

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
проблем химической физики и
медицинской химии
Российской академии наук
д.х.н. Золотухина Е.В.



«12» сентября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)
(142432, Московская обл., г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 1, адрес сайта:
<https://www.icp.ac.ru/>)

Диссертация «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS» на соискание
ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 Физическая химия
выполнена в лаборатории фотоники наноразмерных структур отдела нанофотоники ФИЦ ПХФ
и МХ РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Певцов Дмитрий Николаевич работал в
Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном
исследовательском центре проблем химической физики и медицинской химии Российской
академии наук, в отделе нанофотоники, лаборатории фотоники наноразмерных структур в
должности младшего научного сотрудника. В настоящее время работает в Федеральном
государственном автономном образовательном учреждении высшего образования
«Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»
в Институте квантовых технологий в лаборатории фотоники квантово-размерных структур в
должности инженера-технолога по основному месту работы и Федеральном государственном

бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук в отделе нанофотоники лаборатории фотоники наноразмерных структур в должности младшего научного сотрудника по совместительству.

Соискатель в 2021 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» по специальности «Фундаментальная и прикладная химия». Ему была присвоена квалификация «Химик. Преподаватель химии» по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

В 2021 – 2025 гг. соискатель прошел обучение в очной аспирантуре Физтех-школы Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, специальность 1.4.4 Физическая химия. Соискателем сданы кандидатские экзамены. Диплом об окончании аспирантуры с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдан в 2025 году МФТИ, Физтех.

Научный руководитель: Разумов Владимир Федорович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.17 Химическая физика, профессор, член-корреспондент Российской академии наук. Основное место работы – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Институт квантовых технологий, лаборатория фотоники квантово-размерных структур, должность главный научный сотрудник – заведующий лабораторией.

По итогам обсуждения диссертации «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS» на заседании секции №9 Ученого Совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН (протокол № 7 от 12.09.2025) принято следующее заключение:

Работа Певцова Д.Н. посвящена исследованию люминесценции коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS и определению влияния допирования ионами Mn^{2+} на спектрально-кинетические свойства коллоидных квантовых точек InP/ZnS.

Актуальность темы

Коллоидные квантовые точки (ККТ) – новый класс люминофоров, который нашел широкое применение в светоизлучающих диодах, солнечных элементах и фотодетекторах, а также в биомедицинских метках. Квантовые точки представляют собой полупроводниковые нанокристаллы, а их ключевым отличием от других люминофоров является зависимость структуры электронных уровней и, как следствие, спектральных свойств от размера нанокристалла. Данное свойство, именуемое квантово-размерным эффектом, создает новый подход к получению люминофоров с заданными спектральными свойствами и выгодно выделяет их на фоне люминофоров прошлых поколений. Так, первое поколение люминофоров – кристаллофосфоры – представляет собой широкозонный полупроводник с введенными люминесцирующими ионами. В данном случае полупроводник выступает в качестве фотопоглощающей матрицы, а примесные ионы – центрами излучательной рекомбинации. В связи с этим контроль спектральных характеристик определяется в первую очередь подбором ионов-допантов. Второе поколение люминофоров – это молекулярные люминофоры, спектральные свойства которых определяются дизайном молекулы и подбором функциональных групп.

Вопрос создания гибридных люминофоров, т.е. объединяющих в себе принципы создания люминофоров разных поколений, является малоизученным. Одной из задач в данной работе является рассмотрение способов создания кристаллофосфора InP:Mn в форме коллоидных квантовых точек и исследования спектрально кинетических характеристик такого люминофора. В данном случае спектральные свойства определяются квантово-размерным эффектом в матрице InP , наличием примесного иона Mn^{2+} , а также взаимным расположением энергетических уровней матрицы и иона-допанта.

Новизна и практическая значимость результатов работы

Показано, что в системах полидисперсных допированных ККТ InP:Mn/ZnS наблюдаются собственная и замедленная флуоресценция, а также примесная фосфоресценция. Для разных размеров ККТ наблюдаются количественно разные соотношения этих трех видов излучения. Показана принципиальная возможность создания люминофоров с управляемым временем жизни люминесценции.

Работа является по большей части фундаментальной и направлена на исследование влияния допирования ионами Mn^{2+} коллоидных квантовых точек InP/ZnS на процессы

люминесценции и переноса возбуждения внутри коллоидных квантовых точек между нанокристаллом и примесным ионом. Полученные результаты и предложенные подходы могут быть перенесены на другие системы допированных коллоидных квантовых точек.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы при проектировании светоизлучающих диодов и люминесцентных наноразмерных термосенсоров.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Обоснованность и достоверность результатов и выводов работы обеспечиваются использованием проверенных методик измерения и применением современных методов анализа и интерпретации данных и воспроизводимостью экспериментальных данных. Достоверность результатов также обеспечивается большим количеством полученных экспериментальных данных, удовлетворительно описываемых в рамках одной простой теоретической модели. Обоснованность выводов диссертации подтверждена проверкой адекватности результатов в сравнении с другими работами. Результаты работы подвергались многократной независимой положительной экспертизе и опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus, Web of Science, RSCI, относящихся к журналам K1 и K2 в классификации ВАК Минобрнауки РФ; основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на российских и международных конференциях: X International Voevodsky conference Physics and Chemistry of Elementary Chemical Processes (2022), 9th International School and Conference on Optoelectronics, Photonics, Engineering and Nanostructures (2022), IX Всероссийская школа-конференция молодых ученых Органические и гибридные наноматериалы (2023), XXXVI симпозиум «Современная химическая физика» (2024), XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (2024), X Всероссийская школа-конференция молодых ученых Органические и гибридные наноматериалы (2025), XXXVI симпозиум «Современная химическая физика» (2024) и XXXVII симпозиум «Современная химическая физика» (2025).

Плановый характер работы

Исследования по теме диссертации выполнены в рамках тематических карт: АААА-А19-119070790003-7, № 124013000686-3. Часть работ выполнена при финансовой поддержке в рамках мегагранта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2020-779 и гранта Российского научного фонда № 21-73-20245.

Полнота опубликования результатов и ценность научных работ соискателя ученой степени

Всего по материалам диссертации соискателем совместно с соавторами опубликовано 6 статей в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ для защиты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и 9 тезисов докладов на конференциях разного уровня.

1) Лазерный импульсный фотолиз коллоидных квантовых точек фосфида индия / Д. Н. Певцов, А. В. Айбуш, Ф. Е. Гостев [и др.] // Химия высоких энергий. – 2022. – Т. 56, № 5. – С. 347-354. – DOI 10.31857/S002311932205014X. – EDN KDYKZP.

2) Кинетика безызлучательного переноса энергии между плотноупакованными нанокристаллами InP/ZnS / Д. К. Юлдашева, Д. Н. Певцов, А. В. Гадомская, С. А. Товстун // Химия высоких энергий. – 2022. – Т. 56, № 6. – С. 421-432. – DOI 10.31857/S0023119322060183. – EDN MOPOAC.

3) Перенос энергии электронного возбуждения в нанокластерах коллоидных квантовых точек InP/ZnS, допированных ионами марганца / Д. С. Попков, Д. Н. Певцов, Л. М. Николенко, В. Ф. Разумов // Химия высоких энергий. – 2024. – Т. 58, № 6. – С. 456-463. – DOI 10.31857/S0023119324060058. – EDN TIAMMH.

4) Delayed fluorescence of InP:Mn/ZnS nanocrystals / L. M. Nikolenko, D. N. Pevtsov, V. Yu. Gak [et al.] // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2024. – Vol. 448. – P. 115298. – DOI 10.1016/j.jphotochem.2023.115298. – EDN NNUGJY.

5) Размерная зависимость замедленной флуоресценции нанокристаллов InP:Mn/ZnS / Д. Н. Певцов, А. А. Галушко, Л. М. Николенко, В. Ю. Гак, С. А. Товстун, В. Ф. Разумов // Известия АН. Серия химическая – 2025 – Т. 74, №9 – С. 2765-2769

6) Теоретический анализ замедленной флуоресценции в рамках трехуровневой диаграммы Яблонского / Д. Н. Певцов, В. Ф. Разумов // Химия высоких энергий. – 2025. – Т. 59, №6 – в печати

Все статьи, выполненные в соавторстве, процитированы в диссертации в соответствии с п. 14 критериев Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.04.2013 г., с учетом всех последующих изменений. Результаты,

описанные в диссертации, являются оригинальными, заимствованные материалы без ссылки на источник заимствования отсутствуют.

В опубликованных материалах довольно полно отражены основные результаты работы. В работе [1] содержатся результаты, приведенные в главе 5, а также предложен подход к совместному анализу кинетик затухания люминесценции после импульсного возбуждения и релаксации наведенного поглощения. В работах [2,3] отражены подходы к получению и характеристики образцов (глава 2). В работе [4] представлены основные результаты работы, приведены методики синтеза и подтверждения факта допирования (глава 3.1), а также предложена теоретическая модель, которая лежит в основе результатов в главах 6 и 7. В работе [5] приведены общие результаты, связанные с синтезом и характеристикой образцов (глава 3). Работа [6] находится в печати и содержит результаты, приведенные в главах 4 и 6.

Ценность научных работ соискателя для физической химии обусловлена комплексным исследованием и моделированием динамики возбужденного состояния в люминофорах допированных квантовых точек InP:Mn/ZnS в диапазоне времен от 10^{-13} до 10^{-2} секунд. Предложенные и разработанные подходы могут быть использованы для исследования аналогичных систем допированных ККТ.

Личный вклад автора

В диссертации представлены результаты исследований, выполненных с 2021 г. по 2025 г. в лаборатории фотоники наноразмерных структур ФИЦ ПХФ и МХ РАН. Автор принимал непосредственное участие в проведении анализа литературных данных, постановке задач, планировании, подготовке и проведении экспериментов, обсуждении и интерпретации полученных результатов, формулировке основных результатов и подготовке статей к печати. Автором лично или при его непосредственном участии была получена большая часть экспериментальных люминесцентных данных, составляющих основу работы.

Синтез коллоидных квантовых точек был выполнен сотрудником отдела нанофотоники ФИЦ ПХФ и МХ РАН Л.М. Николенко, а также сотрудниками лаборатории фотоники квантово-размерных структур МФТИ А.А. Галушко и Д.С. Попковым. Исследование образцов на ЭПР-спектрометре проводилось сотрудниками ФИЦ ПХФ и МХ РАН Л.М. Николенко и А.В. Акимовым. Кинетики затухания фосфоресценции были получены В.Б. Назаровым при участии автора. Кинетики наведенного поглощения были получены в ЦКП ФИЦ ХФ РАН сотрудниками А.В. Айбушем, Ф.Е. Гостевым и И.В. Шелаевым при личном участии автора. Время-

разрешенные спектры люминесценции в диапазоне времен 10^{-6} – 10^{-2} секунд были получены в Курчатовском комплексе кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт» сотрудником Д.С. Ионовым при личном участии автора.

Публикации по материалам, изложенным в диссертации, выполнены в соавторстве. В работах [1,2] соискателем проведены синтезы и характеристика образцов. В работе [3] автором проведено планирование эксперимента, обработка данных и интерпретация результатов. В работе [4] автором получена и обработана часть экспериментальных данных. В теоретической работе [5] автором получена часть формул и полностью выполнена расчетная часть. В работе [6] автором проведена обработка и интерпретация экспериментальных данных. Совместно с научными руководителями и консультантом написаны первичные версии статей и выполнено их редактирование.

Соответствие диссертации научным специальностям, отрасли науки

Диссертация Певцова Д.Н. на тему: «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена задача определения влияния квантово-размерного эффекта на спектрально-кинетические свойства допированных квантовых точек InP:Mn/ZnS.

Работа соответствует паспорту специальности 1.4.4 Физическая химия, химические науки в п.1 (Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация Певцова Дмитрия Николаевича «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS» соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.04.2013 г. с учетом всех последующих изменений, применительно к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.4 Физическая химия (химические науки).

Заключение принято на заседании секции №9 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН (протокол №7 от 12 сентября 2025 г.). Присутствовало на заседании 10 членов секции №9 Ученого совета из 10. Результаты голосования: «за» –10, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Зам. председателя секции № 9
Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН
доктор химических наук,

С.Б. Бричкин

Секретарь секции № 9
Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН
кандидат химических наук

Н.И. Поташова