

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА **24.1.225.01**
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
«Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от «10» июня 2026 г., протокол № 18

о присуждении Заирову Рустэму Равилевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация Заирова Рустэма Равилевича «Полиэлектролитные лантаноидные коллоидные частицы для биомедицинских и биоаналитических целей» по специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите 19 февраля 2026 года, протокол № 7, диссертационным советом 24.1.225.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31, приказ Минобрнауки РФ № 553/нк от 23.05.2018.

Соискатель, **Заиров Рустэм Равилевич**, 24.01.1983 года рождения. В 2005 году окончил Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина по специальности «Химия». С 2005 по 2008 год проходил обучение в аспирантуре Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина по специальности 02.00.01 – Неорганическая химия.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01 – Неорганическая химия «Комплексообразование ионов лантанидов(III) с водорастворимыми каликсаренами в присутствии ПАВ и полипиридиновых металлокомплексов» защитил в 2009 г. в диссертационном совете Д 212.081.03 при Казанском государственном

университете. С ноября 2008 года по настоящее время работает в Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленном структурном подразделении ФИЦ КазНЦ РАН: с 2008 г. в должности младшего научного сотрудника, с 2013 г. – в должности научного сотрудника, а с 2020 г. – в должности старшего научного сотрудника. В период с 2010 по 2025 год Заиров Р.Р. проходил научные стажировки за рубежом: TU Dresden (2010 г., Дрезден, Германия, проф. В. Хабишер, д-р Грюнер), Lulea University of Technology (2016 г., 2019 г., Лулео, Швеция, проф. А. Вомиеро), ICCOM-CNR (2018 г., Пиза, Италия, проф. Л. Калуччи), Eskisehir Technical University, Izmir Technical University (2022, г. Эскишехир, г. Измир, Турция), Southwest Petroleum University (2023, Чэнду, Китай, проф. Инг Чжоу), Changchun Institute of Applied Chemistry (2025, Чанчунь, Китай, проф. Цунг Юй).

Диссертация на соискание ученой степени доктора наук **выполнена** в лаборатории физико-химии супрамолекулярных систем Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН.

Научный консультант – доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией физико-химии супрамолекулярных систем Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН Мустафина Асия Рафаэлевна.

Официальные оппоненты:

Федин Владимир Петрович, гражданин Российской Федерации, академик РАН, доктор химических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией химии металл-органических координационных полимеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

Федорова Ольга Анатольевна, гражданка Российской Федерации, доктор химических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующая лабораторией фотоактивных супрамолекулярных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова Российской академии наук, г. Москва;

Селиванова Наталья Михайловна, гражданка Российской Федерации, доктор химических наук, доцент, доцент кафедры физической и коллоидной химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.

дали положительные отзывы на диссертацию.

В отзывах имеются следующие замечания:

Федин В.П.: 1) Литературный обзор написан хорошо, однако неожиданно завершается техническим разделом 1.6 Классифицированный список лигандов, их структуры и обозначения. По мнению рецензента, литературный обзор в докторской диссертации должен завершаться обобщениями и выводами, базирующимися на уже выполненных исследованиях и обоснованием актуальности выполнения диссертационного исследования. 2) Методика *in situ* LbL является ключевой для данной работы и представляет несомненный интерес для других исследователей. Тем не менее, в экспериментальной части методика описана недостаточна подробно. 3) Стр. 128-129: Потери люминесцентного комплекса на каждом этапе нанесения полиэлектролитной оболочки, оцененные по флуориметрическим измерениям растворов супернатантов, составили менее 1%. Было найдено, что гидродинамический радиус полученных частиц зависит от количества слоев полиэлектролитов и со временем наблюдения увеличивается. Каков механизм этого динамического процесса? Что происходит с ядром, состоящим из комплекса лантаноида? 4) Какими экспериментальными методами доказано частичное дехелатирование ионов

лантаноидов, которое и обеспечивает необходимый заряд для адсорбции первого слоя полиэлектролита? 5) Какие новые комплексы лантаноидов были получены в ходе выполнения диссертационной работы как индивидуальные фазы, как они были охарактеризованы и как было доказано их строение? Как проводилась DFT-оптимизация структур комплексов? Какие модели и ограничения изначально закладывались? 6) Можно ли иммобилизовать коллоидные растворы, в том числе достаточно нестабильные однослойные или малослойные на подходящие твердые поверхности или в гидрогели и использовать их для аналитических определений? 7) Разработан ряд аналитических методик для определения различных аналитов в водных растворах. Проводился ли анализ в реальных объектах, имеющих сложный солевой фон, таких как питьевая вода, речная вода, морская вода? 8) Получены контрастные агенты для МРТ, превосходящие коммерческие аналоги по эффективности в несколько раз. Проводилось ли их исследование *in vivo*? 9) Текст диссертации написан, в целом, хорошим научным языком. Однако встречаются излишне эмоциональные оценки и неудачные выражения, например, «застройка объема гетерофазы». На стр. 165 неправильно используется термин «металлоорганические», так как в рассматриваемых соединениях нет связи металл-углерод. Правильно писать «металл-органические».

Федорова О.А.: 1) В начале Обсуждения результатов представлена Таблица с перечнем лигандов, катионов лантаноидов, которые использовались при создании полиэлектролитов. В дальнейшем в тексте Обсуждения фигурировали только номера этих лигандов. Это неудачное изложение, поскольку сложно по ходу чтения возвращаться к Таблице в начале главы Обсуждения. 2) На стр. 134 написано «Спектры люминесценции комплексов Eu^{3+} характеризуются наличием пяти типичных переходов....». На иллюстрации на рис. 43 сравниваются только пики в области 600 нм. Почему бы не показать спектры полностью? Может, различие наблюдается не только в одном пике. Ведь каждый пик

является характеристикой частицы, они могут указывать на различные протекающие процессы в частице и влияние структуры и состава частицы на них. 3) Небрежно представлены подписи к Таблице 5. Например, в расшифровке к Таблице необходимо аккуратно написать, что обозначают величины R , трасчёт., мс, тэксн., мс, PL Efficiency. В тексте хорошо бы упомянуть как получали трасчёт. 4) Предполагается, что в работе был обдуман выбор каликсареновых лигандов. Какие были идеи при выборе модификации каликсареновых лигандов? На какие параметры (устойчивость, уровень люминесценции) должна была повлиять выбранная модификация? 5) Показано, что коллоиды PSS- $\{Tb(4e)\}$ проявляют хемосенсорные свойства по отношению к катионам $Cu(II)$. А комплекс $\{Tb(4e)\}$ без полиэлектролитной оболочки может также давать люминесцентный отклик на присутствие катионов меди? 6) При изучении термосенсорных свойств полиэлектролитных наночастиц не наблюдается разрушения наночастиц при повышенных температурах? 7) Показаны хорошие хемосенсорные свойства полиэлектролитных коллоидов к катиону меди, глифосату, антибиотикам. Поскольку наночастицы сенсоров имеют ограниченную стабильность во времени, как предполагается использовать такие частицы в практике? Готовить их непосредственно перед проведением анализа? 8) Поскольку в работе выявлен потенциал практического применения разработанных наноэлектролитов, то важно понимать, насколько технологичным является метод получения *in situ* LbL коллоидных систем, возможно поставить его на технологическую наработку?

Селиванова Н.М.: 1) Каковы границы «универсальности» метода *in situ* LbL? Можно ли сформулировать количественные критерии: минимально допустимая гидрофобность, максимальный размер лиганда, критическая растворимость в органическом растворителе? 2) Для оценки степени гидратации использовался метод Хоррокса, разработанный для гомогенных растворов молекулярных комплексов лантаноидов. Влияют ли на точность

метода применение его для коллоидных частиц, у которых априори наличие полиэлектролитной оболочки, ограниченная диффузия молекул воды в полимерной матрице? 3) В работе отсутствуют прямые данные о структуре оболочки в нативном состоянии, поскольку все микроскопические данные получены на высушенных образцах. Интересно было бы применить методы, например, малоугловое рассеяние нейтронов или рентгеновских лучей. 4) В экспериментальной части (с. 297) приводится описание метода SAXS, хотя в обсуждении результатов анализируются данные метода порошковой рентгеновской дифракции в широких углах.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва – в своем положительном заключении, составленном и подписанном доктором химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории биоэлектрохимии Калининой Марией Александровной, указала следующие вопросы и замечания: 1) В разделе 2.1.1 говорится о том, что размер частиц $Eu(TTA)_3$ стабилизированных полиэлектролитами, меняется во времени (таблицы 2 и 3). Является ли размер частиц, измеренный через 6 дней хранения, равновесным и насколько такое поведение свойственно для коллоидов, полученных из прочих комплексов? Будет ли эволюция размеров частиц влиять на их люминесцентные и релаксационные характеристики? Почему гидродинамические радиусы частиц изменяются несимбатно с увеличением количества слоев? Аналогичный вопрос касается изменения ζ -потенциала при последовательном нанесении полиэлектролитов и перезарядке частиц. 2) Какова природа взаимодействия двух анионных макромолекул – коллоидов с внешним слоем из полистиролсульфоната и альбумина? Каково влияние альбумина на стабильность коллоидных систем и возможна ли декоординация катионов тяжелых металлов из наночастиц с образованием их комплексов с альбумином, прочими белками и биологическими макромолекулами? Было бы также интересно более широко рассмотреть

влияние связывания с биомолекулами на люминесцентные характеристики коллоидов, тем более что термочувствительность комплекса Eu^{3+} в клетках оказалась выше, чем в водном растворе. 3) Для исследования таких аспектов поведения комплексов в растворе, как равновесия «мономер/димер» или гидратация, автором использованы квантово-химические расчеты (например, раздел 2.1.4), однако практически нигде не сказано, какие именно методы были использованы. Здесь же, изучение димеризации комплексов Eu^{3+} на основе бис-бензоилацетонзамещённых производных каликс[4]аренов проводили с использованием спектроскопии DOSY на примерах комплексов La^{3+} (ионный радиус при КЧ 8 1.160 нм по Шеннону), хотя с точки зрения размера к Eu^{3+} (1.066 нм) был бы ближе катион Y^{3+} (1.019 нм). Какова причина выбора именно комплексов лантана в качестве модельных соединений? 4) В разделе 2.2.1 говорится о сенсорных свойствах наночастиц по отношению к фторхинолоновым и тетрациклиновым антибиотикам, но не обсуждается влияние сопутствующего фона из биологических сред на способность комплексов селективно определять именно указанные антибиотики. Проводились ли подобные испытания на реальных природных объектах или продуктах питания, намеренно загрязненных антибиотиками? 5) Имеются ли данные по принятым в Российской Федерации нормативам на допустимое содержание исследованных в работе загрязнителей – антибиотиков, солей меди(II) и глифосата в объектах окружающей среды? 6) Рассматривались ли возможности генерации активных форм кислорода наночастицами на основе комплексов лантаноидов или проявления ими фототермического эффекта для расширения потенциальных модальностей применения полученных систем в биомедицинских приложениях? 7) Работа написана грамотным языком, но в ней иногда встречаются опечатки и неудачные выражения, например, слова «трансметалляция» (стр. 102), «металлизация» (стр. 183) и пр.

В отзыве ведущей организации отмечено, что диссертационная работа Заирова Рустэма Равилевича «Полиэлектролитные лантаноидные

коллоидные частицы для биомедицинских и биоаналитических целей», представленная на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия, посвящена «созданию научного направления, базирующегося на альтернативном подходе к конструированию биосовместимых систем», который заключается в использовании изначально нерастворимых в воде координационных соединений лантаноидов и их переводе в форму коллоидных частиц, стабилизированных полиэлектролитными оболочками. Подчеркнуто, что разработанный автором метод послойной адсорбции полиэлектролитов на самогенерирующихся темплатах (*in situ* LbL) позволяет изучать влияние природы коллоидных частиц на их способность к молекулярному распознаванию, термосенсорному и магнитно-релаксационному поведению в водных средах, что «открывает возможность внедрения в практику широкой номенклатуры функциональных координационных соединений лантаноидов» и определяет актуальность работы. «Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы, а сформулированные вопросы предполагают дальнейшую дискуссию».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается общностью тематики исследования по диссертационной работе и областью научных интересов как ведущей организации, так и официальных оппонентов, являющихся ведущими специалистами в области физической и коллоидной химии наночастиц, в том числе лантаноидных и их приложении в области биомедицины и биоанализа.

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва, все положительные. Отзывы получены от:

1. д.х.н. Остроушко А.А. (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина), отзыв содержит вопрос: 1) *Автором реализованы исследования полученных объектов in vitro. Предполагается ли в перспективе изучение их in vivo, и каким образом, если ответ положительный?*

2. д.х.н. Костина Г.А. (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН), *отзыв без замечаний*;
3. д.х.н. Адонина С.А. (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН), *отзыв без замечаний*;
4. д.х.н. Ерёмина С.А. (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова), *отзыв без замечаний*.

Соискатель является автором 165 статей, в том числе по теме диссертации – 25 статей, в международных научных журналах, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России.

Диссертационная работа не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые опубликованные работы соискателя:

1. Mustafina, A. Synthesis and photophysical properties of colloids fabricated by the layer-by-layer polyelectrolyte assembly onto Eu(III) complex as a core / A. Mustafina, **R. Zairov**, M. Gruner, A. Ibragimova, D. Tatarinov, I. Nizameyev, N. Nastapova, V. Yanilkin, M. Kadirov, V. Mironov, A. Konovalov // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2011. – Vol.88. – №1. – P.490–496.
2. **Zairov, R.** High performance magneto-fluorescent nanoparticles assembled from terbium and gadolinium 1,3-diketones / R. Zairov, A. Mustafina, N. Shamsutdinova, I. Nizameev, B. Moreira, S. Sudakova, S. Podyachev, A. Fattakhova, G. Safina, I. Lundstrom, A. Gubaidullin, A. Vomiero // Sci Rep. – 2017. – Vol.7. – №1. – P.40486.
3. **Zairov, R.R.** Polyelectrolyte-coated ultra-small nanoparticles with Tb(III)-centered luminescence as cell labels with unusual charge effect on their cell internalization / R.R. Zairov, A.O. Solovieva, N.A. Shamsutdinova, S.N. Podyachev, M.A. Shestopalov, T.N. Pozmogova, S.M. Miroshnichenko, A.R. Mustafina, A.A. Karasik // Materials Science and Engineering: C. – 2019. – Vol.95. – P.166–173.

4. **Zairov, R.** Paramagnetic Relaxation Enhancement in Hydrophilic Colloids Based on Gd(III) Complexes with Tetrathia- and Calix[4]arenes / R. Zairov, S. Pizzanelli, A.P. Dovzhenko, I. Nizameev, A. Orekhov, N. Arkharova, S.N. Podyachev, S. Sudakova, A.R. Mustafina, L. Calucci // J. Phys. Chem. C. – 2020. – Vol.124. – №7. – P.4320–4329.
5. **Zairov, R.R.** Rational design of efficient nanosensor for glyphosate and temperature out of terbium complexes with 1,3-diketone calix[4]arenes / R.R. Zairov, A.P. Dovzhenko, S.N. Podyachev, S.N. Sudakova, A.N. Masliy, V.V. Syakaev, G.Sh. Gimazetdinova, I.R. Nizameev, D.V. Lapaev, Y.H. Budnikova, A.M. Kuznetsov, O.G. Sinyashin, A.R. Mustafina // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2022. – Vol.350. – P.130845.
6. **Zairov, R.R.** Role of PSS-based assemblies in stabilization of Eu and Sm luminescent complexes and their thermoresponsive luminescence / R.R. Zairov, A.P. Dovzhenko, S.N. Podyachev, S.N. Sudakova, T.A. Kornev, A.E. Shvedova, A.N. Masliy, V.V. Syakaev, I.S. Alekseev, I.M. Vatsouro, G.Sh. Mambetova, D.V. Lapaev, I.R. Nizameev, F. Enrichi, A.M. Kuznetsov, V.V. Kovalev, A.R. Mustafina // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2022. – Vol.217. – P.112664.

Диссертационный совет отмечает, что в рассмотренной научно-квалификационной работе создано научное направление, связанное с разработкой метода послойной адсорбции полиэлектролитов на самогенерирующихся темплатах и использования получаемых таким образом коллоидных растворов для биомедицинских и биоаналитических целей. На основе предложенной методологии получены люминесцентные сенсоры для определения антибиотиков, ионов меди(II), глифосата, высокочувствительные люминесцентные термосенсоры и нанотермометры, а также гадолиниевые полиэлектролитные частицы с высокими релаксивностями, перспективными для использования в качестве МРТ-контрастных агентов.

В диссертационной работе:

- **впервые разработан метод получения металлокомплексных наночастиц типа «ядро–оболочка» за счет послойной адсорбции полиэлектролитов на самогенерирующемся темплате, формируемом *in situ* из водонерастворимых хелатных комплексов лантаноидов при замене растворителя. Показано, что предложенный подход расширяет возможности классического метода LbL (layer-by-layer), поскольку не требует предварительного получения темплата и позволяет переводить гидрофобные комплексы лантаноидов в гидрофильное коллоидное состояние с сохранением или улучшением их функциональных характеристик;**
- **получен широкий ряд комплексных соединений европия(III), тербия(III), самария(III), иттербия(III) и гадолиния(III) с β -дикетонными, циклофановыми, фосфиноксидными и фталоцианиновыми лигандами, выступающих одновременно в качестве носителей люминесцентной или магнитно-релаксационной функции и строительных блоков для формирования наноразмерных ядер полиэлектролитных наночастиц. Из них получены водные дисперсии полиэлектролитных наночастиц, содержащие до пяти полиэлектролитных слоев на поверхности металлокомплексного ядра;**
- **установлены фундаментальные закономерности формирования и стабилизации полиэлектролитных наночастиц *in situ* LbL, включая взаимосвязь между структурой лиганда, природой металлокомплекса, поверхностным зарядом, количеством полиэлектролитных слоев и функциональными свойствами частиц. Показано, что частичное дехелатирование ионов лантаноидов на поверхности наноядер обеспечивает их положительный заряд, высокую адсорбционную и координационную способность, инициирует электростатическую адсорбцию полиэлектролитов и обуславливает устойчивость полиэлектролитной оболочки;**

- **выявлена корреляция между коллоидными, структурными и спектрально-фотофизическими характеристиками лантаноидных наночастиц**, полученных методом *in situ* LbL. Доказано, что эффективный перенос энергии с органического лиганда на лантаноидный металлоцентр сохраняется в составе наноядра, а также может реализовываться между различными лантаноидными центрами в гетеролантаноидных системах. Тем самым показана возможность настройки люминесцентных свойств наночастиц за счет варьирования природы лиганда, металлоцентра и состава полиэлектролитной оболочки;
- **созданы люминесцентные хемосенсоры на основе полиэлектролитных лантаноидных наночастиц** для определения водорастворимых аналитических субстратов, включая антибиотики фторхинолонового, тетрациклинового и β -лактамного рядов, ионы меди(II), нуклеотиды и глифосат. Показано, что доступность лантаноидного металлоцентра и поверхности металлокомплексного ядра для малых координирующих молекул является ключевым фактором формирования сенсорного отклика;
- **впервые разработаны люминесцентные термосенсоры и нанотермометры**, в которых функциональное ядро полностью построено из комплексных соединений лантаноидов с органическими лигандами. Установлены закономерности конструирования одноцентровых и двухцентровых лантаноидных систем для люминесцентной термометрии, включая моноядерные и гетерометаллические наночастицы, демонстрирующие высокую относительную чувствительность к изменению температуры в узком физиологическом диапазоне;
- **получены полиэлектролитные гадолиниевые наночастицы с высокими значениями релаксивности**, перспективные в качестве МРТ-контрастных агентов. Установлены параметры, определяющие их релаксивность, включая особенности строения металлокомплексного ядра, доступность гадолиниевых центров для молекул воды и влияние

полиэлектrolитной оболочки. Достигнутые значения релаксивности до $r_1 = 22,5 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ и $r_2 = 25,5 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ свидетельствуют о высоком потенциале таких систем для магнитно-резонансной диагностики;

- **продемонстрирована возможность создания бифункциональных магнитно-люминесцентных наночастиц** путем объединения в составе одного наноядра комплексов лантаноидов, отвечающих за различные физические функции. Тем самым предложена универсальная методология получения мультимодальных металлокомплексных наноплатформ, пригодных для люминесцентной визуализации, сенсорики, нанотермометрии и потенциального применения в МРТ-диагностике;
- **выполнена оценка цитотоксичности в отношении нормальных и опухолевых клеточных линий**, а также определение гемосовместимости лантаноидсодержащих наночастиц, полученных методом послойной сборки *in situ* (LbL). Результаты свидетельствуют о слабовыраженном цитотоксическом действии данных частиц и их незначительном влиянии на тромбоцитарную агрегацию. Обнаружено, что наименьшей токсичностью обладают образцы, в которых лантаноиды координированы макроциклическими лигандами. При этом максимальная величина показателя IC_{50} зафиксирована для тиакаликсареновых комплексов, характеризующихся сэндвичевым типом координации с соотношением металл:лиганд 2:2. Установлено, что однослойные LbL-наночастицы эффективно интернализуются клетками и локализуются в цитоплазматическом компартменте.

Теоретическая значимость работы определяется тем, что:

- сформулирована и экспериментально обоснована концепция получения металлокомплексных наночастиц типа «ядро-оболочка» за счет послойной адсорбции полиэлектролитов на самогенерирующемся темплате, формируемом из гидрофобных хелатных комплексов лантаноидов при замене растворителя. Предложенный подход расширяет

возможности классического метода LbL, поскольку не требует наличия предсинтезированного темплата и проводится одноэтапно;

- развиты представления о переводе водонерастворимых хелатных комплексов лантаноидов в состав гидрофильных коллоидов. Показано, что такие комплексы могут быть переведены в гидрофильное состояние с сохранением ключевых спектрально-фотофизических и магнитно-релаксационных характеристик, что открывает возможность их применения в биоаналитике, биовизуализации и медицинской диагностике;
- установлены фундаментальные закономерности формирования и стабилизации полиэлектролитных наночастиц, ядра которых построены из хелатных комплексов лантаноидов. Показано, что частичное дехелатирование ионов лантаноидов на поверхности наноядер формирует положительный поверхностный заряд, обеспечивает адсорбцию полиэлектролитов и определяет устойчивость оболочки;
- выявлены корреляции между структурой лиганда, составом металлокомплекса и свойствами формируемой коллоидной частицы. Установлено, что природа лиганда, тип лантаноидного центра, строение ядра, число полиэлектролитных слоев и природа внешнего слоя определяют размер, морфологию, поверхностный заряд, коллоидную устойчивость, люминесцентные характеристики и сенсорный отклик наночастиц;
- развиты представления о фотофизике и сенсорном поведении лантаноидных комплексов в составе коллоидных наноядер. Доказано сохранение эффективного переноса энергии с органического лиганда на лантаноидный металлоцентр, а также возможность настройки люминесцентных и хемосенсорных свойств за счет изменения состава ядра, структуры лиганда и доступности металлоцентра для аналитов;
- сформулированы принципы создания функциональных лантаноидных наноматериалов для хемосенсорики, люминесцентной термометрии и

магнитно-релаксационной диагностики. Показано, что термометрический и релаксационный отклик таких систем определяется природой металлоцентров, энергетическими уровнями лигандов, доступностью Gd(III)-центров для молекул воды, размером частиц и особенностями полиэлектролитной оболочки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработан метод получения водных дисперсий металлокомплексных наночастиц типа «ядро–оболочка» за счет *in situ* формирования ядра из водонерастворимых хелатных комплексов лантаноидов и его стабилизации полиэлектролитной оболочкой. Показана универсальность предложенного метода и возможность расширения границ его практического применения;
- предложен подход к гидрофилизации широкого круга хелатных комплексов лантаноидов, позволяющий переводить гидрофобные β -дикетонные, циклофановые, фосфиноксидные и фталоцианиновые комплексы в коллоидно устойчивое состояние с сохранением их функциональных характеристик, что открывает перспективы их использования в оптике и ЯМР;
- созданы люминесцентные хемосенсоры на основе лантаноидных полиэлектролитных наночастиц для определения практически значимых аналитов, включая антибиотики, ионы меди(II), нуклеотиды и глифосат;
- разработаны люминесцентные термосенсоры и нанотермометры, в том числе работающие в физиологическом диапазоне температур и перспективные для локального температурного мониторинга в биологических системах;
- получены гадолиниевые и бифункциональные магнитно-люминесцентные полиэлектролитные наночастицы, демонстрирующие повышенные релаксивности и перспективы применения в качестве МРТ-контрастных агентов и мультимодальных диагностических платформ.

Достоверность результатов обеспечена применением комплекса современных физических и физико-химических методов исследования, включая спектрофлуориметрию, УФ–видимую спектроскопию, ЯМР-спектроскопию, ИК-спектроскопию, рентгеноструктурный анализ, рентгеновскую дифракцию, электронную микроскопию, динамическое рассеяние света, измерение дзета-потенциала, магнитно-релаксационные измерения, а также методы оценки цитотоксичности и гемосовместимости. Научные положения и выводы диссертации обоснованы согласованностью данных, полученных независимыми методами, многократной воспроизводимостью результатов в различных лабораториях, включая зарубежные, и соответствуют современным представлениям физической, коллоидной и координационной химии о строении, стабилизации и функциональных свойствах металлокомплексных наночастиц.

Личный вклад соискателя заключается в выборе и формулировке научного направления, постановке цели и задач исследования, разработке концепции получения полиэлектролитных наночастиц на самогенерирующихся темплатах из хелатных комплексов лантаноидов, планировании и выполнении основной части экспериментальных исследований, анализе и интерпретации спектрально-фотофизических, коллоидных, сенсорных и магнитно-релаксационных характеристик полученных систем, а также в обобщении результатов, формулировании научных положений и подготовке публикаций по теме диссертационной работы.

В ходе заседания критических замечаний высказано не было. Соискатель Заиров Р.Р. аргументированно ответил на все заданные вопросы.

На заседании 10 июня 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Заирову Рустэму Равилевичу ученую степень доктора химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия за разработку нового метода получения функциональных металлокомплексных наночастиц

типа «ядро–оболочка» путем послойной адсорбции полиэлектролитов на самогенерирующихся темплатах из хелатных комплексов лантаноидов, установление закономерностей формирования и стабилизации таких коллоидных систем, а также создание на их основе люминесцентных сенсоров, нанотермометров, магнитно-релаксационных и бифункциональных магнитно-люминесцентных наноплатформ, что может быть квалифицировано как научное достижение в области физической и коллоидной химии функциональных металлокомплексных наноматериалов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.4.4. Физическая химия, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Олег Герольдович Синяшин

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат химических наук

Резеда Ринатовна Фазлеева

«10» июня 2026 г.