

Перст

Информационный бюллетень

перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 33, выпуск 4

апрель 2026 г.



<https://ru.pinterest.com/ideas/earth-space-background/937502991068/>

Черноголовка

Том 33, выпуск 4

апрель 2026 г.

В этом выпуске:

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Новые фазы германена: от гексагональной решетки к “треугольным сотам”

Двумерные материалы на основе германия (германены) в последние годы являются предметом пристального научного интереса ввиду их исключительных электронных, оптических и термоэлектрических характеристик, обуславливающих широкий спектр перспективных применений в области нанoeлектроники и катализа. Тем не менее, высокоплотные аллотропные модификации германена, формирующиеся под воздействием экстремальных внешних условий, в частности, при значительном гидростатическом сжатии, до настоящего времени остаются недостаточно изученными и представляют собой малоисследованную область современного материаловедения. В работе [1] международная группа исследователей предложила детальное описание структурных фазовых переходов в германене, индуцированных сжатием, выявив принципиально новые топологические формы этого двумерного материала. Суть проведенного численного эксперимента заключалась в следующем: структурные модели кристаллического, а также аморфного и переохлажденного жидкого германена подвергали ступенчатому изотермическому двuosному сжатию вплоть до двукратного увеличения плотности по сравнению с исходной. Сжатие рассчитывали при различных температурах, лежащих ниже температуры плавления кристаллического гексагонального германена (1670 К, см. рис.). Авторы детально исследовали эволюцию морфологии полученных структур методами классической молекулярной динамики (МД) в программном пакете LAMMPS с использованием межатомного потенциала Стиллинджера-Вебера. Оказалось, что пути структурных преобразований кардинально зависят от исходного состояния материала. При сжатии переохлажденного жидкого и аморфного германена реализуется сложная последовательность переходов: классическая гексагональная структура плавно переходит в пентафазу (построенную из пятиугольников), затем в тетрафазу (построенную из четырехугольников) и, наконец, в совершенно новую структуру высокоплотных “треугольных сот” (*tr.h*-германен, см. рис.). Расчеты показали, что при сжатии кристаллического гексагонального германена стадия образования пента-германена полностью выпадает, а фазовый переход осуществляется напрямую от гексагональной к тетрафазе, после чего формируются треугольные соты. Такое поведение хорошо согласуется с локальным анализом ближнего порядка: в изначально жесткой кристаллической решетке

И далее ...

- 4 Бор меняет все: силициновые наноленты для эффективного хранения водорода

СПИНТРОНИКА

- 5 Чудеса динамической стабилизации: спинтронный маятник Капицы и антимагноны

КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 Конференция “Современные проблемы теории конденсированного состояния” (ТКС-2026), с 13 по 17 июля 2026 г., ОИЯИ, г. Дубна, Россия
- 7 The Fourth International Conference “Materials Science and Nanotechnology” (MSN-2026), August 24-27, 2026, Ekaterinburg, Russia
- The 6th Russia-China Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials, September 13 - 17, 2026, St. Petersburg, Russia
- 8 II Симпозиум “Актуальные вопросы физики сегнетоэлектриков и родственных материалов” (Шуваловские чтения-2026), 16-18 сентября 2026 г., Санкт-Петербург, Россия

ТОРЖЕСТВО

- 8 День космонавтики

отсутствуют топологические дефекты и кольца-прекурсоры, которые выступали бы необходимыми центрами зародышеобразования для массивного роста пента-фазы. Устойчивость обнаруженной высокоплотной фазы типа “треугольных сот” исследователи оценили с помо-

щью *ab initio* вычислений в рамках теории функционала плотности (DFT). Они установили, что гофрированная модификация такой структуры (см. рис.) является энергетически более выгодной по сравнению с плоским аналогом.

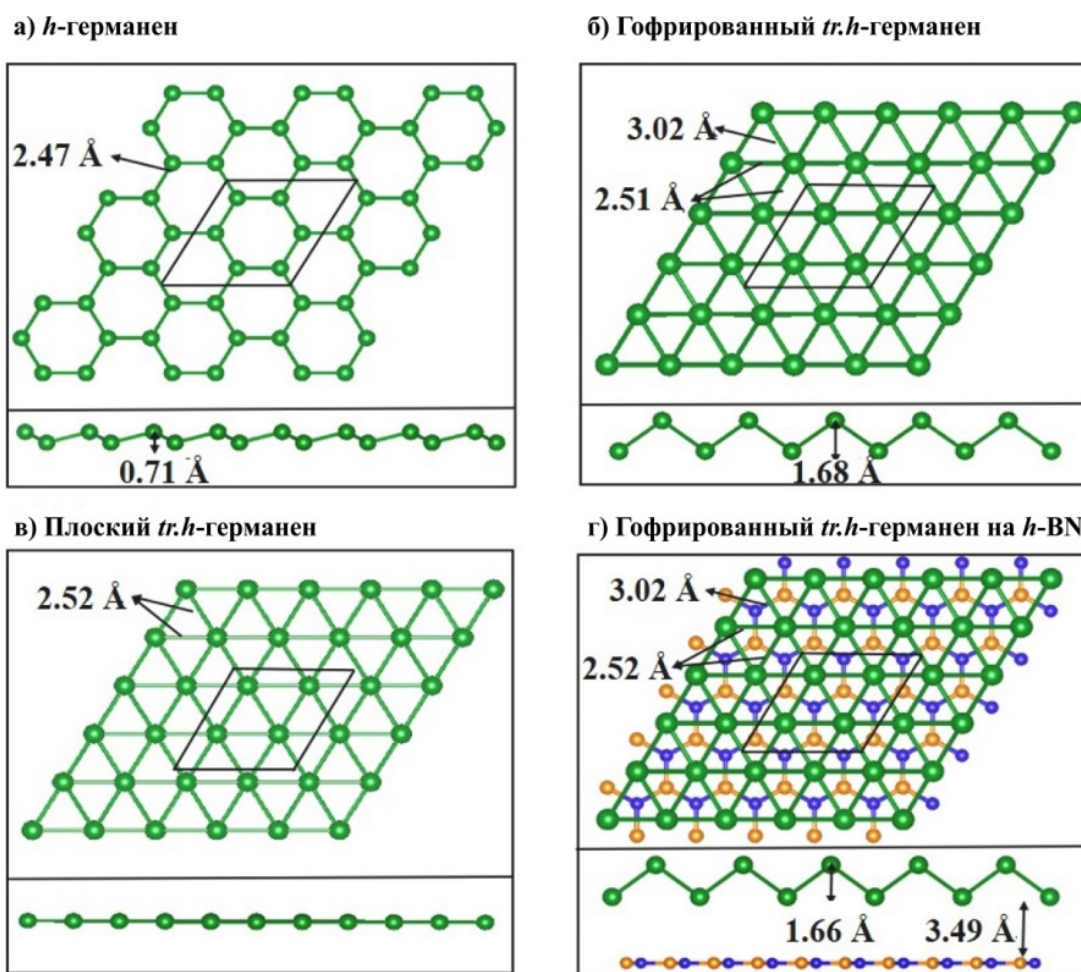


Рис. Атомная структура германенов в видах сверху и сбоку после оптимизации:

а) – свободностоящий *h*-германен с гофрировкой 0.71 Å; б) – гофрированный свободностоящий *tr.h*-германен с гофрировкой 1.68 Å; в) – плоский свободностоящий *tr.h*-германен; г) – гофрированный *tr.h*-германен на подложке *h*-BN, с гофрировкой 1.66 Å. В изображении подложки *h*-BN атомы бора показаны синим цветом, а атомы азота – оранжевым цветом.

Прецизионное компьютерное моделирование позволило однозначно доказать, что данная фаза сохраняет свою структурную целостность и устойчивость не только в изолированном (“свободноподвешенном”) состоянии, но и при эпитаксиальном размещении на подложке из гексагонального нитрида бора (*h*-BN), связываясь с последней посредством слабых ван-дер-ваальсовых сил. Интересным сопутствующим результатом стало доказательство полного отсутствия в условиях сжатия структур типа кагоме, для формирования которых, вероятно, требуется присутствие металлической подложки. В совокупности, синергия метода молекулярной динамики и строгих квантово-

механических DFT-расчетов предсказывает широчайшие возможности для практического применения предложенных высокоплотных аллотропных модификаций германена при создании полупроводниковых приборных структур и термоэлектрических устройств. Однако окончательная верификация теоретических предсказаний остается за экспериментом.

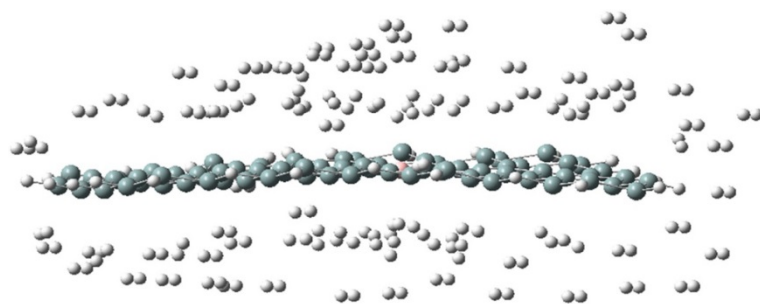
М. Маслов

1. *V.V.Hoang et al., Physica E 180, 116516 (2026).*

Бор меняет все: силициновые наноленты для эффективного хранения водорода

Поиск эффективных материалов для хранения и транспортировки водорода является одной из ключевых задач современной энергетики, обусловленной как стремительным истощением запасов углеводородного топлива, так и жесткими технологическими требованиями к водородным топливным элементам. Так, Министерство энергетики США (DOE) устанавливает целевой диапазон энергии адсорбции от -0.2 до -0.7 эВ на молекулу H_2 и гравиметрическую емкость не менее $5.5 \div 7.5$ мас.%. Теоретики из Китая, Египта и Саудовской Аравии провели детальное исследование [1] различных легированных нанолент силицена как высокоемкого и обратимого материала-накопителя водорода. Силицен – двумерный аналог графена на основе кремния – обладает уникальной слегка гофрированной сотовой структурой со смешанной sp^2 - sp^3 гибридизацией атомов Si, что обеспечивает повышенную химическую активность поверхности и предполагает совместимость с существующими кремниевыми технологиями. В качестве объектов исследования авторы рассматривали два типа силициновых нанолент (nanoribbons, NR): “узкую” $SiNR_{34}$ и “широкую” $SiNR_{44}$ (первая и вторая цифры в индексе обозначают число краев типа зигзаг и кресло, соответственно). Изучались также их производные с заместительным легированием атомами бора, углерода, азота и кислорода. Все расчеты они выполняли в рамках теории функционала плотности в пакете Gaussian 16 с использованием гибридного функционала B3LYP и базисного набора 6-31G; дальнедействующие дисперсионные взаимодействия учитывали с помощью поправок D3-Гримме. Термическую устойчивость структур дополнительно проверяли молекулярно-динамическим моделированием при 500 К методом ADMP (метод распространения атомно-центрированной матрицы плотности). Расчеты показали, что представители класса широких нанолент $SiNR_{44}$ обладают большими энергиями связи и демонстрируют лучшую термодинамическую устойчивость по сравнению с $SiNR_{34}$. Среди используемых допантов атомы бора оказали наиболее благоприятное влияние на адсорбционные характеристики. Для системы $SiNR_{44}$ -dop-B при умеренном заполнении ($1 \div 6$ молекул H_2) энергия адсорбции составляет от -0.12 до -0.67 эВ (в рекомендованном DOE диапазоне), а соответ-

ствующие температуры десорбции лежат в пределах $150 \div 450$ К, что в принципе подходит для практического применения. Допирование атомами углерода и кислорода, напротив, приводит либо к чрезмерно слабому связыванию, либо к необратимой хемосорбции. Азотное допирование обнаруживает двойственное поведение: при малых покрытиях наблюдается прочная хемосорбция, однако при средних степенях заполнения водородом ($6 \div 10$ молекул H_2) параметры уже приближаются к рекомендованным DOE величинам. Электронный анализ выявил, что адсорбция H_2 на $SiNR_{44}$ -dop-B вызывает перераспределение заряда преимущественно вблизи атома бора и соседних атомов кремния, а также последовательное уменьшение НОМО–LUMO щели: от 0.93 эВ при малых покрытиях до 0.43 эВ при высоком заполнении (40 молекул H_2), что свидетельствует о возможности использования легированных бором нанолент и в качестве сенсоров. Однако наиболее интересным результатом стало достижение гравиметрической емкости 9 мас.% для $SiNR_{44}$ -dop-B при покрытии 100 молекулами H_2 (см. рис.), что превышает целевой показатель DOE и заметно превосходит характеристики таких аналогов для водородной энергетики, как фосфорен (4.45 мас.%) и MgH_2 (7.60 мас.%).



$SiNR_{44}$ -dop-B-100 H_2

Равновесная конфигурация легированной бором силициновой наноленты ($SiNR_{44}$ -dop-B) с максимально возможным числом адсорбированных молекул водорода (100 молекул H_2).

Подводя итоги, можно предположить, что система $SiNR_{44}$ -dop-B окажется перспективной платформой для технологий преобразования и хранения энергии на основе водородного топлива, которая сочетает в себе высокую гравиметрическую емкость и умеренные температуры десорбции. Будем ждать экспериментального подтверждения.

М. Маслов

I. N.H. Teleb et al., Chem. Phys. 607, 113219 (2026).

СПИНТРОНИКА

Чудеса динамической стабилизации: спинтронный маятник Капицы и антимэгны

Динамической стабилизацией называют явление, при котором внешнее воздействие приводит к появлению в системе устойчивого положения равновесия, которое в отсутствие этого воздействия было неустойчивым или вовсе отсутствовало. Самым ярким примером динамической стабилизации служит маятник Капицы – грузик на жестком стержне, прикрепленный к вибрирующему подвесу. Если амплитуда скорости колебаний подвеса превысит некоторую критическую величину, определяемую длиной стержня, то перевернутое положение маятника становится устойчивым.

Совсем недавно появилось сразу две статьи, в которых рассказывается о стабилизации намагниченности в направлении, противоположном внешнему магнитному полю [1,2] за счет эффекта передачи спинового момента (spin transfer torque) – механизма переноса, характерного для спиновой электроники и магноники.

Явление динамической стабилизации намагниченности наблюдалось в двух системах: в нанослоях CoFeB, осажденных при комнатной температуре в аргоновой атмосфере [1], и нанопленках висмут-замещенного иттриевого феррита-граната [2]. Характерным признаком обеих систем являлась необычно малая анизотропия, что достигалось тонким балансом легкоплоскостной и перпендикулярной анизотропий, за счет подбора условий роста пленок.

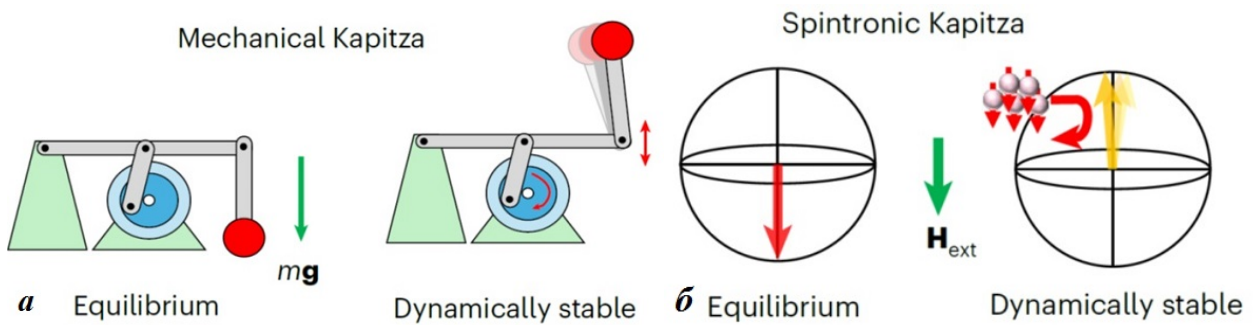


Рис. 1. Динамическая стабилизация: **а** – механический прототип, **б** – спинтронная версия (H_{ext} – внешнее магнитное поле)

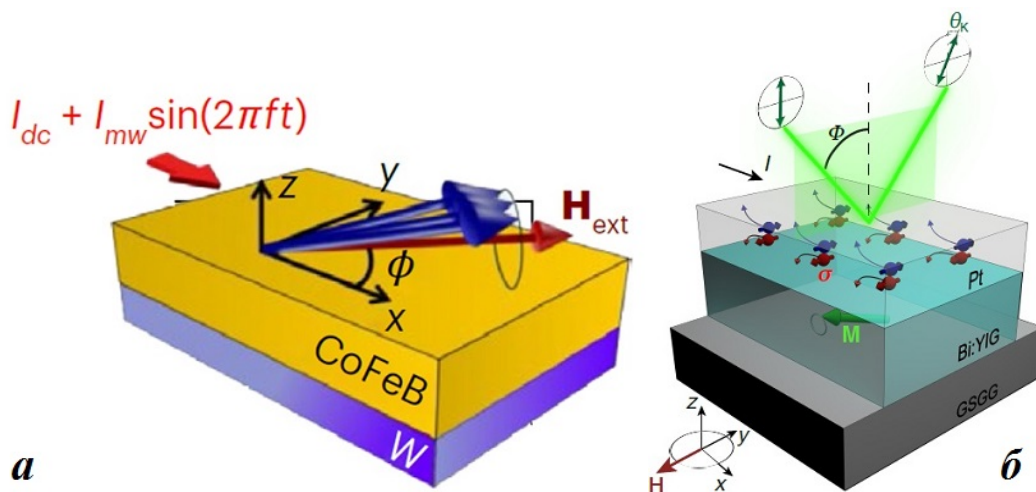


Рис. 2. Системы, в которых наблюдается динамическая стабилизация неравновесной намагниченности: **а** – в системе на основе нанослоя CoFeB на подложке из вольфрама и верхним слоем MgO (не изображен); **б** – в системе на основе висмут-замещенного иттриевого феррита-граната: Pt – слой платины толщиной 5нм, Bi:YIG – пленка феррита-граната толщиной 10-нанометров, на подложке из гадолиний-скандий-галлиевого граната

Последний уже не связан с переносом электрического заряда, а представляет собой поток магнонов, входящий в диэлектрическую пленку феррита-граната со стороны платинового интерфейса, он и пытается развернуть намагниченность против поля. Также специфика наблюдения динамической стабилизации в системах на основе гранатовой пленки проявляется в том, что состояние намагниченности считывается магнитооптическим способом, в отличие от чисто “спинтронного” метода регистрации в проводящем слое CoFeB – за счет эффектов зависимости электросопротивления от направления намагниченности. Критические плотности токов в обоих случаях превышают $2 \cdot 10^7$ А/см², что, впрочем, для спиновой электроники не является какой-то запредельной величиной.

Конечно, идея о том, что явление передачи спинового момента способно при плотности тока выше некоторой критической развернуть намагниченность, совсем не нова, однако, необычность данной ситуации состоит в том, что намагниченность не переключается между двумя изначально существующими стабильными состояниями: новое метастабильное состояние создается при пропускании тока. При этом в публикации [1], в которой ток модулируется на гигагерцовых частотах, объявлено о реализации спинтронного маятника Капицы. В защиту аналогии авторы [1] приводят такой своеобразный аргумент: осциллирующая намагниченность подобна жесткому подвесу, используемому в маятнике Капицы, поскольку, как известно, в магнитоупорядоченных веществах намагниченность не может менять свою величину, а только направление, так что вектор намагниченности своим концом всегда остается на сфере Блоха (рис.1). Некоторые сомнения, впрочем, вызывает тот факт, что в случае маятника Капицы подвес осциллирует на частотах, на порядки превышающих собственную частоту системы, а в данном случае спиновая динамика происходит на сравнимых гигагерцовых частотах.

В случае пленки феррита-граната модуляция тока происходит настолько медленно (на частоте 7-8 кГц), что сравнение с частотой прецессии спина (~1 ГГц) уже совершенно исключает аналогию с быстро осциллирующим подвесом маятника Капицы, поэтому авторы [2] предпочитают говорить о реализации “анти-магнонов” – спиновых волн, в которых прецес-

сия намагниченности происходит в направлении противоположном обычному, предписываемому уравнением Ландау-Лифшица.

В любом случае, каков бы ни был механизм динамической стабилизации, сама такая возможность удержания намагниченности в положении, первоначально соответствующем максимуму энергии, открывает неизведанные области неравновесного магнетизма, аналогичные состояниям с инверсной населенностью в полупроводниковой фотонике.

А. Пятаков

1. H.Kurebayashi et al., *Nat. Mater.* (2026); <https://doi.org/10.1038/s41563-026-02510-z>
2. E.Karadža et al., *arXiv:2601.09569* (2026); <https://arxiv.org/abs/2601.09569v1>

КОНФЕРЕНЦИИ

Конференция “Современные проблемы теории конденсированного состояния” (ТКС-2026), с 13 по 17 июля 2026 г., ОИЯИ, г. Дубна, Россия

Тематика конференции охватывает широкий круг как теоретических, так и экспериментальных направлений исследования в физике конденсированного состояния:

- Цифровое материаловедение;
- Транспортные явления в наноструктурах;
- Квантовый и низкоразмерный магнетизм;
- Сверхпроводящие и магнитные гибридные структуры;
- Методы квантовой теории поля в сложных системах;
- Современные проблемы статистической физики;
- Оптические и спиновые явления в полупроводниках;
- Физика низкоразмерных материалов;
- Топология в сильно коррелированных системах;
- Современные экспериментальные исследования.

Регистрация и приём тезисов будут открыты до **15 мая 2026 года**.

Сайт <https://indico.jinr.ru/event/5851/>

The Fourth International Conference “Materials Science and Nanotechnology” (MSN-2026), August 24-27, 2026, Ural Federal Univ., Ekaterinburg, Russia

The conference will cover a wide range of topics related to recent investigations in the area of materials science and nanotechnology. The special attention will be paid to study of ferroics. We plan the broad participation of the researchers from scientific organizations of the BRICS Network Centre for Materials Science and Nanotechnology. The conference will include Youth School "Functional Imaging of Nanomaterials".

Topics:

1. Fundamentals of ferroelectric and magnetic materials
2. Characterization of micro- and nano-materials
3. Micro- and nano-domain engineering
4. Multiferroic and magnetic materials
5. Ceramics and thin films
6. Bioinspired materials
7. Application of ferroic materials

Important Deadlines:

Abstract submission: **May 15, 2026**

Notification of acceptance: **June 1, 2026**

Contacts:

E-mail: msn@labfer.ru

Conference Website:

<https://nanocenter.urfu.ru/msn2026>

The 6th Russia-China Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials, which will be held on September 13 - 17, 2026 at Ioffe Inst., St. Petersburg, Russia

Bilateral China-Russia/Russia-China workshops on dielectric and ferroelectric materials have been held for over 10 years, alternately in Russia and China. They were organized at the initiative of Academician Xi Yao (Xi'an Jiaotong University, China) and Professors Strukov (Moscow State University) and Vakhrushev (Ioffe Institute). The first workshop was held in 2013 in Xi'an, China, the second one in 2015 in Voronezh, Russia, the third one in 2017 in Wuhan, China, the fourth one in Yekaterinburg, Russia in 2019, and the fifth workshop was in Shanghai, China, in 2024.

The China-Russia Workshop on Dielectric and Ferroelectric Materials aims at providing a platform to enhance the bilateral communication, exchange and collaboration among the researchers

ПерсТ, 2026, том 33, выпуск 4

working on fundamentals and applications of dielectric and ferroelectric materials. We will bring together international experts on synthesis, properties, modeling and new applications of dielectrics and ferroelectric materials.

The Workshop will present invited and contributed talks and original poster reports and will provide ample time for scientific discussions.

Topics:

1. Fundamental Ferroelectricity
Phase transitions, domains, and domain walls in classical and relaxed ferroelectrics.
2. Multiferroics
Magnetoelectric coupling, magnetic control of electric polarization, and new materials.
3. Thin Films & Nanostructures
Size effects, strain engineering, and interface phenomena in low-dimensional systems.
4. Domains & Domain Walls
Nanoscale domain topology and functional properties of domain interfaces.
5. Applications
Memory devices (FeRAM), capacitors, and microwave dielectric materials.
6. Dielectric Ceramics
Structure-property relationships and polarization mechanisms in functional ceramic materials.

Important Deadlines:

Abstract submission: **June 15, 2026**

Notification of acceptance: **July 1, 2026**

E-mail: rcwdfm26@mail.ioffe.ru

Conference website: <https://rcwdfm26.ioffe.ru>

II Симпозиум “Актуальные вопросы физики сегнетоэлектриков и родственных материалов” (Шуваловские чтения-2026), 16-18 сентября 2026 г., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

II Симпозиум будет проводится как продолжение 6-ого Российско-Китайского семинара по диэлектрическим и сегнетоэлектрическим материалам, запланированного на 13-17 сентября 2026 г. в г. Санкт-Петербурге на базе ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. Предполагается проведение сессий с приглашенными и устными докладами. Он-лайн участие не предполагается.

Тематика секций

Структура и рост новых функциональных кристаллов (включая минералы) и синтез керамики

Физические свойства функциональных материалов (в том числе пленки/керамика при высоких полях, температурах, радиации и др.)

Спектроскопия (оптическая, диэлектрическая, ЯМР, ЭПР и др.) при фазовых превращениях или переходах (в том числе при воздействии высоких температур, давлений, полей)

Нейтронные и синхротронные исследования (в том числе при воздействии высоких температур, давлений, полей)

Теория и моделирование

Физика доменов, доменная инженерия

Прикладные аспекты функциональных материалов (устройства, макеты, решения на устройствах функциональных материалов)

Жидкие кристаллы, эластомеры, композиты, биополимеры

Важные даты

20 марта 2026 г. - Начало регистрации и приема тезисов докладов

20 мая 2026 г. - Окончание приема тезисов докладов;

20 июня 2026 г. - Извещение о включении доклада в программу Симпозиума

Электронная почта: ferro2026@mail.ioffe.ru

Сайт Симпозиума: <https://ferro2026.ioffe.ru/>

ТОРЖЕСТВО

День космонавтики

12 апреля 1961 года - дата, знаменующая начало новой главы в истории человечества, ровно **65 лет назад** советский лётчик-космонавт Юрий Гагарин на корабле “Восток” открыл новую эру пилотируемых космических полётов. В 9 часов 7 минут по московскому времени его знаменитое “Поехали!” давно перестало быть просто словами старта, став настоящим символом победы над неизвестностью, веры в собственные возможности и стремления достичь невозможного. Юрий Гагарин осуществил исторический и первый в мире орбитальный полёт вокруг планеты Земля.

На протяжении всей истории освоения космоса советские ученые, инженеры и космонавты внесли огромный вклад в развитие науки и техники. В этом году по указу президента В.В. Путина в России проходит первая неделя космоса. Огромная программа: творческие, научные, образовательные, культурные события.

Уважаемые читатели, поздравляем вас с днём космонавтики! Пусть в вашей жизни всегда найдется место для “полёта” — будь то научный эксперимент, смелая идея или просто мечта.

Информационный бюллетень ПерсТ
издается информационной группой ИФТТ РАН

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

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

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

Выпускающий редактор: И. Фурлетова