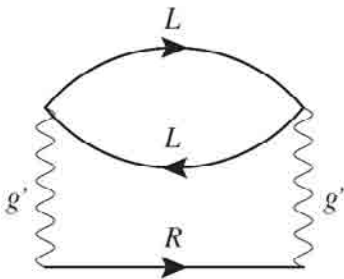


В этом выпуске:

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Фермионы в одномерии: ни Ферми, ни Латтинджер

Для теоретического описания систем взаимодействующих фермионов (электронов в твердых телах, атомов в жидком гелии-3 и пр.) используется теория ферми-жидкости, которая основана на предположении Ландау о том, что основное состояние таких систем и их низкоэнергетические возбуждения адиабатически связаны с соответствующими состояниями невзаимодействующего ферми-газа. Если межчастичные взаимодействия не слишком велики, то эта гипотеза служит основанием для построения теории возмущений по силе взаимодействия. В одномерии модель жидкости Ферми уступает место модели жидкости Томонаги-Латтинжера, в которой фермиевская ступенька отсутствует, квазичастиц Ландау нет, а теория возмущений не работает. В недавней статье [1] (ИТПЭ РАН, Москва) показано, что 1D фермионы могут образовывать специфическое состояние, отличающееся и от ферми-жидкости, и от жидкости Томонаги-Латтинжера. С одной стороны, квазичастицы в этом состоянии отсутствуют (как у Томонаги-Латтинжера), а с другой – числа заполнения на уровне Ферми изменяются скачком (как у Ферми). Эту помесь Ферми с Томонагой-Латтинджером автор называет квазифермиевской жидкостью. Для ее экспериментальной регистрации можно попробовать использовать холодные ферми-атомы в одномерной оптической ловушке.



Фейнмановская диаграмма для собственной энергии фермионов в квазифермиевской жидкости.

Л.Опенев

1. A.V.Rozhkov, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 106403 (2014).

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### Изотропные провода Bi-2212 для магнитных систем

Несмотря на большие надежды, которые первоначально возлагались на открытые около 30 лет назад купратные ВТСП, они до сих пор не могут вытеснить обычные низкотемпературные сверхпроводники NbTi и Nb<sub>3</sub>Sn с рынка сверхпроводящих проводов для сильных магнитов, использующихся в ЯМР-томографах, ускорителях и пр. Дело в том, что в поликристаллических ВТСП-проводах критическая плотность тока оказывается очень низкой из-за хаотически ориентированных межзеренных границ, а ВТСП-ленты второго поколения сложны в производстве и сильно анизотропны, что ограничивает их применение в обмотках магнитов. В работе [1] (США, Швейцария) сделан существенный шаг вперед. Изготовлены многоволоконные ВТСП-провода Bi-2212 с круглым поперечным сечением и  $j_c = 2.5 \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup> при  $T = 4.2$  К и  $H = 20$  Тл.

И далее ...

- 2 Псевдощель и угловые флуктуации многокомпонентного параметра порядка в купратах

Вторая родительская фаза  
в оксопниктидах

## ГРАФЕН

- 3 Графеновые наноленты и благородные металлы

Термоэлектрические свойства  
графена

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 4 Наноалмазы в шёлковом одеянии

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

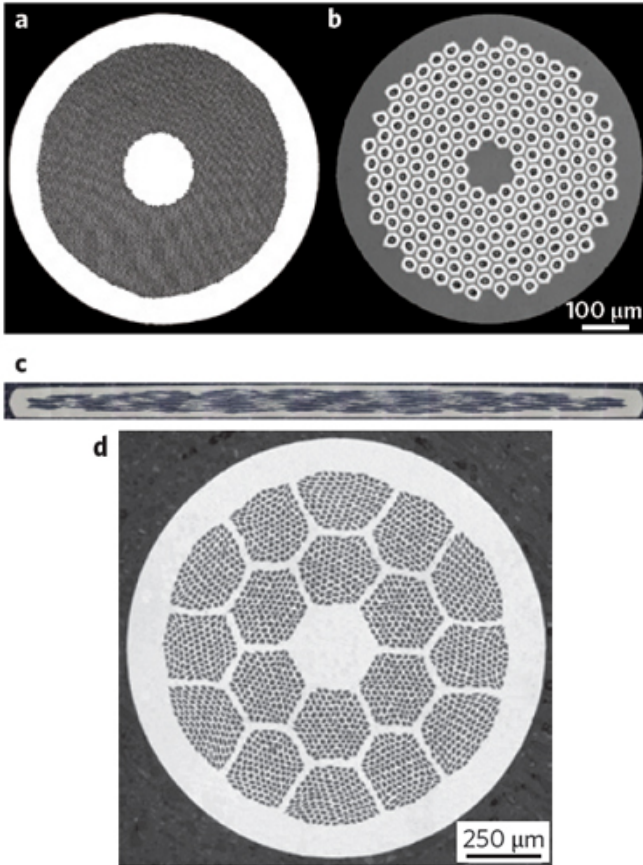
- 5 Как обмануть Посейдона

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 Научная сессия ОФН РАН "Кое-что из физики для медицины", 23 апреля 2014 года

VI Байкальская международная конференция "Магнитные материалы. Новые технологии", 19 – 23 августа 2014 г. п. Большое Голоустное, Иркутск, Россия

- 7 International Nano-Optoelectronic Workshop (iNOW-2014) 10 - 22 August 2014, St. Petersburg, Russia



Примеры сверхпроводящих проводов:  
*a* - с волокнами NbTi, *b* - с волокнами Nb<sub>3</sub>Sn, *c* - лента Bi-2223, *d* - с волокнами Bi-2212 [1].

Успеху способствовала термообработка при высоком давлении, что приводило к увеличению плотности расплавленного порошка и связности зерен. Из таких проводов изготовлена катушка, генерирующая поле  $H = 2.6$  Тл в фоновом поле 31 Тл. Из-за гелиевых рабочих температур язык не поворачивается назвать такую катушку “высокотемпературной сверхпроводящей”, скорее – “высокополевой”. Но и это неплохо.

Л.Опенюв

1. D.C.Larbalestier et al., *Nature Mater.* **13**, 375 (2014).

### Псевдощель и угловые флуктуации многокомпонентного параметра порядка в купратах

При уменьшении концентрации дырочных носителей заряда ниже оптимального (для сверхпроводимости) уровня в купратных ВТСП возникает псевдощель. Существует два различных подхода к объяснению причины появления псевдощели: одни связывают ее со сверхпроводящими флуктуациями (некоррелированные куперовские пары), а другие – с конкурирующим порядком (зарядовым или магнитным). В работе [1] (Канада, США) предпринята попытка объединить эти подходы. Авторы рассматривают три комплексных параметра порядка (один сверхпроводящий и два зарядовых) и показывают, что учет угловых флуктуаций результирующего

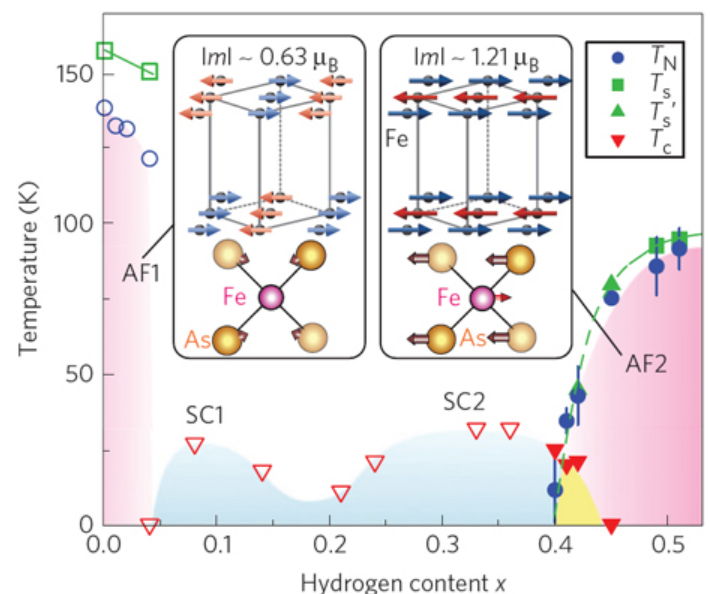
6-компонентного параметра позволяет количественно описать эксперименты по исследованию волны зарядовой плотности в недопированном ВТСП Y-123 и по диамагнетизму ВТСП выше  $T_c$ . В дальнейшем модель предполагается расширить на предмет учета спиновых корреляций.

Л.Опенюв

1. L.E.Hayward et al., *Science* **343**, 1336 (2014).

### Вторая родительская фаза в оксопниктидах

Сверхпроводимость купратных и безмедных ВТСП возникает при добавлении носителей заряда (электронов или дырок) в “родительскую” антиферромагнитную фазу. При этом критическая температура  $T_c$  увеличивается с ростом концентрации носителей  $x$ , проходит через максимум при некоторой оптимальной величине  $x_0$  и вновь уменьшается, то есть зависимость  $T_c(x)$  имеет куполообразную форму. В работе [1] было обнаружено, что в оксопниктиде LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub> имеется два таких купола, отвечающих различным сверхпроводящим фазам: SC1 ( $x_0 \approx 0.1$ ,  $T_c^{\max} = 26$  K) и SC2 ( $x_0 \approx 0.35$ ,  $T_c^{\max} = 36$  K). Для SC1 родительской фазой является недопированный антиферромагнетик с  $x = 0$  (AF1). А какая родительская фаза у SC2? В работе [2] на основании данных мюонной спектроскопии и дифракции нейтронов сделан вывод, что это – фаза с  $x = 0.5$  (AF2). Она тоже антиферромагнитная, но отличается от AF1 характером взаимной ориентации магнитных моментов атомов меди, их величиной, типом структуры, температурой Нееля, разницей между температурой Нееля и температурой структурного перехода орто-тетра, а также низкотемпературным поведением удельного сопротивления (оно в AF2 нефермижидкостное). Кроме того, в этой фазе сверхпроводимость и антиферромагнетизм могут сосуществовать (см. рис.).



Магнитная, структурная и сверхпроводящая фазовая диаграмма LaFeAsO<sub>1-x</sub>H<sub>x</sub>.

Как же может получиться, что родительской оказывается сильно допированная фаза? Дело в том, что если увеличение  $x$  от нуля соответствует электронному допированию, то уменьшение  $x$  ниже 0.5 – дырочному, поскольку из-за многозонности электронной структуры пниктида  $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$  при  $x = 0.5$  в нем нет дырок. Поэтому фаза AF2 оказывается родительской “с дырочной точки зрения”. Интересно, что оптимальная концентрация дырок ( $\approx 0.15$ ) при этом такая же, как в купратах. Представляет интерес детальнее изучить область перехода от SC1 к SC2 при  $x \approx 0.2$  (см. рис.).

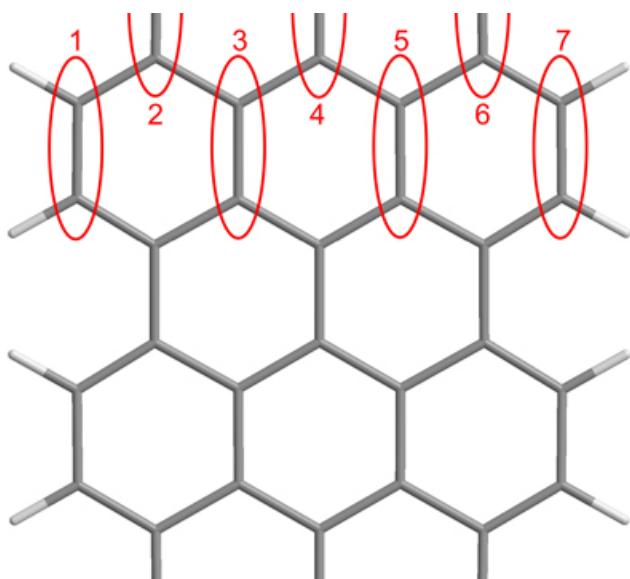
*Л. Опенов*

1. S. Iimura et al., *Nature Commun.* **3**, 943 (2012).
2. M. Hiraishi et al., *Nature Phys.* **10**, 300 (2014).

## ГРАФЕН

### Графеновые наноленты и благородные металлы

Графеновые наноленты часто рассматриваются в литературе в качестве базовых компонентов будущей нанoeлектроники. Одним из преимуществ их использования является зависимость электронных свойств от характерных размеров наноленты, геометрии краев и типа функциональных групп – допантов (при их наличии). В частности, известно, что диэлектрическая щель графеновой наноленты с краями кресельного типа (AGNR – graphene nanoribbon with armchair edges) непосредственно зависит от ее ширины. Согласно одной из используемых классификаций ширина определяется числом характеристических углеродных димеров  $N$  (см. рис.), при этом соответствующая нанолента обозначается  $N$ -AGNR.



Фрагмент пассивированной водородом графеновой наноленты с краями кресельного типа 7-AGNR.

Установлено, что  $N$ -AGNR с  $N$  отличным от  $(3p+2)$ , где  $p$  – целое неотрицательное число, обладают значительной диэлектрической щелью. При этом, согласно уже проведенным теоретическим

исследованием, NR с  $N$  равным  $(3p+1)$  обладают большей запрещенной зоной, чем с  $N$  равным  $3p$ . В случае же  $N = (3p+2)$  диэлектрическая щель достаточно узкая, и такие наноленты являются практически бесщелевыми полупроводниками. В работе [1] авторы детально рассмотрели влияние благородных металлов на электронные свойства семейства кресельных графеновых нанолент. В качестве объектов исследования они выбрали пассивированные водородом 7-, 9-, 11- и 15-AGNR на подложках Ag(111) и Au(111). Все расчеты исследователи проводили в рамках теории функционала плотности с помощью программного пакета VASP. Определив плотности электронных состояний, они установили, что влияние серебряных и золотых подложек заключается в уменьшении величины диэлектрической щели по сравнению со свободными нанолентами (в случае 11-AGNR/Ag(111) щель исчезает полностью). Однако взаимодействие наноленты с подложкой Au(111) достаточно слабое, поэтому все характерные особенности плотности электронных состояний свободной AGNR сохраняются и для случая AGNR/Au(111). В заключение авторы отмечают, что полученные ими результаты согласуются с имеющимися в литературе экспериментальными данными. Возможно, удачный подбор материала подложки станет еще одним эффективным механизмом тонкой настройки электронных свойств такого перспективного объекта как графен.

*М. Маслов*

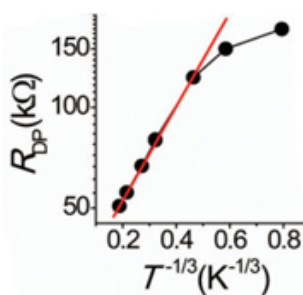
1. L.E.M. Steinkasserer et al., *Chem. Phys. Lett.* **597**, 148 (2014).

### Термоэлектрические свойства графена

Уже вскоре после открытия графена было обращено внимание на возможность существования в этом материале термоэлектрического эффекта, представляющего собой прямое преобразование тепловой энергии в электрическую. Показателем эффективности такого преобразования служит величина термоэдс  $S$ , которую иногда называют коэффициентом Зеебека. Этот параметр является коэффициентом пропорциональности между градиентом температуры и напряженностью электрического поля, вызванного этим градиентом. Типичная величина параметра  $S$  для графена, полученного методом механического расщипывания графита, составляет  $\sim 100$  мкВ/К. Однако указанный метод вряд ли может быть использован для приложений, требующих большие количества графена. Более производительным и практичным подходом к получению графена в макроскопических количествах является метод химического осаждения паров (CVD), который лежит в основе промышленного синтеза многих наноматериалов. Поэтому величина термоэдс для образцов графена, полученных указанным методом, представляет не только научный, но также практический интерес. В работе [1] исследователя-

ми Seoul National Univ. (Корея) и Chalmers Univ. of Technology (Гетеборг, Швеция) проведены детальные измерения этого параметра в зависимости от концентрации носителей тока, температуры и напряженности магнитного поля.

Образцы графена большой площади, синтезированные на медной фольге стандартным методом CVD, переносили на кремниевую подложку, покрытую слоем SiO<sub>2</sub> толщиной 300 нм. На этих образцах выбирали участки размером 10×50 мкм, свободные от дефектов и загрязнений, для проведения холловских измерений и измерений термоэдс. Наряду с измерениями термоэдс в стационарном режиме измеряли электрическое сопротивление образцов четырехзондовым методом. Измерения показали, что зависимость сопротивления образцов графена от напряжения смещения имеет максимум при напряжении 7.7 В, соответствующем точке Дирака. Температурная зависимость максимальной величины сопротивления показана на рисунке. Как видно, в широкой области изменения температуры данная зависимость, выраженная в координатах  $\ln R - T^{-1/3}$ , представляет собой прямую линию, что указывает на двумерный прыжковый механизм проводимости с переменной длиной пробега. В рамках этого механизма предполагается, что проводящие участки графена перемежаются с тонкими непроводящими областями, так что переход электронов из одной проводящей области в другую происходит в результате туннелирования. При этом восстановленная на основании холловских измерений подвижность электронов составила при температуре 150 К весьма скромную величину – 650 см<sup>2</sup>/Вс.



Температурная зависимость максимального сопротивления

Величина и знак термоэдс графена зависят от типа носителей и от величины и знака напряжения смещения. Так, компонента этого параметра  $S_{xx}$ , для которой направление электрического поля совпадает с направлением градиента температуры, имеет положительный знак в случае, если перенос заряда осуществляется дырками, и отрицательный знак в случае преобладания электронного переноса заряда. Это подтверждается результатами измерений, согласно которым в области относительно высоких температур зависимость параметра  $S_{xx}$  от напряжения смещения представляет собой нечетную функцию с нулем в точке Дирака. Однако, не-

однородная структура графеновых листов, использованных в эксперименте, делает описанную картину более запутанной. В частности, зависимость термоэдс от напряжения смещения проявляет гистерезис, то есть характер зависимости определяется тем, увеличивается или уменьшается напряжение смещения.

При наложении магнитного поля с индукцией 13 Тл возникает поперечная (холловская) составляющая электрического поля, обусловленного температурным градиентом. При этом зависимость соответствующей величины термоэдс  $S_{xy}$  от напряжения смещения имеет симметричный вид относительно точки Дирака.

*А. Елецкий*

*I. Y.Nam et al., Appl. Phys. Lett. 104, 021902 (2014).*

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### *Наноалмазы в шёлковом одеянии*

Наноалмазы уже довольно давно используют в медицине для доставки лекарств, флуоресцентного мониторинга, в качестве биосенсоров [1]. Они биосовместимы, имеют высокую удельную поверхность и потому могут адсорбировать различные вещества, (например, лекарственные препараты); их поверхность можно функционализировать. Флуоресценция обусловлена наличием (или созданием, например, с помощью облучения) определенных дефектов. Так называемый NV<sup>-</sup>центр – дефект кристаллической структуры, состоящий из атома азота, замещающего атом углерода, и близко расположенной и связанной с атомом азота вакансии. В отличие от других флуорофоров наноалмазы с NV<sup>-</sup>центрами обладают очень высокой фотостабильностью. Поскольку существует вероятность повреждения наноалмазами клеточных мембран, разрабатывают различные покрытия. Недавние исследования австралийских и американских ученых показали, что перспективным материалом для этого является натуральный шёлк [2]. Его волокна, состоящие из белков фиброинов, с давних пор применяют в медицине [3]. Пленки на основе фиброинов – биосовместимые и биоразлагаемые. Авторы работы [2] создали новый гибридный наноматериал, который не просто объединяет, но и заметно усиливает полезные свойства и наноалмазов, и шёлка.

В экспериментах использовали шёлк из оболочки кокона тутового шелкопряда и коммерческие наноалмазы размером ~ 45 нм. Наноалмазы были получены размельчением алмазов, синтезированных при высоких температурах и давлениях. Образцы для повышения концентрации дефектов не облучали; флуоресценцию изучали на естественных NV<sup>-</sup>центрах.

Шелковые пленки с наноалмазами осаждали из смеси взвеси наноалмазов в воде (0.4 мг/мл) и водного раствора фиброинов (6 вес.%). На рис. 1 схематически показано возникновение красной флуоресценции ( $\lambda \sim 637$  нм) при возбуждении зеленым лазером ( $\lambda \sim 532$  нм).

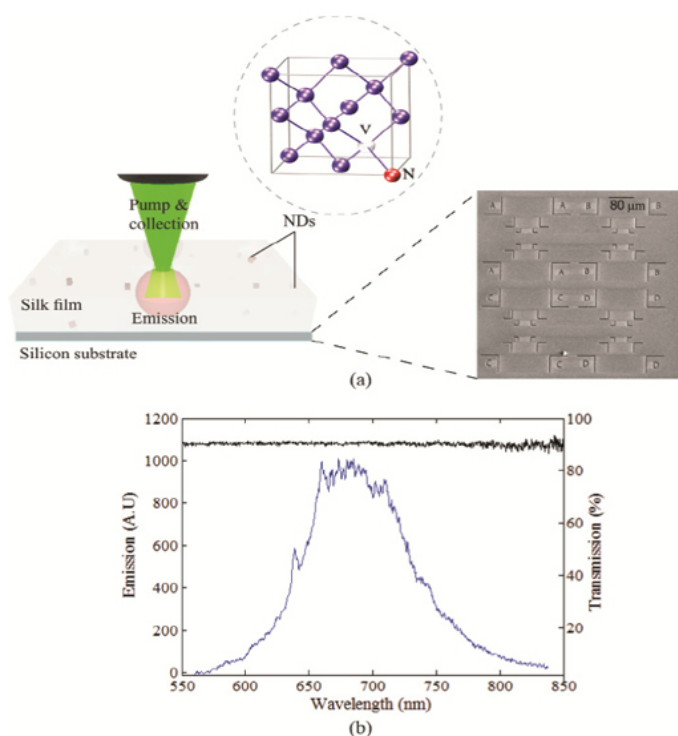


Рис. 1. *a* - Флуоресценция наноалмазов (ND), покрытых шелком (на Si-подложке). Показана модель NV-центра. Справа – SEM изображение Si-подложки, размеченной для идентификации ND после нанесения шелкового покрытия.

*b* - Спектр эмиссии отдельного NV-центра (синий) при комнатной температуре и спектр пропускания шелка (черный).

Исследования оптических свойств показали, что пленки нового наноматериала обладают высокой прозрачностью в видимом и ИК диапазонах. Более того, яркость свечения наноалмазов, закутанных в шелк, повысилась в 2-4 раза по отношению к яркости на воздухе (измерения проводили для 11 отдельных NV-центров).

На экспериментах *in vivo* ученые убедились, что шелковые пленки с наноалмазами нетоксичны. Через две недели после имплантации такой пленки в ткань мышцы воспалительных откликов в слое подкожной жировой ткани, окружающей имплантат, не наблюдали (рис. 2).

Авторы исследования ожидают, что созданный ими биосовместимый, нетоксичный, чрезвычайно прозрачный, гибкий нанокомпозит с фотостабильной эмиссией при комнатной температуре будет широко применяться для создания высокочувствительных биосенсоров, контролируемой целевой доставки препаратов, дозированного выделения антибиотиков при контролируемой деградации имплантированной пленки и др.

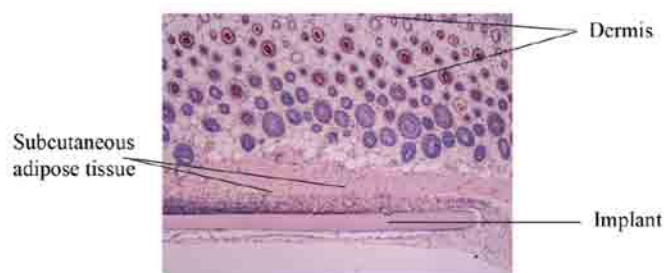
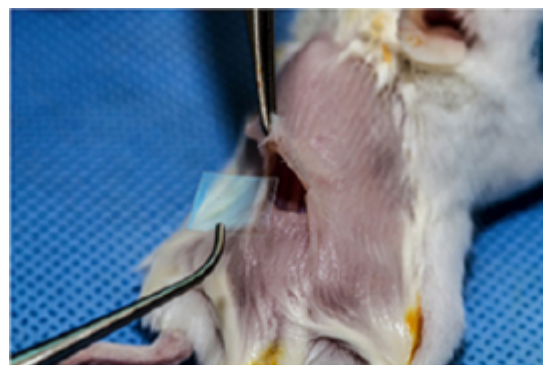


Рис. 2. Вверху – введение пленки в ткань мышцы. Внизу – гистологическое изображение ткани через две недели. Показаны кожа, слой подкожной жировой ткани и имплантированный нанокомпозит.

О.Алексеева

1. B.C. Бондарь *и др.*, *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* **6**, 163 (2013).
2. A. Khalid *et al.*, *Biomed. Optics Express* **5**, 596 (2014).
3. E.M. Pritchard *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **23**(7), 854 (2013).

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Как обмануть Посейдона

Группа исследователей из Aix-Marseille Univ. (Франция) совместно со строительной компанией Ménard (Франция) [1] создали периодическую структуру, способную отводить в сторону сейсмические волны. Едва ли не впервые (если не считать хитроумного Одиссея) человек бросает вызов могущественной силе природы, с древних времен олицетворяемой “колебателем земли” Посейдоном.

Данная структура подобна фотонному кристаллу – материалу с пространственной модуляцией показателя преломления, период которой сравним с длиной волны света. На таких структурах наблюдается брэгговская дифракция и образование фотонных запрещенных зон. Акустические аналоги – фононные кристаллы, рассчитаны уже на длины волн звука, разновидностью которых являются упругие волны, распространяющиеся в земной коре. Среди сейсмических волн наибольшую опасность представляют поверхностные волны Рэлея, поскольку из-за малой скорости распространения их длина (~1 м) сопоставима с характерными размерами строительных конструкций. Волны Рэлея могут быть и антропогенного происхождения – кузнечный молот или сваебойный копер на близком

расстоянии тоже создают чувствительные сотрясения грунта, которых хотелось бы избежать. Поскольку Ménard специализируется на укреплении фундаментов зданий, то интерес компании к такого рода разработкам вполне объясним (особенно если учесть, что при проведении работ по уплотнению почвы они сами выступают в роли “колебателя земли”).

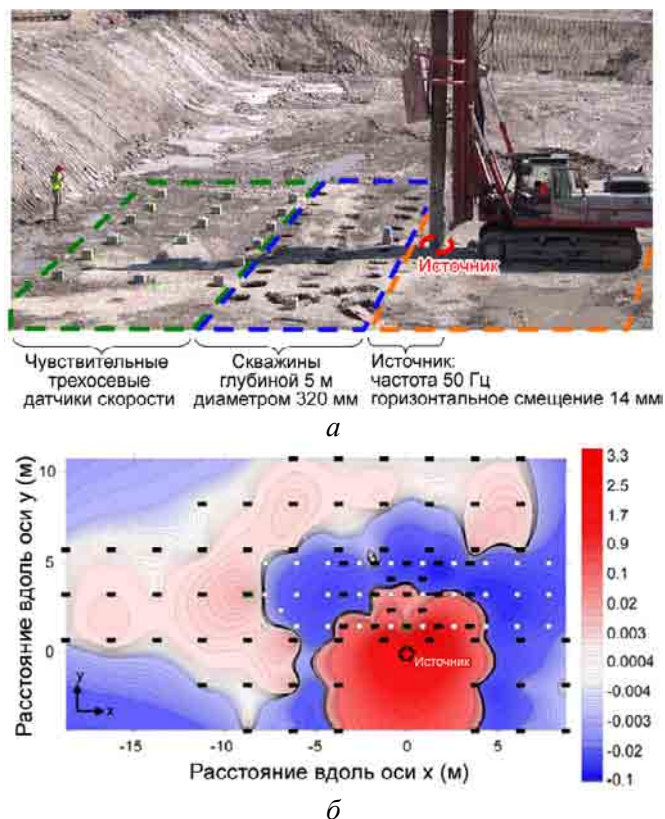


Рис. 1. Сейсмический кристалл: *а* - натурный эксперимент; *б* - картина распределения энергии сейсмических волн на местности: цветом показана разность энергии колебаний после и до бурения скважин. Белыми кружками обозначены скважины, черными прямоугольниками – датчики скорости.

Для испытаний исследователи и инженеры выбрали глиняную площадку, в которой проделали три ряда скважин пятиметровой глубины и расставили множество трехосевых датчиков скорости (рис. 1а). Сейсмические волны создавали искусственно на частоте 50 Гц. Результат дифракции волн на скважинах можно видеть на рис. 1б: усиление интенсивности вблизи источника и пятикратное уменьшение энергии колебаний в области расположения скважин. Такой способ борьбы с сейсмическими волнами оказывается гораздо более экономичным и более эффективным, чем традиционное рытье траншей, но он страдает тем же недостатком, что и большинство метаматериалов – рассчитан на монохроматические источники, редко встречающиеся в природе.

Авторы [1], тем не менее, надеются, что с большим количеством скважин удастся увеличить запрещенную зону и расширить диапазон рабочих частот. С

помощью данного принципа можно будет создавать каналы для отвода энергии сейсмических волн и даже для использования ее в мирных целях. Пожалуй, от супервулкана “сейсмические кристаллы” нас не спасут, но, может быть, мир станет хоть чуточку спокойнее и безопаснее.

*А. Пятаков*

*1. S. Brûlé et al., Phys. Rev. Lett. 112, 133901 (2014).*

## КОНФЕРЕНЦИИ

### Научная сессия ОФН РАН “Кое-что из физики для медицины”, 23 апреля 2014 года

(14-00, конференц-зал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, Главное здание, 3-й этаж)

#### Программа

- д.м.н. **С.А. Румянцев** (ФНКЦ ДГОИ)  
Трансляционная медицина как основа прогресса в гематологии/онкологии
- д.ф.-м.н. **С.В. Акулиничев** (Институт ядерных исследований РАН)  
Перспективные исследования по ядерной медицине в ИЯИ РАН
- к.ф.-м.н. **П.И. Никитин** (Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН)  
Биосенсорика: новые возможности безмаркерных оптических методов и магнитных наночастиц для медицинской диагностики
- д.ф.-м.н. **С.С. Алимпиев**, к.ф.-м.н. **С.М. Никифоров**, к.х.н. **А.А. Гречников** (Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН)  
Новые подходы в лазерной масс-спектрометрии органических объектов

Web: [http://www.gpad.ac.ru/prog/sessions/session14\\_04\\_23.htm](http://www.gpad.ac.ru/prog/sessions/session14_04_23.htm)

### VI Байкальская международная конференция “Магнитные материалы. Новые технологии”, 19 – 23 августа 2014 г., п. Большое Голоустное, Иркутск, Россия

#### Тематика конференции

- Материалы для магнитной записи.
- Магнитомягкие материалы.
- Магнитожесткие материалы.
- Наномагнетизм и наноструктуры.
- Мультиферроики.
- Магнитные домены, доменные границы, процессы перемагничивания.
- Магнитооптические явления.
- Явления переноса, гигантское магнитосопротивление, гигантский магнитоимпеданс.

9. Магнитная анизотропия, магнитострикция, магнитоупругие явления.
10. Методы и методики проведения измерений магнитных параметров.
11. Современные технологии получения материалов.
12. Методы преподавания дисциплин технологии материалов.

#### **Ключевые даты**

Отправка заявок на участие в конференции и тезисов докладов до **15 июня 2014 г.**

Заявки на участие в конференции (регистрация) оформляются on-line:

<http://www.bicmm.isu.ru/reg.html>

E-mail: [conf@physdep.isu.ru](mailto:conf@physdep.isu.ru)

Сайт: <http://www.bicmm.isu.ru/>

### ***International Nano-Optoelectronic Workshop (iNOW-2014) 10 - 22 August 2014, St. Petersburg, Russia***

Similar to previous iNOWs, the workshop features tutorial-style talks, poster sessions for students, rump sessions and ample time for interaction and discussions in beautiful surroundings. This time, the last working days of iNOW will be combined with the special event - the Nobel Price Meeting, where all participants will have an opportunity to attend the Nobel lectures related to our field.

#### *Topics*

- Growth of Nanostructures
- Quantum Dots and Nanowires
- Photonic Crystals
- Single Photonic Devices
- Plasmonics and Left-handed Materials
- Quantum Well, Quantum Dot and Quantum Cascade Lasers
- Nanolasers
- Solar Cells
- Widegap Materials and Devices
- Integrated Photonic Circuits
- High-speed Lasers and Detectors
- Applications and Systems
- Photonic Devices for Life sciences and Environment

#### *Important dates:*

**12.05.2014** Registration on-line

**12.05.2014** Registration fee wired to Alferov Foundation

**09.06.2014** Abstract Submission

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.Маслов,  
Л.Опенков, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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