

В этом выпуске:

## НАНОТЕХНОЛОГИИ

**Первые биологические суперлинзы. Пауки опять помогают нанотехнологам.**



Ещё в 1873 г. немецкий физик-оптик Эрнст Аббэ установил, что разрешение оптического микроскопа (“дифракционный предел”) определяется как  $d = \lambda / (2n \sin \alpha)$ , где  $\lambda$  - длина волны света,  $n$  - показатель преломления среды,  $\alpha$  - угловая апертура объектива. Эта знаменитая формула даже высечена на памятнике Аббэ, установленном около Йенского университета. До недавнего времени с помощью оптического микроскопа нельзя было изучать структуры с расстоянием между элементами менее 200 нм. Только благодаря развитию нанофотоники, плазмоники, разработке метаматериалов

удалось преодолеть дифракционный предел. На основе нескольких разных научных подходов были созданы так называемые наноскопы. (За разработку методов флуоресцентной микроскопии со сверхвысоким разрешением Э. Бетцигу (США), У. Мернеру (США) и Ш. Хеллю (Германия) в 2014 г. была даже присуждена Нобелевская премия по химии). Однако для исследований с помощью таких наноскопов требуется узкополосное лазерное излучение. Недавно было обнаружено, что прозрачные микросферы и цилиндры способны действовать как суперлинзы, обеспечивающие разрешение 50-100 нм при использовании видимого света. Сначала авторы теоретической работы [1] показали, что при рассеянии света на диэлектрическом микроцилиндре область фокусировки аномально вытягивается, образуя “струи” света с очень малым размером в поперечном направлении. *Photonic nanojet* (фотонная наноструя) – такой термин ввели авторы. Затем на основе этого эффекта были разработаны первые наноскопы с суперлинзами-микросферами [2]. Сейчас во многих странах мира исследователи развивают и совершенствуют эту методику, предлагая различные варианты суперлинз (микросфер, микроволокон). Вот один из недавних примеров. Учёные из Китая и Великобритании разработали способ получения трёхмерного диэлектрического метаматериала, состоящего из наночастиц анатаза  $TiO_2$  (15 нм) с высоким показателем преломления ( $n = 2.55$ ) [3].

И далее ...

### СНОВА К ОСНОВАМ

3 79-й элемент

### ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

4 Адсорбция фуллерена  $C_{20}$  на двумерные материалы

### ТОРЖЕСТВО

5 Академику Сурису Роберту Арнольдовичу - 80 лет!

8 февраля  
День Российской науки

### КОНФЕРЕНЦИИ

5 XXI Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС – XXI), 25–30 июня 2017 г., г. Казань, Россия

6 Ginzburg Centennial Conference on Physics, May 29-June 3, 2017, Moscow, Russia

International Baltic Conference on Magnetism (IBCM-2017), August 20-24, 2017, Svetlogorsk, Kaliningrad region, Russia

Твердые иммерсионные суперлинзы из такого материала обеспечивают разрешение  $\sim 45$  нм во всем диапазоне видимого света. Сначала исследователи приготовили водную суспензию наночастиц, получили осадок, затем воду над осадком заменили органическими растворителями (тетрахлорэтилен + гексан), не смешивающимися с водой. Каплю новой смеси (“*nano-solid fluid*” по терминологии авторов) из шприца нанесли на изучаемый объект (рис. 1 слева). Органический растворитель, содержащий тетрахлорэтилен ( $t$  кипения  $121.1^\circ\text{C}$ ), образовал

защитный наружный слой, не позволяющий испариться воде, оставшейся в порах между наночастицами  $\text{TiO}_2$ . Так был получен новый пластичный “*nano-solid fluid*” материал, из которого можно формировать 3D структуры. После дополнительного выпаривания растворителей и воды образовалась “твердоподобная” (solid-like) 3D структура с еще более плотной упаковкой наночастиц (рис. 1 в центре). Через суперлинзу можно увидеть мелкие детали микросхемы (рис. 1 справа).

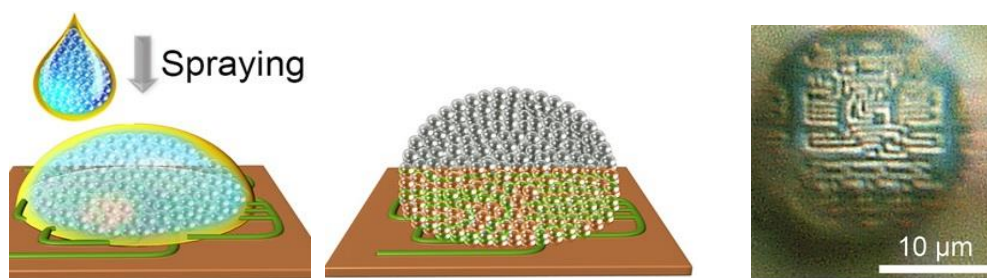


Рис. 1. Схема получения полусферической линзы из метаматериала. Каплю смеси наночастиц анатаза  $\text{TiO}_2$ , остаточной воды и органического растворителя наносят на изучаемый объект. После выпаривания растворителя формируется структура с ещё более плотной упаковкой наночастиц – микро(полу)сферическая линза. Справа – через суперлинзу видны детали изучаемого объекта.

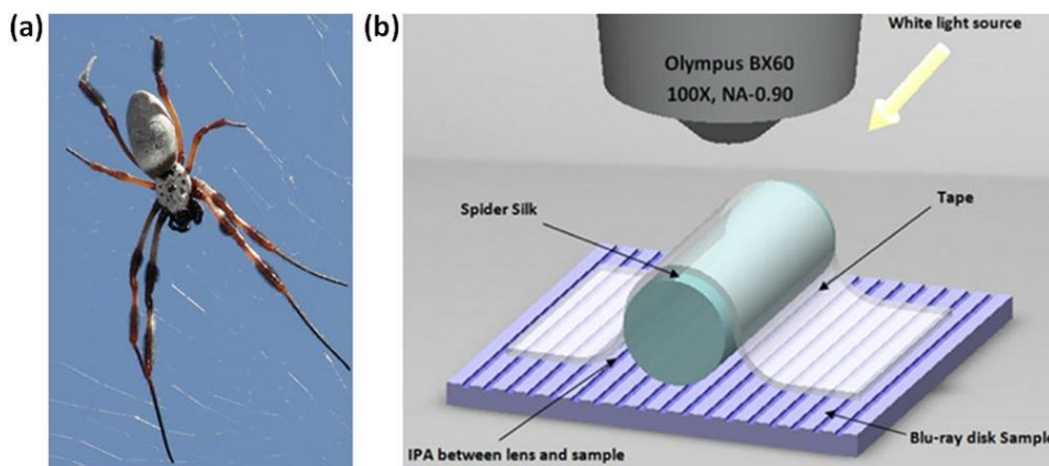


Рис. 2. а – Паук *Nephila edulis* и паутина. б – Схема использования биологической суперлинзы. Цилиндрический фрагмент паучьего шелка (диаметр 6,8 мкм, показатель преломления 1,55) помещали на поверхность образца (Blu-ray диска) и фиксировали лентой.

Понятно, что процесс изготовления таких суперлинз достаточно сложный. Было бы желательно найти подходящий материал в природе. Авторы [3] и других работ по микролинзам из Bangor University (Великобритания) привлекли к своим исследованиям зоологов из University of Oxford (Великобритания), и в результате впервые продемонстрировали биологическую суперлинзу для видимого света [4]. Использовали цилиндрический фрагмент прозрачного паучьего шелка, который вытянули из малой ампуловидной железы паука *Nephila edulis*\* (эта железа производит нить для перемещения паука). На рис. 2 показаны паук и схема использования биологической линзы.

Исследователи проверили качество линзы на образцах двух типов – микрочипе и оптическом Blu-ray диске с еще более мелкими элементами структуры поверхности. Оптический микроскоп не позволил различить на диске канавки шириной 100 нм из-за дифракционного предела, равного в данном случае 333.3 нм (длина волны используемого света  $\sim 600$  нм), однако прозрачная биологическая суперлинза обеспечила высокое разрешение. На рис. 3 приведены SEM изображение поверхности диска и изображение, полученное с помощью оптического наноскопа.

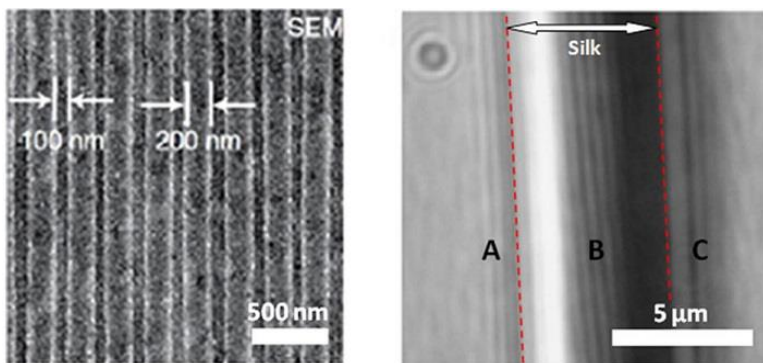


Рис. 3. SEM изображение поверхности диска (слева). Изображение, полученное в режиме отражённого света с помощью оптического наноскопа с суперлинзой из паучьего шелка.

Цилиндрическая суперлинза из паучьего шёлка имеет одно явное преимущество перед микросферическими линзами – она может обеспечить большое поле зрения в направлении волокна (вплоть до нескольких сантиметров). Такие прочные и экономичные линзы могут найти широкое применение, особенно при изучении биологических систем.

Многие люди при виде пауков испытывают неприятные эмоции, и даже боязнь. Но постепенно отношение к этим живым существам меняется. Красивые крупные синие пауки стали популярными домашними питомцами. Существуют интересные сайты, посвященные миру пауков. В испанском городе Бильбао у входа в музей Гуггенхайма находится огромная скульптура черного паука (см. фото). Говорят, что этот паук (точнее, паучиха) обладает целебной энергией. Автор скульптуры, знаменитая Луиза Буржуа (1911-2010), в паучихах воплощала образ матери (которая, кстати, занималась ткачеством): “*моя мать была, мудрой, терпеливой, незаменимой, аккуратной и полезной, как паук*”.



Пауки действительно полезны, и не только тем, что уничтожают мух и комаров. ПерсТ рассказывал, как исследования наноструктуры паутины привели к обнаружению (и объяснению) многих интересных свойств, например, необычайно высокой теплопроводности, прочности, эластичности [5]. Результаты

*ПерсТ, 2017, том 24, выпуск 1/2*

помогают в разработке новых биомиметических волокнистых материалов. Изучение биофотонных наноструктур, отвечающих за яркосинюю окраску пауков-птицеедов, важно для создания улучшенных экранов телефонов, телевизоров и других устройств, для снижения вероятности бликов и потускнения [6]. Теперь пауки помогли сделать суперлинзы. Впереди новые успехи. Профессор Фриц Вольрат (Fritz Vollrath) из Oxford Silk Group, один из авторов [4], изучает пауков уже более 40 лет. Они живут в специальной теплице на крыше Оксфордского университета. Сейчас Вольрат работает над созданием имплантатов на основе паучьего шёлка (возможно, они будут доступны для медиков уже к 2018 г.) [7]. “Мы ещё очень многому можем научиться у пауков!”, уверен профессор.

\* Пауки *Nephila edulis* (нефила-золотопряд) широко распространены в Австралии.

О. Алексеева

1. Z.Chen et al., *Opt. Express* **12**, 1214 (2004).
2. Z.Wang et al., *Nature Commun.* **2**, 218 (2011).
3. W.Fan et al., *Sci. Adv.* **2**, e1600901 (2016).
4. N.Monks et al., *NanoLett.* **16**, 5842 (2016).
5. [ПерсТ 19, вып. 17, с. 2 \(2012\).](#)
6. [ПерсТ 23, вып. 3/4, с. 4 \(2016\).](#)
7. [www.oxfordsilkgroup.com/](http://www.oxfordsilkgroup.com/)

## СНОВА К ОСНОВАМ

### 79-й элемент

К золоту, как к металлу непреходящей ценности, прибегают не только финансисты во время кризиса, но и физики, когда обкатывают модели теории электронных свойств металлов. Так, характерный цвет золота может быть объяснен лишь с привлечением релятивистских эффектов. Они приводят к уменьшению энергетического зазора между 6s- и 5d-орбиталями до величины около одного электронвольта, что делает возможным поглощение фотонов синей части видимого спектра. Именно в этом и заключается секрет пресловутого желтого блеска.



Еще сложнее объяснить расхождение между теорией и экспериментом при определении таких электронных характеристик золота, как потенциал ионизации (энергии, необходимой для отрыва электрона от атома) и сродство к электрону (энергии выделяющейся или поглощающейся при присоединении дополнительного электрона к атому). Разни-

ца между предсказаниями теории и экспериментом составляет около десятка мэВ. В научном сообществе это вызвало дискуссию: следует ли данное расхождение сокращать путем более аккуратного учета межэлектронных взаимодействий в атоме или уже требуется привлекать представления о море Дирака.

Международная команда ученых из университетов Окленда (Новая Зеландия), Братиславы, Тель-Авива и Гронингена (Нидерланды) выбрала более традиционный первый путь, который им позволил уменьшить расхождение на порядок – достигнута точность предсказания электронных характеристик в единицы мэВ [1]. Для этого теоретикам пришлось учитывать не только тройные взаимодействия электронов, но и четверные и даже пятерные корреляции. Всего же в атоме золота 79 электронов – мож-

но представить, сколь труден будет учет корреляций еще более высокого порядка, и ведь на каком-то этапе все-таки придется окунуться в море Дирака!

*А. Пятаков*

1. *L.F.Pasteka et al., Phys. Rev. Lett. 118, 023002 (2017).*

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Адсорбция фуллерена $C_{20}$ на двумерные материалы

Исследователи из Xiamen Univ. (Китай) [1] рассмотрели процессы адсорбции самого маленького фуллерена  $C_{20}$  на различные так называемые двумерные материалы: графен, силицен, германен, станен, нитрид бора и  $MoS_2$  (см. рис. 1).

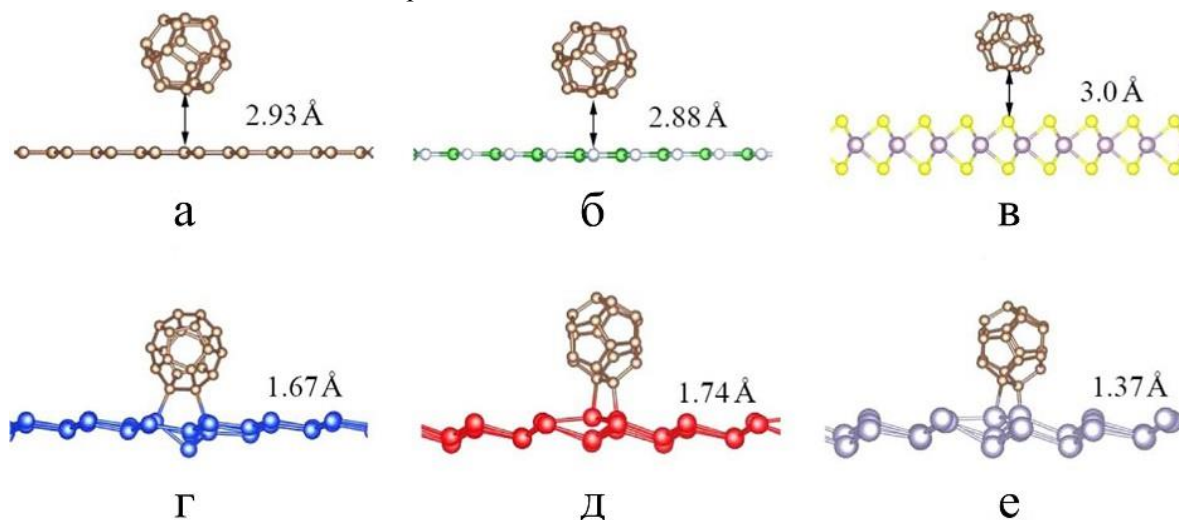


Рис. 1. Наиболее устойчивые атомные конфигурации комплексов: *a* -  $C_{20}$ /графен, *б* -  $C_{20}$ /нитрид бора, *в* -  $C_{20}$ / $MoS_2$ , *г* -  $C_{20}$ /силицен, *д* -  $C_{20}$ /германен и *е* -  $C_{20}$ /станен.

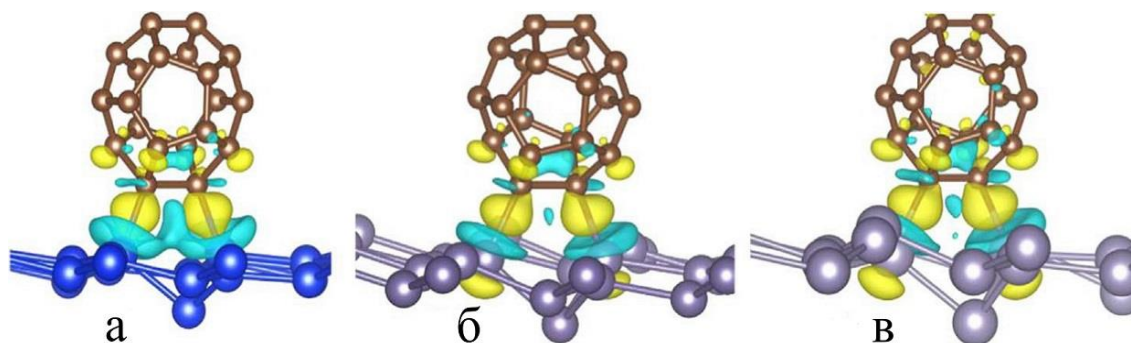


Рис. 2. Распределение электронной плотности для комплексов: *a* -  $C_{20}$ /силицен, *б* -  $C_{20}$ /германен и *в* -  $C_{20}$ /станен. Желтым и зеленым цветом обозначены области насыщения и обеднения электронной плотности по отношению к изолированному фуллерену  $C_{20}$  и 2D-кристаллу, соответственно.

С помощью теории функционала плотности с учетом слабого ван-дер-ваальсового взаимодействия, используя программный пакет VASP, они провели оптимизацию нескольких типов систем с различным взаимным расположением  $C_{20}$  и 2D-кристаллов: фуллерен в положениях над атомом, над центром связи и над центром шестичленного кольца. Относительная устойчивость того или ино-

го комплекса определялась величиной энергии адсорбции, которую авторы рассчитывали как разность полной энергии системы  $C_{20}/2D$  и соответствующих энергий изолированного фуллерена и идеального монослоя. Сравнивая эти энергии и расстояния между молекулой  $C_{20}$  и поверхностью, полученные для каждого случая, исследователи пришли к выводу, что  $C_{20}$  ковалентно связывается с си-

лиценом, германеном и станеном и слабо взаимодействует с графеном, нитридом бора и  $\text{MoS}_2$ . Дальнейший расчет электронных свойств подтвердил значительный перенос заряда между фуллереном и поверхностью, а также показал локальность перераспределения электронной плотности (см. рис. 2), т.е. основное перераспределение заряда происходит лишь в области интерфейса молекулы  $\text{C}_{20}$  и поверхности силицена, германена или станена. В конечном итоге авторы пришли к заключению, что монослои графена, нитрида бора и  $\text{MoS}_2$  достаточно инертны для создания ковалентных комплексов  $\text{C}_{20}/2\text{D}$ , а силицен, германен и станен в этом плане, напротив, химически более активны. Полученные результаты, возможно, помогут более глубоко понять физико-химические особенности композитов на основе фуллеренов и 2D-кристаллов и вплотную подойти к эффективным технологиям их экспериментального получения.

*М.Маслов*

1. *M.V. Hussain et al., Physica E 87, 166 (2017).*

## ТОРЖЕСТВО

*Академику Сурису Роберту Арнольдовичу - 80 лет!*



Роберт Арнольдович Сурис широко известен как в России, так и за ее пределами своими выдающимися трудами в области физики твердого тела, твердотельных наноструктур и физических основ твердотельной электроники. Он является автором более 300 публикаций и около 20 изобретений. Ему принадлежит ряд принципиальных идей, сыгравших важную роль как в физике полупроводников, так и в твердотельной электронике. Он – один из пионеров в теории полупроводниковых наногетероструктур и приборов на их основе.

Р.А. Сурису принадлежит заслуга предсказания и разработки теории неизвестного ранее вида волн в плазме носителей заряда в полупроводниках – волн пространственной перезарядки ловушек. Эти волны определяют динамические свойства фотоприемников инфракрасного диапазона и фоторефрактивных сред. Он предложил теорию пограничных состояний в структурах металл–диэлектрик–полупроводник, составляющих основу кремниевой микроэлектроники, и предсказал возможность существования резонансных пограничных состояний на полупроводниковых гетеропереходах. Важную роль в развитии микроэлектроники сыграли проведенные принципиальные исследования по дифракционной теории формирования изображения в процессе фотолитографии.

Отличительная особенность его теоретических работ – их непосредственная связь с экспериментом

*ПерсТ, 2017, том 24, выпуск 1/2*

и, что особенно важно, предсказание новых явлений, изучение которых часто превращается в самостоятельное направление исследований.

*Поздравляем Роберта Арнольдовича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов на благо физической науки!*

**8 февраля День Российской науки**



## КОНФЕРЕНЦИИ

***XXI Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (ВКС – XXI), 25 –30 июня 2017 г., г. Казань, Россия***

В рамках ВКС-XXI будут проведены следующие научные мероприятия: Международный семинар “Фазовые переходы и неоднородные состояния в оксидах 2017” и Школа молодых ученых, посвященная приложениям ферроидных материалов “Актуальные проблемы физики сегнетоэлектриков”.

***Научная программа по следующим основным направлениям:***

1. Фазовые переходы, критические явления
2. Теоретические расчеты свойств сегнетоэлектриков
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. Спектроскопические исследования сегнетоэлектриков и диэлектриков
10. Практическое применение сегнетоэлектриков и родственных материалов (пиро- и пьезоэлектрические, оптические и нелинейно-оптические, СВЧ)

**Контрольные даты:**

**15 февраля 2017** – последний день регистрации и поступления тезисов докладов

**15 марта 2017** – подтверждение принятия доклада

Сайт: <http://kfti.knc.ru/vks21/>

**Ginzburg Centennial Conference on Physics,  
May 29-June 3, 2017, Moscow, Russia**

Vitaly Ginzburg, a Nobel Prize winner and full member of the Russian Academy of Sciences, worked at the Theory Department of the Lebedev Physical Institute since 1940, and headed the Department from 1971 till 1988.

His fruitful and versatile scientific achievements have won broad recognition: he was a foreign member of various scientific academies (including the United States National Academy of Sciences and the Royal Society) and a laureate of many scientific awards and prizes.

**The Conference will cover a variety of subjects:**

- Relativistic and Plasma Astrophysics
- Strong Correlation Effects and High-Tc Superconductors
- Condensed Matter Physics
- High-Energy Physics
- Quantum Field Theory
- Superstrings, Higher-Spin Theory, and AdS/CFT
- Quantum Gravity and Cosmology
- Nonlinear Dynamics of Complex Systems
- Precision Measurements, Constants, and Tests of Fundamental Theories

E-mail: [gc2@lpi.ru](mailto:gc2@lpi.ru)

Web: <http://www.gc2.lpi.ru/bulletfirst.html>

**International Baltic Conference on Magnetism  
(IBCM-2017), August 20-24, 2017, Svetlogorsk,  
Kaliningrad region, Russia**

The International Baltic Conference on Magnetism (IBCM): focus on functionalized magnetic structures for energy and biotechnology will be held in Svetlogorsk, a resort town near Kaliningrad, Russia, located on the shore of the Baltic Sea.

IBCM-2017 will cover a broad range of topics related to Magnetic materials for both biomedical (hyperthermia, drug delivery, sensors, lab-on-a-chip, etc.) and energy (caloric and multicaloric effects, phase transitions, multiphase and composite materials, rare-earth-free permanent magnets, etc.) applications, and will provide a range of oral and poster presentations, plenary and invited talks.

**Topics:**

- Magnetic materials for biomedical applications
- Manipulation of nanoparticles. Tweezers
- Hyperthermia
- Drug delivery
- MRI
- Magnetic particle imaging
- Microfluidics + NPs
- Lab-on-a-chip
- Bio-sensors
- Simulation Methods
- Rare earth-free permanent magnets and applications
- Caloric and multicaloric materials
- Phase transitions and magnetic materials
- Multiphase and composites materials
- Magnetostrictive and magnetoelastic materials

**Important Dates**

The abstract submission deadline is the **1st of April, 2017**.

E-mail: [ibcm@lnmm.ru](mailto:ibcm@lnmm.ru)

Web: [http://lnmm.ru/ibcm\\_2017/](http://lnmm.ru/ibcm_2017/)

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

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: [ichugueva@yandex.ru](mailto: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<sup>а</sup>