

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной электродинамики
Российской академии наук
(ИТПЭ РАН)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИТПЭ РАН



К.Н. Розанов

2026 г.

Отчет о самообследовании

за 2025 год

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной электродинамики
Российской академии наук**

Содержание

1. Общие сведения об образовательной организации.....	3
2. Образовательная деятельность.....	5
3. Научно-исследовательская деятельность.....	6
4. Международная деятельность.....	27
5. Материально-техническое обеспечение.....	27
6. Финансово-экономическая деятельность.....	27
7. Основные показатели деятельности.....	28

1. Общие сведения об образовательной организации

В целях расширения фундаментальных исследований в области электрофизики и электродинамики композитных материалов, распоряжением Совета Министров СССР от 21 октября 1987 г. № 2288р в составе Института высоких температур АН СССР был создан Научно-инженерный центр прикладных проблем электродинамики (НИЦ ППЭ).

В 1991 году Центр получил статус самостоятельного юридического лица (постановление Президиума Академии наук СССР от 29 октября 1991 г. № 266). Дата выпуска этого постановления считается датой образования НИЦ ППЭ, а, следовательно, и ИТПЭ РАН, правопреемника НИЦ ППЭ.

В 1999 году НИЦ ППЭ был переименован в Институт теоретической и прикладной электродинамики Объединённого института высоких температур Российской академии наук (ИТПЭ ОИВТ РАН, постановление Президиума Академии наук от 29 июня 1999 г. № 221). В 2005 году ИТПЭ ОИВТ РАН был выведен из состава ОИВТ РАН и стал Институтом теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИТПЭ РАН, постановление Президиума РАН от 27 декабря 2005 г. № 294).

В 2011 году ИТПЭ РАН переименован в Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (постановление Президиума РАН от 13 декабря 2011 г. № 262). В 2018 году ИТПЭ РАН передан в ведение Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 15 мая 2018 г. № 215 и распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 июня 2018 г. № 1293-р). В настоящее время функции и полномочия учредителя ИТПЭ РАН от имени Российской Федерации осуществляет Минобрнауки России.

ИТПЭ РАН был организован во многом благодаря усилиям профессора, академика РАН А.Н. Лагарькова (чл.-корр. РАН – с 2000 г., академик РАН – с 2011 г.). Вплоть до июня 2017 г. А.Н. Лагарьков был директором ИТПЭ РАН, затем он стал научным руководителем Института. С июня 2017 г. по июнь 2020 г. должность директора ИТПЭ РАН занимал д.ф.-м.н. В.Н. Кисель. С июня 2020 г. по ноябрь 2020 г. временно исполняющим обязанности директора был назначен д.ф.-м.н. К.Н. Розанов, с 12 ноября 2020 г. он утверждён в должности директора приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2020 г. № 10-3/481п-о.

Полное наименование Института: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Сокращенное: ИТПЭ РАН.

Место нахождения: 125412, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Дмитровский, ул. Ижорская, д. 13, стр. 6.

Учредителем ИТПЭ РАН от имени Российской Федерации выступает Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Директор: доктор физико-математических наук Розанов Константин Николаевич.

Телефон приемной (495) 484-23-83, факс (495) 484-26-33.

Адрес сайта: www.itae.ru.

Устав ИТПЭ РАН утвержден приказом Минобрнауки России № 41 от 06.07.2018 г. (изменения в Устав ИТПЭ РАН утверждены приказами Минобрнауки России от 17.09.2019 № 789, 06.12.2021 № 1154, 28.10.2022 № 1043).

Институт руководствуется в своей деятельности Конституцией РФ, федеральными конституционными законами, федеральными законами, актами Президента РФ, Правительства РФ, Минобрнауки России, иными нормативными правовыми актами, Уставом ИТПЭ РАН.

Структура (на 01.01.2026 г.):

28 подразделений: 11 административных подразделений, 8 лабораторий, 4 научно-вспомогательных подразделения, 5 вспомогательных подразделения.
численность 305 (271 основных сотрудников, 34 совместителя

В октябре 2022 г. на сайте ИТПЭ РАН вышел первый номер электронного журнала «Современная электродинамика», главным редактором которого является научный руководитель ИТПЭ РАН, Академик РАН Андрей Николаевич Лагарьков.

В электронном научном журнале «Современная электродинамика» печатаются оригинальные статьи и обзоры по широкому спектру теоретических и прикладных проблем электродинамики, оптики и электромагнитных свойств материалов, в том числе оригинальные статьи и обзоры ученых и специалистов, работающих в этих областях, а также расширенные тезисы конференций.

Тематические рубрики журнала охватывают все важнейшие области экспериментальной, теоретической и вычислительной электродинамики, а также вопросы взаимодействия электромагнитных полей с материальными средами, теорию распространения радиоволн, применение методов электродинамики в биологии, медицине, нанoeлектронике и нанооптике.

Периодичность выпуска журнала: 1 раз в два месяца.

Языки: русский, английский

Журнал «Современная электродинамика» имеет регистрацию в качестве СМИ в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (серия Эл № ФС77-83666 от 26 июля 2022г.).

Учредитель СМИ: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИНН 7713020549, ОГРН 102739263441), юридический и фактический адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.6

Тематические рубрики журнала:

- Теоретическая электродинамика;
- Вопросы экспериментальной электродинамики;
- Вычислительная электродинамика;
- Взаимодействие электромагнитного поля с материалами.

К публикации принимаются авторские научные материалы, соответствующие следующим специальностям Номенклатуры ВАК:

1.3.4. Радиофизика,

1.3.6. Оптика,

1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки,

- 1.3.19. Лазерная физика,
- 1.3.3. Теоретическая физика,
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния,
- 1.3.12. Физика магнитных явлений

2. Образовательная деятельность

В соответствии с лицензией на образовательную деятельность рег. № Л035-00115-25/00118982 от 07 декабря 2022 г., выданной Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки, в ИТПЭ РАН реализуется образовательная программа по подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, научной специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки. Срок действия лицензии – бессрочно. Свидетельство об аккредитации выдано Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки, рег. № 3808 от 03.07.2023 г. Срок действия – бессрочно.

Обучение проводится в очной форме за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета. Срок обучения – 4 года. Общая численность обучающихся на 01.10.2025 г. – 7 человек.

На базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук функционирует объединенный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 999.138.02 (99.1.044.02)

Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 10.05.17г.

Проводит защиты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук по специальностям:

1.3.13 – Электрофизика и электрофизические установки (физико-математические науки, технические науки).

На базе ИТПЭ РАН работает кафедра МФТИ «Электродинамика сложных систем и нанофотоника».

Кафедра образована в конце 2008 года (приказ МФТИ № 493-1 от 23.09.2008) на основе группы преподавателей, входивших в состав кафедры Прикладной теоретической физики. Кафедра ведёт подготовку кадров для исследований, связанных с изучением взаимодействия электромагнитных полей с различными объектами как нано-, так и макромира.

Студенты, аспиранты и сотрудники ведут исследования в областях:

- Взаимодействие электромагнитных волн со сложными радиофизическими структурами и средами;
- Процессы формирования метаматериалов и их взаимодействия с электромагнитными полями;
- Эффективные электродинамические параметры композитных материалов и неоднородных сред;

- Электронная структура и свойства магнитоактивных материалов и сверхпроводников II рода, графена, топологических изоляторов;
- Высокочастотная электродинамика ферромагнитных материалов;
- Электродинамика фотонных кристаллов и неупорядоченных систем;
- Квантовая наноплазмоника;
- Создание безэховых камер;
- Оптимизация электродинамических характеристик объектов техники в сотрудничестве с ведущими конструкторскими бюро России.

3. Научно-исследовательская деятельность

Основными направлениями деятельности Института являются:

- фундаментальные исследования в области электрофизики и электродинамики композитных материалов, в том числе функционально нано-структурированных, а также метаматериалов с новыми электрофизическими, оптическими и радиофизическими свойствами;
- исследования в области прикладной сверхпроводимости, структурного нано-магнетизма и электродинамики магнитоактивных сред;
- исследования, направленные на создание композитных материалов, технологии их формирования;
- разработка сверхчувствительных биологических и химических сенсоров на основе плазмонных и диэлектрических метаматериалов;
- оптимизация радиотехнических характеристик антенно-фидерных систем и решение проблем электромагнитной совместимости.
- разработка и создание безэховых камер, предназначенных для изучения фундаментальных явлений дифракции и прохождения электромагнитного излучения через различные среды и структуры, а также анализа проблем электромагнитной совместимости.

В рамках госзадания в 2025 году проводились работы по пяти темам.

1. Экспериментальное исследование электрофизических и электродинамических свойств композитных материалов, включая наноструктурированные композиты

В отчете представлены результаты, полученные в ИТПЭ РАН в 2025 г. в ходе выполнения НИР «Экспериментальное исследование электрофизических и электродинамических свойств композитных материалов, включая наноструктурированные композиты». Цель работы состояла в экспериментальном и теоретическом исследовании электрофизических, магнитных и радиофизических свойств наноструктурированных магнитодиэлектрических материалов, включая композиционные материалы и метаматериалы. В ходе работ были исследованы электродинамические свойства перспективных материалов для СВЧ диапазона: тонких ферромагнитных плёнок состава Fe–N и CoFeB, порошковых ферромагнетиков с полыми частицами, порошковых ферритов, а также метаматериаллов. Анализ частотной зависимости магнитной проницаемости пленок CoFeB различной толщины показал, что перпендикулярная магнитная анизотропия в пленках не возникает, и перехода в «закритическое» состояние не происходит для пленок толщиной 1400 нм включительно. Установлено, что при получении порошковых ферромагнетиков с полыми сферическими частицами при помощи спрей-пиролиза, размер частиц и геометрия полости зависят не только от

поверхностного натяжения раствора и скорости потока газа носителя, но и от химического состава прекурсора ферромагнетика. При помощи анализа закона приближения намагниченности к насыщению показано, что наиболее интенсивный максимум частотной зависимости мнимой части магнитной проницаемости вызван ферромагнитным резонансом. Исследование композитных материалов, наполненных частицами ферритов, показало, что собственная магнитная проницаемость таких включений зависит от их размера и отличается от измеренной магнитной проницаемости объёмного феррита. Показано, что результаты измерения единичных элементов метаматериала с периодической структурой в открытой симметричной полосковой линии могут быть использованы для оценки эквивалентных характеристик бесконечного слоя метаматериала в свободном пространстве. Предложен метод учёта распределения частиц проводящего наполнителя для анализа диэлектрической проницаемости композитного материала с диэлектрической матрицей. Показано, что использование для этой цели спектральной теории Бергмана–Милтона и применение аппроксимации Гоша–Фукса повышает точность предсказания эффективной диэлектрической проницаемости композитов по сравнению с классическими моделями смешения.

2. Теоретические и экспериментальные исследования магнитоактивных материалов, включая графен, сверхпроводники, магнитные полупроводники, топологические изоляторы

Изложены результаты работ, выполненных в 2025 году сотрудниками лаборатории теоретической электродинамики конденсированного состояния ИТПЭ РАН в рамках НИР «Теоретические и экспериментальные исследования магнитоактивных материалов, включая графен, сверхпроводники, магнитные полупроводники, топологические изоляторы» программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук.

а. Изучение физических механизмов возникновения наномасштабных неоднородных состояний и наноструктур в различных функциональных материалах

Исследована модель, в которой наноструктурные неоднородности возникают за счёт идеальной вложенности (нестинга) различных листов поверхности Ферми. Предполагается, что носители заряда различных типов взаимодействуют как друг с другом, так и с кристаллической решёткой. Показано, что в отсутствие допирования основное состояние такой модели является диэлектриком с волной спиновой или зарядовой плотности. При допировании возникает конечная ферромагнитная поляризация. Продемонстрировано, что механизм ферромагнетизма отличается здесь от обычно предполагаемого механизма Стонера. Построена фазовая диаграмма модели и изучены различные свойства упорядоченных фаз, что открывает новые перспективы в области физики и технологии магнитных материалов.

б. Исследование электронных и транспортных характеристик графеноподобных материалов

Двухслойный графен имеет разнообразные модификации, наименее изученная из них АА. В АА графене внутрислоевое электрон-электронное взаимодействие превышает межслоевое. В определённых условиях последнее меняет знак и становится притяжением. Показано, что при допировании в материале возникает волна спиновой плотности, которая при росте допирования преобразуется в сверхпроводящую фазу. Сверхпроводимость имеет экзотическую структуру: куперовские пары возникают за счёт спаривания электронов в разных слоях и имеют отличный от нуля импульс. Электронными свойствами АА графена можно управлять с помощью допирования

легирования и затворного напряжения, что важно для возможных приложений графеновых материалов.

с. Исследование свойств магнитных нанокompозитов и мемристивных структур на их основе

Для нанокompозитных (НК) плёнок $(\text{CoFeB})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ изучен скейлинг в зависимости аномального эффекта Холла $\rho_{\text{АНЕ}}$ от продольного сопротивления ρ при $x \approx 35\text{--}60$ ат.%, включая перколяционный переход. Обнаружено, что степень n в зависимости $\rho_{\text{АНЕ}} \propto [\rho(T)]^n$ ведёт себя немонотонно, испытывая области роста и область при $x \approx 44\text{--}50$ ат.%, где n практически не изменяется. Показано, что изломы в зависимости $n(x)$ определяют порог перколяции при $x_p \approx 50$ ат.% и переход металл–диэлектрик при $x_c \approx 44$ ат.%, которые в данных системах не совпадают. Исследование свойств НК при изменении x методами ферромагнитного резонанса и магнитооптической спектроскопии также указывают на наличие особенностей при $x \approx 44$ и 50 ат.%. Эти результаты расширяют возможность применения магнитных нанокompозитов.

d. Изучение свойств топологических полуметаллов и диэлектриков

Внесение в дираковский полуметалл магнитных атомов расщепляет конус Дирака на два конуса Вейля, формируя тем самым магнитный вейлевский полуметалл, привлекательный для приложений. Этот процесс исследован *ab initio*, на примере легирования дираковского полуметалла Cd_3As_2 атомами Cr, Mn и Fe. Рассчитаны зонная структура, поверхность Ферми, скорость электронов на уровне Ферми, а также оценено время релаксации при $T \rightarrow 0$. Продемонстрировано существование энергетических окон, свободных от 3d-состояний атомов примесей. Оценки показывают, что конус Вейля, если он сохраняется, доминирует в транспортных характеристиках системы, что согласуется с результатами экспериментов. Это даёт возможность управления свойствами топологических полуметаллов с помощью магнитных примесей.

е. Анализ квантовой когерентности и диссипации энергии в ансамблях сверхпроводниковых кубитов

Рассмотрена оптимизация разложения оператора эволюции по формуле Троттера–Сузуки применительно к квантовой симуляции спиновых моделей, с учётом квантовой когерентности и ошибок выполнения операций на цифровых квантовых компьютерах. Это примерно на порядок снижает ошибки при выполнении квантовых логических операций для сверхпроводниковых кубитов, и становится выгодным применять разложения более высоких порядков. При этом достигается глобальный минимум суммы ошибок: математической (аппроксимация Троттера) и физической (выполнение операций). Для сверхпроводниковых кубитов ключевой практический вывод заключается в том, что схема симуляции должна быть адаптирована под реальный уровень шумов: переход к высокому порядку Троттера даёт выигрыш только после достижения порога качества аппаратуры.

3. Теоретическое и экспериментальное исследование наноструктур для сенсорных, и информационных применений

В отчете представлены результаты, полученные в ИТПЭ РАН в 2025 г. в ходе выполнения НИР «Теоретическое и экспериментальное исследование наноструктур для сенсорных и информационных применений». В рамках работы выполнены теоретические фундаментальные, а также экспериментальные исследования, результаты которых могут найти широкое применение в области квантовых сенсоров и метрологии.

Проведены экспериментальные и теоретические исследования сильно легированных эрбиевых волоконных лазеров с короткими резонаторами. Изучены режимы работы при непрерывной накачке с длиной волны 976 нм. Исследована зависимость режимов генерации и параметров лазера от длины резонатора и мощности накачки, в частности – переключение с импульсного режима на непрерывный. Получены

зависимости длительности и частоты импульсов для различных длин волн излучения (1539 - 1557 нм) и длин резонаторов, на основе которых экспериментально выявлена и теоретически подтверждена универсальная зависимость частоты и длительности импульсов от выходной мощности генерации для эрбиевых волоконных лазеров с пассивной модуляцией добротности. На основе экспериментальных измерений были определены критические индексы генерации импульсов в эрбиевых волоконных лазерах, слабо зависящие от параметров резонатора. Экспериментально установлены универсальные соотношения между критическими индексами, что позволяет прогнозировать поведение лазерных систем на основе активных сред, легированных эрбием. Результаты работы могут быть чрезвычайно полезны для определения и прогнозирования параметров проектируемых эрбиевых лазеров ввиду универсальности критических индексов.

Предложен метод обработки данных для сенсоров на основе наклонных волоконных брэгговских решеток (TFBG), основанный на детальном анализе поведения системы при переходе оболочечных мод от распространения к вытеканию в окружающую среду. Изготовлен диэлектрический TFBG-сенсор и измерен его спектральный отклик на изменение показателя преломления окружающей среды. Изучено поведение эффективного показателя преломления вытекающей моды и показано, что оболочечные моды в TFBG-сенсоре демонстрируют поведение, характерное для неэрмитовых систем вблизи особой точки, а именно, мнимая часть показателя преломления имеет корневую зависимость от разницы между показателем преломления окружающей среды и эффективным показателем преломления моды: $n_2^H \sim \sqrt{n_{env} - n_2^L}$. На основе этого соотношения была предложена аналитическая модель для аппроксимации огибающей спектра пропускания TFBG-сенсора, которая позволила определить изменение показателя преломления с разрешением $2,1 \times 10^{-5}$ RIU по экспериментальным спектрам, что находится на уровне наилучших плазмонных и полностью диэлектрических TFBG-сенсоров. Модель может быть использована для определения абсолютного значения показателя преломления. Предложенный метод обнаружения изменений показателя преломления окружающей среды n_{env} может найти применение в задачах, требующих высокой точности и разрешающей способности сенсоров.

Предложена модель для описания генерации в волоконном лазере со сложной брэгговской решеткой, содержащей несколько π -сдвигов, основанная на модовом разложении поля при сохранении пространственной зависимости инверсии населенности. Применение модели проиллюстрировано на примере симметричного волоконного $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ лазера с резонатором, включающим три брэгговские решетки, разделенные двумя π -сдвигами. Данная модель может быть применена к широкому спектру активных сред, а также к волоконным резонаторам различных конфигураций. В частности, разработанный подход может быть модифицирован для использования с другими типами лазеров. Методы, разработанные в рамках проведенного исследования, также могут быть использованы для улучшения существующих подходов к решению лазерных уравнений для квантовых систем.

Описаны условия формирования когерентности излучения в среде с инверсией населенности и в среде молекул, участвующих в комбинационном рассеянии. В рамках теории Вайскопа-Вигнера показано, что вынужденное излучение по своей природе аналогично спонтанному, с той разницей, что оно происходит в моду, уже занятую фотонами. Процесс имеет пороговый характер, и его доминирование над спонтанным излучением наступает, когда число фотонов в моде становится столь велико, что вероятность излучения в неё сравнивается с вероятностью спонтанного излучения во все остальные моды. Показано, что принцип действия рамановского лазера фундаментально отличается от традиционных лазеров. В отличие от последних, механизм усиления в нём не связан с созданием инверсной населённости электронных уровней активных молекул. Вместо этого усиление происходит за счёт когерентного перекачки энергии от волны

накачки в лазерную моду, частота которой сдвинута на стоксову компоненту относительно частоты накачки. Установлено, что при взаимодействии с раман-активной молекулой волна накачки совершает положительную работу, теряя энергию, тогда как лазерная мода совершает отрицательную работу. Работа рамановского лазера может быть описана в рамках классической нелинейной оптики как генератор с когерентной накачкой.

Предложен подход к снижению порога режима жесткого возбуждения в оптико-механической системе, основанной на двух оптических модах, одна из которых накачивается когерентной волной, взаимодействующих друг с другом посредством фононной моды. Показано, что возбуждение оптической моды с более низкой частотой затравочной волной низкой интенсивности может привести к значительному снижению порога жесткого режима возбуждения, связанному с тем, что затравочная волна изменяет стабильность решений в области бистабильности. Это приводит к тому, что переключение из состояния без генерации к генерирующему состоянию происходит при более низких значениях интенсивности волны накачки. Полученный результат может найти применение при создании полностью оптических транзисторов и логических элементов и полезен для разработки нового поколения оптических и оптомеханических устройств.

Спонтанное нарушение симметрии в системах с симметрией является основным явлением, сопровождающим фазовые переходы второго рода. Предсказано противоположное явление, а именно спонтанное возникновение симметрии в системе, в которой симметрия отсутствует. На примере двух связанных осцилляторов, несимметрично взаимодействующих с набором осцилляторов, частоты которых равномерно распределены по конечному частотному диапазону, продемонстрировано, что состояние системы может приобретать симметрию, которая не присуща системному гамильтониану. Появление симметрии проявляется как изменение динамики системы, которое можно интерпретировать как фазовый переход в эрмитовой системе, лишенной симметрии. Полученные результаты открывают путь к изучению фазовых переходов с изменением симметрии в эрмитовых системах без симметрии.

Процессы переноса в открытых квантовых системах (ОКС) привлекают значительный интерес в связи с широким спектром приложений в различных областях квантовых технологий. Была рассмотрена открытая фермионная система с квадратичным гамильтонианом, взаимодействующая с резервуарами, имеющими различные температуры и химические потенциалы. Взаимодействие открытой квантовой системы с резервуарами приводит к переходам между её уровнями, что сопровождается появлением потоков энергии, частиц и тепла, которые зависят от разностей частот соответствующих уровней. Показано, что направления данных потоков определяются взвешенной заселённостью резервуаров, причем весовые коэффициенты определяются скоростями переходов между соответствующими уровнями. Исследовано влияние размерностей резервуаров на стационарные потоки и теплопроводность открытой системы. Зависимости, полученные в данном исследовании, могут быть использованы для управления амплитудами и направлениями потоков тепла в открытых фермионных системах посредством контроля над взвешенной заселённостью резервуаров, зависящей от частот переходов в ОКС, температур и химических потенциалов резервуаров. Таким образом, использование открытых фермионных систем в устройствах наноэлектроники может оказаться перспективным для контроля и управления величиной и направлением потоков энергии, частиц и тепла, для манипулирования температурами и химическими потенциалами различных частей сложных квантовых систем, и для дизайна сенсоров температуры и электромагнитного излучения.

В работе исследован эффект усиления электромагнитного поля серебряно-пластиковой метаповерхности, выполненной из дважды периодической системы нанополостей. Локализованные плазмонные моды возбуждаются и проявляются как выраженные локальные максимумы электрического поля, пространственно ограниченные в нанополостях метаповерхности, где поверхностный слой серебра имеет минимальную

толщину. Частотное положение возбуждаемых плазмонных резонансов в предложенной метаповерхности сильно зависит от толщины серебряного покрытия и неравномерности распределения серебра по метаповерхности. Дизайн метаповерхности позволяет локализовать отдельные био-объекты (такие как белки, вирусные частицы, внеклеточные везикулы и т.д.) с характерным размером до нескольких сот нанометров в области локализации максимальных полей метаповерхности для эффективного усиления комбинационного рассеяния.

4. Электродинамическое моделирование и расчетно-экспериментальное исследование радиофизических характеристик сложных объектов, а также определение возможностей изменения этих характеристик

В отчете представлены результаты, полученные в ИТПЭ РАН в 2025 г. в ходе выполнения работ по теме «Электродинамическое моделирование и расчётно-экспериментальное исследование радиофизических характеристик сложных объектов, а также определение возможностей изменения этих характеристик».

Разработана компьютерная модель низкочастотной рупорной безэховой камеры (диапазон рабочих частот от 0,1 до 1 ГГц) с гиперболической линзой, позволяющая оптимизировать параметры линзы для получения наименьшей неравномерности распределения поля в рабочей зоне. Проведено моделирование измерения характеристик рассеяния эталонного объекта в виде плоского металлического диска. Рассмотрены два линзовых коллиматора: обычная гиперболическая линза и эта же линза, покрытая с двух сторон просветляющим покрытием, оптимизированным для частоты 600 МГц. Исследовано влияние переотражений электромагнитной волны между линзой и диском на точность измерения его эффективной площади рассеяния. Показано, что просветленная линза снижает влияние переотражений электромагнитной волны не только на частоте просветления, но и в достаточно широком диапазоне частот. Кроме того, рассмотрен альтернативный вариант коллиматора с использованием плоской линзы Микаэляна. Модель данной линзы с градиентным изменением показателя преломления изготовлена с применением аддитивных технологий (3D печати). Проведены исследования распределения поля в рупорной камере с использованием плоской линзы, показано, что данная линза обеспечивает примерно такую же неравномерность распределения поля, как гиперболическая линза с просветлением.

Представлены материалы по разработке двух дополнительных секций (высокочастотной и низкочастотной) основного стенда для измерения электродинамических параметров плоских образцов материалов, который ранее имел рабочий диапазон частот от 2 до 40 ГГц. Высокочастотная секция обеспечивает измерения электродинамических параметров образцов материалов в диапазоне частот от 70 до 110 ГГц. Низкочастотная секция измерительного стенда обеспечивает измерения электродинамических параметров образцов материалов в диапазоне частот от 0,2 до 2 ГГц. При реализации данных стендов были применены ряд технологических и конструктивных решений, позволивших сохранить приемлемую точность измерений электродинамических параметров образцов материалов. Необходимая точность измерений, проводимых на разработанных секциях основного стенда, подтверждается результатами тестовых измерений.

Размерный эффект проявляется как пороговое значительное снижение эффективности маскировки поверхности размещением на ней поглотителя при уменьшении размеров маскируемой поверхности до нескольких длин волн. Задача ослабления проявлений размерного эффекта актуальна при проведении измерений

характеристик рассеяния отдельных элементов конструкции, когда интенсивность рассеяния остальными элементами должна быть значительно снижена, при решении задач электромагнитной совместимости и для ряда других приложений. Исследовано влияние размерного эффекта на коэффициент отражения по мощности от металлической пластины с поглощающим покрытием постоянной толщины и с пирамидальным поглотителем. Было доказано, что металлизация торцов поглотителя имитирует его бесконечность, что приводит к ослаблению проявлений размерного эффекта. Проведённые исследования также показали, что использование поглотителей с выровненными значениями диэлектрической и магнитной проницаемости снижает порог проявления размерного эффекта. Получено, что улучшение качества пирамидального поглотителя путём введения магнитного подслоя или сгущения пирамид приводит к снижению порога размерного эффекта до одной длины волны.

5. Разработка физико-химических методов синтеза функциональных оптических материалов и методов гигантского комбинационного рассеяния для создания молекулярно-диагностической платформы, обеспечивающей мониторинг биологических рисков и связанных с ними угроз.

В отчете представлены результаты, полученные в ИТПЭ РАН в 2025 г. в ходе выполнения НИР. В рамках работы был проведен ряд исследований, касающихся теоретических и практических аспектов использования гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) при разработке молекулярно-диагностической платформы.

Были рассмотрены математические методы машинного обучения и анализа данных для решения задачи классификации спектров Рамана для определения родов, видов и классов бактерий. Предложены математические методы предварительной обработки спектров Рамана для подготовки обучающих и тестовых выборок. Они включают непараметрические методы сглаживания, вычитания базовой линии, идентификации аномалий и выбросов, усреднения спектров в сериях, нечувствительных к выбросам. Описаны математические методы машинного обучения для классификации спектров, включающие в себя методы классификации, основанные на минимизации регуляризованного эмпирического риска для перепараметризованных моделей. Рассматриваются семейство методов линейного разделения классов, семейство методов градиентного бустинга классификаторов для построения ансамблей из более слабых классификаторов, а также нейронные сети с одним и более скрытых слоев нейронов сигмоидального типа с регуляризацией на основе норм, приводящих к разрежению векторов параметров и улучшению обобщающей способности классификаторов. Для оценки качества функционирования применялись методы скользящего контроля. Также рассмотрены методы поиска главных компонент в контексте решения задачи классификации.

Проведены исследования в области разработки лабораторной технологии производства ГКР-активных подложек с селективно усиливающими и адсорбционными свойствами по отношению к определенным анализам. В качестве основного метода получения ГКР-активных покрытий на основе серебра было предложен метод электронно-лучевого испарения в вакууме (ЭЛИ). Данный метод реализуется в сверхвысоковакуумной установке с камерой шлюзовой загрузки, что обеспечивает высокую химическую чистоту и воспроизводимые параметры серебряных пленок. Проведены исследования, направленные на выбор материала подложки и методы ее подготовки к процессу, что также непосредственно влияет на качество серебряных покрытий, их адгезионные характеристики, шероховатость и микроструктуру. Важно,

чтобы подложка была совместима с методикой ГКР-анализа, имела воспроизводимый спектральный фон, не перекрывающий аналитический диапазон. Силикатное стекло и кремний являются подходящим материалом, отвечающим основным требованиям. Перед процессом осаждения серебра подложки проходят многостадийную очистку поверхности, включающую в себя операции жидкостной отмывки, плазмохимической и ионно-плазменной обработки, что в совокупности с высоковакуумным процессом нанесения серебра методом ЭЛИ обеспечивает высокое качество и воспроизводимость серий ГКР-измерений на получаемых подложках, обеспечивая надежную статистику и высокий диагностический потенциал.

Была апробирована многоступенчатая технология на основе криохимического синтеза, гальванических и литографических методов, а также методов вакуумного распыления для создания ГКР-активных подложек со сложной структурой на микро- и наноуровне. Итоговые подложки представляли собой сэндвич-структуру серебро/полихлор-п-ксилилен/медь, где полимерный слой толщиной около 13 мкм заключен между двумя слоями ГКР-активных плазмонных металлов, серебра и меди, на стеклянной основе. Исследуемая структура представляла собой совокупность цилиндров на плоскости, разделенных промежутками и может быть использована в качестве резервуара при исследовании продуктов жизнедеятельности микроорганизмов *in-vivo*. Такая задача является актуальной для биомедицинских приложений при разработке методики контроля резистентности бактерий. Полученные подложки перспективны для регистрации низкомолекулярных органических соединений методом ГКР-спектроскопии, что продемонстрировано на примере 4-меркаптофенилбороновой кислоты (4-МФБК). Определена зависимость усиления интенсивности ГКР-сигнала от микроструктуры нанокompозита и толщины серебра. Эллипсометрические исследования подтвердили существование плазмонного резонанса на полученных подложках, что подтверждается наличием ГКР-эффекта на всех образцах.

Строение патогенов позволяет предположить, что составляющие их основные компоненты (белки, липиды и аминокислоты в случае бактерий и полисахариды в случае маркеров грибковых инфекций) характеризуются наличием колебательного спектра, который однозначно характеризует принадлежность аналита к виду патогена. Важнейшей задачей при создании химико-аналитических систем, позволяющих проводить диагностику острых и хронических бактериальных и микологических заболеваний является пробоподготовка. Были проведены эксперименты, направленные на определение оптимальных параметров пробоподготовки на этапе получения раствора аналита из биологического материала, основными процессами которого являются лизирование, центрифугирование, фильтрация. Для различных бактериальных образцов (*Staphylococcus Aureus* SA606, *Staphylococcus Aureus* SA36, *Staphylococcus Aureus* SA95, *Streptococcus Pyogenes* STR95, *Staphylococcus haemolyticus* SH15, *Staphylococcus saprophyticus* SS17) проведены:

- выбор оптимальной величины молекулярной отсечки;
- определение оптимальных условий лизиса;
- подбор оптимальной основы для формирования ГКР подложек при механическом лизисе;
- уточнение оптимальной величины молекулярной отсечки для термического лизиса на подложке с кремниевой основой.

В результате установлено, что наибольшие точности классификации возможны при термическом лизисе при 95°C без дальнейшего деления на фракции по молекулярному весу. Оптимальные ГКР спектры получены на серебряных подложках на кремниевой

основе, сформированных электронно-лучевым испарением в сверхвысоковакуумной установке электронно-лучевого испарения STE EB71M.

Определение грибковых антигенов в крови имеет решающее значение для ранней диагностики, мониторинга и прогноза инвазивных микозов. Эти тесты позволяют значительно сократить время постановки диагноза, повысить чувствительность и специфичность по сравнению с культуральными методами, что напрямую влияет на выживаемость пациентов с тяжёлыми грибковыми инфекциями. Проведено селективное определение олигосахаридов с галактофуранозным остатком (Galf) и концентрационная калибровка грибковых антигенов в модельной смеси методом ГКР спектроскопии с применением методов параметрической статистики. Впервые показана возможность регистрации ГКР-спектров олигосахаридов, не содержащих (олиго- α -(1-2)-маннан; олиго- β -(1-3)-глюкан; олиго- β -(1-6)-глюкан) и содержащих (олигосахарид, родственный антигену патогенного гриба *Aspergillus fumigatus*; олигосахарид, родственный антигену бактерии *Klebsiella pneumoniae*; олигосахарид, родственный антигену бактерии *Enterococcus faecalis*) остаток Galf в физиологически значимой концентрации 100 пг/мл на специализированных наноструктурированных ГКР-подложках. Рассмотренная в работе совокупность вычислительных методов показала свою применимость для анализа массива полученных спектров аналитов, что подтверждается метриками, показывающими 97% точность. Представленная совокупность методов может быть использована в дальнейшем при анализе других клинически значимых аналитов. Проведена оценка возможности определения клинически значимых концентраций грибковых антигенов в модельной сыворотке, имитирующей сыворотку крови человека. Объектами исследования являлись β -1,3-глюкан (β -1,3-Glc), β -1,6-глюкан (β -1,6-Glc), антиген *Candida albicans* (Ag.C.a.) и антиген *Aspergillus fumigatus* (Ag.A.f.). Показана возможность построения калибровочных зависимостей для модельной сыворотки, содержащей клинически значимые концентрации β -1,3-Glc (≥ 80 пг/мл), β -1,6-Glc (≥ 80 пг/мл), Ag.C.a. (> 125 нг/мл), Ag.A.f. (≥ 150 –200 нг/мл).

Предложен новый метод для выявления пароксизмальной фибрилляции предсердий (ФП) путем анализа спектров гигантского комбинационного рассеяния (ГКР-спектров) сыворотки крови у пациентов в сравнении с ГКР-спектрами сыворотки крови здоровых доноров. Спектральные измерения проводились в высушенных на компактных ГКР-подложках каплях сыворотки крови с немедленной последующей обработкой. Для обработки спектров использовались методы машинного обучения, в частности, метод логистической регрессии и метод главных компонент.

Для классификации были представлены оценочные показатели, среди которых значение точности составило 0.82, а чувствительности 0.93, что является высоким показателем при анализе образцов непосредственно из сыворотки крови пациентов с исследуемым заболеванием. Показано, что для проведения исследования было достаточно небольшого количества измеренных спектров для каждого образца (около 35 измерений). Проведен сравнительный анализ метода логистической регрессии и других широко используемых методов машинного обучения: метода опорных векторов и случайного леса. Была проведена оценка каждого метода и показаны преимущества логистической регрессии в решении задачи, представленной в данном исследовании. Представленное исследование демонстрирует перспективы использования описанного метода для анализа заболеваний, связанных с сердечно-сосудистыми рисками.

Исследованы возможности детализации спектров гигантского комбинационного рассеяния при селективном гидролизе пептидных связей белковых молекул на примере окислительной модификации фибриногена гипохлоритом. Ферментативный гидролиз

образцов нативного и обработанного окислителем фибриногена позволяет детектировать колебательные полосы, относящиеся к продуктам окисления боковых цепей аминокислотных остатков, в первую очередь, метионина и триптофана. Полученные данные верифицированы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС). Это открывает возможность использования предлагаемого подхода для исследования окислительных модификаций белков, которые влияют на функцию белка и могут приводить к различным нарушениям в организме на клеточном уровне (свертываемость крови, воспалительные процессы, тромбообразование и др.)

Разработана методика регистрации сигналов комбинационного рассеяния (КР) с помощью оптоволоконного зонда для работы с жидкими образцами. В работе с зондом апробирован метод разностной рамановской спектроскопии, который показал возможность устранения флуоресцентного фона, как от кювет, так и от аналита. Эффективность методики показана на водных растворах биологических молекул с концентрациями ниже 3 г/л.

В 2025 году проводились работы по двум грантам РНФ.

1. Исследование частотной зависимости эффективных электродинамических параметров новых композитных материалов для применения в микроволновом диапазоне

Целью Проекта является исследование взаимосвязи высокочастотных свойств композитных материалов с их структурными и магнитными свойствами для создания новых функциональных материалов для применения в микроволновом диапазоне.

1.1. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЛЕНОК CoFeB РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

Исследовано влияние толщины пленок Co₆₇Fe₇B₂₆ на их СВЧ магнитную проницаемость. Обнаружено, что статическая магнитная проницаемость и частота ферромагнитного резонанса слабо зависят от толщины пленки. Анализ частотных зависимостей магнитной проницаемости показал, что в исследованных пленках толщиной до 1,40 мкм магнитная анизотропия не выходит из плоскости пленок. Показано, что уменьшение пика мнимой части магнитной проницаемости с ростом толщины пленки обусловлено скин-эффектом.

Публикация по теме проекта доступна по адресу:

<https://www.mdpi.com/2673-8724/5/4/30>

1.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ И СВЧ СВОЙСТВ Co-Ni-Zn ФЕРРИТОВ-ШПИНЕЛЕЙ

Исследованы магнитостатические и СВЧ свойства ферритов-шпинелей состава Zn_{0,3}Ni_{0,7-x}Co_xFe₂O₄, полученных методом твердофазного синтеза. Показано, что увеличение содержания кобальта в феррите приводит к увеличению намагниченности насыщения и коэрцитивной силы. В диапазоне частот 0,1–18 ГГц наблюдаются два пика магнитных потерь. Положение низкочастотного пика слабо зависит от состава феррита, а высокочастотный пик смещается в сторону больших частот при увеличении содержания кобальта. Анализ магнитостатических и СВЧ свойств ферритов показал, что низкочастотный пик обусловлен движением доменных границ, а высокочастотный пик – естественным ферромагнитным резонансом.

Публикация по теме проекта доступна по адресу:

<https://jsc.niic.nsc.ru/article/154410>

1.3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОРОШКАМИ ЖЕЛЕЗА

Магнитная проницаемость и проводимость частиц карбонильного железа рассчитаны из измерений СВЧ диэлектрической и магнитной проницаемостей композитов, наполненных порошками железа. Влияние концентрации порошка на материальные параметры композита описывались с использованием инверсно-матричной модели смешения и модели эффективной среды. Параметры моделей найдены при помощи численной минимизации расхождения расчетных и измеренных зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемостей композита от частоты и наполнения. Предложен критерий выбора модели с наилучшим соответствием экспериментальным данным. Эффективная проводимость и магнитная проницаемость включений рассчитывались с использованием параметров инверсно-матричной модели. Значение проводимости, полученное из данных по комплексной диэлектрической проницаемости, оказывается на несколько порядков ниже, чем у чистого железа, что связано с контактным сопротивлением внутри кластеров включений. Проводимость и магнитная проницаемость вещества включения также были получены из эффективной магнитной проницаемости включения с учетом вихревых токов и распределения частиц по размерам. Спектр собственной магнитной проницаемости карбонильного железа имеет линию поглощения Лоренца с максимумом на частоте около 1 ГГц. Восстановленное в водороде железо имеет спектр собственной магнитной проницаемости, представленный широкой полосой поглощения от 200 МГц до 12 ГГц.

1.4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ С ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ПОЛЫЕ ЧАСТИЦЫ

1.4.1. ПОЛЫЕ ЧАСТИЦЫ $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$: СОСТАВ, ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

С помощью ультразвукового спрей-пиролиза с последующим восстановлением в водороде получены порошки системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$ с изменяющейся долей кобальта в составе. Порошки характеризуются наличием полых частиц субмикронного размера. Определены оптимальные температурные условия восстановления в атмосфере водорода 400 °С, при которых достигаются максимальные значения магнитных потерь при частоте ферромагнитного резонанса выше 10 ГГц. Увеличение доли кобальта в составе порошков приводит к сдвигу начала реакции окисления в область высоких температур. Наиболее эффективные динамические магнитные характеристики продемонстрировал композит с частицами порошка $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{36}$: высокую статическую магнитную проницаемость и частоту ферромагнитного резонанса. Полученные композиты демонстрируют два максимума магнитных потерь. При увеличении доли кобальта в составе частиц включений происходит подавление низкочастотного максимума, связанное с изменением магнитной структуры полых частиц.

1.4.2. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ СИСТЕМЫ ПОЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ

Теоретически исследована высокочастотная магнитная проницаемость композитных материалов, состоящих из полых ферромагнитных частиц, внедренных в немагнитную среду. Предполагается, что распределение намагниченности в такой частице является неоднородным и образует вихреподобную структуру. Рассмотрены два типа магнитной анизотропии, которые способствуют стабилизации такой магнитной конфигурации: магнитная анизотропия типа легкая плоскость и «круговая» одноосная

магнитная анизотропия с легкой осью, вращающейся вместе с направлением намагничивания. Высокочастотная магнитная проницаемость композитного материала была изучена в пределе невзаимодействующих частиц. Для частиц с толстой оболочкой магнитная проницаемость композита ведет себя аналогично для обоих типов магнитной анизотропии. Для частиц с тонкой оболочкой и одноосной магнитной анизотропией частотная зависимость магнитной проницаемости частицы аналогична зависимости для тонкой пленки. Показано также, что колебания намагниченности в высокочастотном поле неоднородны для обоих типов анизотропии.

Публикация по теме проекта доступна по адресу:

<https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/r9h1-1g48>

1.5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОТРЕЗКИ МИКРОПРОВОДОВ

Разработан метод изготовления термостойкого листового образца с диэлектрическим связующим на основе каолиновой ваты и наполнителем на основе микропроводов. Измерения комплексного коэффициента прохождения композитного материала при повышенных температурах проводились на квазиоптическом измерительном стенде в диапазоне частот от 2 до 18 ГГц при температурах от 20 до 400 °С. Исследована частотная зависимость комплексной диэлектрической проницаемости образца с микропроводами при повышенных температурах. По формуле Лоренца определена температурная зависимость электропроводности микропроводов, и установлено, что она незначительно изменяется с повышением температуры.

1.6. МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ И РАЗРАБОТКА ДВУХПОРТОВЫХ ПОЛОСКОВЫХ ЯЧЕЕК

Разработана универсальная двухпортовая калибровочная процедура для измерительных линий, основанная на использовании трех произвольных эталонных измерений. Для проверки методики была изготовлена экранированная двухпортовая полосковая измерительная линия. Аналитическая и экспериментальная верификация показала корректность работы калибровочной процедуры. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода и его применимость для повышения точности и расширения частотного диапазона измерений электромагнитных свойств материалов.

2. Разработка микрофлюидных биосенсоров на основе гигантского комбинационного рассеяния света

Мировой опыт исследований и разработок для биомедицины показывает, что для успешного перехода к персонализированной медицине одними из наиболее подходящих и перспективных являются диагностические платформы, основанные на микрофлюидных системах "лаборатория-на-чипе". В связи с этим, перспективным направлением работы является интеграция ГКР структур в микрофлюидные системы.

При разработке плазмонных нанорезонаторов важно знать максимальную величину локального электрического поля. Предложена аналитическая модель плазмонов, возбуждаемых в нанозазоре между металлическим наноцилиндром и металлической поверхностью для различных металлов. Возникающие гигантские локальные электрические поля приводят к гигантскому комбинационному рассеянию (ГКР). Найдены условия резонанса, при которых возможно достижение предела электромагнитного поля как внутри, так и вблизи зазора. Максимальное электрическое

поле $E_{\max}$ достигается, когда падающий свет находился в резонансе с модой плазмонного зазора, и может быть выражено через падающее поле E_0 как $|E_{\max}/E_0| \approx |E_{psM}|^3 / \text{Im}(E_{psM})$, где E_{psM} диэлектрическая проницаемость металла. Этот предел максимального поля, достижимого в нанозазоре.

Разработана аналитическая модель плазмонов, возбуждаемых в металлических резонаторах, наполненных исследуемыми молекулами. Аналитическая модель может быть использована для анализа ГКР от молекул в различных замкнутых металлических нанооболочках. Выполнен «точный» расчет электромагнитного поля в сферической металлической нанооболочке путем суммирования Ми разложения электромагнитного поля по векторным сферическим гармоникам. Выполнено детальное компьютерное моделирование ГКР от молекул, заключённых во внутри металлической нанооболочки. Приведено экспериментальное исследование ГКР в полистирольных наносферах, покрытых нанослоем серебра. Сигнал ГКР от таких наносфер, моделирует усиление сигнала КР от вибрирующей молекулы и вибрионов, покрытых нанослоем серебра. Установлено, что в диапазоне мощностей 2,5–10 мВт интегральная интенсивность спектра линейно возрастала, тогда как при увеличении мощности до 20 мВт происходило скачкообразное увеличение коэффициента усиления в 10^6 раз. Феномен активации возможно связан с локальной термомодификацией интерфейса «анализируемый объект - металлическое покрытие», что улучшает доступ к локализованным полям и обеспечивает формирование устойчивого резонансного состояния. Можно предположить, что при «всплавлении» серебряной оболочки в полистирольную сферу свободные «серебрянные» электроны проникают в полистирол и непосредственно взаимодействуют с молекулами вещества. Мы продолжаем теоретически и экспериментально исследовать обнаруженное явление.

Разработан дизайн и выполнена оптимизация параметров гибких метаповерхностей (ГМП) из тонкого поликарбоната с металлическим нанослоем. Методом голографической интерференционной литографии изготовлены метаповерхности с металлическим нанослоем. Исследован эффект локализации плазмонов и локального усиления поля. Локализация оптического возбуждения экспериментально наблюдается с помощью сканирующей оптической микроскопии ближнего поля в субволновых областях метаповерхности. Разработанные ГМП позволили получить сигналы ГКР от отдельных экзосом, которые представляют собой липидные нано-капли. Экзосомы непрерывно образуются живыми клетками для межклеточной коммуникации. Они включают в себя молекулы белка, РНК, ДНК, и участвуют в регуляции как нормальных, так и патологических процессов в живой клетке. Выделяемые раковыми клетками экзосомы интенсивно изучаются, поскольку являются перспективными средствами для диагностики онкологических заболеваний. Период модуляции разработанной соответствует размерам экзосом. Важным преимуществом разработанной плазмонной ГМП, является ее пространственная комплементарность экзосомам и другим микроскопическим биообъектам. ГМП позволяет различать одиночные экзосомы НЕК293Т нанесенные на эту высокоразвитую метаповерхность.

Разработан метод лазерной активации ГКР-активных пятен внутри тонкого слоя серебра, расположенных квадратной решеткой с периодом 50 мкм. Активация достигается лазерной абляцией серебряной пленки с образованием наноструктурированной поверхности. Этот подход позволяет генерировать *in situ* свежие, высокоэффективные ГКР положки непосредственно перед осаждением аналита. Предел обнаружения (LOD)

для этих систем оценивается $\sim 0,15$ мкМ, что достаточно для быстрого (5 с на спектр)

обнаружения и последующего ГКР анализа отдельных внеклеточных везикул и их кластеров.

Разработана микрофлюидная система позволяющая проводить автоматизированную пробоподготовку биологических проб непосредственно перед выполнением спектральных измерений методом спектроскопии ГКР с использованием описанных ранее ГКР-активных субстратов. С помощью программы 3D моделирования COMSOL была разработана топология производства микрофлюидных каналов и микроэлектродов микрофлюидного чипа и набора микроэлектродов. Была разработана методика сортировки везикулоподобных (вирусы экзосомы) биообъектов. Был создан прототип микрофлюидного чипа с системой каналов, обеспечивающих сортировку везикулоподобных биообъектов с заданными характеристиками, на основании технологии оптической литографии.

Shestopalova M., Korzhov D., Afanasyev K., Ivanov A., Bykov I., Sarychev A., Basmanov D., Il'in A., Mochalov K. // Laser-activated microfluidic SERS substrates // ACS Sensors. – 2025. ACS Sens. (2026) 11 (1): 589–598. Q1 <https://doi.org/10.1021/acssensors.5c03447>

Mochalov K., Korzhov D., Shestopalova M., Ivanov A., Afanasev K., Smyk A., Shurygin A., Sarychev A.K. Single exosome SERS detection by means of a flexible metasurface // Biosensors 2025, 15(12), 815; <https://doi.org/10.3390/bios15120815> Q1

При финансировании из внебюджетных источников в 2025 году выполнено 162 работы.

Публикации ИТПЭ РАН в 2025 году

1. М. Ю. Каган, М. М. Коровушкин, В. А. Мицкан, К. И. Кугель, А. Л. Рахманов, А. В. Рожков, А. О. Сбойчаков

Аномальная сверхпроводимость и необычные свойства нормального состояния двухслойного и подкрученного графена (Миниобзор)

Письма в ЖЭТФ, том 121, вып. 9, с. 749 – 759

2. Kagan M.Yu., Korovushkin M.M., Mitskan V.A., Kugel K.I., Rakhmanov A.L., Rozhkov A.V., Sboychakov A.O.

ANOMALOUS SUPERCONDUCTIVITY AND UNUSUAL NORMAL STATE PROPERTIES OF BILAYER AND TWISTED GRAPHENE (BRIEF REVIEW)

JETP Letters. 2025. T. 121. № 9. C. 709-718.

3.A.N. Azarevich, O.N. Khrykina, N.B. Bolotina, V.M. Gridchina, A.V. Bogach, S.V. Demishev, V.N. K rasnorussky, S.Yu. Gavrilkin, A.Yu. Tsvetkov, V.V. Voronov, K.I. Kugel, A.L. Rakhmanov, S. Gabáni, K. Flachbart, N.E. Sluchanko

Evidence for spin droplets (ferrons) formation in the heavy fermion metal CeB6 with dynamic charge stripes

Solid State Sciences, Volume 167, September 2025, 107990

4. A. V. Rozhkov, A. O. Sboychakov, and A. L. Rakhmanov

Ordered states in AB bilayer graphene in a SU (4)-symmetric model

Phys. Rev. B 111, 205421, 15 May, 2025

[5. A.O. Sboychakov, A.L. Rakhmanov, A.V. Rozhkov](#)

Superconductivity and spin density wave in AA stacked bilayer graphene

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures

Volume 165, January 2025, 116118

[6. A.O. Sboychakov,](#)

High-frequency permeability of a composite with ferromagnetic spherical shells,

Physical Review B 2025, v. 112, no. 14, id. 144413 (14 pages)

[7. Ya.I. Rodionov, A.V. Rozhkov, M.E.S. Beck, A.O. Sboychakov, K.I. Kugel, A.L. Rakhmanov,](#)

Nesting-driven ferromagnetism of itinerant electrons,

Physical Review B 2025, v. 112, no. 20 id. 205129 (15 pages)

[8. N.N. Kovaleva, D. Chvostova, T.N. Fursova, A.V. Muratov, S.I. Bozhko, Yu.A. Aleshchenko, A. Dejneka, D.V. Ishchenko, O.E. Tereshchenko, K.I. Kugel,](#)

Electronic localization on the structural inhomogeneities formed due to Bi and Te deficiency in the MBE grown films of AF topological insulator MnBi₂Te₄: Evidence from spectroscopic ellipsometry and infrared studies,

Journal of Chemical Physics 2025, v. 163, no. 19, id. 194711 (10 pages)

[9. Э. Т. Кулатов, Ю. А. Успенский, К. И. Кугель](#)

Магнитные топологические сплавы на основе дираковского полуметалла Cd₃As₂: легирование атомами Cr, Mn и Fe

Письма в ЖЭТФ, том 121, вып. 9, с. 771 – 781

[10. Kulatov E.T., Uspenskii Yu.A., Kugel K.I.](#)

MAGNETIC TOPOLOGICAL ALLOYS BASED ON THE CD₃AS₂ DIRAC SEMIMETAL: DOPING WITH CR, MN, AND FE

JETP Letters. 2025. T. 121. № 9. С. 735-745.

[11. М.А. Симдянова, А.Б. Грановский,](#) "Магнитооптические эффекты ферромагнитных металлов в терагерцовой области спектра", *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия* 2025, т. 80, вып. 4, id. 2540502 (4 стр.).

[12. Simdyanova M.A., Granovskii A.B.](#)

MAGNETO-OPTICAL EFFECTS OF FERROMAGNETIC METALS IN THE TERAHERTZ SPECTRAL RANGE

Moscow University Physics Bulletin. 2025. T. 80. № 4. С. 791-794.

[13. М. А. Симдянова, Е. А. Ганьшина, И. М. Припеченков, С. Н. Николаев, И. В. Быков, А. В. Дорофеев, А. Л. Васильев, А. В. Ситников, В. В. Рыльков, А. Н. Юрасов, А. Б. Грановский](#)

Магнитооптическая спектроскопия мемристорных нанокompозитных пленок CoFeB–LiNbO₃

ЖЭТФ, 2025, том 168, вып. 3 (9), стр. 382–389

[14.L.N. Oveshnikov, E.I. Nekhaeva, M. Jaloliddinzoda, A.I. Ril', A.V. Ovcharov, A.M. Kharlamova, E.A. Gan'shina, I.M. Pripechenkov, N.N. Perova, A.B. Davydov, L.A. Morgun, A.B. Mekhiya, A.B. Granovsky](#)

Effects of quenching on structure and properties of bulk ferromagnetic composites InSb-MnSb

Journal of Magnetism and Magnetic Materials

Volume 628, 15 September 2025, 173092

[15. Шипкова Е.Д., Перов Н.С., Макарьин Р.А., Пунда А.Ю., Живулин В.Е., Винник Д.А., Салахитдинова М.К., Ибрагимова Э.М., Грановский А.Б.](#)

Радиационные изменения структуры и магнитных свойств гексаферрита бария

ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, Том 89,

Номер 4, Год 2025 Страницы: 591-596

[16. Shipkova E.D., Perov N.S., Makaryin R.A., Punda A.Yu., Zhivulin V.E., Vinnik D.A., Salakhitdinova M.K., Ibragimova E.M., Granovskiy A.B.](#)

RADIATION-INDUCED CHANGES IN THE STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF BARIUM HEXAFERRITE

Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2025. T. 89. № 4. C. 562-568.

[17.E.N. Sheftel, V.S. Rusakov, E.A. Gan'shina, E.V. Harin, V.A. Tedzhetov, D.M. Gridin, A.M. Gapochka, I.M. Pripechenkov, A.B. Granovsky](#)

Structural and Magnetic States of Fe₁₀₀-Zr (x=6-13 at.%) Films: Peculiarities Verified by X-Ray Diffraction, Mössbauer and Magneto-optical Spectroscopies, and Magnetometr

Journal of Alloys and Compounds

Volume 1018, 5 March 2025, 179203

[18.](#)

[A. Oli, I. Dubenko, A. Granovsky, R. Razhabov, M. Hill, Yu. Koshkid'ko, S. Stadler, N. Ali, S. Talapatra](#)

Effects of carbon substitution on magnetic properties and magnetocaloric effects in Mn_{65-x}Ga₁₇C_{18+x} compounds

Journal of Alloys and Compounds

Volume 1017, 25 February 2025, 179036

[19.С.Н. Николаев, А.Б. Дровосеков, М.Ю. Дмитриева, К.Ю. Черноглазов, А.В. Ситников, А.Н. Талденков, А.Л. Васильев, Е.А. Ганышина, И.М. Припеченков, М.А. Симдянова, А.Б. Грановский, В.В. Рыльков](#)

Скейлинг аномального эффекта Холла как метод определения порога перколяции и перехода металл-изолятор в магнитных нанокompозитах с межгранульным взаимодействием

УФН, приборы и методы исследований

том 195, №6, стр.658

[20. Николаев С.Н., Ильясов А.И., Ичеткин Д.В., Емельянов А.В., Шабанов С.Ю., Ситников А.В., Демин В.А., Грановский А.Б., Рыльков В.В.](#)

ОСОБЕННОСТИ РЕЗИСТИВНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕМРИСТОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА (COFEB)X(LINBO3)100–X С NI-ЭЛЕКТРОДОМ: ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Российские нанотехнологии. 2025. Т. 20. № 1. С. 114-120.

[21. A.A. Zhukov, A.V. Lebedev, W.V. Pogosov](#)

Grover's search meets Ising models: a quantum algorithm for finding low-energy states

Computer Physics Communications

Volume 313, August 2025, 109627

[22. A. Yu. Dmitriev, A. V. Vasenin, S. A. Gunin, S. V. Remizov, A. A. Elistratov, W. V. Pogosov, and O. V. Astafiev](#)

Direct experimental observation of sub-poissonian photon statistics by means of multi-photon scattering on a two-level system

Phys. Rev. A 111, 043715

[23 A. A. Avtandilyan, W. V. Pogosov](#)

Optimal-order Trotter-Suzuki decomposition for quantum simulation on noisy quantum computers

Quantum Information Processing, Volume 24, article number 8, (2025)

[24. S. N. Nikolaev, A. I. Iliasov, D. V. Ichetkin, A. V. Emelyanov, S. Yu. Shabanov, A. V. Sitnikov, V. A. Demin, A. B. Granovsky & V. V. Rylkov](#)

Features of the Resistive Switching of Memristors Based on a $(\text{CoFeB})_x(\text{LiNbO}_3)_{100-x}$ Nanocomposite with a Ni Electrode: Influence of Temperature and Magnetic Field

Nanobiotechnology Reports, Volume 20, №1, pages 93–99, (2025)

[25. A. V. Rozhkov](#)

Umklapp-driven first-order transition into a charge-density wave phase

Phys. Rev. B 111, 205434

[26. A. V. Tsvetkova, Ya. I. Rodionov, and P. D. Grigoriev](#)

Resistivity, density of electronic states, and superconducting transition temperature in density wave compounds with imperfect nesting

Phys. Rev. B 111, 205141

[27. A.M. Smirnov, A.A. Rybaltovsky, I.A. Nechepurenko, A.V. Dorofeenko, O.V. Butov](#)

Critical behavior of erbium fiber lasers in pulsed and relaxation oscillations regimes

Optics & Laser Technology

Volume 181, Part B, February 2025, 111823

[28. E.D. Chubchev, E.I. Dolzhenko, K.A. Tomyshev, I.A. Nechepurenko, A.V. Dorofeenko, O.V. Butov](#)

Analysis of Propagation/Leakage transition of fiber cladding modes for processing of data from dielectric tilted fiber Bragg grating sensors

Measurement

Volume 253, Part B, 1 September 2025, 117479

[29. D.K. Vysokikh, A.V. Dorofeenko, A.A. Zyablovsky, O.V. Butov.](#)

Model of a distributed-feedback fiber laser with a multiple- π -shift cavity.

Physical Review A 112, 053508 (2025).

[30. T.T. Sergeev, E.S. Andrianov and A.A. Zyablovsky.](#)

Spontaneous symmetry emergence in a Hermitian system of coupled oscillators without symmetry // *Quantum*. – 2025. – V. 1746. – №1746.

[31. Artem R. Mukhamedyanov, Alexander A. Zyablovsky and Evgeny S. Andrianov.](#)

Control of threshold of hard excitation mode of optomechanical system by a low-intensity seed wave // *Optics Letters*. – 2025. – V. 50. – Issue 19. – P. 6121-6124.

[32. Pashkevich I.S., Doronin I.V., Zyablovsky A.A., Andrianov E.S.](#)

FLOQUET ENGINEERING OF LIGHT-MATTER STRONG COUPLING

Physical Review A. 2025. T. 112. № 4. C. 043710.

[33. Sergeev T.T., Zyablovsky A.A., Andrianov E.S.](#)

ANOMALOUS DEPENDENCE OF SENSITIVITY ON OBSERVATION TIME CAUSED BY MEMORY RETENTION IN A SYSTEM WITH BROKEN TIME-TRANSLATION SYMMETRY

Physical Review A. 2025. T. 111. № 6. C. 063708.

[34. Vovchenko I.V., Zyablovsky A.A., Pukhov A.A., Andrianov E.S.](#)

AUTONOMOUS COARSE-GRAINED COOLING OF THE COLDEST RESERVOIR NOT RESTRICTED BY THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

Physical Review A. 2025. T. 111. № 6. C. 062204.

[35. Mukhamedyanov A.R., Andrianov E.S., Zyablovsky A.A.](#)

NON-MONOTONIC DEPENDENCE OF THE RADIATION LINE WIDTH ON PUMPING IN A PHONON LASER

Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics. 2025. T. 42. № 1. C. 75.

[36. Лебедев А.М., Фурманова Т.А., Семизбаев А.Д., Семененко В.Н.](#)

Влияние качества пирамидального поглотителя на порог проявления размерного эффекта

Журнал радиоэлектроники. – 2025. – №. 11.

[37. Казанцев Ю.Н., Крафтмахер Г.А., Мальцев В.П., Солосин В.С.](#)

ОДНОМЕРНАЯ РЕШЕТКА ИЗ РАЗОМКНУТЫХ КОЛЕЦ (РАМОК) С ЕМКОСТНЫМИ ШУНТАМИ КАК ЭКРАН (РЕФЛЕКТОР) ДИПОЛЬНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Радиотехника и электроника. 2025. T. 70. № 5. C. 497-505.

[38. Казанцев Ю.Н., Крафтмахер Г.А., Мальцев В.П., Солосин В.С., Дьяконова О.А](#)

ПЛОСКАЯ ТОНКАЯ СТРУКТУРА С ФОТОННОЙ (ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ) ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНОЙ НА ОСНОВЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕТОК

Радиотехника и электроника. 2025. T. 70. № 5. C. 480-488.

[39. Балабуха Н.П., Меньших Н.Л.](#)

Моделирование измерений ЭПР проводящего диска в рупорной безэховой камере с линзой

Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2025. - 80 (5). – С. 2550301-2550310.

[40. Н. П. Балабуха, Д. А. Коняев, Н. Е. Шапкина](#)

Метод получения двухпозиционной диаграммы ЭПР тела по данным электромагнитного поля на плоскости или цилиндре в ближней зоне с помощью дискретных источников.

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2025. № 4. 2540102

[41. Balabukha N.P., Konyaev D.A., Shapkina N.E.](#)

METHOD FOR OBTAINING A BISTATIC RCS DIAGRAM OF A BODY USING NEAR-FIELD DATA ON A PLANE OR CYLINDER USING DISCRETE SOURCES

Moscow University Physics Bulletin. 2025. T. 80. № 4. C. 640-649.

[42. М.И. Пропой, Ф.Б. Хлебников, Д.А. Коняев, Н.Е. Шапкина, А.Н. Боголюбов](#)

Методика построения модели трехмерного зеркала коллиматора со скруглёнными краями на основе решения двумерных задач синтеза

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2025. № 4. 2540108

[43. Propoy M.I., Khlebnikov F.B., Konyaev D.A., Shapkina N.E., Bogolyubov A.N.](#)

METHOD FOR DESIGNING A THREE-DIMENSIONAL COLLIMATOR MIRROR MODEL WITH ROLLED EDGES BASED ON THE SOLUTIONS OF TWO-DIMENSIONAL SYNTHESIS PROBLEMS

Moscow University Physics Bulletin. 2025. T. 80. № 4. C. 690-697.

[44. K. Vereshchagin, E. Slipchenko, K. Afanasev, J. Zvyagina, V. Polozov, A. Naboko, M. Sedova, I. Boginskaya, I. Ryzhikov, A. Merzlikin](#)

Confocal Raman Microscopic Study of the SERS-Effect Spatial Localization Over Nanostructured Self-Assembled Silver Films

Journal of Raman Spectroscopy 56, no. 8 (2025): 673–685

[45. J.Y. Zvyagina, R.R. Safiullin, I.A. Boginskaya, E.A. Slipchenko, K.N. Afanas'ev, M.V. Sedova, V.B. Krylov, D.V. Yashunsky, D.A. Argunov, N.E. Nifantiev, I.A. Ryzhikov, A.M. Merzlikin, A.N. Lagarkov](#)

Selective Detection of Fungal and Bacterial Glycans with Galactofuranose (Galf) Residues by Surface-Enhanced Raman Scattering and Machine Learning Methods

International Journal of Molecular Sciences, (2025) 26(9), 4218.

[46. I. Boginskaya, R. Safiullin, V. Tikhomirova, O. Kryukova, K. Afanasev, A. Efendieva, N. Bulaeva, E. Golukhova, I. Ryzhikov, O. Kost, I. Kurochkin](#)

The surface-enhanced Raman scattering method for point-of-care atrial fibrillation diagnostics

Computers in Biology and Medicine, V. 189, 2025, 109923

[47. K.A. Vereshchagin, E.A. Slipchenko, I. A. Boginskaya, J.Yu. Zvyagina, K.N. Afanasev, D.A. Dikikh, M.V. Sedova, I.A. Ryzhikov, A.M. Merzlikin](#)

Extraordinary SERS on nanostructured self-assembled silver films due to preliminary random nano-profiling of substrate and ultrasonic exposure of analyte during the deposition

Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, V. 329, 2025, 125629.

[48. A.V. Ivanov, N.V. Bakholdin, M.S. Mikhailov, A. N. Lagarkov, I. A. Ryzhikov, K. N. Afanasev, I. V. Bykov, A. F. Smyk, A. V. Shurygin, A. N. Shalygin, G. Barbillon, A. K. Sarychev.](#)

Electric Field Enhancement in Metal-Dielectric Metasurface Based on Periodic Nanocavities.

Bull. Lebedev Phys. Inst. 52 (Suppl 1), S35–S42 (2025).

[49. Nikita S. Smirnov, Elizaveta A. Krivko, Daria A. Moskaleva, Dmitry O. Moskaev, Anastasia A. Solovieva, Aleksei R. Matanin, Vladimir V. Echeistov, Anton I. Ivanov, Elizaveta I. Malevannaya, Viktor I. Polozov, Evgeny V. Zikiy, Nikita D. Korshakov, Maksim I. Teleganov, Dmitry A. Mikhailin, Nikolai](#)

[M. Zhitkov, Ruslan V. Romashkin, Igor S. Korobenko, Aleksei V. Yanilkin, Andrey V. Lebedev, Ilya A. Ryzhikov, Aleksander V. Andriyash, Ilya A. Rodionov](#)

Subangstrom ion beam engineering of buried ultrathin oxides for scalable quantum computing

Science Advances. Vol 11, Issue 19, eads9744 (2025).

[50. Zikiy E.V., Stepanov I.A.1, Bukatin S.V., Baklykov D.A., Teleganov M.I., Krivko E.A., Smirnov N.S., Ryzhikov I.A., Bychkov S.P., Kotenkov S.A., Korshakov N.D., Agafonova J.A., Rodionov I.A.](#)

Mutual control of critical temperature, residual resistance ratio, stress, and roughness for sputtered NB films

Surfaces and Interfaces. 2025. Volume 72. C. 107266.

[51. Malevannaya E.I., Polozov V.I., Ivanov A.I., Matanin A.R., Smirnov N.S., Echeistov V.V., Moskalev D.O., Mikhalin D.A., Shirokov D.E., Panfilov Yu.V., Ryzhikov I.A., Andriyash A.V., Rodionov I.A.](#)

AN ENGINEERING GUIDE TO SUPERCONDUCTING QUANTUM CIRCUIT SHIELDING

Applied Physics Reviews. 2025. T. 12. № 3. C. 031334.

[52. Sgibnev Y.M., Shelaev A.V., Bykov I.V., Marasanov D.V., Ignatiev A.I., Nikonorov N.V., Baryshev A.V.](#)

Structural rearrangements induced by low-temperature Na⁺-Ag⁺ ion exchange in silicate matrix of photo-thermo-refractive glass

Optical materials, 2025, Volume 160, P. 116747

[53. Solnyshkin A.V., Vostrov N.V., Gudkov S.I.](#)

Features of polarization switching in printed films of polyvinylidene fluoride and its copolymer of poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene)

Modern Electronic Materials. 2025. T. 11. № 1. C. 13-18.

[54. G.V. Kurlyandskaya, N.A. Buznikov, A.V. Svalov](#)

Giant magnetoimpedance: 30 years since rediscovery and next steps

Physics of Metals and Metallography. 2024. Vol. 125. Suppl. 1. P. S33–S61

[55. A V Dolmatov, K N Rozanov, S S Maklakov and D A Petrov](#)

Study of the permittivity of composite materials filled with non-spherical inclusions of diverse structure

Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 58, Number 23, 235301

[56. A.В. Осипов, Н.А. Бузников, И.В. Комаров, С.А. Маклаков, С.С. Маклаков, К.Н. Розанов, А.О. Ширяев.](#)

Влияние скин-эффекта на частотную зависимость динамической магнитной проницаемости ферромагнитных пленок //

Физика металлов и металловедение, 2025, т. 126, № 5, с. 547–555.

[57. Шерстюк Д.П., Живулин В.Е., Зезюлина П.А., Петров Д.А., Ширяев А.О., Николайзин Н.В., Гудкова С.А., Винник Д.А.](#)

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И МИКРОВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ СОСТАВА ZN_{0.3}NI_{0.7}-XCOXFE₂O₄

Журнал структурной химии. 2025. Т. 66. № 10. С. 154410.

[58. Sherstyuk D.P., Zhivulin V.E., Zezyulina P.A., Petrov D.A., Shiryayev A.O., Nikolaizin N.V., Gudkova S.A., Vinnik D.A.](#)

SYNTHESIS, STRUCTURES, AND MICROWAVE PROPERTIES OF $\text{Zn}_{0.3}\text{Ni}_{0.7}\text{-XCOxFE2O4}$ FERRITES

Journal of Structural Chemistry. 2025. T. 66. № 10. C. 2198-2209.

[59. Buznikov, N.A.; Ivanov, P.A.; Komarov, I.V.; Lagarkov, A.N.; Maklakov, S.A.; Maklakov, S.S.; Osipov, A.V.; Rozanov, K.N.; Shiryaev, A.O.; Zezyulina, P.A.](#)

[Thickness Effect on Microwave Permeability of CoFeB Films on Flexible Substrate.](#)

Magnetism 2025, 5, 30.

[60. Julia Yu Zvyagina, Robert R Safiullin, Irina A Boginskaya, Ekaterina A Slipchenko, Konstantin N Afanas'ev, Marina V Sedova, Vadim B Krylov, Dmitry V Yashunsky, Dmitry A Argunov, Nikolay E Nifantiev, Ilya A Ryzhikov, Alexander M Merzlikin, Andrey N Lagarkov](#)

Selective Detection of Fungal and Bacterial Glycans with Galactofuranose (Galf) Residues by Surface-Enhanced Raman Scattering and Machine Learning Methods

International Journal of Molecular Sciences. 2025 Apr 29;26(9):4218

[61. Konstantin Vereshchagin, Ekaterina Slipchenko, Konstantin Afanasev, Julia Zvyagina, Victor Polozov, Andrey Naboko, Marina Sedova, Irina Boginskaya, Ilya Ryzhikov, Alexander Merzlikin](#)

Confocal Raman Microscopic Study of the SERS-Effect Spatial Localization Over Nanostructured Self-Assembled Silver Films

Journal of Raman Spectroscopy: Volume 56, Issue 8, Pages: 673-785

[62. A. D. Vasilyeva, I. A. Boginskaya, R. O. Aliev, L. V. Yurina, E. G. Evtushenko, M. I. Indeykina, K. N. Afanas'ev, M. V. Sedova, I. A. Ryzhikov, M. A. Rosenfeld, and I. N. Kurochkin.](#)

Surface-enhanced Raman spectral features enrichment by selective hydrolysis of protein molecule peptide bonds //

Russian Chemical Bulletin. – 2025. – V. 74. – No. 8. – P. 2377-2385

[63. Королев Д.П., Меньших Н.Л., Федоров С.А.](#)

Плоская линза как коллиматор для рупорной безэховой камеры

Современная электродинамика. – 2025. – Т. 4. – № 4 (18). – С. 13-23. EDN: NTLFIE.

[64. А.О. Сбойчаков](#)

Высокочастотная магнитная проницаемость системы полых сферических ферромагнитных частиц

Современная электродинамика, № 1 (15), 2025, стр.4

[65. Е.С. Андрианов, А.П. Виноградов, А.А. Пухов](#)

Вынужденное комбинационное рассеяние и работа рамановского лазера

Современная электродинамика, № 1 (15), 2025, стр 33-44

[66. В.Н. Кисель, А.С. Маслов](#)

Способ оптимизации параметров покрытия внутренней поверхности металлической полости

Современная электродинамика, Т.3, № 2 (16), 2025, стр 21-29

[67. В.Н. Кисель, А.С. Маслов](#)

Условия и критерии слабой угловой зависимости поверхностного импеданса однослойного магнитодиэлектрического покрытия

Современная электродинамика, Т.4, № 3 (17), 2025, стр 14-26

[68. Ю.Ю. Звягина, Д.И. Суров, К.А. Маилян, А.В. Киселев, К.Н. Афанасьев, А.В. Гусев, И.А. Богинская, М.В. Седова, И.А. Рыжиков](#)

Технология осаждения из газовой фазы нанокompозитов на основе ПХПК-AG для формирования ГКР-подложек.

Современная электродинамика, Т.3, № 2 (16), 2025, стр 04-20

[69. Р.В. Гильмутдинов, Н.Л. Меньших, С.А. Федоров](#)

Применение линзы Люнеберга для измерения коэффициента отражения на бистатическом стенде

Современная электродинамика, Т.6, № 4 (20), 2025, стр 04-10

[70. А.М. Лебедев, Т.А. Фурманова, В.Н. Семенов, А.Д. Семизбаев](#)

Формирование приповерхностных максимумов излучения собственными волнами тонких металлических стержней

Современная электродинамика, Т.6, № 4 (20), 2025, стр 11-18

[71. А.С. Набоко, В.И. Полозов, А.П. Шматков, А.В. Дорофеев, А.М. Мерзликин, И.А. Рыжиков](#)

Синтез и исследование тонкопленочного нераспыляемого геттерного покрытия Ti-Zr-V с низкой температурой активации для микроэлектронных устройств

Современная электродинамика, Т.6, № 4 (20), 2025, стр 19-25

4. Международная деятельность

В 2025 году по тематике Института совместно с зарубежными организациями было подготовлено 8 статей.

5. Материально-техническое обеспечение

1. ИТПЭ РАН располагает соответствующей действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех предусмотренных учебным планом видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки обучающихся аспирантов.

ИТПЭ РАН имеет специальных помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к сети "Интернет". Обучающимся обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду организации.

2. На всех компьютерах, используемых на занятиях и для научно-исследовательской работы, установлено требуемое лицензионное программное обеспечение.

3. ИТПЭ РАН обладает собственными сетевыми сервисами для обслуживания электронной почты (@itae.ru) и WEB-сервером (itae.ru), Доступ к электронно-

библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде открыт для аспирантов на протяжении всего времени обучения

4. Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН обеспечивает каждого аспиранта необходимой научной литературой.

В соответствии с договором № 01-07/07-2007 от 21.01.2007 Институт пользуется услугами библиотеки Объединенного института высоких температур РАН.

5. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте имеется оборудование для проведения исследований и разработки технологий применения радиопоглощающих покрытий и поглотителей в конструкциях антенных систем для оптимизации их радиотехнических характеристик.

В Институте имеется оборудование для проведения исследований электрофизических, радиофизических, магнитных и других свойств однородных и неоднородных сред с целью создания новых материалов для применения в СВЧ диапазоне частот.

В ИТПЭ РАН работает уникальный измерительный стенд, позволяющий проводить в широком диапазоне частот исследования фундаментальных явлений дифракции и уникальные измерения для прикладных целей таких как, разработка и создание безэховых камер, изучение рассеивающих свойств объектов сложной геометрической формы и исследование радиотехнических параметров антенн.

6. В ИТПЭ РАН функционирует многопроцессорный вычислительный комплекс (кластер), предназначенный для выполнения научно-технических расчетов. Комплекс работает под управлением операционной системы Linux, в состав специализированного программного обеспечения комплекса входит пакет электродинамического моделирования FEKO, трансляторы языков программирования Fortran и C++. Доступ к кластеру обеспечивается с рабочих станций, работающих в среде Windows. Организационные вопросы обеспечения расчетов решаются в соответствующем структурном подразделении Института — вычислительном центре.

6. Финансово-экономическая деятельность

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя тыс. руб.	
		2024	2025
1	Финансовая результативность научной организации по источникам дохода, в том числе средства, полученные:	1341226,6	1651104,8

	а	на выполнение государственных заданий	250422,6	268487,3
	б	на конкурсной основе из бюджетов всех уровней	17534,6	9238,9
	в	на конкурсной основе из внебюджетных источников	0	0
	г	из иностранных источников	0	0
	д	из внебюджетных источников на иные цели	1073269,4	1373378,6
2	Финансовая результативность научной организации по видам выполненных работ и оказанных услуг, в том числе		1508314,1	2068899,5
	а	исследования и разработки	1508314,1	2068899,5
	б	научно-технические услуги	0	0
	в	от использования результатов интеллектуальной деятельности	0	0
	г	товары, работы и услуги производственного характера	0	0
	д	иные доходы, не связанные с научными, научно-техническими услугами и разработками	0	0
3	Стоимость основных средств и нематериальных активов, в том числе:		262368,3	403916,84
	а	зданий и сооружений	24176,4	21744,4
	б	машин и оборудования	226087,7	381621,9
	в	нематериальных активов	4332,0	3268,9
4	Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки в том числе:		1222542,5	1615607,2
	а	фундаментальные исследования	192797,8	274507,9
	б	поисковые исследования	0	0
	в	прикладные исследования	47384,1	180965,7
	г	экспериментальные разработки	982360,6	1160133,6
5	Внешние затраты на исследования и разработки		11000,0	10000,0
6	Затраты на оплату труда работников, выполнявших научные исследования и разработки		709334,6	964097,5

7. Основные показатели деятельности

Научно-исследовательская деятельность

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	
		2024	2025
1	Число публикаций организации, индексируемых в "Белом списке" научных журналов, шт	-	44
3	Число публикаций организации, индексируемых в РИНЦ, шт	28	46
4	Цитируемость публикаций организации, индексируемых в "Белом списке"	-	1183
6	Цитируемость публикаций организации, индексируемых в РИНЦ	5561	1221

7	Количество выпущенной конструкторской и технологической документации, шт	35	36
8	Количество созданных результатов интеллектуальной деятельности, шт	1	8
9	Численность работников, выполнявших исследования и разработки, в том числе:	272	317
	исследователей, из них	58	98
	кандидатов наук	27	29
	докторов наук	13	14
	в возрасте до 39 лет	13	35
10	Количество научных журналов, в том числе электронных, издаваемых организацией	1	1
11	Количество грантов, полученных организацией	1	2
12	Количество проектов, финансируемых из внебюджетных источников	43	162
13	Численность защитивших диссертационные работы		
	а кандидатских	0	2
	б докторских	0	1

Образовательная деятельность
Информация о результатах приема:

Год	Шифр научной специальности и	Наименование научной специальности	Уровень образования	Форма обучения	Кол-во мест в рамках КЦП	Результаты приема обучающихся за счёт (количество человек):	Бюджетных ассигнований федерального бюджета	
							Всего	из них численность обучающихся, являющихся иностранными гражданами
2024	1.3.13	Электрофизика, электрофизические установки	Аспирантура	Очная	2	2	2	0
2025	1.3.13	Электрофизика, электрофизические установки	Аспирантура	Очная	2	2	2	0

Информация о численности обучающихся по реализуемым образовательным программам:

Год	Шифр научной специальности	Наименование научной специальности	Уровень образования	Форма обучения	Общая численность обучающихся за счет:	Бюджетных ассигнований федерального бюджета	
						Всего	из них численность обучающихся, являющихся иностранными гражданами
2024	1.3.13	Электрофизика, электрофизические установки	Аспирантура	Очная	5	5	0
2025	1.3.13	Электрофизика, электрофизические установки	Аспирантура	Очная	7	7	0

Ученый секретарь ИТПЭ РАН



А.Т. Кунавин