

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Федеральный исследовательский

центр «Казанский научный центр

Российской академии наук»

д.ф.-м.н., член-корр. РАН

А.А. Калачев

«10» ноября 2024 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Федеральный исследовательский центр

«Казанский научный центр Российской академии наук»

Диссертация Довженко Алексея Павловича «Хемо- и термолюминесцентные сенсоры на основе полиэлектролитных наночастиц, построенных из (тия)каликс[4]ареновых комплексов лантаноидов» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия выполнена на кафедре физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), а также в лаборатории физико-химии супрамолекулярных систем Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН).

Довженко Алексей Павлович в 2020 году окончил Казанский (Приволжский) федеральный университет по специальности/направлению подготовки 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия». В 2024 г. Довженко А.П. окончил очную аспирантуру Химического института им. А.М. Бутлерова ФГАОУ ВО КФУ Минобрнауки РФ по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки.

С 2022 г. по н.в. Довженко А.П. работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории физико-химии супрамолекулярных систем ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН. С 2023 г. по н.в. работает в должности лаборанта-исследователя в Секторе функциональных наноматериалов НИЛ «Материалы для водородной энергетики и традиционной энергетики с низким углеродным следом» Химического института им. А.М. Бутлерова ФГАОУ ВО КФУ.

Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физико-химии супрамолекулярных систем ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, доцент кафедры физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова ФГАОУ ВО КФУ Заиров Рустэм Равилевич.

Диссертация Довженко А.П. обсуждалась на заседании расширенного научного семинара ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» (протокол № 5 от 22.10.2024 г.). На заседании присутствовало 40 чел., в т.ч. члены диссертационного совета 24.1.225.01 и Ученого совета ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН: д.х.н., чл.-корр. РАН Карасик А.А.; д.х.н. Латыпов Ш.К.; д.х.н., доцент Мусина Э.И.; д.х.н. Губайдуллин А.Т.; д.х.н., доцент, профессор РАН Яхваров Д.Г.; д.х.н., доцент Мустафина А.Р.; д.х.н. Хаматгалимов А.Р., к.х.н. Торопчина А.В.

В ходе обсуждения диссертации соискателю были заданы следующие вопросы:

1. к.х.н. Хризанфоров М.Н.: Почему в рамках данной работы для анализа эффективности интернализации наночастиц в клетки были использованы клетки линии М-HeLa, и были ли использованы другие клетки для проведения данного анализа?

2 д.х.н. Мусина Э.И.: Правильно ли использовать по отношению к люминесцентным термометрам, представленным в данной работе, термин «рациометрический» и не будет ли более корректным использование термина «ратиометрический»?

3. **д.х.н. Карасик А.А.:** Какие характеристики МРТ контрастных агентов оцениваются и являются ключевыми при их эксплуатации? Рассматривая характеристики токсичности МРТ контрастных агентов, какая из них является более важной – острая или хроническая?

4. **к.х.н. Паширова Т.Н.:** Почему для стабилизации комплексов лантаноидов в составе полиэлектролитных наночастиц был использован именно полистиролсульфонат (ПСС)? Остаётся ли Gd^{3+} в свободной форме акваионов после синтеза и очистки ПСС-коллоидов?

5. **д.х.н. Губайдуллин А.Т.:** С чем связано отличие в размерах наночастиц, полученных по данным изображений атомно-силовой и просвечивающей электронной микроскопии? Почему в качестве растворителя для комплексов изначально был выбран ДМФА и можно ли использовать другие растворители?

6. **д.х.н. Карасик А.А.:** Для чего определяют температуру внутри клеток?

7. **д.х.н. Хаматгалимов А.Р.:** В чем преимущество определения глифосата с использованием предложенной методики?

8. **д.х.н. Карасик А.А.:** В какой среде предполагается определение глифосата?

9. **к.х.н. Паширова Т.Н.:** Каким образом глифосат проникает через полиэлектролитную оболочку наночастиц?

На все поставленные вопросы соискатель дал исчерпывающие ответы.

С рецензией на работу выступила к.х.н. Гайнанова Г.А. Рецензия положительная.

Комплексы лантаноидов, обладая уникальными люминесцентными и магнитными характеристиками, занимают особое место в области анализа, биовизуализации и медицины. Неспаренные 4f-электроны лантаноидов, благодаря эффекту экранирования 5s- и 5p-подуровнями, обуславливают их фотофизические свойства, независимые от лигандного окружения. При этом значительную часть функций в комплексах лантаноидов выполняют лиганды, обеспечивающие эффективную сенсibilизацию люминесценции лантаноидов и необходимый уровень устойчивости. Конвертация комплексов в форму наночастиц является необходимым шагом для улучшения их биосовместимости и химической

инертности. Реализованные в рамках данной работы исследования функциональной активности комплексов лантаноидов и их сочетание с уникальными особенностями формы полиэлектролитных наночастиц в рамках разработки новых функциональных наноматериалов представляют актуальную и значимую область исследований.

Основными объектами исследования в данной работе являются комплексы лантаноидов с каликс[4]ареновыми и тиакаликс[4]ареновыми лигандами. Стабилизируя данные комплексы в водной среде за счёт перевода в состав полиэлектролитных комплексов, автор создает новые люминесцентные и магнитно-релаксометрические лантаноидные наноматериалы и демонстрирует возможность их применения в качестве люминесцентных хемо- и термосенсоров, а также их потенциал использования в качестве МРТ-контрастных агентов.

Диссертационная работа Довженко А.П. построена по классическому плану. Она состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части, обсуждения результатов работы, выводов, списка литературы и приложения. Работа написана на 164 страницах, включает 53 рисунка, 21 таблицу.

Во введении обоснована необходимость проведения диссертационного исследования.

В литературном обзоре (Глава 1) описаны особенности люминесценции и магнитно-релаксометрических характеристик лантаноидов и их комплексов, а также рассмотрены способы конвертации нерастворимых в воде комплексов в различные формы наночастиц. Отдельно можно отметить подробный обзор используемых объектов исследования.

Глава 2 посвящена описанию инструментальной базы и методик, применявшихся в работе.

Глава 3 включает оригинальные результаты исследований автора и их обсуждение.

Результаты работы отличаются новизной: получены полиэлектролитные наночастицы с включением комплексов трехвалентных лантаноидов (Eu, Tb, Gd, Sm) с каликс[4]ареновыми и тиакаликс[4]ареновыми лигандами, в том числе гетеролантаноидные наночастицы; разработан люминесцентный нанотермометр, обладающий двумя каналами эмиссии в красной области электромагнитного

спектра, для радиометрического определения температуры; впервые продемонстрирована интернализация полиэлектролитных наночастиц на основе комплексов Tb³⁺ с тиакаликс[4]ареновыми лигандами в клетки рака шейки матки M-Nela с сохранением высоких показателей термолюминесцентной чувствительности.

Теоретическая значимость диссертационной работы Довженко А.П. заключается в расширении линейки комплексных соединений лантаноидов, встроенных в полиэлектролитные наночастицы, выявлении новых взаимосвязей типа «структура-свойство» между коллоидными, люминесцентными и магнитно-релаксометрическими свойствами полученных наночастиц и структурой лигандного окружения ионов, а также в получении набора данных хемо- и термочувствительности люминесцентного отклика лантаноидных наночастиц. Практическая значимость заключается в получении новых радиометрических люминесцентных термометров с чувствительностью на уровне лучших литературных примеров, получении полиэлектролитных наночастиц с высокими характеристиками релаксивности, что в совокупности с их низкой цитотоксичностью и эффективностью проникновения в клетки делает полученные лантаноидные наночастицы потенциальными контрастными агентами и люминесцентными сенсорами.

О достоверности результатов диссертации свидетельствуют большой объем экспериментального материала, применение комплекса современных физико-химических методов исследования, сопоставление собственных результатов с имеющимися данными из надежных литературных источников.

Результаты исследований Довженко А.П. опубликованы в 5 статьях в рецензируемых международных научных журналах с высоким рейтингом, например, Journal of Molecular Liquids, Sensors and Actuators B: Chemical, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также в 11 тезисах на Всероссийских и Международных научных конференциях и форумах.

Публикации и автореферат полностью отражают основные научные результаты, положения и выводы, приведенные в диссертации. Диссертация отвечает паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия в части:

П. 1. Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик.

П. 4. Теория растворов, межмолекулярные и межчастичные взаимодействия. Компьютерное моделирование строения, свойств и спектральных характеристик молекул и их комплексов в простых и непростых жидкостях, а также ранних стадий процессов растворения и зародышеобразования.

По тексту работы имеются следующие вопросы и замечания:

1. Автору следует внимательнее отнестись к терминологии и названию макроциклических соединений, выбранных в качестве лигандов. Встречаются такие неудачные формулировки как «мягкая организация», «жесткие взаимодействия», «гидрофильное состояние». Следует привести названия лигандов к одному виду. Например, встречаются такие названия «бис-бензоилацетон функционализированные по нижнему ободу каликс[4]арены», «бис-бензоилацетон-каликс[4]ареновые лиганды», «1,3-дикетонат функционализированные каликс[4]арены».

2. Литературный обзор выполнен на хорошем уровне и дает полное представление о современном состоянии исследований по теме работы. Однако следует расширить заключение по литературному обзору с акцентом на нерешенных проблемах для обоснования целей и задач диссертации.

3. В разделе 3.3.3 утверждается, что «Коллоидные характеристики гетерометаллических наночастиц полностью соответствуют свойствам их монометаллических аналогов». Как было доказано формирование именно гетерометаллических наночастиц?

4. Можно ли рассчитать по полученным результатам константу тушения люминесценции?

5. Следует добавить названия клеточных линий и степень чистоты для коммерческих реактивов.

6. В работе несколько раз дублируются структурные формулы лигандов, например, в таблицах 1 и 6, на рисунках 31 и 40.

7. Список сокращений необходимо расширить, как минимум, на 11 позиций для удобства работы с рукописью.

8. Все подписи к рисункам, которые не являются авторскими, необходимо дополнить ссылками на первоисточник.

9. Список публикаций по теме диссертации, приведенный в разделе «Введение», необходимо встроить в общий список литературы и расставить ссылки на них в разделе «Обсуждение результатов».

10. Раздел «Основные результаты и выводы» следует назвать «Заключение» и дополнить рекомендациями и перспективами дальнейшей разработки темы.

11. Требуется редакция выводов с большим акцентом на выявленных закономерностях «структура-свойство».

12. В диссертации встречаются опечатки, которые необходимо исправить.

13. Список литературы следует переоформить с вынесением фамилии первого автора перед названием статьи, перечислением всех авторов статьи и приведением doi для каждой публикации. Последнее значительно облегчает работу при необходимости обращения к первоисточнику.

Все отмеченные замечания носят рекомендательный характер.

Диссертация Довженко Алексея Павловича «Хемо- и термолюминесцентные сенсоры на основе полиэлектролитных наночастиц, построенных из (тия)каликс[4]ареновых комплексов лантаноидов» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости отвечает требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача физической химии, заключающаяся в создании полиэлектролитных наночастиц на основе комплексов лантаноидов с каликс[4]ареновыми и тиакаликс[4]ареновыми лигандами, обладающих оптимальными коллоидными и фотофизическими характеристиками.

Диссертация может быть рекомендована к представлению в диссертационный совет по специальности 1.4.4. Физическая химия.

По итогам обсуждения принято следующее **Заключение**.

Актуальность работы. В последние годы разработка и применение функциональных наноматериалов с сенсорными свойствами приобретает всё большую значимость. Особое место в области развития функциональных наноматериалов занимают соединения лантаноидов. Выдающиеся парамагнитные свойства $Gd(III)$ позволяют использовать соединения на его основе для усиления контраста при проведении магнитно-резонансной томографии. Наличие электронных переходов на внутренних экранированных 4f-орбиталях обуславливают наличие у лантаноидов уникальных фотофизических характеристик, которые включают в себя характерные спектры эмиссии, длительные времена люминесценции (от микросекунд до миллисекунд), а также большие значения Стоксова сдвига. В совокупности данные свойства позволяют легко выделять их люминесценцию от сигналов фоновых компонентов и эффективно использовать в качестве хемо- и термолюминесцентных сенсоров.

Вследствие запрета f-f электронных переходов по Лапорту, ионы лантаноидов обладают достаточно низкой эффективностью возбуждения, в связи с чем для сенсibilизации их люминесценции, а также для снижения токсичности лантаноидов как тяжёлых элементов используют лиганды «антенны». В данной роли в последние годы себя зарекомендовали циклофановые лиганды, в частности производные каликс[4]аренов и тиакаликс[4]аренов. Они объединяют в себе функции стабильного каркаса, легко модифицируемого функциональными группами для связывания ионов металлов и регулирования триплетного уровня лиганда, а также функции хромофорного заместителя с высоким коэффициентом экстинкции, что усиливает сенсibilизацию люминесценции лантаноидов.

При этом большинство комплексов лантаноидов с каликс- и тиакаликс[4]ареновыми лигандами являются нерастворимыми в воде соединениями, что ограничивает их использование в водных средах. Включение данных комплексов в состав гидрофильных полиэлектролитных наночастиц создает предпосылки для их химической и коллоидной стабилизации, что является многообещающей основой для их дальнейшего применения в качестве люминесцентных и магнитно-релаксометрических контрастных агентов и сенсоров.

Новизна полученных результатов. На серии новых (тиа)каликс[4]ареновых лигандов впервые получены лантаноидные (Eu, Tb, Gd, Sm) полиэлектролитные наночастицы и изучены их коллоидные характеристики. Продemonстрировано, что лиганды с длинноцепочечными гидрофобными заместителями склонны к самоорганизации, что приводит к неуправляемой агрегации их комплексов с ионами лантаноидов в процессе перевода в состав полиэлектролитных коллоидов в отличие от остальных лигандов с более короткими гидрофобными заместителями, образующих сферические наночастицы в процессе синтеза. Установлены механизмы термоиндуцированного тушения люминесценции комплексов лантаноидов с каликс- и тиакаликс[4]аренами в среде диметилформамида (ДМФА) и в составе полиэлектролитных наночастиц. Впервые получены гетерометаллические наночастицы с включением изоструктурных комплексов Eu^{3+} и Sm^{3+} с лигандами на основе бисбензоилацетонзамещённых по нижнему ободу каликс[4]аренов, функционирующие в качестве радиометрического термолюминесцентного термометра с высокой чувствительностью ($S_1 = 4,02 \% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Обнаружены высокие релаксометрические характеристики комплексов Gd^{3+} с бис- и тетракис-1,3-дикетонзамещёнными по верхнему ободу каликс[4]ареновыми лигандами в составе полиэлектролитных наночастиц ($r_1 = 20,8 \text{ мМ}^{-1}\text{с}^{-1}$). Впервые продемонстрирована интернализация полиэлектролитных наночастиц на основе комплексов Tb^{3+} с дибром- и трет-бутилзамещёнными тиакаликс[4]ареновыми лигандами в клетки M-Hela с сохранением высоких показателей термолюминесцентной чувствительности $S_1 = 4,48 \% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Теоретическая и практическая значимость. Серия комплексных соединений лантаноидов с циклофановыми лигандами каликс[4]аренового ряда была конвертирована в гидрофильное состояние с использованием метода замены растворителя с последующей стабилизацией полиэлектролитными анионами. Выявлена взаимосвязь типа «структура-свойство» между коллоидными, люминесцентными и магнитно-релаксометрическими свойствами полученных наночастиц и структурой лигандного окружения ионов лантаноидов. Показано, что коллоидная устойчивость полученных наночастиц, стабильность во времени их люминесцентных и магнитно-релаксометрических свойств в водных растворах и в многокомпонентных системах является предпосылкой их аналитического и

биомедицинского применения. Получен весомый набор данных по чувствительности люминесцентного отклика лантаноидных коллоидов в зависимости от температуры и рассчитаны относительные чувствительности для каждой из систем. В работе также рассмотрены механизмы хемо- и термоиндуцированного тушения люминесценции комплексов лантаноидов в среде ДМФА и в составе полиэлектролитных коллоидов в корреляции с предполагаемой структурой и известными триплетными уровнями лигандов.

Ценность научных работ соискателя заключается в получении гидрофильных коллоидов на основе каликс[4]ареновых комплексов Eu(III) , обладающих термолюминесцентной чувствительностью до $6,04 \% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ в физиологическом диапазоне температур ($25\text{-}50 \text{ } ^\circ\text{C}$), что находится на уровне лучших литературных примеров и открывает путь к применению данных комплексов в биомедицинских целях. Полученные в рамках данной работы полиэлектролитные коллоиды могут быть использованы в роли биосовместимых радиометрических термолюминесцентных наносенсоров для мониторинга внутриклеточных процессов. Также они обладают высоким потенциалом для использования в качестве люминесцентных хемосенсоров в области экологического мониторинга экотоксикантов. Стабилизированные в составе полиэлектролитных наночастиц комплексы Gd^{3+} могут быть использованы в магнитно-резонансной томографии как контрастные агенты высокой эффективности и низкой цитотоксичности.

Личный вклад автора заключается в анализе литературных данных по теме диссертации, в постановке целей и задач исследования, проведении и обсуждении экспериментов, формулировке выводов и написании статей. Диссертантом лично выполнены эксперименты методами динамического и электрофоретического рассеяния света, оптической спектрофотометрии, люминесцентной спектроскопии, ядерной магнитной релаксации, подготовлены образцы для проведения экспериментов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), крио-ПЭМ, атомно-силовой микроскопии, атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, проточной цитофлуорометрии, флуоресцентной микроскопии.

Степень достоверности результатов. Достоверность исследования и его результатов подтверждается обширным экспериментальным материалом с использованием современных физико-химических методов анализа.

Основные результаты работы достаточно полно изложены в следующих публикациях:

1. Elistratova, J.G. Tb(III) complexes with nonyl-substituted calix[4]arenes as building blocks of hydrophilic luminescent mixed polydiacetylene-based aggregates / J.G. Elistratova, B.S. Akhmadeev, R.R. Zairov, **A.P. Dovzhenko**, S.N. Podyachev, S.N. Sudakova, V. Syakaev, R. Jelinek, S. Kolusheva, A.R. Mustafina // *Journal of Molecular Liquids*. – 2018. – Vol. 268. – P. 463–470.

2. Zairov, R.R. Terbium(III)-thiacalix[4]arene nanosensor for highly sensitive intracellular monitoring of temperature changes within the 303–313 K range / R.R. Zairov, **A.P. Dovzhenko**, A.S. Sapunova, A.D. Voloshina, K.A. Sarkanich, A.G. Daminova, I.R. Nizameev, D.V. Lapaev, S.N. Sudakova, S.N. Podyachev, K.A. Petrov, Alberto Vomiero, A.R. Mustafina // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – Art. 20541.

3. 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.S. Gimazetdinova, I.R. Nizameev, D.L. Lapaev, Y.H. Budnikova, A.M. Kuznetsov, O.G. Sinyashin, A.R. Mustafina // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2022. – Vol. 350. – Art. 130845.

4. 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. – Art. 112664.

5. Podyachev, S.N. Modulating the Inclusive and Coordinating Ability of Thiacalix[4]arene and Its Antenna Effect on Yb(III)-Luminescence via Upper-Rim Substitution / S.N. Podyachev, S.N. Sudakova, R.R. Zairov, V.V. Syakaev, A.N. Masliy, M. Dusek, A.T. Gubaidullin, **A.P. Dovzhenko**, D.N. Buzyurova, D.V. Lapaev, G.S. Mambetova, V.M. Babaev, A.M. Kuznetsov, A.R. Mustafina // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27. – P. 6793.

В диссертации соискатель ссылается на собственные опубликованные работы. В тексте диссертации отсутствуют материалы без ссылки на автора или источник заимствования.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были представлены и апробированы на конференциях: 10-й Форум молодых исследователей ХимБиоSeasons (Калининград, 2024); VII Российский день редких земель (Казань, 2022); Международная конференция молодых ученых «Менделеев 2021» (Санкт-Петербург, 2021); 27-я Международная научная конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2020» (Москва, 2020); 26-я международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2019» (Москва, 2019), а также представлены в тезисах 11 докладов в материалах Всероссийских и Международных конференций.

Соответствие специальности. Диссертационная работа Довженко А.П. соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.4.4. Физическая химия: п. 1 «Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик», п. 4 «Теория растворов, межмолекулярные и межчастичные взаимодействия. Компьютерное моделирование строения, свойств и спектральных характеристик молекул и их комплексов в простых и непростых жидкостях, а также ранних стадий процессов растворения и зародышеобразования».

Соответствие п. 14 «Положения о присуждении учёных степеней». Диссертация Довженко А.П. удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., и может быть представлена в диссертационный совет по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Расширенный научный семинар ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по направлению «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» считает, что по актуальности, научной и практической значимости, достоверности полученных результатов, объему, целостности и завершенности диссертационная работа Довженко Алексея Павловича «Хемо- и термолюминесцентные сенсоры на основе

полиэлектrolитных наночастиц, построенных из (тия)каликс[4]ареновых комплексов лантаноидов» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата химических наук.

Расширенный научный семинар «Физическая и супрамолекулярная химия, кристаллохимия и спектроскопия» (протокол № 5 от 22.10.2024) рекомендовал Ученому совету выдать Заключение по диссертационной работе Довженко А.П. «Хемо- и термолюминесцентные сенсоры на основе полиэлектролитных наночастиц, построенных из (тия)каликс[4]ареновых комплексов лантаноидов». Присутствовали: 40 чел. Итоги голосования: «за» – 40, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет.

Заключение рекомендовано к утверждению на заседании Ученого Совета ИОФХ им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН (протокол № 10 от 6.11.2024). Из 27 членов списочного состава Ученого совета присутствовало 24 человека. Рекомендации и замечания, высказанные на научном семинаре, диссертантом учтены, и соответствующие изменения внесены в текст диссертации. Итоги голосования: «за» – 24, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет.

Руководитель
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
доктор химических наук,
член-корреспондент РАН, профессор

А.А. Карасик

Председатель заседания научного семинара
«Физическая и супрамолекулярная химия,
кристаллохимия и спектроскопия»
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
доктор химических наук, профессор

И.А. Литвинов

Ученый секретарь
ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленного
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат химических наук

А.В. Торопчина