

В этом выпуске:

ГРАФЕН

Гибкие графеновые микротранзисторы для картирования активности мозга. Первые эксперименты in vivo

Исследования последних лет показывают, что использование графена и графеновых материалов чрезвычайно важно для развития медицинских технологий, в том числе в области нейрохирургии и неврологии [1,2]. Особый интерес представляет разработка новых надежных систем нейропротезирования, необходимых для восстановления движений, зрения, слуха, когнитивных функций. Такие системы важны и для изучения функционирования мозга. Нейронные протезы – это электронные имплантаты, которые должны быть биосовместимыми, миниатюрными, потреблять мало энергии, но обеспечивать необходимое соотношение сигнал-шум и высокую плотность записи информации. Как показали исследования коллектива ученых из Германии, Испании и Франции, именно графен может обеспечить надежный интерфейс мозг/электронное устройство [3,4]. Графен идеально подходит для биоэлектроники: он отличается чрезвычайно высокой подвижностью носителей заряда, обеспечивает нужную электрическую емкость двойного слоя графен/электролит, обладает биосовместимостью, химической стабильностью, может быть получен в виде гибких пленок (или осажден на гибкие подложки) в достаточно больших количествах.

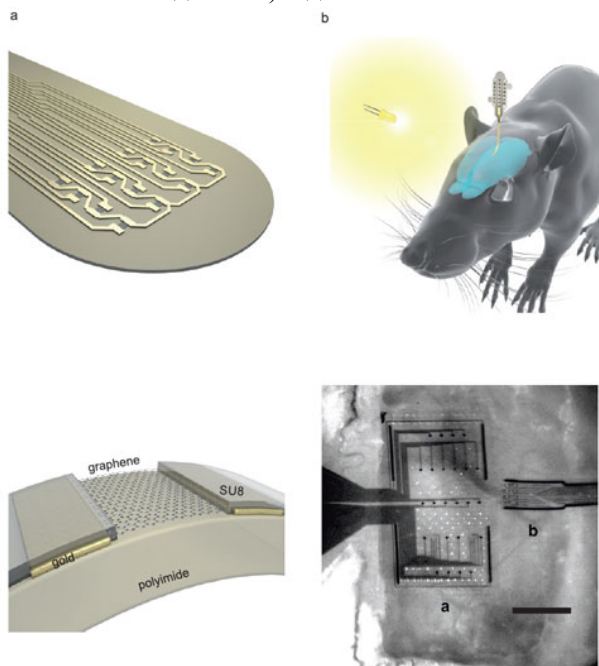


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментов с графеновым имплантатом. а - Вверху: имплантат с матрицей из 4×4 графеновых полевых транзисторов. Внизу: графеновый транзистор (показаны полиимидная подложка, слой золота, графен, фоторезист SU8). б - Вверху: имплантат помещен на поверхность зрительной коры левого полушария головного мозга (проведены эксперименты при освещении правого глаза светодиодом и при введении бикакулина). Внизу: микроизображение матрицы Pt электродов (а) и графенового устройства (б). Шкала 1,25 мм.

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

- 2 На пути к ковалентным кристаллам CL-20

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 3 Фуллерены: носители и сенсоры лекарств

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 4 “Спиновая динамика упорядоченных и квантовых магнетиков” Семинар-чтения, посвященный памяти Л.А. Прозоровой

ТОРЖЕСТВО

- 4 Московскому технологическому университету МИРЭА - 70-лет!

КОНФЕРЕНЦИИ

- 5 62nd Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), November 6-10, 2017, Pittsburgh, USA (David L. Lawrence Convention Center)

The International Conference on Ultralow Temperature Physics (ULT 2017), August 17-21, 2017, Heidelberg, Germany

- 6 Вторая международная конференция “Компьютерное моделирование в физике и не только” с 9 по 12 октября 2017 г., МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

Исследователи разработали метод изготовления гибких графеновых полевых транзисторов с жидким затвором G-SGFET (graphene solution-gated field-effect transistor) [3]. С помощью осаждения из газовой фазы (CVD) они синтезировали графеновую пленку на полиимидной подложке. Для формирования контактов нанесли слои Au, Ti. Далее, используя фотолитографию и ионное травление, получили все необходимые элементы электрической схемы. Гибкая матрица из 36 графеновых транзисторов (6×6) позволила записать потенциал действия живых клеток, подобных клеткам сердечной мышечной ткани, при отличном соотношении сигнал-шум.

Затем исследователи перешли к экспериментам *in vivo* и испытали матрицу из 16 графеновых полевых транзисторов G-SGFET на крысах [4]. После трепанации черепа (под анестезией) устройство было помещено на поверхность зрительной коры левого полушария головного мозга крысы рядом с микроэлектродной матрицей на основе Pt (рис. 1). Сначала крысам ввели биксукулин – вещество, вызывающее судороги. Графеновые транзисторы зарегистрировали сигналы электрической активности мозга так же успешно, как одна из новейших Pt микроэлектродных матриц. Следует заметить, что эта матрица по размерам гораздо больше, чем матрица G-SGFET (рис. 1b внизу), и к тому же при ее использовании требуется усиление сигналов.

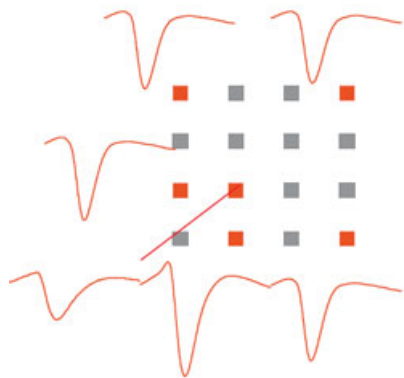


Рис. 2. Сигналы, записанные транзисторами G-SGFET в разных местах матрицы 4×4 при стимуляции видимым светом. Устройство размещено на зрительной коре головного мозга.

В последующих экспериментах авторы [4] зарегистрировали более слабые сигналы спонтанных (фоновых) медленных колебаний электрической активности коры головного мозга, а также сигналы, возникающие при воздействии на глаз вспышек света от светодиода (рис. 2). Напомним, что регистрирующие устройства были размещены на зрительной коре головного мозга. Для графеновых транзисторов соотношение сигнал/шум оказалось лучше, чем для Pt микроэлектродов. Более того, матрица из G-SGFET позволила провести картирование активности коры головного мозга с высокой плотностью

записи информации. Это очень важно для разработки нового поколения устройств нейропротезирования, которые смогут обеспечить как стимуляцию, так и запись информации для контроля электрической стимуляции *in situ*.

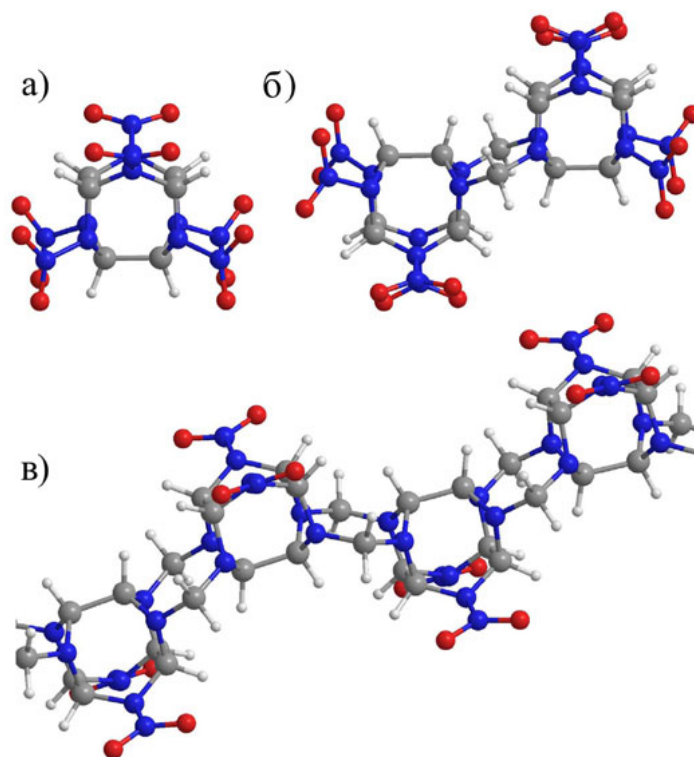
О. Алексеева

1. [ПерсТ 23, вып. 15/16, с.3 \(2016\).](#)
2. [ПерсТ 21, вып. 13/14, с.3 \(2014\).](#)
3. V.M. Blaschke et al., *2D Mater.* 3, 025007 (2016).
4. V.M. Blaschke et al., *2D Mater.* 4, 025040 (2017).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА

На пути к ковалентным кристаллам CL-20

Впервые полученное в 1987 г. химическое вещество CL-20 известно, прежде всего, как высокоэнергетическое соединение (high-energy-density material), поэтому часто рассматривается в качестве основы энергоносителей и топливных элементов следующего поколения. Однако его широкому распространению все еще препятствуют высокая стоимость синтеза и сложность получения чистых образцов. Сама молекула представляет собой напряженный углеродно-азотный каркас, построенный из двух пятичленных и одного шестичленного кольца, с шестью присоединенными к нему нитрогруппами (см. рис.).



Общий вид молекулы CL-20 (а), молекулярного димера CL-20 (б) и фрагмента квазиодномерной цепочки, построенной из фрагментов CL-20 с помощью молекулярных мостиков $-CH_2-$ (в)

Также хорошо известно, что отдельные CL-20 молекулы способны образовывать молекулярные кристаллы с различной молекулярной упаковкой и взаимной ориентацией нитрогрупп, а также гибридные ван-дер-ваальсовы твердые тела, содержащие помимо CL-20 и другие высокоэнергетические структуры. Однако, несмотря на интенсивное исследование материалов на основе CL-20, сведения о ковалентных кристаллах CL-20 до настоящего времени отсутствовали, хотя известно, что другие наноструктуры с напряженным каркасом, например, фуллерены или углеводородный кубан, способны образовывать не только молекулярные, но и ковалентные комплексы. С помощью компьютерного моделирования исследователям Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Россия) [1] удалось предсказать существование квазиодномерных цепочек из фрагментов CL-20, соединенных друг с другом молекулярными мостиками $-\text{CH}_2-$ (см. рис.). Моделирование они проводили в рамках теории функционала плотности (с применением функционалов PBE, PBE0, B3LYP и базиса 6-311G(d,p)), а также неортогональной модели сильной связи с использованием современных гибридных GPU/CPU вычислений. Оказалось, что подобные системы обладают значительной термодинамической устойчивостью. При этом энергия связи квазиодномерных CL-20 цепочек, как мера термодинамической устойчивости, возрастает с ростом эффективной длины цепочки. Таким образом, можно предположить, что дальнейшее увеличение мерности, то есть образование двумерных слоев или «объемных» ковалентных кристаллов на основе фрагментов CL-20 энергетически выгодно при соответствующем выборе молекулярных мостиков, а ожидаемая кинетическая устойчивость этих соединений, скорее всего, превысит таковую для уже известных молекулярных кристаллов CL-20. Дальнейший детальный расчет электронных свойств ковалентных цепочек на основе фрагментов CL-20 показал, что эти наноструктуры можно отнести к широкозонным полупроводникам. Так, диэлектрическая щель достаточно длинных цепочек (~ 3.5 эВ) приближается к верхнему пределу характерной для данного типа полупроводников величины. Таким образом, использование незамещенных ковалентных цепочек CL-20 в наноэлектронике, на первый взгляд, затруднительно. Однако данная проблема может быть разрешена посредством использования отличных от $-\text{CH}_2-$ молекулярных мостиков или путем создания дополнительных механических напряжений в цепочке.

В конечном итоге авторам работы [1] удалось продемонстрировать принципиальную возможность получения ковалентных кристаллов CL-20, а ковалентное связывание, в свою очередь, способно обеспечить более плотную упаковку отдельных фрагментов CL-20 в твердом теле, что положительно скажется не только на энергоэффективности

ПерсТ, 2017, том 24, выпуск 9/10

этих соединений, но и повысит их кинетическую устойчивость.

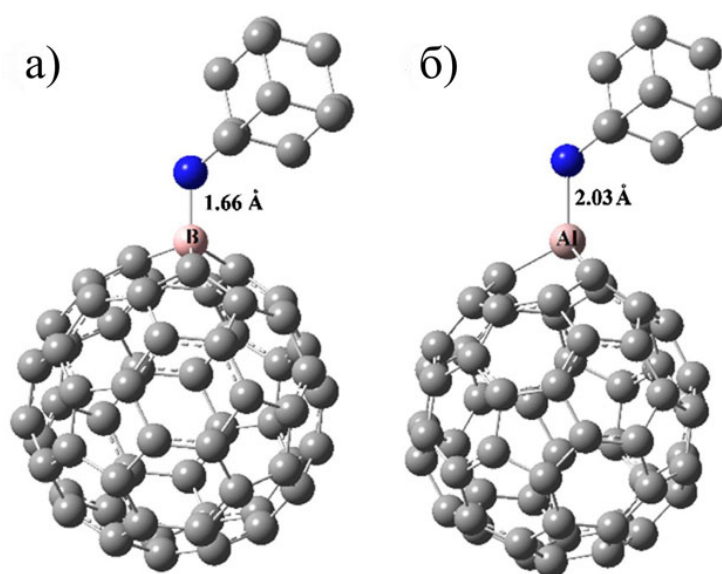
М.Маслов

1. K.P.Katin et al., *J. Phys. Chem. Solids* **108**, 82 (2017).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Фуллерены: носители и сенсоры лекарств

Амантадин ($\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{N}$) давно известен как эффективный препарат для лечения болезни Паркинсона, а также ряда вирусных заболеваний, например, гриппа. С целью сведения к минимуму возможных побочных эффектов и усиления терапевтической активности ученые из Ege Univ. и Anadolu Univ. (Турция) [1] предлагают использовать фуллерены для его адресной доставки в заданную область организма в составе комплексов транспортировки лекарственных средств. С помощью компьютерного моделирования они проанализировали в рамках теории функционала плотности взаимодействие как незамещенного, так и допированного атомами бора, алюминия, кремния, галлия и германия C_{60} с амантадином (см. рис.). Все квантово-химические вычисления исследователи проводили в программе Gaussian на уровне теории B3LYP/6-31G(d) или B3LYP/cc-pvdz. При этом механизмы взаимодействия, а также структурные, электронные и химические свойства комплексов амантадин- C_{60} определяли не только в газовой фазе, но и в водном растворе. Оказалось, что допированные фуллерены могут использоваться не только непосредственно для переноса лекарства, но и для его эффективного детектирования. Так, электронные характеристики допированных фуллеренов претерпевают значительные изменения при адсорбции амантадина на их поверхность.



Молекулярные структуры комплексов амантадин- C_{60} : а - BC_{59} -амантадин, б - AlC_{59} -амантадин. Атомы водорода не изображены для наглядности.

Например, НОМО-LUMO щель Δ_{HL} BC_{59} (рис. а) уменьшается более чем на 15% при присоединении молекулы к атому-допанту фуллереновой клетки, и присутствие лекарственного вещества становится возможным определить благодаря изменению проводимости системы, которая зависит от величины Δ_{HL} . Авторы отмечают, что наиболее сильное связывание у амантадина возникает с AlC_{59} (рис. б). Так, энергии связи лекарства с фуллереном составляют примерно 47 и 51 ккал/моль в газовой фазе и водной среде, соответственно, что существенно превышает соответствующие величины для незамещенного фуллерена. Таким образом, допированные фуллерены способны послужить не только носителем амантадина, но и достаточно эффективным детектором последнего. Возможно, это любопытное свойство замещенных фуллеренов проявит себя в дальнейшем и для других лекарственных средств.

М.Маслов

I. C.Parlak et al., Chem. Phys. Lett. 678, 85 (2017).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

“Спиновая динамика упорядоченных и квантовых магнетиков”

Семинар-чтения, посвященный памяти

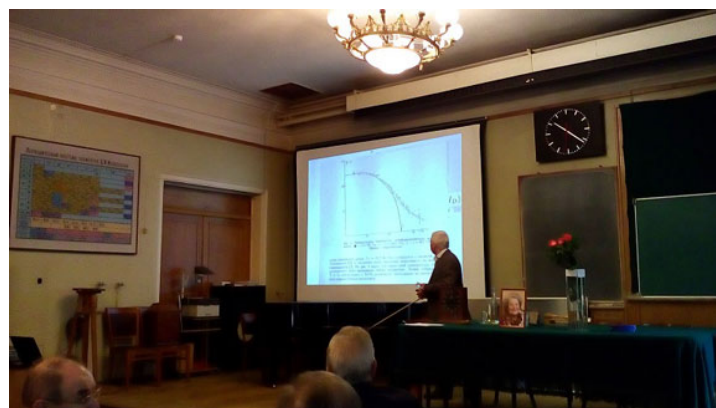
Л.А. Прозоровой

В середине мая Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН собрал в своих стенах специалистов по магнетизму на двухдневный семинар-чтения по спиновой динамике, посвященный памяти Людмилы Андреевны Прозоровой. На призыв организаторов принять участие в чтениях откликнулись представители российских научных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Казани и др., а также ученые, работающие за рубежом: в таких крупных центрах исследования магнетизма, как Дрезденская лаборатория сильных магнитных полей, Институт Нееля в Гренобле, Швейцарская высшая техническая школа в Цюрихе, Университет Мюнстера и др.

Как отметил в своем приветственном слове к участникам чтений директор ИФП РАН, академик А.Ф. Андреев, роль и значение работ Л.А. Прозоровой можно осознать, представив, чтобы представлял бы современный магнетизм без физики антиферромагнетиков, становлению которой так много поспособствовала Людмила Андреевна. В следующем докладе один из основных организаторов чтений проф. А.И. Смирнов напомнил основные результаты ее исследований, в том числе и вошедший в учебники опыт по наведению антиферромагнитного порядка выше точки Нееля.

В последующих докладах учеников Л.А. Прозоровой, ее коллег и других приглашенных лекторов историческая часть удачно сочеталась с рассказом о новейших результатах в области спиновой динами-

ки, физики магнотонных возбуждений, треугольных антиферромагнетиков и мультиферроиков, спинтроники и сверхбыстрого магнетизма.



На чтениях. Доклад А.И. Смирнова.

Насыщенная программа конференции, включавшая лекции, устные и стендовые доклады, заняла два полных рабочих дня. Настоящим подарком участникам конференции стал выход книги автобиографических записок Людмилы Андреевны “Отрывки из ненаписанного”, полных того искрометного юмора, который памятен всем, кому посчастливилось общаться с ней и слышать ее рассказы.

А. Пятаков

ТОРЖЕСТВО

Московскому технологическому университету МИРЭА - 70-лет!



В 2017 г. празднует свое 70-летие один из лидеров российской высшей школы – Московский технологический университет.

Московский технологический университет, как преемник Московского института радиотехники, электроники и автоматики, после объединения МИРЭА, МГУПИ, МИТХТ им. М.В. Ломоносова занимает ведущие позиции в области подготовки кадров для науки и наукоемких отраслей промышленности, центром интеграции научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий. В основу деятельности МИРЭА был заложен инновационный принцип “вуз - базовая кафедра - базовое предприятие”. Система базовых кафедр МИРЭА сегодня включает более 50 базовых кафедр при научно-исследовательских институтах, конструкторских бюро и высокотехнологичных предприятиях Московского региона и продолжает динамично развиваться.

Важнейшей составляющей развития Университета является международное научно-образовательное сотрудничество. МИРЭА входит в ряд международных ассоциаций и объединений, имеет ряд обра-

зовательных сертифицированных программ по международным стандартам.

От всей души поздравляем преподавателей, сотрудников, студентов и выпускников с 70-летием! Желаем новых научных открытий, плодотворной и интересной работы!

Авторы и редакция ПерсТа

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 2017 года**.

Положение о Премии и перечень требуемых документов по адресу:

<http://ras.ru/news/shownews.aspx?id=690fad1d-ca61-4437-b830-a29ee5767f45#content>

Справки по телефону: (499) 237-99-33

КОНФЕРЕНЦИИ

62nd Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), November 6-10, 2017, Pittsburgh, USA (David L. Lawrence Convention Center)

The Conference will cover recent advancements in basic science and applications of magnetism and magnetic materials. We invite members of the scientific and engineering communities interested in these developments to attend the Conference and contribute to its technical program, which will consist of symposia, invited and regular presentations.

A complete list of the technical subject categories and guidelines for submitting abstracts may be found in the link below for Final Call for Papers and also at www.magnetism.org under “Authors”.

Important Dates

Abstract Submission Site Opens: **June 5, 2017**

Abstract Submission Site Closes: **June 23, 2017**

E-mail: info@mmmconference.com

Web: www.magnetism.org

The International Conference on Ultralow Temperature Physics (ULT 2017), August 17-21, 2017, Heidelberg, Germany

ULT 2017: Frontiers on Low Temperature Physics will be held at the Kirchhoff Institute for Physics at Heidelberg University during the period of August 17-21, 2017.

The aim of this conference is to discuss new physics in condensed matter systems at temperatures below 1 Kelvin, to identify new research directions, and to discuss technical challenges and innovations. The conference is intended to bring together a broad community of researchers, spanning the field, to forge links between different experimental communities as well as between experimentalists and theorists.

Topics include:

quantum fluids and solids,
quantum matter under extreme conditions,
quantum phase transitions and quantum criticality,
quantum transport and quantum turbulence,
non-equilibrium quantum systems,
nuclear magnetism,
nano-electronics and nano-mechanical systems,
new cooling technologies,
sensors, amplifiers and detectors at the quantum limit.

Important Dates

New Deadline for Abstracts and Early registration is **May 31st!**

Information on registration, schedule, lodging, transportation, and other related information for the Workshop is available on the ULT 2017 website.

(<http://ult.kip.uni-heidelberg.de/>)

For lodging, there are several hotels with special offers for ULT 2017 participants and there is a Youth Hostel option for students.

Please contact the ULT 2017 local organizing committee (ULTcontact@kip.uni-heidelberg.de) if you have any questions.

**Вторая международная конференция
“Компьютерное моделирование в физике и не только” (International Conference on Computer Simulation in Physics and beyond) (CSP 2017),
с 9 по 12 октября 2017 г., МИЭМ НИУ ВШЭ,
г. Москва, Россия#**

Конференция проводится Национальным исследовательским университетом “Высшая школа экономики” совместно с Научным центром РАН в Черноголовке и Институтом теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН на базе МИЭМ НИУ ВШЭ. Актуальность научной тематики международной конференции определяется необходимостью научного анализа и обсуждения области исследований по компьютерному моделированию, которые находятся на стыке нескольких областей знаний, то есть являются междисциплинарными.#

Тематика конференции выбрана с целью подчеркнуть ведущую роль российских научных специалистов в тех областях науки, к которым относятся секции конференции. Половина пленарных и приглашенных докладов будет сделана российскими исследователями. Именно вычислительная прикладная математика и физика являются теми областями, где российские ученые традиционно имеют лидирующие позиции.#

Другая отличительная черта конференции состоит в большом количестве молодых ученых, аспирантов и студентов. В каждой секции будет представлен доклад российского молодого ученого. Также предусмотрена возможность представления стендовых докладов молодыми учеными и студентами.

Секции конференции

1. Моделирование в статистической физике.
2. Физика и механика полимеров.
3. Космические исследования: моделирование и большие данные.
4. Методы и программное обеспечение для моделирования в исследованиях и инженерии (гидродинамика, аэродинамика и т. д.).
5. Моделирование активности мозга.
6. Биоинформатика, методы и алгоритмы в исследованиях генома.
7. Методы и алгоритмы поиска новых лекарственных препаратов.
8. Моделирование в материаловедении.
9. Моделирование и анализ социальных сетей.
10. Анализ и моделирование инженерных сетей (автомагистрали, городской транспорт, ж/д транспорт, сетей передачи данных, включая мобильные сети).
11. Алгоритмы, методы и инструменты со свойствами параллельности, масштабируемости, использования ускорителей вычислений.
12. Информатика и образование.

Для участия в конференции необходимо пройти регистрацию на сайте конференции <https://csp.hse.ru/2017/>

Срок подачи заявок – **1 июня 2017 г.** для устных докладов, **10 сентября 2017 г.** для постерных докладов. Для заявки на устный 20-минутный доклад и на постерный доклад необходимо представить Abstract на английском языке: <https://csp.hse.ru/en/2017/abstractsubmission>

После конференции, в течение месяца, каждый докладчик (независимо от типа доклада) может подать статью на основе доклада для публикации в журнале Journal of Physics: Conference Series (IOP Publishing, United Kingdom). Рецензирование статей будут проводить члены программного комитета.#

Рабочий язык конференции: английский.#

E-mail: csp2017@hse.ru

Web: <https://csp.hse.ru/2017/>

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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