

ISSN: 2782-5515



Перст

Информационный бюллетень

перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 32, выпуск 2

февраль 2025 г.



ИФТТ им. Ю.А. Осипьяна РАН

Черноголовка

Том 32, выпуск 2

февраль 2025 г.

В этом выпуске:

ФОТОНИКА

Камертон как спектроанализатор

Лазерная спектроскопия – развитая область оптики: перестраиваемые лазеры давно используются для спектрального анализа и твердых тел, и жидкостей, и газов. Однако и сейчас исследователи находят новые возможности для улучшения технологий спектроскопии по разрешению и быстродействию. В недавней статье в журнале Optica [1] исследователи из Univ. Stuttgart (Германия) предложили интересный метод лазерной спектроскопии газовых сред с использованием камертона.

Одним из высокочувствительных методов лазерной спектроскопии газовых сред является фотоакустический метод. При поглощении лазерного излучения газом возникает нагревание среды и последующие акустические колебания, которые могут быть зарегистрированы пьезопреобразователем. Более высокую чувствительность можно получить, если вместо пьезопреобразователя использовать высокочастотный камертон. Малое затухание колебаний камертона дает возможность усилить даже слабый сигнал и выделить больше линий в спектре поглощения. Однако высокая добротность ограничивает скорость снятия спектра: при перестройке лазера на другую длину волны колебания камертона не успевают затухнуть, и надо либо ждать длительное время, либо возникнет существенная ошибка в измерениях.

Авторы [1] предложили метод, позволяющий побороть этот недостаток. Этот метод назвали “когерентным контролем” (рис. 1). Вместо одного лазерного импульса дается два импульса со сдвигом по времени. Первый импульс за счет фотоакустического эффекта возбуждает колебания камертона. Второй импульс когерентного контроля подается с определенным сдвигом по времени. Этот сдвиг подбирается так, чтобы акустический сигнал, возбуждаемый когерентным контролем, попал в противофазу к уже имеющимся колебаниям камертона. Тогда колебания камертона гасятся, и система становится готовой к следующему измерению.

На рис. 2 показаны спектры метана, полученные с помощью стандартного фотоакустического метода (справа) и метода когерентного контроля (слева) при различных скоростях сканирования по длине волны лазера. Видно, что в стандартном методе при высоких скоростях сканирования спектры существенно искажаются, линии сдвигаются и возникают фоновые помехи.

И далее ...

ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3

Положительное магнитосопротивление в ван-дер-ваальсовом магнитном полупроводнике

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

5

Наноструктуры в природе. Селективные ионные каналы в глубоководных гидротермальных жерлах

КОНФЕРЕНЦИИ

7

IV Международная конференция “Физика конденсированных состояний”,
2–6 июня 2025 года,
Черноголовка

7

2025 International Conference on “Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications” (PHENMA 2025),
September 27–30, 2025,
Kitakyushu, Japan

Метод когерентного контроля даже на высоких скоростях сканирования не дает искажений, его чувствительность понижается незначительно.

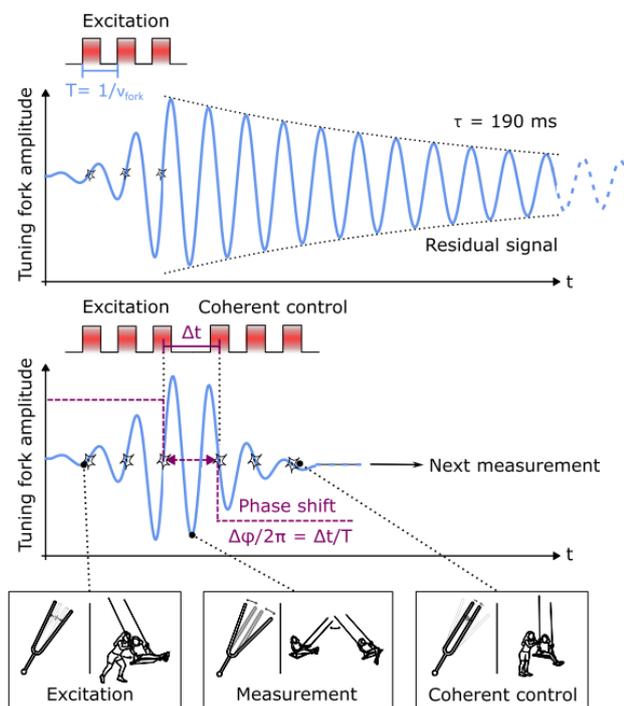


Рис. 1. Принцип когерентного контроля.

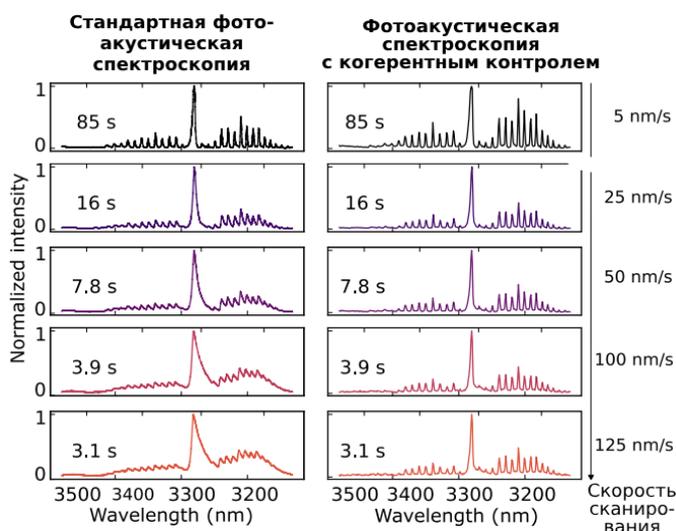


Рис. 2. Сравнение стандартного метода и метода когерентного контроля

С помощью нового метода полное сканирование инфракрасного спектра метана от 3050 до 3450 нм займет, по оценкам авторов, около трех секунд, в то время как стандартный метод требует 30 минут. Это позволяет применять метод для экспресс-анализа газов, не теряя при этом в точности.

Безусловно, и у нового метода существует ограничение по скорости сканирования, но оно определяется уже не временем затухания свободных колебаний камертона, а общей дли-
ПерсТ, 2025, том 32, выпуск 2

тельностью импульсов лазера. Также сохраняется и общая тенденция к уменьшению разрешения при увеличении скорости сканирования, но в новом методе она не настолько сильно проявляется, как это было ранее.

З. Пятакова

I. S. Angstenberger et al., Optica 12, 1 (2025).

ВАН-ДЕР-ВААЛЬСОВЫ МАТЕРИАЛЫ Положительное магнитосопротивление в ван-дер-ваальсовом магнитном полупроводнике

Магнитосопротивление – зависимость электрического сопротивления от магнитного поля – лежит в основе принципа действия большинства современных устройств считывания магнитной информации. Как правило, внешнее магнитное поле понижает сопротивление материала или устройства, будь то сложносочиненные туннельные гетероструктуры для TMR-датчиков (Tunnel Magnetic Resistance), материалы с колоссальным магнитосопротивлением или просто ферромагнетики, поскольку выравнивание ориентаций спинов магнитных ионов способствует электронному транспорту. Обратное явление *положительного* магнитосопротивления, при котором магнитное поле увеличивает сопротивление структуры, встречается крайне редко, а его малые величины не привлекают особого внимания исследователей.

Ван-дер-ваальсовы (графеноподобные) магнитные материалы, активно изучаемые в последние годы, хотя и заставили пересмотреть многие представления о низкоразмерном магнетизме, в отношении магнитосопротивления тоже в большинстве своем не нарушают общего правила. Однако антиферромагнитный полупроводник CrPS₄ оказался исключением: как показала команда из Univ. Geneva (Швейцария) [1], магнитосопротивление многослойных структур CrPS₄ может быть положительным, а при толщине менее 10 нм – еще и осциллировать.

На рис. 1а приведено схематическое изображение геометрии эксперимента: измеряли ток, текущий перпендикулярно пленке CrPS₄, возникающий при приложении электрического напряжения между графитовыми электродами, магнитное поле прикладывали как перпендикулярно, так и в плоскости пленки.

Первое, что бросилось в глаза исследователям – вольт-амперная характеристика не следовала

закону Ома, а была квадратична. Это свидетельствовало о том, что в отличие от других магниторезистивных структур, в пленке CrPS₄ реализуется режим *тока, ограниченного объемным зарядом*: в этом случае электрическое напряжение, участвует в формировании тока как бы дважды: с одной стороны, ему пропорциональна скорость носителя (как в обычном законе Ома), с другой, ему пропорционален и заряд, инжектируемый в полупроводник (по известному соотношению для заряда конденса-

тора). Ток, ограниченный объемным зарядом – явление хорошо известное в физике диэлектриков и полупроводников, однако в ван-дер-ваальсовых магнетиках он наблюдается впервые – ранее в ван-дер-ваальсовых полупроводниках наблюдали только *ток, ограниченный инжекцией*, и задаваемую моделью Фаулера-Нордгейма: ток возникает, когда электрическое смещение достаточно велико, чтобы носители туннелировали в зону проводимости (рис. 2 а).

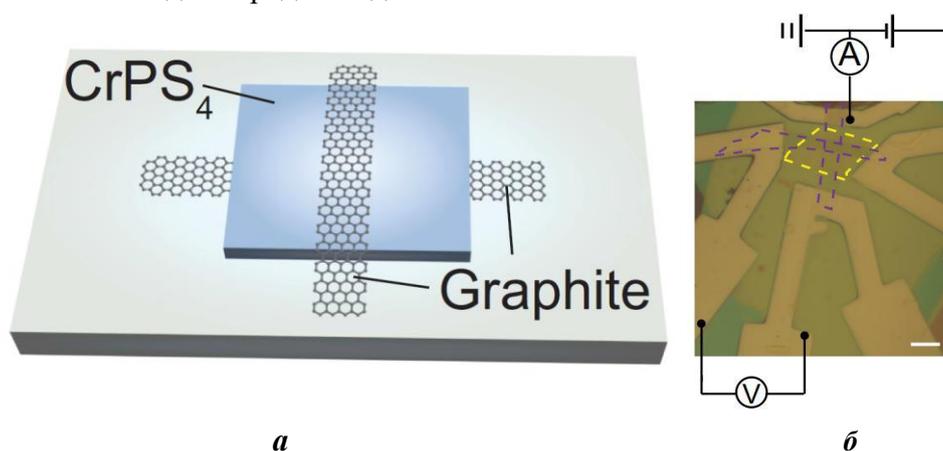


Рис. 1. Измерение проводимости пленки CrPS₄: *а* – схематическое изображение, *б* – оптическая микрофотография: белый прямоугольник – масштабная метка длиной 5мкм.

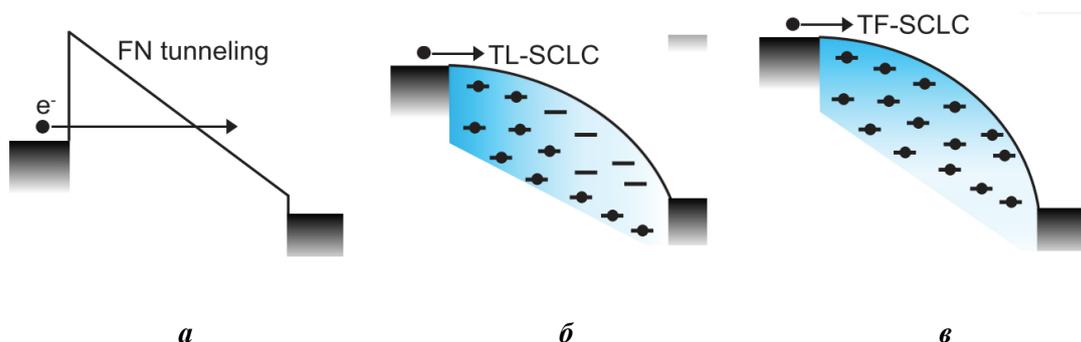


Рис. 2. Механизмы тока в ван-дер-ваальсовых полупроводниках: *а* – туннелирование Фаулера-Нордгейма, и две разновидности механизма тока, ограниченного объемным зарядом (SCLC, space charge limited current): *б* – связанный с дефектами (trap limited, TL) и *в* – не связанный с ними (TF, trap-free).

Ток, ограниченный объемным зарядом, в свою очередь, может осуществляться за счет двух механизмов: для одного проводимость определяется заселенностью состояний в запрещенной зоне, связанных с дефектами (trap limited, TL) и ток при этом растет с температурой (рис. 2б), а для другого – (trap free, TF) зависимость от температуры обратная, поскольку он связан с инжекцией в зону проводимости, подвижность электронов в которой уменьшается с ростом температуры (рис. 2в). Таким образом, измерив зависимость тока от напряжения и температуры, авторы [1] пришли к выводу, что при умеренных напряженностях электриче-

ского и магнитного поля (меньше 100 кВ/см и 8 Тесла, соответственно) реализуется TL-механизм, связанный с дефектами. Это важно, поскольку от механизма проводимости зависит и магнитосопротивление.

Приложение магнитного поля увеличивает эффекты локализации электронных состояний, связанных с дефектами, и затрудняет прыжковую проводимость между слоями с одинаковой намагниченностью, разделенными в антиферромагнетике слоем с противоположной намагниченностью. Это увеличивает электрическое сопротивление, и так возникает эффект положительного магнитосопротивления. Однако

при дальнейшем увеличении магнитного поля, по мере приближения к полю спин-флипа, намагниченности магнитных подрешеток антиферромагнетика все больше и больше выравниваются вдоль направления поля и прыжковая проводимость может уже осуществляться между соседними молекулярными слоями, а проводимость падает и магнитосопротивление меняет знак. Так возникает немонотонная зависимость магнитосопротивления от магнитного поля, которая для образцов с толщиной менее 10 нм приобретает осциллирующий характер.

Зависимость от электрического поля имеет более предсказуемый характер: при напряженности поля приближающейся к 1 МВ/см механизм тока, ограниченного объемным зарядом, меняется: прыжковая проводимость сменялась инъекцией зарядов в зону проводимости (переход от TL- к TF-механизму на рис. 2б и в), что приводило к исчезновению магнитосопротивления как положительного, так и отрицательного.

Таким образом, данное исследование не только обогатило знания о возможных механизмах проводимости ван-дер-ваальсовых полупроводников, но и дало новый метод исследования магнитных свойств двумерных антиферромагнетиков.

А. Пятаков

1. X.Lin et al., *Phys. Rev. X* **15**, 011017 (2025).

НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

Наноструктуры в природе. Селективные ионные каналы в глубоководных гидротермальных жерлах

Японские ученые обнаружили, что неорганические наноструктуры, окружающие глубоководные гидротермальные вентиляционные отверстия (жерла), самоорганизованы и функционируют как селективные ионные каналы [1].

Гидротермальные источники, трубообразные образования высотой десятки метров, действуют на дне океанов. Морская вода по трещинам проникает в океаническую кору, нагревается там до высоких температур, и затем эта горячая вода, уже насыщенная минералами, выбрасывается в океан через жерла. В холодной воде океана в результате химических реакций из минералов образуются твердые фазы осадков вокруг вентиляционных отверстий.

Интересно, что впервые глубоководные гидротермальные источники обнаружили на глубине 2.5 км вблизи Галапагосских островов менее 50 лет назад – в 1977 г.! С тех пор начались их систематические исследования. В России с помощью эффективных глубоководных обитаемых аппаратов “Мир” было совершено более 35 океанических экспедиций в гидротермальные районы Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов [2].

Японские исследователи детально изучили образец размером 84 см, добытый на глубине 5743 м в Марианской впадине Тихого океана (рис. 1). Использовали оптическую и электронную микроскопию, дифракцию синхротронного рентгеновского излучения и другие методы. Образец состоял из пористых колончатых структур, которые служили каналами выхода потоков гидротермального источника. Каналы разделены толстыми неорганическими стенками толщиной 200-400 мкм, в основном из слоистого минерала брусита (гидроксида магния) – осадка, образовавшегося на змеевике (основе гидротермального источника) на начальной стадии формирования жерла.

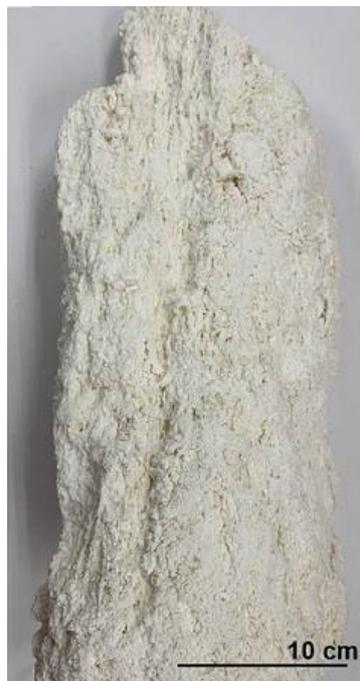


Рис. 1. Фотография исследованного образца брусита.

На СЭМ изображениях фрагментов жерла (рис. 2 слева и в центре) видно, что толстые стенки каналов состоят из слоев шириной ~ 10 мкм. Слои образованы двумерными нанокристаллами брусита размером ~ 100 нм, объединенными в пластинки, ориентированные перпендикулярно поверхности канала. ПЭМ изображение нанокристаллов приведено на рис. 2 справа.

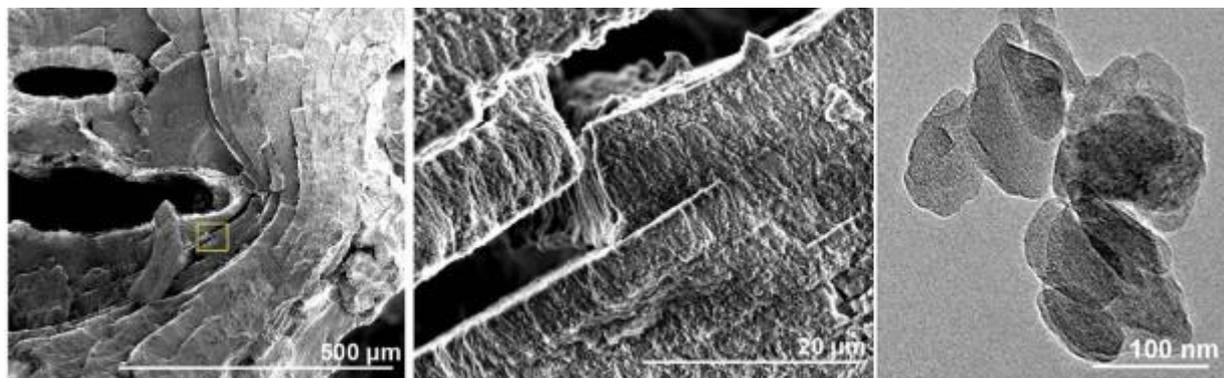


Рис. 2. Слева и в центре: СЭМ изображения фрагмента жерла. Слои повторяют форму стенки канала. В центре увеличенное изображение участка, выделенного желтым квадратом. Справа: ПЭМ изображение нанокристаллов брусита.

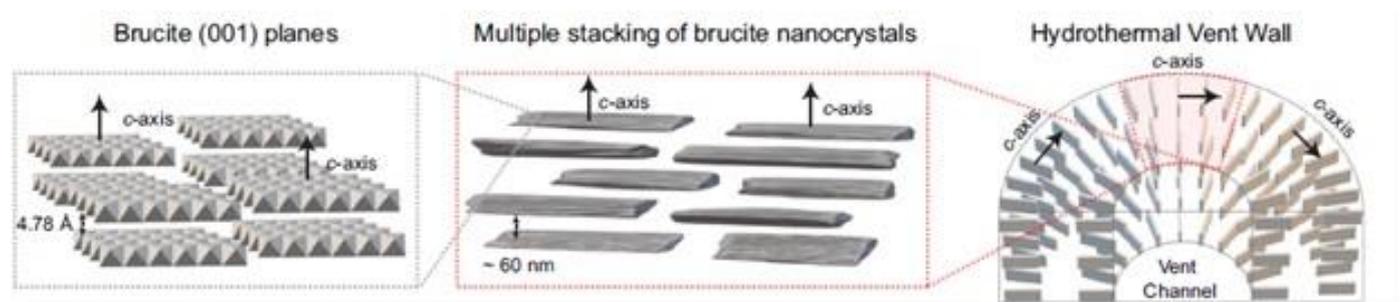


Рис. 3. Нанокристаллы брусита объединяются в пластинки, которые выстраиваются перпендикулярно поверхности гидротермального канала и образуют слои с непрерывными щелевидными порами.

Дальнейшие исследования показали, что плотная укладка нанокристаллов и наличие в индивидуальных кристаллах нанопор обеспечивают образование в неорганических стенках гидротермального жерла щелевидных пор размером от 2 до 100 нм (в основном, ~ 60 нм). Схематически структура в разных масштабах показана на рис. 3.

На стенках из брусита адсорбируются различные ионы, присутствующие в гидротермальных потоках и морской воде, и поверхностный заряд может заметно меняться в зависимости от состава жидкостей. Анализ рамановских спектров образца брусита, проведенный авторами [1], показал адсорбцию K^+ , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , NO_3^- , SO_4^{2-} . Благодаря уникальной конфигурации и переменному поверхностному заряду нанопористые стенки каналов могут работать как селективно проницаемые мембраны, обеспечивающие ионный транспорт катионов или анионов. Исследования образцов брусита в электрохимической ячейке подтвердили эти выводы авторов.

Ионный транспорт, управляемый градиентом заряда, похож на происходящий в живых клетках. Спонтанное образование ионных каналов, обнаруженное в глубоководных гидротермаль-

ных жерлах, по мнению авторов статьи, указывает на возможное происхождение жизни на Земле из неорганических материалов в геологической среде.

О. Алексеева

1. H.-E. Lee et al., *Nat. Commun* **15**, 8193 (2024).
2. А.Сагалевич, *Природа* №8 (2018).

КОНФЕРЕНЦИИ

IV Международная конференция “Физика конденсированных состояний”, 2–6 июня 2025 года, Черноголовка

С 2-го по 6-е июня 2025 года в Черноголовке на базе Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН (ИФТТ РАН) состоится IV Международная конференция “Физика конденсированных состояний”.



Цель Конференции – анализ и обсуждение новых результатов и достижений, полученных в области физики конденсированного состояния и материаловедения, а также поиск новых научно-технологических идей и формирование новых творческих коллективов для их реализации.

Основные научные направления:

- фазовые превращения;
- спектроскопия твердых тел;
- физика дефектов;
- кластеры и нанобъекты;
- сверхпроводимость;
- низкоразмерные структуры и физика поверхности;
- физическое материаловедение.

Программа Конференции будет включать пленарные доклады ведущих ученых, устные и стендовые доклады, планируется работа молодежных секций.

К началу работы конференции будет издан сборник тезисов докладов (с присвоением DOI). Авторы-участники конференции могут подготовить статьи для публикации в рецензируемом журнале “Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования”. Правила оформления статей размещены на сайте: <https://sciencejournals.ru/journal/poverh/>

Ключевые даты:

регистрация участников и прием тезисов докладов – до **15.04.2025 г.**;
текст статьи – до **30.05.2025 г.**

ПерсТ, 2025, том 32, выпуск 2

Подробная информация и регистрация на сайте мероприятия: <http://www.issp.ac.ru/fks2025>

2025 International Conference on “Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications” (PHENMA 2025), September 27–30, 2025, Kitakyushu, Japan

The scope of the conference includes the following topics:

Materials: Ferro-Piezoelectrics, Semiconductors, Superconductors, Environmental Materials, Composite, Ceramics, Thin Films, Nanomaterials, Advanced Materials for Additive Manufacturing, Metal Engineering Materials, Functionally Graded Materials etc.

Synthesis & Processing: Powder Processing, Processing Technologies, Piezoelectric Technologies, MEMS-Processing, etc.

Characterization and Research Methods: Material Design, Microstructure Properties, Chemical Properties, Physical Properties, Mechanical Properties, Strength Properties, Finite-Element Modeling, Mathematical Modeling, Physical Modeling, Physical Experiment, etc.

Applications: MEMS, Hetero-structures, Piezotransducers, Energy Harvesting, Superconductive Devices, Light-Emitting Diodes, Multimedia Communication, Fiber Reinforced Composites, Construction Health Monitoring, Lubricant and Tribology, etc.

Underwater Technologies: Underwater Communication, Marine Engineering, Power System, Ocean Energy, etc.

Biomedical Engineering: Medical Materials, Nanotechnology in Medicine, Medical Instrumentation, Physical Methods in Medicine, Waste, Biological Product Processing, etc.

Industry and Management: CAD/CAM/CAE Application, Industrial Instruments, EDM, Materials Machining, Machines, Design and Building Constructions, etc.

The conference will consist of keynote, oral and poster sessions.

The abstracts up to one page in WORD (*.docx) should be submitted by e-mail before **May 1, 2025** to: parinov_ia@mail.ru and duplicated to iparinov@sfedu.ru. Authors will be notified by **May 1, 2025** whether the contribution has been accepted. The format to be used is a text within one standard A4 page. A 12-point font should be used. The title appears centered. It is separated by an empty line from the author’s name, also centered.

The name of the author who presents the contribution should be underlined. An empty line separates the name from the author's affiliations and e-mail of corresponding author, also centered. The abstracts can include figures, tables and references. The Abstracts book will be published before the conference.

The official language of the conference will be English.

Dates & Deadlines

Deadline for Abstracts: **May 01, 2025**

Notification of Acceptance: **July 01, 2025**

Preliminary registration of abstracts: **July 01, 2025**

Registration fee Payment: **September 1, 2025**

Deadline for Full Papers: **October 10, 2025**

e-mail: oda-kazuhiro@oita-u.ac.jp

General Secretariat of the Conference

e-mail: parinov_ia@mail.ru

Website: <http://phenma2025.sfedu.ru/>

ТОРЖЕСТВО



Уважаемые коллеги!

Поздравляем вас с профессиональным праздником – **Днём российской науки!**

Наука – ведущая сила технологического, социального и экономического развития во всех областях жизнедеятельности человека. Демонстрирует реализацию успешных научно-исследовательских проектов, приносит обществу современные технологии и прогрессивные идеи, улучшая качество жизни человека.

Благодаря опыту, профессионализму, потенциалу и душевной отдаче российские учёные продолжают поднимать фундаментальную и прикладную науку на совершенно новый качественный уровень, совершенствовать российскую научную школу, вносить достойный вклад в развитие различных отраслей экономики страны.

Желаем вам крепкого здоровья, семейного благополучия, новых профессиональных высот, новаторских идей и ярких достижений!

**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: О. Алексеева, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 6