



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации
ИНСТИТУТ БИООРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова
Российской академии наук
(ГНЦ ИБХ РАН)

ул. Миклухо-Маклая, 16/10, ГСП-7, Москва, 117997. Для телеграмм: Москва В-437, Биоорганика
телефон: (495) 335-01-00 (канц.), факс: (495) 335-08-12, E-mail: office@ibch.ru, www.ibch.ru
ОКПО 02699487 ОГРН 1037739009110 ИНН/КПП 7728045419/772801001

№ _____

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Государственного научного центра
Российской Федерации
Института биоорганической химии им.
академиков М.М. Шемякина и Ю.А.
Овчинникова Российской академии наук,
д.х.н. профессор, академик РАН



А.Г. Габибов

14.11.2025

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Певцова Дмитрия Николаевича «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Диссертационная работа Дмитрия Николаевича Певцова выполнена в области физико-химических исследований люминесцентных наноструктур и посвящена изучению механизмов люминесценции допированных коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS. Тематика работы имеет междисциплинарный характер, поскольку коллоидные квантовые точки всё шире применяются как метки и сенсорные элементы в биологических системах, где стабильность, нетоксичность и управляемые характеристики излучения являются ключевыми параметрами.

Использование фосфида индия в качестве основы квантовых точек обусловлено его биосовместимостью и отсутствием токсичных компонентов, присутствующих в кадмийсодержащих материалах. Допирование ионами Mn^{2+}

позволяет регулировать пути релаксации и временные параметры излучения, что делает подобные системы потенциально востребованными при создании люминесцентных биометок, сенсоров и фотонных нанолатформ.

Несмотря на развитие исследований в области нанолуминофоров, механизмы взаимодействия между состояниями матрицы InP и примесных ионов марганца остаются недостаточно изученными. В этом контексте работа Певцова Д.Н., направленная на установление закономерностей переноса энергии между матрицей и допантом и построение физической модели процессов излучения, представляет несомненную актуальность.

Научная новизна работы заключается в уточнении механизмов переноса энергии между нанокристаллической матрицей и примесным центром, что важно для понимания процессов рекомбинации в люминесцентных наноструктурах. Практическая значимость связана с возможностью использования полученных закономерностей при создании люминофоров для оптоэлектроники и биосенсорики. Квантовые точки InP:Mn/ZnS благодаря своей стабильности и управляемым характеристикам излучения могут применяться в биомедицинской визуализации и диагностике.

Объем и структура диссертации. Диссертация включает введение, семь глав, заключение и список литературы из 150 наименований. Работа изложена на 126 страницах, содержит 47 рисунков и 5 таблиц.

Во введении диссертации изложены предпосылки и общая постановка задачи исследования, сформулированы цели и основные задачи работы, определены объект и предмет исследования. Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса в области физико-химии коллоидных квантовых точек. Рассмотрены фундаментальные принципы квантово-размерного эффекта, структура электронных уровней и механизмы люминесценции в нанокристаллах. Приведено сравнение различных подходов к синтезу квантовых точек InP, дана оценка влияния химического состава и способа пассивации поверхности на их спектральные характеристики. Особое внимание уделено допированным системам, содержащим ионы переходных металлов. Вторая глава содержит описание используемых экспериментальных методов. Так, в работе используются методы стационарной и времязерешённой спектрофлуориметрии, стационарной спектрофотометрии, электронный парамагнитный резонанс, фемтосекундная спектроскопия «накачка–зондирование». Подробно описана методика обработки полученных данных – аппроксимация кинетик, восстановление распределений по временам жизни и использование матриц возбуждение–люминесценция для анализа полидисперсных ансамблей. Третья глава посвящена описанию синтезированных образцов и их первичной оптической характеристики. Рассмотрены особенности допирования квантовых точек марганцем, обеспечивающие его встраивание в кристаллическую решётку. Проведено сравнение спектров допированных и недопированных образцов. Показано, что введение ионов Mn^{2+} приводит к появлению дополнительного канала излучательной рекомбинации и заметному изменению временных характеристик флуоресценции, что подтверждает участие примесных уровней в процессах переноса возбуждения. В четвёртой главе сформулирована и подробно изложена

физическая модель, описывающая поведение допированных квантовых точек InP:Mn/ZnS. В основе модели лежит трёхуровневая схема, включающая нижние возбужденные состояния матрицы и примесного центра. Рассматриваются процессы флуоресценции, фосфоресценции и термически активированной замедленной флуоресценции, их взаимное влияние и зависимость от параметров системы: энергии расщепления и скорости межуровневых переходов. Выведены аналитические выражения для квантовых выходов и времён жизни отдельных каналов излучения, проведён анализ влияния константы переноса возбуждения и энергетического зазора между состояниями на форму спектров и кинетик. В пятой главе проведено сопоставление кинетик наведённого поглощения и затухания люминесценции, что позволило оценить скорость переноса возбуждения с нанокристалла на ион марганца. Полученное значение ($1,9 \times 10^8 \text{ с}^{-1}$) сопоставимо с литературными данными для аналогичных систем, что свидетельствует о корректности интерпретации. В шестой главе выполнена аппроксимация зависимости положения пика замедленной флуоресценции от времени и рассчитана энергия 0–0-перехода иона Mn^{2+} в решётке InP. Этот параметр позволяет связать энергетические характеристики матрицы с размерами нанокристаллов и объяснить наблюдаемую размерную зависимость замедленной флуоресценции. Седьмая глава направлена на проверку и уточнение модели в отношении реальных ансамблей квантовых точек, имеющих полидисперсное распределение по размерам и энергиям. Проведено сравнение расчётных и экспериментальных спектрально-кинетических зависимостей. В заключении обсуждаются границы применимости разработанного подхода, его возможное расширение на другие химические системы и перспективы использования результатов в прикладных исследованиях.

Результаты работы опубликованы в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях и представлены на 9 отечественных и международных конкурсах и конференциях. Таким образом диссертация прошла достойную апробацию.

Работа вносит значимый вклад в развитие физической химии, уточняя подходы к описанию излучательных процессов в допированных квантово-размерных структурах. Полученные результаты усиливают методическую базу для анализа энергетических переходов в гибридных люминофорах и проясняют связь между структурными параметрами наночастиц и их оптическими свойствами. Выводы исследования могут быть использованы в исследованиях и разработках, проводимых в организациях, работающих в области фотоники и наноматериалов, таких как НИЦ «Курчатовский институт», ИБХ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, а также в центрах, занимающихся созданием люминесцентных меток, сенсорных систем и функциональных оптоэлектронных материалов.

Диссертация Певцова Д.Н. производит хорошее впечатление как по объёму, так и новизне полученных результатов. Автореферат полностью отражает основные результаты диссертации. Тем не менее, по работе есть ряд замечаний.

Замечания

1. При обсуждении трёхуровневой модели Яблонского автор подробно рассматривает влияние энергетического расщепления и констант переходов, но почти не анализирует роль безызлучательных каналов релаксации, которые могут существенно влиять на наблюдаемые времена жизни.

2. При обсуждении размерных эффектов внимание сосредоточено на изменении временных характеристик люминесценции, но практически не анализируется влияние поверхности и состава оболочки ZnS на эффективность переноса возбуждения. Краткий комментарий по этому вопросу позволил бы полнее раскрыть механизмы, определяющие наблюдаемые зависимости.

3. В заключении диссертации результаты обобщены достаточно кратко; отдельные положения, относящиеся к практическому применению полученных закономерностей (например, в люминесцентных сенсорах), могли бы быть изложены более конкретно с приведением ориентировочных параметров или возможных направлений разработки.

4. В работе практически не обсуждается возможное влияние поверхностных дефектов и ловушек заряда на процессы переноса возбуждения. Учитывая их важную роль в коллоидных системах, даже качественная оценка этого фактора выглядела бы уместно.

Приведенные замечания не влияют на общую высокую и положительную оценку данной работы и носят в основном дискуссионный или рекомендательный характер.

Общее заключение

Диссертация Дмитрия Николаевича Певцова на тему «Люминесценция коллоидных квантовых точек InP:Mn/ZnS» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена задача установления влияния допирования марганцем на спектрально-люминесцентные свойства коллоидных квантовых точек. Работа полностью соответствует критериям, в т.ч. п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации N 842 от 24 сентября 2013 г., в текущей редакции, паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия в п. 1 (Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 1.4.4. Физическая химия (Химические науки).

Диссертационная работа и отзыв были обсуждены на научном семинаре ГНЦ ИБХ РАН, протокол №6 от 14.11.2025

Отзыв подготовил доктор физико-математических наук (Специальность 03.00.02 – Биофизика), заведующий отделом (Отдел биоматериалов и бионанотехнологий), учёный секретарь ИБХ РАН



Олейников Владимир Александрович

117997, Москва, ГСП-7,

ул. Миклухо-Маклая, д. 16/10

тел.: +7(495)335-01-00

e-mail: voleinik@mail.ru

Ученый секретарь ГНЦ ИБХ РАН



Олейникова В.А.