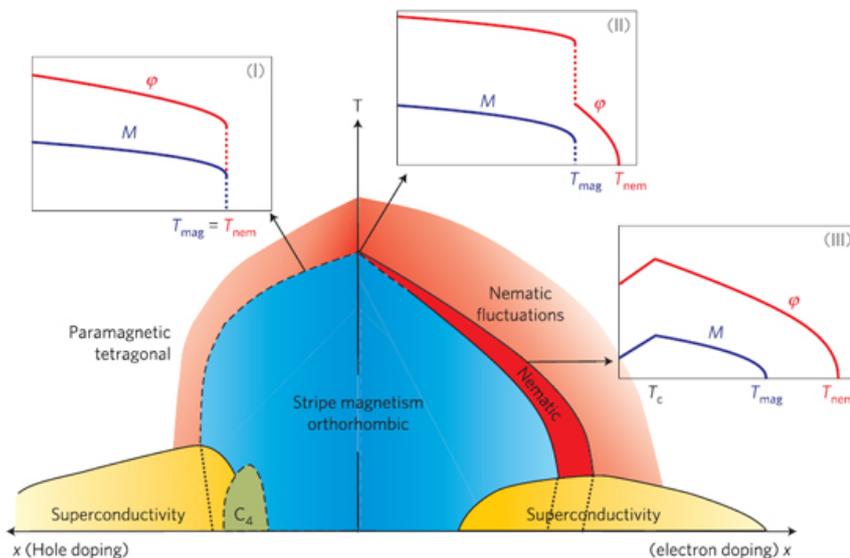


В этом выпуске:

## СВЕРХПРОВОДНИКИ

### О нематичности безмедных ВТСП

При охлаждении железосодержащих безмедных ВТСП до некоторой температуры  $T_{nem}$  в них формируется нематический порядок: эквивалентность направлений  $x$  и  $y$  спонтанно нарушается, и вращательная точечная группа симметрии из тетрагональной становится орторомбической (симметрия относительно обращения времени при этом сохраняется). В зависимости от типа допирования (электронное или дырочное) величина  $T_{nem}$  либо равна температуре перехода в магнитоупорядоченное состояние  $T_{mag}$ , либо чуть больше ее (см. рис.).



Схематическое изображение фазовой диаграммы пниктидов железа семейства  $VaFe_2As_2$ . На вставках – температурные зависимости нематического и магнитного параметров порядка в разных участках диаграммы.

Причина возникновения нематического порядка пока однозначно не установлена. Он может быть следствием, как структурного перехода, так и электронной неустойчивости (орбитальной или спиновой). В обзорной статье [1] (США, Германия) на основании детального анализа большой совокупности экспериментальных данных сделан вывод об электронной природе нематичности пниктидов. Спаривание носителей за счет обмена нематическими флуктуациями авторы считают маловероятным. Но такие флуктуации могут ослаблять электрон-электронное отталкивание и тем самым приводить к увеличению критической температуры.

Л.Опенев

1. R.M.Fernandes et al., *Nature Phys.* **10**, 97 (2014).

И далее ...

- 2 Беспорядок замещения в сверхпроводнике с квантовой критической точкой

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 2 Высокотемпературный лазер...

- 3  $Na_3Bi$  – трехмерный топологический дираковский полуметалл

### ГРАФЕН

- 3 Просеивание ионов и молекул через мембраны из оксида графена

- 4 Ниша для графена

### НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 4 Как защитить наноконтакты от перегрева

Синтез додекаэдрических нанокристаллов золота

### НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 5 Модельные биологические мембраны для изучения цитотоксичности наноматериалов

### СНОВА К ОСНОВАМ

- 6 О летящей капле
- 7 Уточнение массы электрона

### СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- 7 Неувядаемый магнетит

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 8 Надутый водородом фуллерен рискует лопнуть

- 9 КОНФЕРЕНЦИИ

## Беспорядок замещения в сверхпроводнике с квантовой критической точкой

Сверхпроводник  $\text{CeCoIn}_5$  с  $T_c = 2.3$  К близок к магнитной квантовой критической точке (ККТ) – магнитному фазовому переходу при нулевой температуре. В работе [1] (Корея, Китай, Бразилия, США, Россия) изучено влияние частичного замещения  $\text{In}/\text{Cd}$  и давления на поведение  $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x)_5$  в окрестности ККТ. Дефекты  $\text{Cd}_{\text{In}}$  индуцируют дальний магнитный порядок и подавляют сверхпроводимость. С ростом давления дальний порядок исчезает, но локальные магнитные корреляции сохраняются вплоть до ККТ. При этом отсутствуют обычные признаки ККТ (расходимость теплоемкости и линейная температурная зависимость сопротивления), что объясняется неоднородностью электронного состояния из-за наличия остаточных “спиновых капель”. Авторы призывают быть предельно осторожными при интерпретации экспериментов по “подстройке” коррелированных систем к ККТ путем химического замещения.

*I. S. Seo et al., Nature Phys. 10, 120 (2014).*

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

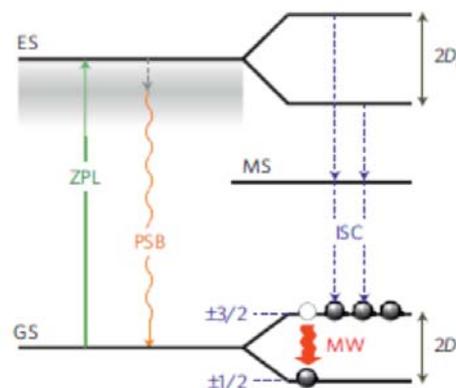
### Высокотемпературный лазер...

... да еще атомного размера – такое, наверное, не значилось ни в одном прогнозном списке достижений будущего. Однако, как оказалось, природа приготовила и такое. Команда физиков из ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург) с коллегами, вначале из Leiden Univ. (Нидерланды) [1], а затем с исследователями из Univ. of Würzburg (Германия) [2] совершила серьезный прорыв в физике квантовых объектов и резко расширила круг их возможных применений.

Кванты существуют независимо от нашего знания о них. А вот приборы, напрямую использующие квантовые свойства, сами не появляются. Для их создания нужно очень многое, не в последнюю очередь – объект, закономерности поведения которого мы знаем и которым можем управлять. Что-то удастся и становится тривиальным – например, лазерные указки. Но многое из задуманного (например, квантовый компьютер) пока недоступно, именно в силу отсутствия объекта, реализующего необходимые качества.

Требования к “кандидатам на выдвиженцы” просты и почти человеческие: объект-кандидат должен быть одновременно в меру независим (изолирован от вредных воздействий), но в то же время надежно управляем. Вначале обратились к атомам, но из-за привычки к неконтролируемым движениям их приходилось сильно охлаждать, да и установки были громоздки. Постепенно находились новые подходящие объекты, чуть менее экзотичные, чем прежние. Сначала перешли к квантовым точкам, благо физика этих объектов переживала расцвет, но

постепенно лидерство перешло к парному дефекту азот-вакансия (NV) в алмазе, и это был еще один шаг к использованию нерукотворных (а значит – и надежных) кирпичиков квантового строительства.



Теперь же (возвратимся к началу) нашелся объект, на котором можно реализовать и лазер, и однофотонный источник света, и квантовый кубит – и, надо полагать, еще многое.

Таким объектом оказалась кремниевая вакансия в карбиде кремния. Важные для приборных применений энергетические уровни этого центра лежат в области прозрачности кристалла, и, значит, к ним можно адресоваться непосредственно, минуя остальные подсистемы кристалла. Основные изотопы кремния и углерода – четны, поэтому ядра этих атомов не имеют спина и, соответственно, не разрушают спиновые состояния электронной подсистемы центра, благодаря чему они имеют аномально большие времена когерентности. Напомним, что именно короткие времена когерентности являются основной причиной головной боли для апологетов спинтроники, а тут – без всякой нанотехнологии, практически готовый кубит, да еще просто в полупроводниковом кристалле, технология которого отработана десятилетиями.

Мало того. Оказалось, природа распорядилась так, что в процессе рекомбинации фотовозбужденных носителей преимущественно заселяется верхний спиновый подуровень (3/2) метастабильного состояния. И достаточно слабой засветки при комнатной температуре (!), чтобы получить когерентное микроволновое излучение, частота которого управляется магнитным полем. Ситуация, удачная до неправдоподобия.

Примечательно, что носителем упомянутых замечательных особенностей является вакансия – т.е. отсутствие атома кремния на своем месте в кристаллической решетке SiC. И, хотя с подобными “квазиобъектами” физика твердого тела имеет дело чуть ли не со своего рождения (вспомним полупроводники *p*-типа), выяснение того, что кроется за отсутствующим атомом кремния потребовало почти десятилетия работ и достаточно специфической экспериментальной техники – оптически детектируемого магнитного резонанса (ODMR).

Подробности можно найти в первоисточниках и в мини-обзоре [3]. Там же найдутся дополнительные ссылки.

М.Компан

1. P.G.Baranov et al., *Phys. Rev. B* **83**, 125203 (2011).
2. D.Riedel et al., *Phys. Rev. Lett.* **109**, 226402 (2012).
3. I.Aharonovich, M.Toth, *Nature Phys.* **10**, 93 (2014).

### *Na<sub>3</sub>Bi – трехмерный топологический дираковский полуметалл*

Открытие графена и топологических диэлектриков стимулировало поиск новых материалов с аналогичными электронными и топологическими характеристиками. В графене – 2D монослое атомов углерода – закон дисперсии электронов в направлениях  $k_x, k_y$  имеет конусообразную форму, то есть является линейным (дираковские фермионы). В топологических диэлектриках нечетное число дираковских фермионов со спиральной спиновой текстурой формируют бесщелевое поверхностное состояние, тогда как в объеме сохраняется запрещенная зона. Возникают вопросы: 1) существуют ли 3D аналоги графена? и 2) только ли диэлектрики могут иметь необычную электронную топологию? Ответ на оба этих вопроса дан в работе [1] (США, Великобритания, Китай), авторы которой экспериментально (фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением) и теоретически (расчеты из первых принципов) исследовали электронную структуру полуметалла Na<sub>3</sub>Bi (рис. 1).

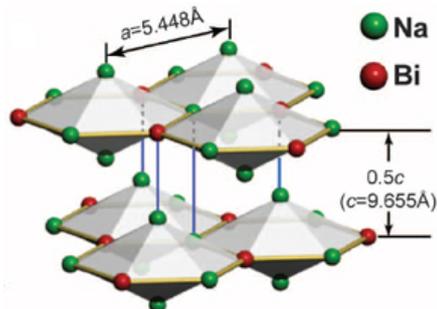


Рис. 1. Кристалл Na<sub>3</sub>Bi образован трехслойными группами Na-(Na/Bi)-Na, повернутыми друг относительно друга на 60°.

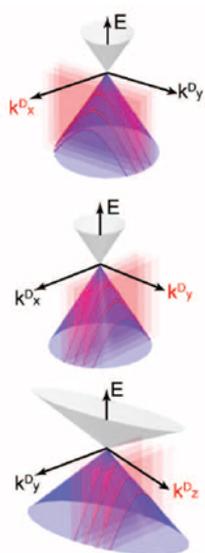


Рис. 2. Дисперсия квазичастиц в Na<sub>3</sub>Bi.

Было установлено, что в этом соединении дираковские фермионы являются трехмерными, то есть имеют линейную дисперсию по всем трем направлениям в импульсном пространстве (рис. 2). Топологическая “защищенность” таких фермионов проявляется в их устойчивости к допированию. Топологические дираковские по-

луметаллы близки к самым различным квантовым состояниям – от обычных зонных диэлектриков до топологических сверхпроводников. Это делает их идеальными кандидатами для систематического изучения топологических квантовых фазовых переходов.

1. Z.K.Liu et al., *Science* **343**, 864 (2014).

### ГРАФЕН

#### *Просеивание ионов и молекул через мембраны из оксида графена*

Мембраны для селективного удаления нежелательных примесей из водных растворов играют важную роль не только в технологиях очистки воды, но и в других областях (датчики, производство энергии и пр.). В работе [1] (Великобритания, Китай) обнаружено, что многослойки микронной толщины из оксида графена эффективно блокируют ионы с гидратным радиусом свыше 0.45 нм (рис. 1, 2), тогда как ионы меньшего радиуса проникают через такие мембраны со скоростью в тысячи раз большей, чем можно было бы ожидать для обычной диффузии.

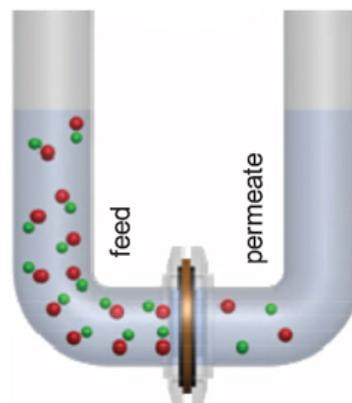


Рис.1. Избирательное проникновение ионов и молекул через мембрану из оксида графена.

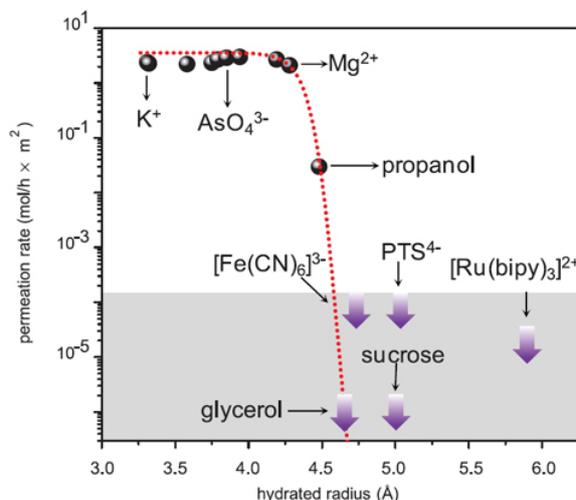


Рис. 2. Скорость проникновения ионов через мембрану из оксида графена определяется их гидратным радиусом.

Авторы связывают это с формированием в гидрированном оксиде графена сетки нанокapилляров,

образованных окисленными и неокисленными кристаллитами. Полученные результаты представляют интерес для биомедицины и фармацевтики.

*1. R.K.Joshi et al., Science 343, 752 (2014).*

### Ниша для графена

Открытие нового материала (или нового класса материалов) часто порождает надежды, что он со временем полностью вытеснит своих предшественников из соответствующих приборов и устройств. Но эти надежды сбываются лишь отчасти. Так было, например, с органическими полупроводниками, которым прочили главенствующую роль в микроэлектронике, а в итоге их применение ограничилось оптоэлектроникой, системами изображения и биологическими интерфейсами (что тоже, впрочем, немало). Похожая ситуация складывается сейчас и с графеном. Не стоит ждать замены всей кремниевой электроники на графеновую – в первую очередь из-за отсутствия в графене запрещенной зоны, что делает графеновые полевые транзисторы (GFETs) непригодными для цифровых устройств. Зато благодаря чрезвычайно высокой подвижности носителей заряда (на два порядка больше, чем в кремнии) GFETs как нельзя лучше подходят для аналоговых высокочастотных устройств гигагерцового диапазона, в том числе мобильных (смартфоны и пр.). Недавно специалисты IBM сообщили о создании графенового СВЧ приемника, работающего на частоте 4.3 Гц [1]. Технология его изготовления полностью совместима с современными промышленными стандартами. Похоже, графен нашел свою нишу (или, по крайней мере, одну из ниш).

*По материалам заметки P.Ball, "Graphene finds its place", Nature Mater. 13, 226 (2014).*

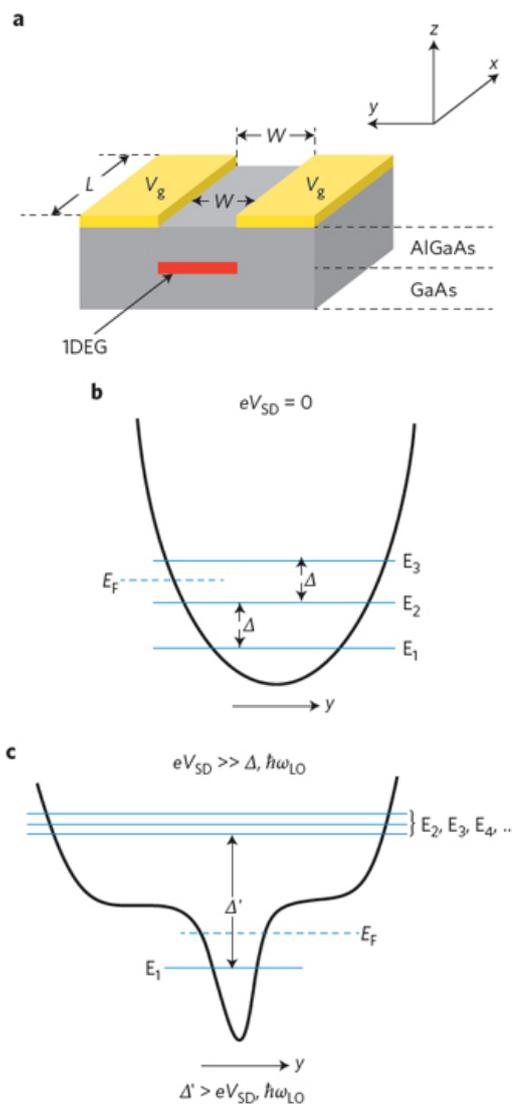
*1. S.-J.Han et al., Nature Commun. 4, 3086 (2014).*

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### Как защитить наноконтакты от перегрева

Согласно закону Мура плотность транзисторов на полупроводниковом чипе растет в геометрической прогрессии, удваиваясь каждые полтора года. Соответственно растет и мощность тепловыделения. Технологии отвода тепла не успевают за этим прогрессом, так что скоро чипы начнут в буквальном смысле плавиться. Как следствие, на первый план выходит поиск путей подавления диссипации энергии в наномасштабных устройствах. В работе [1] обнаружено, что этого можно добиться, если вывести электронную подсистему из теплового равновесия. Авторы [1] изучали электронный транспорт через квантовые точечные контакты, сформированные в двумерном электронном газе на границе раздела GaAs/AlGaAs (см. рис.). Оказалось, что если амплитуда импульса напряжения (отвечающая энергии  $\sim 150$  мэВ) намного больше расстояния ме-

жду подзонами размерного квантования ( $\sim 3$  мэВ) и энергии оптических фононов ( $\sim 30$  мэВ), то электрон-фононное рассеяние приводит к перестройке спектра и формированию подзоны, которая отделена от других состояний большой энергетической щелью, и поэтому транспорт через нее является почти бездиссипативным. Такая коллективная неравновесная мода наблюдалась в широком диапазоне температур от 4.2 К до 300 К.

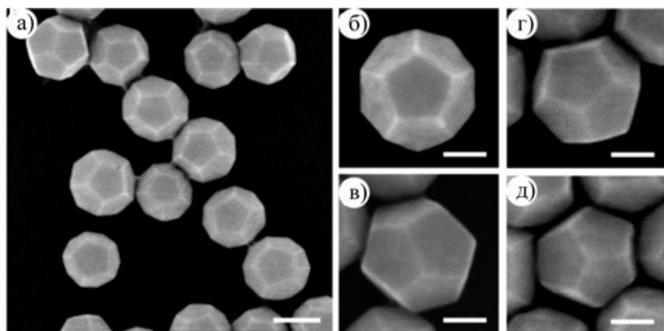


Квантовый точечный контакт (a). Подзоны размерного квантования в отсутствие электрического смещения источник-сток (b) и при сильном смещении (c).

*1. J.Lee et al., Nature Nanotech. 9, 101 (2014).*

### Синтез додекаэдрических нанокристаллов золота

Сингапурские исследователи впервые синтезировали нанокристаллы золота, имеющие структуру додекаэдра [1], заполнив недостающее звено золотых платоновых тел (к настоящему времени уже были получены нанокристаллы в форме остальных правильных многогранников: тетраэдра, октаэдра, куба и икосаэдра). Особенностью получения додекаэдрических нанокристаллов стало использование икосаэдрических зародышей.



Изображения додекаэдрических нанокристаллов золота с различных ракурсов, полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии. Масштабы шкал: 100 нм (а), 50 нм (б–д).

Чтобы лучше разобраться с механизмами роста авторы контролировали процесс синтеза с помощью просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии. Изначально исследователи поместили зародыши в раствор N,N-диметилформамида (ДМФА), содержащий поливинилпирролидон (ПВП) и  $\text{HAuCl}_4$ . ДМФА играл роль, как растворителя, так и восстановителя. После первого часа икосаэдральные зародыши превратились в наносферы с “шероховатой” поверхностью, после двух часов стала проявляться форма додекаэдра – началась огранка. Однако эти наночастицы все еще не были идеальными, на гранях и вершинах присутствовали явные дефекты. По мере протекания реакции изъяны постепенно исчезали и через четыре часа авторы получили совершенные золотые додекаэдры с четкими гранями и вершинами (см. рис.). В заключение авторы отмечают, что предложенная ими методика обладает определенной гибкостью: настраивая должным образом первоначальную огранку икосаэдрических золотых зародышей можно успешно получать не только додекаэдры, но и представителей класса архимедовых тел – икосододекаэдры. Несмотря на фундаментальную направленность работы, новые золотые структуры вполне могут оказаться полезными для современных приложений в медицине или катализе.

М. Маслов

1. W. Niu et al., *J. Am. Chem. Soc.* **136**, 3010 (2014).

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### Модельные биологические мембраны для изучения цитотоксичности наноматериалов

Как показывают различные исследования, цитотоксичность наноматериалов (НМ) во многом определяется их взаимодействием с клеточными мембранами. Известно, например, что углеродные нанотрубки (в особенности одностенные) при прямом контакте повреждают мембраны и вызывают некроз клеток; нанопластинки оксида графена способны проникать через мембрану во внутриклеточную жидкость, что приводит к повышению уровня активных форм кислорода и нарушению структуры и функций митохондрий (см. ПерсТ [1,2]). Клеточные

мембраны – сложные динамические системы, в их составе много различных компонентов (липиды, белки, полисахариды и др.). Ученые из Johns Hopkins Univ. и Univ. of Rhode Island (США) считают необходимым проведение систематических исследований токсичности наноматериалов на модельных биологических мембранах [3]. В своем обзоре они рассмотрели различные варианты таких мембран, обсудили проблемы и перспективы их использования, а также экспериментальные методы, позволяющие изучать взаимодействие наноматериалов с мембранами.

Модельные мембраны, конечно, имеют упрощенную структуру и состав, но их основой, как и у природных биологических мембран, являются липидные бислои. Их можно сделать сферическими или плоскими, свободными и на подложках. Основные варианты показаны на рис. 1 [3].

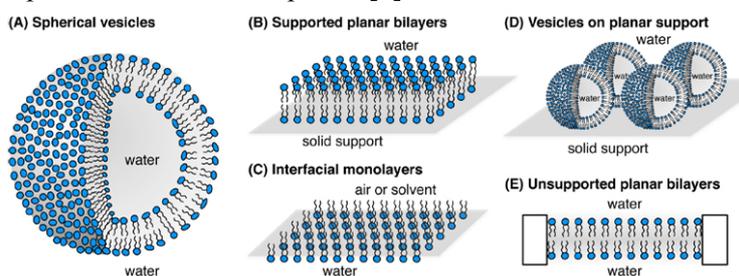


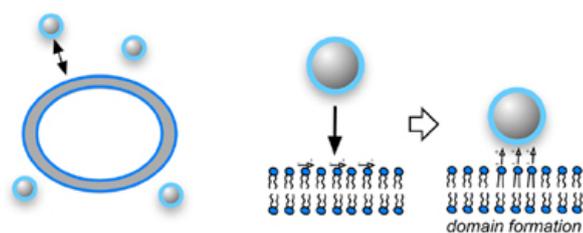
Рис.1. Возможные конфигурации модельных липидных мембран.

Модельные мембраны впервые были получены в 1960-ые годы и с тех пор широко используются в биологии, медицине, биофизике. В последнее время они стали применяться и для исследования воздействия НМ на живые организмы. Начальная стадия воздействия наноматериала на мембрану – это адсорбция на поверхности. В результате происходит реструктуризация липидов, локальная деформация. Для изучения этой стадии подходят любые модельные мембраны. В дальнейшем может произойти структурная перестройка мембраны с нарушением целостности, образованием пор (рис. 2). Для исследования этих процессов варианты на подложках не годятся, нужны изолированные мембраны, обе стороны которых (внутренняя и внешняя) находятся в воде.

Наиболее информативные экспериментальные методики, по мнению авторов [3], это – атомно-силовая микроскопия, кварцевое микровзвешивание с параллельным измерением энергии диссипации QCM-D, крио-ТЕМ, использование водорастворимых флуоресцентных красителей. В последнем случае готовят водную смесь из липидных везикул (рис.1А), внутри которых находится краситель, и наночастиц. При повреждении мембран краситель выходит из них, и интенсивность флуоресценции меняется. Перспективны электрофизиологические методы. Для измерения электрического сопротивления применяют микроэлектродную тех-

нику; методом локальной фиксации потенциала\* изучают ионную проводимость. Эти характеристики очень чувствительны к дефектам мембраны.

(A) Nanoparticle adhesion (binding) at membrane/water interface



(B) Membrane restructuring and leakage

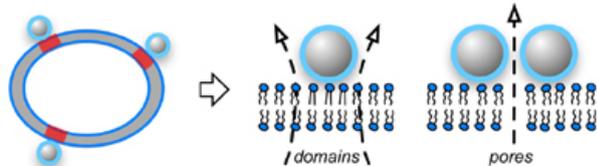


Рис. 2. Воздействие наночастицы на мембрану. А – Адгезия (связывание) наночастицы на поверхности раздела мембрана/вода. В – Структурная перестройка мембраны с образованием пор.

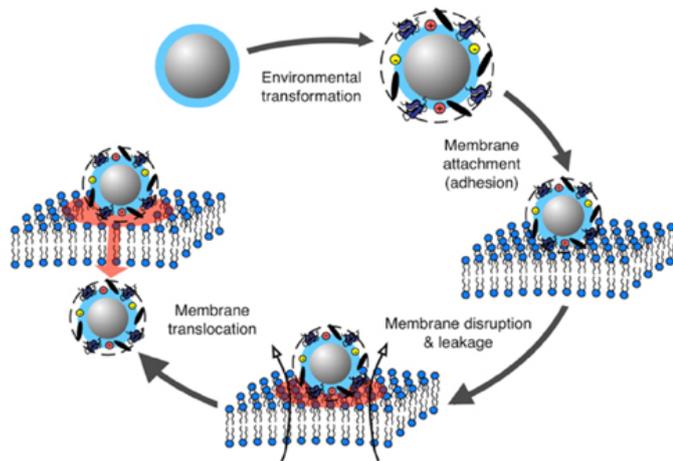


Рис. 3. Модификация поверхности наночастицы в биологической жидкости, адгезия, повреждение мембраны.

К настоящему времени с помощью того или иного метода проведено довольно много исследований воздействия углеродных нанотрубок, неорганических наночастиц на модельные мембраны. Тем не менее, полного представления об основных механизмах взаимодействия нет. Продемонстрирована важность адгезии НМ, но ее влияние на функции мембраны, на межмолекулярные взаимодействия между компонентами мембраны изучено очень мало. По мнению авторов [3], в исследованиях цитотоксичности наноматериалов следует использовать все упомянутые выше методы в совокупности. Кроме того, необходимо понимать, что модельные липидные мембраны всё же далеки от реальных. Следующий важный шаг в исследованиях – переход к более сложным гетерогенным мембранам, содержащим полисахариды и другие компоненты. Нельзя забывать и о том, что в биологической жидкости поверхность наночастиц модифицируется – покры-

вается слоем адсорбированных белков и других молекул (“белковой короной”), что во многом определяет их взаимодействие с клеточными мембранами (рис. 3).

Разработка экспериментальной методики исследований, учитывающей все эти важные соображения, поможет не только синтезировать нетоксичные биосовместимые НМ, но и создавать специальные антимикробные наноматериалы для биомедицинских применений.

\* Метод локальной фиксации потенциала (*patch-clamp*) позволяет измерять ионные токи через изолированный фрагмент мембраны в контролируемых условиях. За разработку этого метода немецким ученым Э. Нееру (E. Neher) и Б. Сакману (B. Sakmann) в 1991 г. была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине.

О.Алексеева

1. [ПерсТ 18, вып. 5, с. 2 \(2011\).](#)
2. [ПерсТ 20, вып. 15/16, с. 4 \(2013\).](#)
3. K.L.Chen, G.D.Bothun, *Environ. Sci. Technol.* 48, 873 (2014).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### О летящей капле

Статья группы исследователей из Нидерландов [1] посвящена высокоскоростным методам фоторегистрации движения капли. Актуальность и прикладное значение становятся понятны, если сделать небольшое уточнение: речь идет о капле, вылетающей из сопла струйного принтера.

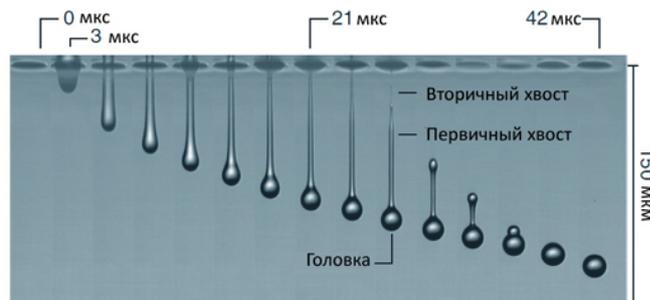


Рис. 1. Последовательные положения капли, вылетевшей из сопла струйного принтера с временным шагом 3 мкс.

Если бы не обыденность самого устройства, то степень повторяемости, с которой струйный принтер способен формировать миниатюрные чернильные капли, могла бы вызывать удивление. Объем капли составляет пиколитры (в миллиард раз меньше объема жидкости в чайной ложке), а скорость, с которой они вылетают из сопла около 10 м/с. Все это создает проблемы при регистрации движения капли. В то же время высокая степень повторяемости процесса образования капли в принтере позволяет исследователям воспользоваться хорошо известными стробоскопическими методами, не прибегая к помощи дорогостоящего оборудования для сверх-

высокоскоростной съемки. Изображения последовательных положений капли получали с помощью импульса лазерной подсветки длительностью в 8 нс. Регулируя величину задержки между импульсом, подаваемым на головку принтера, и вспышкой лазера можно было получать фотографии последовательных положений капли (рис. 1).

Отделившаяся от сопла капля имеет форму, далекую от шарообразной, но действие сил поверхностного натяжения (которые также можно определить, измеряя по изображениям ускорение различных частей капли) приводит к тому, что “хвост” капли движется быстрее (рис. 2). В процессе полета он подтягивается к ядру, так что спустя 40 мкс после вылета каплю можно считать шарообразной.

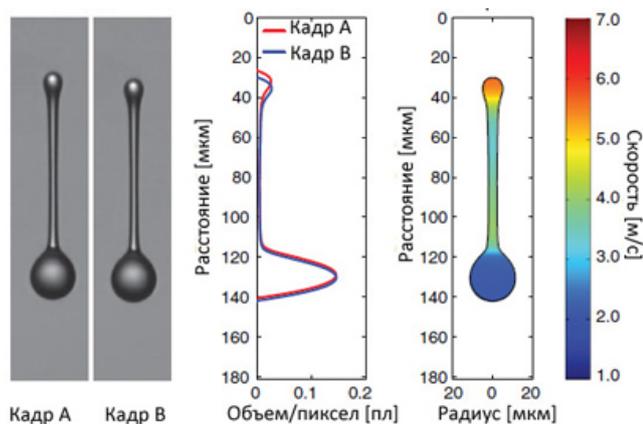


Рис. 2. Изменение формы капли. Слева: фотографии двух последовательных положений через 600 нс; в центре: профили капли, соответствующие двум фотографиям слева; справа: распределение скоростей в капле в цветовой шкале [1].

А. Пятаков

1. A. van der Bos et al., *Phys. Rev. Appl.* **1**, 014004 (2014).

### Уточнение массы электрона

Масса электрона  $m_e$  является одной из основных фундаментальных констант. Она во многом определяет структуру и свойства атомов и молекул и тесно связана с другими константами, такими как постоянная Ридберга, постоянная тонкой структуры и пр. Малая величина  $m_e$  осложняет ее экспериментальное измерение с большой точностью. В работе [1] немецким физикам удалось довести относительную погрешность определения  $m_e$  до  $3 \cdot 10^{-11}$ , тем самым, уточнив ее известное значение более чем на порядок. Для этого они использовали комбинацию прецизионного измерения магнитного момента электрона в ионе  $^{12}\text{C}^{5+}$  с расчетами характеристик такого электрона методами современной квантовой электродинамики. Полученные результаты имеют значение для установления границ применимости Стандартной Модели элементарных частиц и ее возможной модификации.

1. S. Sturm et al., *Nature* **506**, 467 (2014).

## СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Неувядаемый магнетит

Несмотря на 75-летнюю историю исследований перехода Вервея в магнетите, механизм перехода до сих пор не выявлен. Изначальная модель зарядового упорядочения  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  ионов ниже точки Вервея противоречит экспериментальным данным. Альтернативным механизмом является орбитальное упорядочение. Даже симметрия решетки ниже точки Вервея остается невыясненной, обсуждаются как моноклинная, так и триклинная сверхструктуры. Отсутствие точной информации о структуре решетки затрудняет выбор между моделями зарядового или орбитального упорядочения. В недавней работе [1] группа немецких, японских и американских исследователей показала, что с помощью резонансной рентгеновской дифракции (RXD) и моделирования экспериментальных данных можно определить орбитальный порядок  $t_{2g}$ -орбиталей в В-узлах решетки без привлечения детальной информации о структуре решетки. Метод RXD обладает позиционной чувствительностью и поэтому полезен при исследовании кристаллов с большим числом неэквивалентных позиций в ячейке. В частности из измерений зависимости интенсивности рефлекса от поляризации и энергии фотонов, от азимутального угла плоскости рассеяния можно получить информацию о локальной симметрии, валентном и магнитном состоянии определенного узла решетки [2]. Эксперименты проводили на установке UE52-SGM и UE46PGM-1 на синхротроне BESSY II в Берлине. Образцами были тонкие пленки  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  на ступенчатой поверхности подложки  $\text{MgO}$ , что позволило уменьшить количество возможных двойниковых состояний. Пленки толщиной 40 нм были получены методом молекулярно-лучевой эпитаксии, качество и толщину контролировали в процессе роста методом дифракции быстрых электронов.

Результаты экспериментов [1] сравнивались с предсказаниями возможных вариантов зарядового и орбитального упорядочения, полученных из зонных расчетов [3, 4] (рис. 1). Предсказанные различные виды основного состояния закладывали в кластерную модель  $\text{FeO}_6$ , для которой методом конфигурационного взаимодействия рассчитаны те же угловые и частотные зависимости интенсивностей  $(0,0,1/2)$  и  $(0,0,1)$ , что и измеренные на эксперименте. Оказалось, что два варианта зарядового упорядочения  $\text{ROO-CO}$  с псевдо- $\text{Pmca}$  и  $\text{Cc}$ -симметриями решетки противоречат эксперименту (рис. 2).

В то же время, вариант орбитального порядка  $\text{COO}$  дал результаты, согласующиеся с как с экспериментальными данными работы [1], так и со следствиями эффекта Яна-Теллера.

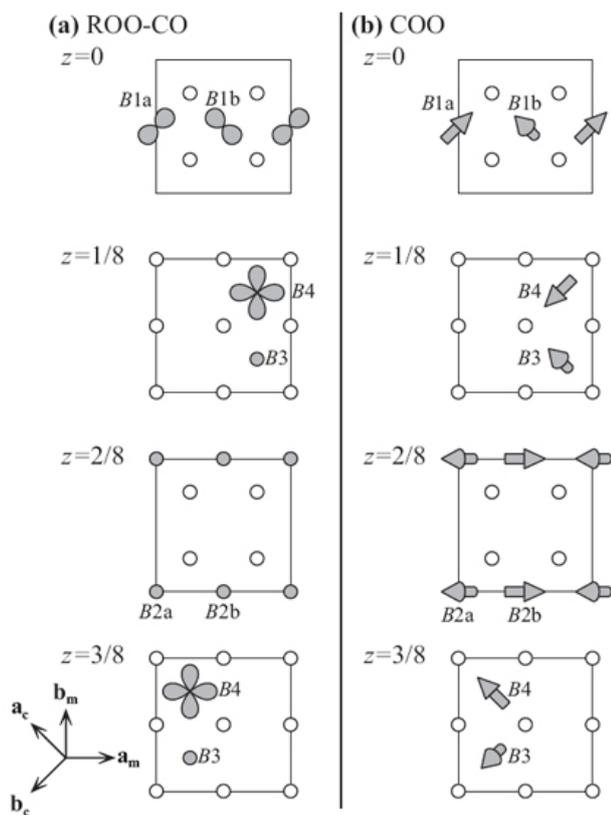


Рис.1. Схема зарядового и орбитального упорядочения с вещественными коэффициентами (ROO-CO)(a) [3] и орбитального упорядочения с комплексными коэффициентами (COO) [4] в последовательности (a,b) слоев при разных значениях параметра  $z$ . Стрелки на рис. 1b показывают направления орбитальных моментов

В состоянии COO имеется неколлинеарный орбитальный порядок с локальными моментами до 0.5 магнетона Бора. В среднем по ячейке орбитальный момент мал. Мало также зарядовое диспропорционирование: разность заселенностей  $t_{2g}$ -орбиталей в подрешетках не 1, как в модели Вервея, а всего лишь 0.2.

С. Овчинников

1. A.Tanaka et al., *Phys. Rev. B* **88**, 195110 (2013).
2. S.W.Lovesey et al., *Phys. Rep.* **411**, 233 (2005).
3. I.Leonov et al., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 146404 (2004).
4. H.-T.Jeng et al., *Phys. Rev. B* **74**, 195115 (2006).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Надутый водородом фуллерен рискует лопнуть

При произнесении слов “водородная энергетика” очень часто приходят на ум топливные элементы, созданные на основе углеродных аллотропов. Нанотрубки, графен и фуллерены – попытки эффективно заполнить их водородом не прекращались никогда. В работе [1] авторы проанализировали возможность внедрения молекулярного водорода

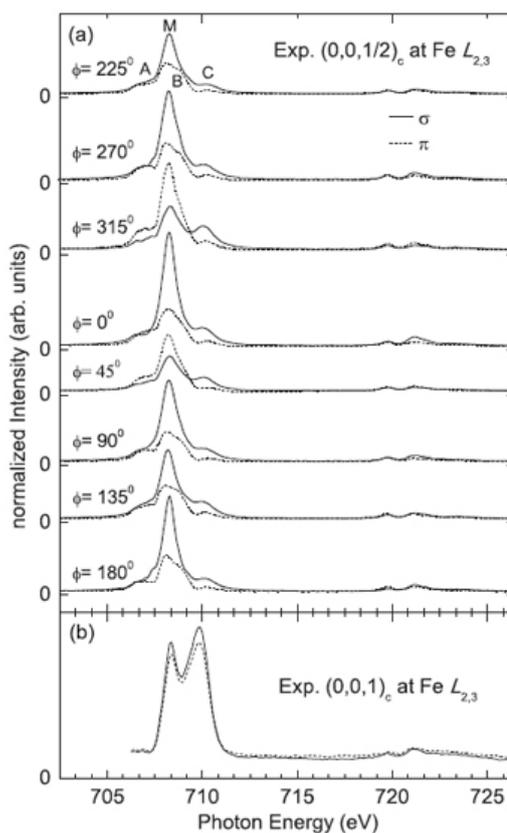
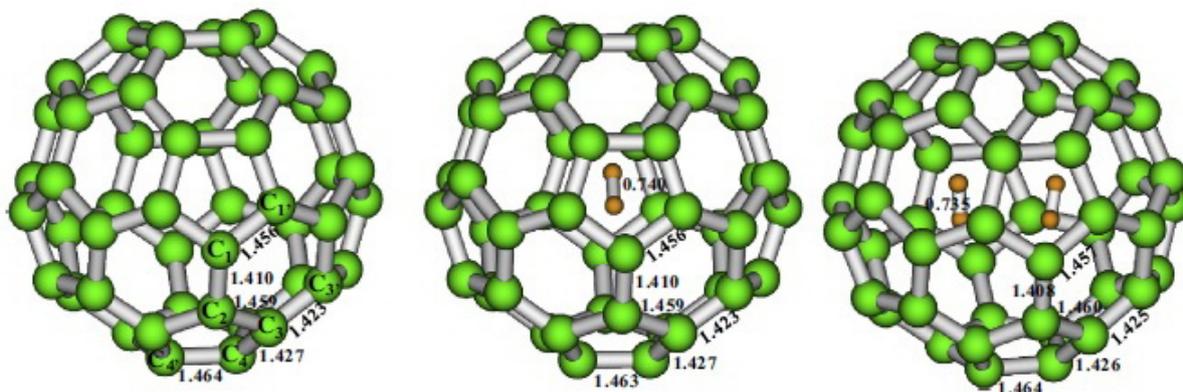


Рис. 2. Спектры резонансной мягкой рентгеновской дифракции (XSRD), измеренные при разных азимутальных углах для двух поляризаций для рефлексов (0,0,1/2) (a) и (0,0,1) (b).

внутри фуллерена  $C_{50}$ . Выбор именно  $C_{50}$  в качестве соединения-хозяина они объясняют экспериментальными достижениями химического синтеза. В частности, уже получено хлорпроизводное соединения  $C_{50}Cl_{10}$ , которое вполне может служить прекурсором для создания чистых фуллеренов, а дальнейшее развитие методов “молекулярной хирургии” в скором времени позволит, по мнению авторов, синтезировать и эндодральные соединения на основе  $C_{50}$ . С помощью программного пакета Gaussian исследователи рассмотрели инкапсуляцию одной и двух молекул водорода в фуллереновую клетку (см. рис.) в рамках теории возмущений Меллера-Плессе второго порядка (MP2) с различными базисными наборами. Расчет энергий комплексообразования, которые определялись как разность полной энергии эндодрального комплекса и энергий изолированных фуллерена и молекул водорода, показал, что только соединение  $H_2@C_{50}$  является термодинамически устойчивым (см. рис.), в то время как размещение в фуллерене двух молекул водорода – процесс энергетически невыгодный.



Общий вид фуллерена  $C_{50}$  (слева) и эндоэдральных комплексов  $H_2@C_{50}$  (в центре) и  $2H_2@C_{50}$  (справа). Расчет выполнен авторами на уровне теории MP2(fc)/6-311G(d,p). Указанные на рисунке длины межатомных связей приведены в ангстремах.

Дальнейшее, более детальное, рассмотрение внутримолекулярных отношений “хозяин-гость” (учет ван-дер-ваальсового взаимодействия, расчет кулоновских сил) для обоих комплексов  $H_2@C_{50}$  и  $2H_2@C_{50}$  подтвердило этот результат. Таким образом, вместе двум молекулам водорода становится тесно в фуллереновой полости, поэтому вряд ли  $C_{50}$  станет реальным эффективным объектом водородных топливных элементов, однако почему бы не попробовать для этой роли более объемные фуллереновые шары, возможно, они окажутся перспективнее.

*М. Маслов*

*I. A. Zeinalinezhad et al., Chem. Phys Lett. 594, 58 (2014).*

## КОНФЕРЕНЦИИ

### **Новый Московский семинар-передвижник “Динамика ферроиков”, 18 марта 2014**

(16.30, МТУ МИРЭА, ауд. В-211)

Семинар является инициативой ряда лабораторий, специализирующихся на изучении физики магнетиков, сегнетоэлектриков и мультиферроиков в г. Москве. Одним из инициаторов семинара “Динамика ферроиков” является новая одноименная лаборатория, образованная в МТУ МИРЭА в рамках мегагранта (руководитель А. В. Кимель). Планируется, что семинар будет проводиться поочередно в МТУ МИРЭА, на физфаке МГУ, а также в ИФП РАН, ИОФАН и Российском квантовом центре (Сколково).

**Кимель А.В.** (Университет Наймегена, Голландия) – “Сверхбыстрая динамика ферроиков и управление параметром порядка с помощью света”

### **Семинар по физике конденсированного состояния, 19 марта 2014 г.**

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

**Бурмистров Игорь Сергеевич** (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН) – “Эффекты взаимодействия и беспорядка в тонких

*ПерСт, 2014, том 21, выпуск 5*

плёнках трёхмерных топологических изоляторов”

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)939-1151

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



### **Научная сессия ОФН РАН, посвященная 100-летию со дня рождения академика Я.Б. Зельдовича, 26 марта 2014**

(10-00, конференц-зал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, Главное здание, 3-й этаж)

#### **Программа**

1. Академик Илькаев Р.И. (ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров) – “Яков Борисович Зельдович в атомном проекте”
2. Академик Старобинский А.А. (Институт теоретической физики РАН им. Л.Д. Ландау) – “Я.Б. Зельдович и теория ранней Вселенной”
3. Академик Сюняев Р.А. (Институт космических исследований РАН) –

“Поверхность последнего рассеяния и чернотельная фотосфера Вселенной – предсказания Я.Б. Зельдовича и их следы в угловом распределении и спектре реликтового излучения”

4. Академик Четверушкин Б.Н. (Институт прикладной математики РАН) –

“Зельдович и ИПМ”

5. Д.ф.-м.н. Баренблатт Г.И., Корин А.Я., Простишин В.М. (Институт океанологии РАН) –

“Турбулентное течение при больших числах Рейнольдса: уроки исследования”

6. Д.ф.-м.н. Новожилов Б.Н. (Институт химической физики РАН) –

“Химическая физика Я.Б.Зельдовича”

7. Чл.-корр. РАН Пономарев Л.И. (ВНИИИМ им. А.А. Бочвара) –

“Развитие идеи Я.Б. Зельдовича о гомогенном ядерном реакторе”

Web: [www.gpad.ac.ru](http://www.gpad.ac.ru)

**XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС – XX),  
18-22 августа 2014 г., г. Красноярск, Россия**

Направления:

1. Фазовые переходы, критические явления.
2. Теоретические модели.
3. Структура и динамика кристаллической решетки.
4. Физические свойства сегнетоэлектриков (монокристаллы, керамика, композиты, жидкие кристаллы, новые материалы).
5. Сегнетоэлектрики – релаксоры.
6. Мультиферроики.
7. Доменная структура и процессы переключения.
8. Сегнетоэлектрические пленки, сверхрешетки и наноструктуры, размерные эффекты в сегнетоэлектриках.
9. Оптические свойства сегнетоэлектриков (фото-рефракция, нелинейная оптика, оптические волноводы).

10. Сегнетоэлектрики на сверхвысоких частотах.

11. Практические применения (сегнетоэлектрическая память, пиро- и пьезоэлектрические устройства).

В рамках ВКС–XX будет проводиться школа молодых ученых “Актуальные проблемы физики сегнетоэлектриков”

**Контрольные даты:**

**31 марта 2014** – последний день регистрации и поступления тезисов докладов

E-mail: [yks20@kirensky.ru](mailto:yks20@kirensky.ru)

Сайт: <http://yks20.kirensky.ru>

**International Workshop on Low Temperature Electronics, 7-9<sup>th</sup> of July, 2014, Grenoble, France**

The International Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE) is a biannual conference devoted to the presentation and exchange of the most recent advances in the field of low temperature electronics and its applications. This international forum is open to everyone in the field.

Topics:

- Low-temperature device physics
- Semiconductor and superconductor devices at low temperatures
- Low-temperature detectors and frontend readouts
- Optoelectronics at low temperatures
- Cryogenic MEMS and NEMS and coupling to electronic readouts
- Cryogenic systems
- Cryoelectronics applications
- Packaging and interconnects

Important dates

**March 28th, 2014** : Deadline for abstract submission

E-mail: [wolte11@minatec.grenoble-inp.fr](mailto:wolte11@minatec.grenoble-inp.fr)

Web site: [www.wolte2014.org](http://www.wolte2014.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, М.Компан,

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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