопления и хранения энергии с высокой удельной плотностью, которая может высвободиться за короткое время, поэтому они рассматриваются в качестве основы для создания гибридных автомобильных двигателей. В отличие от аккумуляторных батарей, в которых энергия содержится в химических реагентах, СК накапливают электрическую энергию на границе между электродом и электролитом при наложении внешнего напряжения. При таком механизме накопления энергии суперконденсатором она может быть выделена за весьма короткое время, что и определяет высокую мощность энерговыделения. Удельная электрическая емкость СК достигает нескольких сотен фарад на грамм, что на несколько порядков превышает соответствующий показатель для обычных электрических конденсаторов. Столь большие величины удельной емкости достигаются благодаря чрезвычайно малой толщине двойного слоя на границе электрод-электролит (< 1 нм) и исключительно высокой удельной поверхности материала электрода (500 - $3000 \text{ м}^2/\text{г}$), в качестве которого обычно используется высокопористый наноуглерод. Однако по такому показателю, как величина удельной запасаемой энергии, СК пока уступают традиционным

литиевым батареям, для которых этот показатель примерно на порядок выше (на уровне 0.1 кВт·час/кг). Это стимулирует исследования, направленные на увеличение удельной энергии, запасаемой СК, без ущерба для мощности энерговыделения и максимального числа циклов заряда/разряда.

В первую очередь величина удельной запасаемой СК энергии определяется его удельной поверхностью. При этом измеряемая по адсорбции атомарных или простых молекулярных газов (Ar , N_2) удельная поверхность значительно выше реальной (доступной для сольватированных ионов) удельной поверхности электролита. Тем самым величина емкости СК оказывается существенно ниже, чем это следует из оценок на основании измерений удельной поверхности материала электрода.

Анализ имеющихся экспериментальных данных показывает, что, хотя увеличение удельной поверхности материала электрода сопровождается ростом гравиметрической удельной электрической емкости этого материала, при этом происходит плавное снижение удельной поверхностной емкости, рассчитанной на единицу площади поверхности электрода. Этот параметр достигает насыщения в диапазоне 4-5 мФ/см² при превышении удельной поверхностью величины 1500 м²/г. Попытка установить физические причины указанного ограничения была предпринята недавно большим коллективом

специалистов из США, Китая, Сингапура и Южной Кореи во главе с одним из пионеров исследований в области наноуглерода Р. Руофом [1]. С этой целью была измерена электрическая емкость плоских электродов, состоящих из нескольких ультратонких слоев графена со случайной взаимной ориентацией.

В качестве электролита использовали 6М водный раствор КОН. Однослойные листы графена синтезировали осаждением продуктов термического разложения метана на поверхность подложки из медной фольги с поперечными размерами 2×10 см² и толщиной 25 мкм (метод CVD). Полученные листы однослойного графена с помощью стандартной процедуры переносили с поверхности медной фольги на пленку полиметилметакрилата (PMMA). Эти листы использовали для получения графеновых пленок с различным числом слоев. Так, пленку PMMA, покрытую однослойным графеновым листом, наносили на медную фольгу, также покрытую однослойным графеновым листом. Это приводило к образованию двухслойной графеновой пленки. Повторение данной процедуры позволило получить трех-, четырех- и пятислойные пленки графена на поверхности медной фольги, которую впоследствии растворяли с помощью персульфата аммония. Очевидно, удельная поверхность каждого из электродов обратно пропорциональна количеству слоев в пленке.

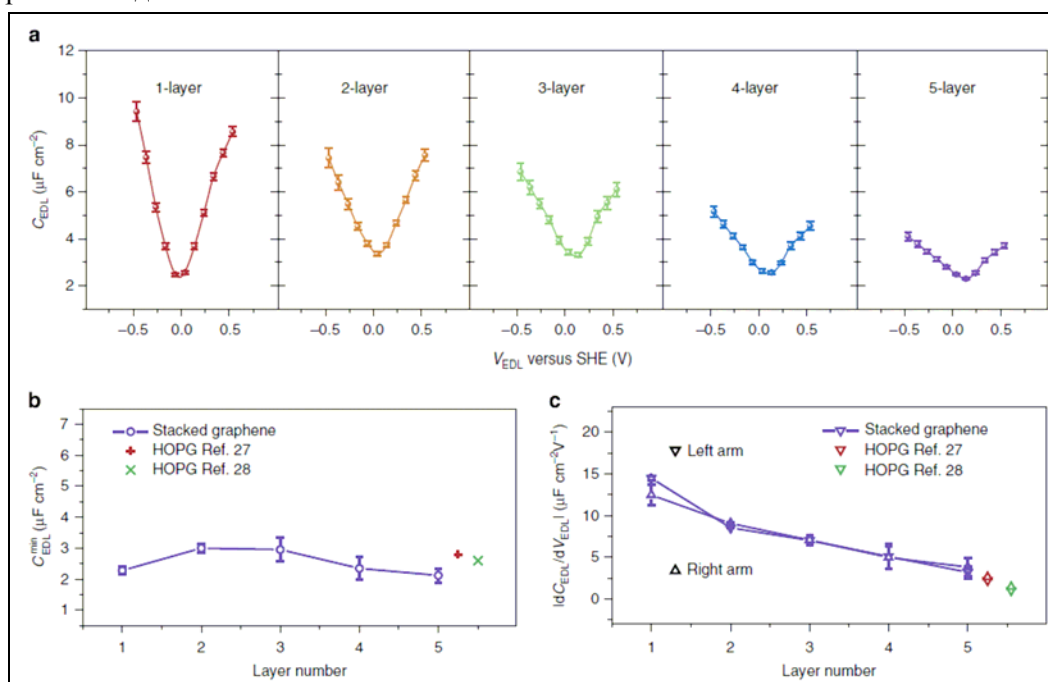


Рис. 1. Результаты измерений удельной (в расчете на единицу площади поверхности) электрической емкости электродов с различным числом графеновых слоев n : а – зависимости емкости электрического двойного слоя от приложенного напряжения, (наблюдаемое смещение положения минимума этих зависимостей относительно нулевого потенциала на величину от 0.1 до 0.15В указывает на наличие примесей, привнесенных в процессе переноса графеновых пленок); б – зависимости минимального значения емкости от числа графеновых слоев; в – зависимости абсолютного значения производной от емкости по приложенному потенциалу от числа графеновых слоев. На рис. 1б и 1с приведены также результаты измерений других авторов для высокоупорядоченного пиролитического графита (HOPG)

Для измерения емкости СК с рабочим электродом на основе графена, содержащего несколько слоев, использовали противозлектрод в виде платиновой пластины размером $1.5 \times 1.5 \text{ см}^2$ и электрод сравнения Ag/AgCl, заполненный 1М раствором KCl. Результаты измерений показаны на рис. 1. Наблюдаемые на эксперименте зависимости емкости двойного слоя от приложенного напряжения указывают на вклад квантовой емкости, которая обусловлена смещением положения уровня Ферми в результате накопления заряда на электроде. Этот эффект объясняется кулоновским притяжением между ионами, накапливаемыми в двойном слое, и зарядами зеркального изображения в проводящем графеновом слое. Такое взаимодействие приводит к уменьшению толщины двойного слоя и снижению напряжения, необходимого для разделения зарядов. Роль взаимодействия возрастает по мере уменьшения числа графеновых слоев в пленке.

Наблюдаемый эффект увеличения емкости СК при наложении напряжения смещения позволяет поновому взглянуть на оценку предельной энергетической емкости СК. При использовании в качестве электрода однослойного графена с удельной поверхностью $2630 \text{ м}^2/\text{г}$ максимально достижимая удельная (в расчете на единицу поверхности) емкость СК составляет $13.5 \text{ мкФ}/\text{см}^2$, что соответствует удельной гравиметрической емкости $355 \text{ Ф}/\text{г}$ и удельной энергетической емкости на уровне $0.06 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{кг}$. Эта величина сравнима с величиной соответствующего показателя для коммерческих свинцово-кислотных аккумуляторов, которые, однако, существенно уступают СК в отношении развиваемой мощности и количества циклов заряд-разряда.

А. Елецкий

I. H. Ji et al., *Nature Commun.* 5, 3317 (2014).

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Наноматериалы повышают эффективность фотосинтеза растений *in vivo*

“Едва ли какой процесс, совершающийся на поверхности Земли, заслуживает в такой степени всеобщего внимания, как тот, далеко ещё не разгаданный процесс, который происходит в зелёном листе, когда на него падает луч солнца”, – так сказал о фотосинтезе К.А. Тимирязев на съезде русских естествоиспытателей и врачей в Санкт-Петербурге в 1879 г. Действительно, образование растениями органических веществ из CO_2 и воды с помощью энергии солнечного света составляет материальную и энергетическую основу всего живого на Земле. Фотосинтез в растениях происходит в хлоропластах, содержащих зелёный пигмент хлорофилл. Хлоропласты окружены двойной мембраной,



ной, под которой находятся мембранные образования – тилакоиды. Пространство между оболочкой хлоропласта и тилакоидами заполняет строма. В тилакоидах протекают световые реакции, а в строме – реакции, не требующие воздействия света (темновые). Слова, сказанные Тимирязевым 135 лет назад, справедливы и сейчас – процесс полностью не разгадан. Исследования активно продолжаются и даже идут работы в рамках проектов “искусственного фотосинтеза”. Ученые пытаются создать аналоги живых листьев, используя синтетические и природные наноматериалы (например, см. [1]). Однако все исследования, в том числе с использованием хлоропластов, проводятся *ex vivo*, а активность хлоропластов, изолированных от растения, довольно быстро снижается. Новый нанотехнологический подход представили ученые из Massachusetts Inst. of Technology (США) [2]. Они предположили, что наноматериалы, внедренные в хлоропласты, могут повысить эффективность фотосинтеза и даже добавить новые функции как *ex vivo*, так и *in vivo*. Для решения этой многоцелевой задачи было необходимо определить механизм доставки наноматериалов (НМ) в хлоропласты; найти НМ, повышающие эффективность фотосинтеза и НМ, способные подавлять свободные радикалы, мешающие стабильной работе. Свою концепцию, основанную на биологии живых растений и нанотехнологиях, авторы [2] назвали “растительной нанобионикой”.

Исследователи выбрали для экспериментов полупроводниковые одностенные углеродные нанотрубки (ОСНТ), которые поглощают свет в широком диапазоне длин волн (включая неиспользуемые хлоропластами УФ, видимый и ближний ИК спектры), а также способны преобразовать поглощенную энергию в экситоны и добавить электроны в электрон-транспортную цепь фотосистемы. Несколько лет назад было продемонстрировано, что углеродные нанотрубки могут проходить как через клеточные мембраны, так и через стенки клеток растений [3]. Однако механизм проникновения нанотрубок через двойную мембрану из билипидных слоев, которой окружены хлоропласты, до сих пор был неизвестен. Авторы [2] выяснили, что важную роль играет величина дзета-потенциала, являющегося одной из важных характеристик двойного электрического слоя. В их экспериментах ОСНТ, покрытые фрагментом ДНК (дзета-потенциал – 44.6 мВ) или хитозаном ($+48.5 \text{ мВ}$) попадали внутрь хлоропласта, а покрытые поливиниловым спиртом (-6.4 мВ) – нет. Схема транспорта показана на рис. 1.

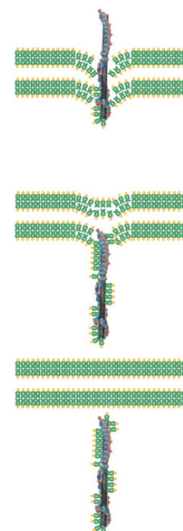


Рис. 1. Схема транспорта ДНК-ОСНТ через двойную мембрану

Липиды из оболочки хлоропласта адсорбируются на нанотрубках, проникающих через мембрану, и затем необратимо закрепляют нанотрубки внутри хлоропласта. Поврежденная липидная мембрана самозалечивается. ДНК-ОСНТ с помощью липидного обмена в течение нескольких секунд проникли в хлоропласты, выделенные из листьев шпината, а также *in vivo* в хлоропласты листьев резуховидки Таля (раствор ДНК-ОСНТ был введен снизу в пластину листа путем инфильтрации) (рис. 2). Совпадение автофлуоресцентного изображения хлоропласта и флуоресцентного изображения ОСНТ в ближнем ИК диапазоне подтверждают локализацию нанотрубок в хлоропласте (рис. 2). Заметим, что, как показало наблюдение в течение 20 дней, присутствие ОСНТ не повлияло на развитие листа.

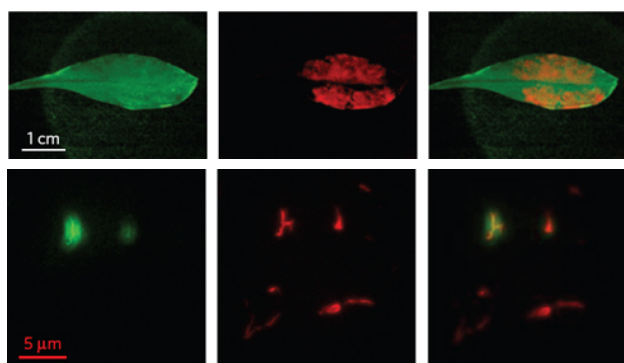


Рис. 2. Нанотрубки внутри листа резуховидки Таля. Внизу показана локализация ДНК-ОСНТ в хлоропластах

Для снижения уровня свободных радикалов, которые разрушают пигменты и некоторые важные белки фотосистемы, авторы [2] использовали наночастицы диоксида церия. В последние годы были получены доказательства высокой антиоксидантной активности этого наноматериала [4]. Особые свойства обусловлены кислородной нестехиометрией поверхностного слоя. При уменьшении размера частиц возрастает концентрация кислородных вакансий, эффективная степень окисления церия снижается. Благодаря одновременному присутствию Ce^{3+} и Ce^{4+} наночастицы легко вступают в циклические окислительно-восстановительные реакции и снижают активность свободных радикалов.

Основываясь на результатах, полученных для ОСНТ, исследователи [2] синтезировали наночастицы диоксида церия, покрытые полиакриловой кислотой, что обеспечило большой отрицательный дзета-потенциал. Эти наночастицы (НЧ) успешно преодолели мембраны изолированных хлоропластов и локализовались у молекул хлорофилла (рис. 3). Как показали специальные эксперименты, присутствие НЧ существенно снизило количество свободных радикалов.

Далее с использованием карбодиимидного метода они синтезировали новый наноматериал ОСНТ-НЧ – комплексы нанотрубок (покрытых ДНК) с наночастицами оксида церия (покрытыми полиакрило-

вой кислотой). Эти комплексы ОСНТ-НЧ также проникают через мембрану хлоропластов. Они локализируются в тилакоидах и в строме, где, соответственно, протекают световые и темновые реакции. ТЕМ изображения комплексов ОСНТ-НЧ и их локализация в хлоропластах представлены на рис. 4. Новый наноматериал тоже заметно снижает уровень свободных радикалов.

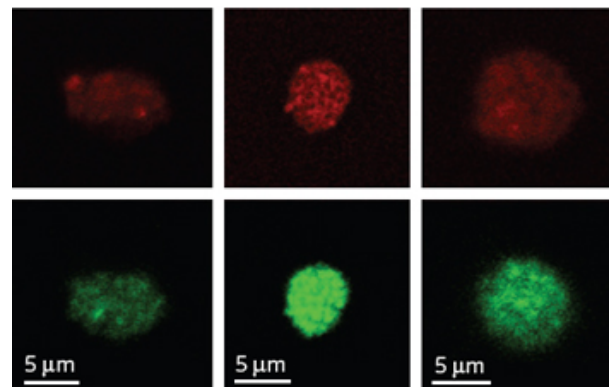


Рис. 3. Конфокальное изображение хлоропластов с внедренными наночастицами: НЧ (окрашены красным) локализованы вблизи хлорофилла (зеленый).

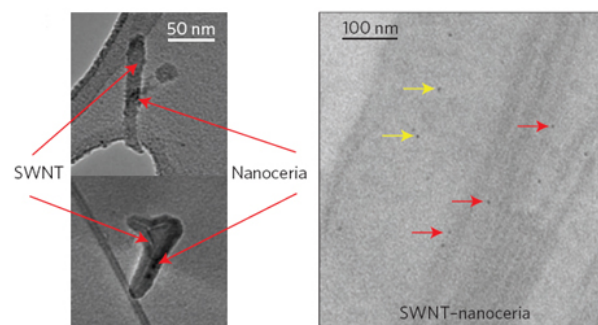


Рис. 4. ТЕМ изображение комплексов ОСНТ-НЧ (слева); локализация комплексов в тилакоидных мембранах (красные стрелки) и в строме (желтые стрелки) (справа).

Наноматериалы, синтезированные исследователями (ДНК-ОСНТ и их комплексы с наночастицами диоксида церия), существенно повысили способность хлоропластов к конверсии солнечной энергии. Максимальная скорость переноса электронов выросла на 50% *ex vivo* и на 30% *in vivo*. Но и это еще не все достижения авторов [2]. В своих предшествующих работах они показали, что ОСНТ, покрытые фрагментом ДНК, можно использовать как флуоресцентные детекторы оксида азота NO и даже тринитротолуола [5,6]. Найденный в новой работе способ внедрения ДНК-ОСНТ в хлоропласты позволил ученым создать “живой” детектор NO.

Все хорошо известно, что оксид азота NO токсичен, загрязняет окружающую среду. Однако в конце прошлого века было установлено, что действие NO может вызывать разнообразные биологические эффекты, в том числе и защитные, и регуляторные. Молекула содержит неспаренный электрон, имеет высокую химическую активность, способна очень быстро проникать в клетки-мишени и фактически

действует как сигнальная. В 1998 г. ученым из США Р.Ф. Ферчготту, Л.Дж. Игнарро и Ф. Мураду была присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины “За открытие роли оксида азота как сигнальной молекулы в регуляции сердечно-сосудистой системы”. В хлоропластах NO также является ключевой сигнальной молекулой. Авторы [2] внедрили в лист растения резуховидки Таля полупроводниковые ОСНТ, покрытые фрагментом ДНК, и наблюдали флуоресценцию в ближней ИК-области. После ввода раствора NO интенсивность флуоресценции резко снизилась (рис. 5, 6). Наблюдаемый эффект обратим.

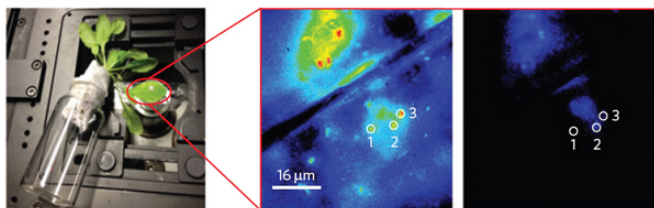


Рис. 5. “Живой” сенсор оксида азота. Флуоресценция ОСНТ до (в центре) и после (справа) ввода раствора NO.

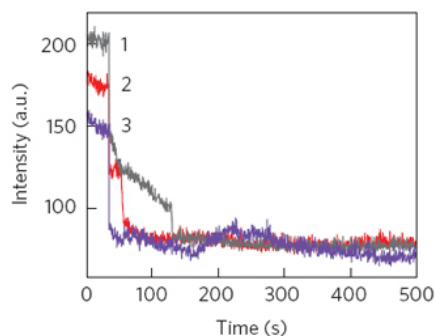


Рис. 6. Изменение интенсивности флуоресценции трех нанотрубок, выделенных кружками на рис. 5.

Конечно, невозможно представить внедрение нанотрубок в массу листьев для повышения эффективности фотосинтеза растений Земли. Важность полученных результатов в том, что они позволят создать стабильные функциональные синтетические материалы, которые будут расти, восстанавливать себя, используя солнечный свет, воду и углекислый газ. С их помощью можно обеспечить мониторинг сигнальных молекул, а также веществ, загрязняющих окружающую среду. Работа [2] открывает новую область исследований на стыке нанотехнологии и биологии растений.

О.Алексеева

1. J. D. Jr. Megiatto et al., *Nature Chem.* **6**, 423 (2014).
2. J. P. Giraldo et al., *Nature Mater.* **13**, 400 (2014).
3. [ПерсТ 16, вып. 9, с.6 \(2009\).](#)
4. [ПерсТ 20, вып. 3, с.4 \(2013\).](#)
5. J.-H. Kim et al., *Nature Chem.* **1**, 473 (2009).
6. D.A. Heller et al., *PNAS* **108**, 8544 (2011).

НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОСТРУКТУРЫ

Гибкие “металлические” наноленты из дихалькогенидов переходных металлов

Монослои дихалькогенидов переходных металлов MX_2 ($\text{M} = \text{W}, \text{Mo}$; $\text{X} = \text{S}, \text{Se}$) представляют собой 2D полупроводники, тогда как 1D нанопровода MX должны быть, согласно теории, металлическими. В работе [1] (США, Япония) наноленты MX шириной менее 1 нм и длиной около 10 нм (рис. 1) изготовлены путем селективного ионизирующего травления соответствующих монослоев MX_2 сфокусированным электронным пучком сканирующего просвечивающего электронного микроскопа.

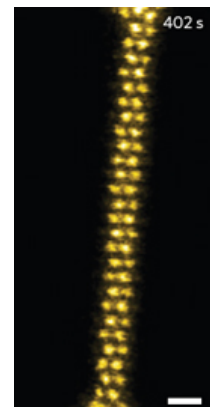


Рис. 1. Нанолента MoS. Длина масштабной линейки 0.5 нм.

При длительном воздействии электронов с энергией 60 кэВ в монослое образуются вакансии и вакансионные комплексы, сливающиеся в “дырки”, между которыми и располагаются наноленты (рис. 2).

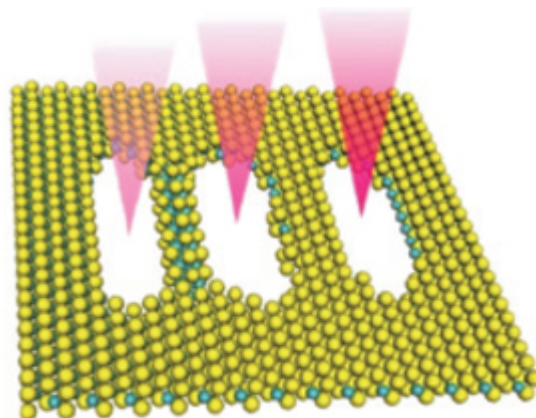


Рис. 2. Контролируемое формирование дырок в монослое MX_2 при воздействии сфокусированных пучков электронов.

Измерения ВАХ подтвердили металлический тип проводимости таких нанолент. Расчеты из первых принципов показали, что уровень Ферми расположен в разрешенной энергетической зоне, образующейся при гибридизации d -орбиталей атомов M с p -орбиталями атомов X . Наноленты остаются металлическими при механической деформации (изгибе и поворотах). Помимо этого авторы сконструировали из изолированных нанолент контакты, соединяющие заданные области монослоя (рис. 3).

Развитая методика может быть использована при изготовлении 2D интегральных наносхем для гибких наноэлектронных устройств следующего поколения.

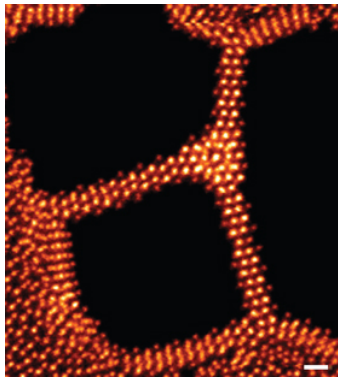


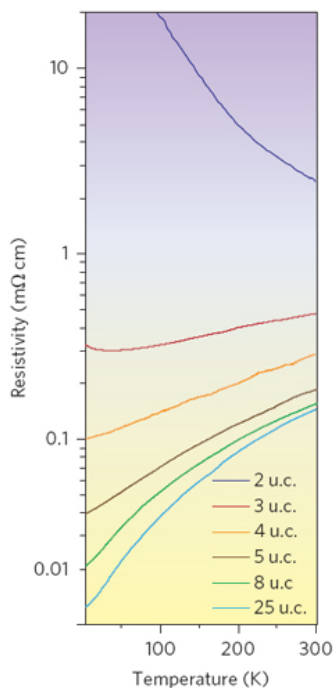
Рис. 3. Y-контакт из трех нанолент MoSe.
Длина масштабной линейки 0.5 нм.

1. J.Lin et al., *Nature Nanotech.* **9**, 436 (2014).

КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Сюрприз от ультратонких пленок LaNiO₃

Сильные электронные корреляции определяют разнообразие свойств оксидов переходных металлов, включая высокотемпературную сверхпроводимость, моттовский переход, квантовый магнетизм и сегнетоэлектричество. Никелат LaNiO₃ здесь является исключением: он остается металлическим и парамагнитным вплоть до милликельвинных температур. Но это относится только к 3D образцам. Картина резко меняется при понижении мерности, а именно – при уменьшении толщины эпитаксиальных пленок LaNiO₃. В работе [1] обнаружено, что температурные зависимости удельного сопротивления ρ пленок толщиной в $N \geq 3$ элементарные ячейки имеют металлический вид ($d\rho/dT > 0$), тогда как пленки с $N=2$ являются диэлектрическими: $\rho \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow 0$ (см. рис.).



Температурные зависимости удельного сопротивления пленок LaNiO₃ толщиной от 25 (внизу) до 2 (вверху) элементарных ячеек.

ПерсТ, 2014, том 21, выпуск 11/12

Фотоэмиссионная спектроскопия с угловым разрешением показала, что причиной перехода металл-диэлектрик является исчезновение когерентных фермиевских квазичастиц. Это может быть связано с формированием при $N=2$ зарядового и/или спинового порядка. Возможность контроля электрических свойств LaNiO₃ путем изменения толщины пленки открывает путь к созданию оксидных нанoeлектронных устройств нового типа.

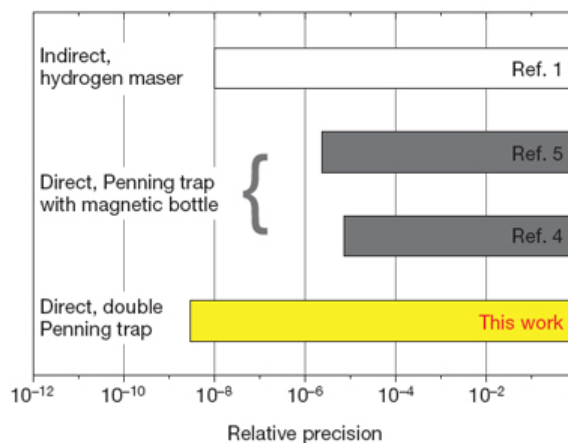
Л.Опенев

1. P.D.C.King et al., *Nature Nanotech.* **9**, 443 (2014).

СНОВА К ОСНОВАМ

Магнитный момент протона

Одной из фундаментальных характеристик протона является его магнитный момент μ_p . До настоящего времени величину μ_p определяли только косвенно, по спектру лазера на атомарном водороде в магнитном поле. В работе [1] (Германия, Япония) сообщается о непосредственном измерении μ_p с очень высокой точностью. Авторы использовали две ловушки Пеннинга, одна из которых служила для переворотов спина протона высокочастотным магнитным полем, а вторая – для регистрации этих переворотов в неоднородном поле. Было получено $\mu_p = 2.792847350(9)\mu_N$, где μ_N – ядерный магнетон Бора. В дальнейшем развинутой методике предполагается использовать для уточнения магнитного момента антипротона с целью проверки СРТ-инвариантности барионов.



Относительная точность при измерении магнитного момента протона разными методами.

1. A.Mooser et al., *Nature* **509**, 596 (2014).

Электризация трением и последний день Помпеи

Наблюдение за притяжением пуха к янтарю, натертому шерстью, как известно, положило начало науке об электрических явлениях еще в шестом веке до нашей эры. Тем не менее, механизмы электризации трением во многих случаях до сих пор остаются неясными. Примером тому служит разделение зарядов, возникающее при трении частичек одного и

того же вещества друг о друга. Вопреки распространенному мнению, согласно которому электризация в этом случае, также как и при контакте металлов, обусловлена переходом электронов с одной трущейся поверхности на другую, недавняя работа американских ученых свидетельствует в пользу альтернативных механизмов, таких как обмен ионами воды, оседающей в виде тонкой пленки на поверхности песчинок [1].

Многочисленные наблюдения говорят о том, что в смеси частиц одного и того же материала более крупные заряжаются положительно, а мелкие – отрицательно. Этим объясняется, в частности, направленное вверх электрическое поле в пыльных вихрях: более легкие частицы взмывают на большую высоту, приводя к пространственному разделению заряда в пылевом облаке. Аналогичные явления происходят и в облаках вулканической пыли. Молнии на знаменитом полотне “Последний день Помпеи” – не просто художественный прием, призванный добавить драматизма, а натуралистически точное изображение электрических разрядов, наблюдающихся при вулканических извержениях. На эскизах к картине (см. рис.) это явление прописано особо отчетливо.



Рис. Эскиз К.П. Брюллова 1828 года, на котором хорошо видны молнии, возникающие в вулканическом облаке.

Для исследования механизмов данного явления ученые приготовили смесь силикатных частиц с диоксидом циркония размером 320 и 250 мкм и разработали методику невозмущающего определения заряда песчинок – путем измерения их движения в однородном электрическом поле плоского конденсатора в состоянии свободного падения (камера для высокоскоростной съемки падала вместе с частицами, и, разумеется, для нее заранее “подстелили соломку” из пенопласта). Заряд частиц двух типов был противоположен по знаку и в пределах погрешности измерений был одинаков по абсолютной величине, которая составляла около двух миллионов зарядов электрона. Все это не противоречило электронному механизму, если бы не дополнительные измерения, проведенные авторами с помощью термолюминесценции, показавшие, что на по-

верхности частиц количество захваченных электронов на пять порядков меньше. Значит, нужно искать какие-то другие носители заряда отрицательного знака. Поскольку любая поверхность в атмосферных условиях покрыта монослоем воды, то логично предположить, что роль переносчиков заряда выполняют ионы OH⁻, но так ли это, покажут дальнейшие исследования.

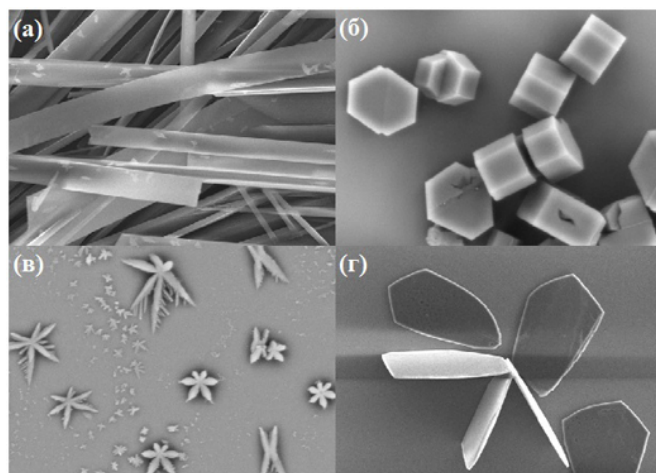
А. Пятаков

1. S.R. Waitukaitis et al., *Phys. Rev. Lett.* **112**, 218001 (2014).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Новые формы из фуллера C₆₀

Простая методика получения различных “архитектурных форм” из фуллеренов C₆₀ предложена китайскими исследователями в работе [1]. Подход основан на испарении раствора C₆₀ в сероуглероде в атмосфере растворителей: спиртов, тетрагидрофурана, толуола, хлороформа, *N,N*-диметилформамида и других. Использование различных активных сред позволило авторам контролировать процессы самосборки и создавать необычные наноструктурированные арт-объекты: от шестигранных головок болтов до морских звезд и цветочных лепестков. Идентификацию продуктов синтеза они проводили с помощью сканирующей электронной микроскопии (см. рис.), просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции.



Изображения нанообъектов, полученных в результате испарения раствора фуллеренов C₆₀ в сероуглероде в атмосфере: а - этанола, б - тетрагидрофурана, в - *N,N*-диметилформамида и г - триэтиламина.

Авторы отмечают, что механизмы воздействия активной среды растворителя на морфологию синтезируемых объектов пока не совсем ясны, однако рассчитывают, что предложенная ими методика получения наноструктур на основе фуллеренов C₆₀ окажется эффективной и для контролируемой самосборки других функциональных органических молекул.

М. Маслов

1. X. Zang and X.-D. Li, *Chin. Chem. Lett.* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccl.2014.03.041>

Премия имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Продолжается прием работ на конкурс на соискание Премии имени А.Ф. Иоффе, присуждаемой за выдающиеся работы в области физики.

Срок представления работ – до **11 августа 2014 г.**

Положение о Премии и перечень требуемых документов по адресу:

<http://ras.ru/news/shownews.aspx?id=b3bfaa9c-e79a-4ac0-8152-f7b39eb90279#content>

Справки по телефону: (499)237-99-33

КОНФЕРЕНЦИИ

Третий международный молодежный симпозиум “Физика бесвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития)” “Physics of Lead-Free Piezoelectric and Related Materials (Analysis of Current State and Prospects of Development)”, LFPM- 2014, 2-6 сентября 2014 г., Ростов-на-Дону – п. Южный

Тематика:

Секция 1. Физические основы создания бесвинцовых материалов с экстремальными электрическими, магнитными, упругими и др. характеристиками.

Секция 2. Свойства электродинамически активных бесвинцовых материалов в различных твердотельных состояниях (моно-, поликристаллы, керамика, дисперсионно-кристаллические порошки, тонкие пленки, гетероструктуры, интерфейсы, “сэндвич”-системы, метаматериалы, композиты, статистические смеси, квантовые системы и пр.): фазовые состояния, кристаллическая и электронная структуры, макроскопические отклики, поверхностные явления.

Секция 3. Нетривиальные взаимодействия между магнитной, электрической и тороидальной (вихревой) подсистемами в бесвинцовых магнитоэлектрических материалах: фазовые переходы (включая индуцированные высоким давлением), физические свойства, “эко”-дизайн полифункциональных сред.

Секция 4. Наноструктурированные функциональные материалы, в том числе, типа “оболочка-ядро” (“core-shell”) с участием наночастиц. Мезоскопически неоднородные многокомпонентные системы с ян-теллеровскими ионами.

Секция 5. Преобразователи и функциональные электронные устройства (моделирование, конструирование, применение) на основе бесвинцовых материалов.

Секция 6. Экологические проблемы современной материаловедения.

E-mail: org.lfpm@gmail.com

Web: <http://ip.sfedu.ru/>

XVII Международный междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-17), 5-10 сентября 2014 г., Ростов-на-Дону – п. Южный

Тематика:

1. Упорядочения в сложных оксидах — проблемы кристаллохимии.
2. Упорядочения в нестехиометрических оксидах. Проблемы фазовых переходов в сильно коррелированных системах.
3. Магнитные упорядочения в сложных оксидах. Проблемы создания композитных магнитоэлектриков. Природа гигантского магнитосопротивления.
4. Эффекты памяти формы в магнитоупорядоченных материалах.
5. Дальний и ближний порядок в упорядочивающихся сериях твердых растворов, сплавов, композитных материалов и минералов.
6. Суперионная проводимость и структура оксидов. Релаксационные процессы в сегнетоэлектрических кристаллах и керамиках.
7. Процессы кристаллизации и получение наноструктурированных тонких пленок. Фазовые переходы в пленках и размерные эффекты.
8. Фазовые переходы как инструмент активации каталитической активности оксидов 3d-металлов.
9. Магнито- и электрокалорический эффекты. Равновесные и неравновесные состояния в сложных оксидах. Проблемы электро- и теплопроводности веществ при условиях фазового перехода.

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Web: <http://odpo-conference.ru/>

XVII Международный междисциплинарный симпозиум “Упорядочение в минералах и сплавах” (OMA-17), 10-15 сентября 2014 г., Ростов-на-Дону – п. Южный

Тематика:

1. Упорядочения в сплавах и сложных оксидах металлов.
2. Дальний и ближний порядок в упорядочивающихся сериях твердых растворов. Наноструктурированные материалы.
3. Явления атомного упорядочения и проблемы минералогии.
4. Фазовые превращения при высоких и сверхвысоких давлениях.
5. Порядок-беспорядок и магнитные свойства сплавов, твердых растворов, минералов.

6. Антифазные домены в упорядочивающихся сплавах и их роль в формировании свойств сплавов.
7. Проблемы упорядочения во фрагментах структуры.
8. Фазовые переходы в сильно коррелированных системах.
9. Физические аспекты контактного плавления. Свойства и природа эвтектик.

E-mail: org.oma.odpo@gmail.com

Web: <http://oma-conference.ru/>

Четвертый международный междисциплинарный симпозиум “Физика низкоразмерных систем и поверхностей” Low Dimensional Systems (LDS-4), 15-19 сентября 2014 г., Ростов-на-Дону - п. Южный

Тематика:

- Секция 1. Тонкие пленки и слоевые покрытия (молекулярная и газовая эпитаксия).
- Секция 2. Методы исследования структуры, состава и характеристики свойств поверхностей и тонких пленок (диэлектрики, в том числе сложные оксиды, металлы и сплавы, интерметаллиды, полупроводники).
- Секция 3. Реконструкция и релаксация поверхностей объемных материалов и микронных слоевых систем.
- Секция 4. Твердофазные реакции в пленках и слоевых покрытиях, межфазные границы (состав, структура, адсорбция, десорбция)
- Секция 5. Поверхностные фазы. Фазовые диаграммы. Контактные явления: равновесное и неравновесное плавление.
- Секция 6. Низкоразмерные магнитные системы, отражение и поглощение, резонансное поглощение в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне.
- Секция 7. Жидкокристаллические материалы. Фазы, их структура, фазовые диаграммы, свойства жидкокристаллических фаз.

E-mail: org.lds@gmail.com

Web: <http://ip.sfedu.ru/>

Четвертый международный междисциплинарный симпозиум “Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы” (ФПЯ и ФП) “Physics of surface phenomena, interfaces boundaries and phase transitions” (PSP & PT), 16-21 сентября 2014 г., г. Нальчик – п. Южный

Тематика:

- Секция 1. Физика и химия поверхностных свойств конденсированных сред (фаз). Строение и состав поверхностного слоя, размерные эффекты. Фазовые переходы и поверхностные фазы.
- Секция 2. Теплофизические свойства конденсированных фаз (веществ). Диаграммы состояний. Закономерности формирования сплавов эвтектического типа. Физические аспекты контактного плавления. Низкоразмерные фазовые переходы (плавление, кристаллизация).
- Секция 3. Структура и физико-химические свойства шлаковых расплавов. Физика и химия высокодисперсных систем.
- Секция 4. Плотность и поверхностные свойства многокомпонентных металлических систем, включая щелочные металлы, их приложения.
- Секция 5. Компьютерное моделирование процессов образования новых фаз и фазовых переходов.
- Секция 6. Теория и моделирование в области поверхностных явлений и нанотехнологии: самоорганизация в низкоразмерных структурах; кластеры, нанотрубки и пористые материалы.
- Секция 7. Оптические свойства наноразмерных структур: спектроскопия, люминесценция, комбинационное рассеяние в нанокристаллах.
- Секция 8. Биоматериалы, вирусы и живые клетки: механические, адгезионные и осмотические свойства, гидрофобные и супергидрофобные поверхности.

E-mail: org.pspt@gmail.com

Web: <http://ip.sfedu.ru/>, <http://www.kbsu.ru>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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