

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15 мая 2026 г. №3
о присуждении Мушину Федору Юрьевичу, гражданину Российской
Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Оптические и нелинейно-оптические свойства наноструктур с плазмонными компонентами и квантовыми излучателями» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите 13 марта 2026 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.379.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11 апреля 2012 г.; приказом Минобрнауки России от 3 июня 2021 г. № 561/нк полномочия диссертационного совета 24.2.379.01 установлены на срок действия номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. № 118, изменения внесены приказами Минобрнауки России от 15.02.2022 № 154/нк, от 13.12.2022 №1750/нк, от 10.12.2024 №1182/нк.

Соискатель Мушин Федор Юрьевич, 31 июля 1996 года рождения, в 2020 году освоил программу магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет», в 2024 г. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, работает преподавателем физики и педагогом дополнительного образования в федеральном государственном казенном образовательном учреждении «Оренбургское президентское кадетское училище» (основное

место работы), старшим преподавателем кафедры радиофизики и электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» (по совместительству) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики и электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Чмерева Татьяна Михайловна, профессор кафедры радиофизики и электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко».

Официальные оппоненты: Вартанян Тигран Арменакович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор Международного научно-образовательного центра физики наноструктур федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»; Моисеев Сергей Геннадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Ульяновского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Долгопрудный, в своём положительном отзыве, подписанном директором Центра фотоники и двумерных материалов, доктором физико-математических наук А.Д. Большаковым и утверждённом проректором по научной работе, кандидатом физико-математических наук В.А. Баганом, указала, что диссертация соответствует специальности 1.3.6. Оптика. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ. Суммарный объём опубликованного материала в соавторстве по диссертации составляет 9,44 печатных листа, в том числе 3,37 печатных листа принадлежит соискателю. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: результаты расчетов, показывающие, что плазмон-экситонное взаимодействие в системе «квантовая точка – слоистая наночастица» является слабым для квантовой точки в режиме сильного конфайнмента, однако при слабом конфайнменте изменение геометрических характеристик системы может привести к промежуточному взаимодействию; результаты расчетов, выявляющие оптимальные условия, обеспечивающие эффективный перенос энергии в донорно-акцепторной паре молекул, расположенной вблизи слоистой сферической наночастицы с диэлектрическим ядром и металлической оболочкой; измеренные сигналы люминесценции и вынужденного излучения образцов, содержащих плазмонные наночастицы и молекулы красителя, и их интерпретация; результаты расчетов, показывающие, что диэлектрическая проницаемость ядра слоистой наночастицы с металлической оболочкой и его размер существенно влияют на спектральное положение максимумов интенсивности излучения удвоенной частоты, которое генерируется монослоем таких частиц, расположенным на плоской границе двух оптически прозрачных сред; результаты численного моделирования системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающей динамику спазера с трехуровневой активной средой на основе слоистого цилиндра. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., **Мушин Ф.Ю.**, Налбандян В.М. Генерация второй гармоники монослоем сферических двухслойных наночастиц // Оптика и спектроскопия, 2021. - Т. 129, № 8. - С. 1053-1060. [Chmereva T.M., Kucherenko M.G., **Mushin F.Yu.**, Nalbandyan V.M. Second-Harmonic Generation by a Monolayer of Spherical Two-Layer Nanoparticles // Optics and Spectroscopy, 2021. - Vol. 129, Iss. 8. - P. 1084-1091.] (научная статья 0,53 п.л. / 0,13 п.л.)

2. Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., **Мушин Ф.Ю.** Влияние сферической нано-частицы с металлической оболочкой на дезактивацию возбужденной квантовой точки // Известия вузов. Физика, 2022. - Т. 65, № 7 (776). - С. 16-27. [Chmereva T.M., Kucherenko M.G., **Mushin F.Yu.** Effect of the Spherical Nanoparticle with a Metal Shell on Deactivation of the Excited Quantum Dot // Russian Physics Journal, 2022. - Vol. 65, Iss. 7. - P. 1081-1093.] (научная статья 0,79 п.л. / 0,26 п.л.)

3. Кучеренко М.Г., Налбандян В.М., **Мушин Ф.Ю.**, Чмерева Т.М. Влияние плазмонных оболочечных наночастиц на безызлучательный перенос энергии элек-тронного возбуждения в донорно-акцепторной паре // Оптический журнал, 2022. - Т. 89, № 11. - С. 3-16. [Kucherenko M.G., Nalbandyan V.M., **Mushin F.Yu.**, Chmereva T.M. Effect of plasmonic-shell nanoparticles on the nonradiative transfer of electron excitation energy in donor/acceptor pairs // Journal of Optical Technology, 2022. - Vol. 89, Iss. 11. - P. 642-650.] (научная статья 0,92 п.л. / 0,23 п.л.)

4. **Мушин Ф.Ю.**, Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М. Кинетика энергообмена между квантовой точкой и сферической наночастицей с плазмонной оболочкой // Ученые записки физического факультета Московского университета, 2022. - № 4. - С. 2241105. (научная статья 0,33 п.л. / 0,11 п.л.)

5. **Мушин Ф.Ю.**, Русинов А.П., Чмерева Т.М. Влияние наночастиц золота и серебра на оптические свойства эритрозина в пленке поливинилового спирта // Ученые записки физического факультета Московского университета, 2023. - № 4. - С. 2341110. (научная статья 0,39 п.л. / 0,13 п.л.)

6. Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., **Мушин Ф.Ю.**, Русинов А.П. Люминесцен-ция молекул красителя в полимерных пленках с плазмонными наночастицами // Журнал прикладной спектроскопии, 2024. - Т. 91, №1. - С. 5-14. [Chmereva T.M, Kucherenko M.G., **Mushin F.Yu.**, Rusinov A.P. Luminescence of Dye Molecules in Polymer Films with Plasmonic Nanoparticles // Journal of Applied Spectroscopy, 2024. - Vol. 91, Iss. 1. - P. 1-9.] (научная статья 0,66 п.л. / 0,16 п.л.)

7. Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., **Мушин Ф.Ю.** Спазер с трехуровневой активной средой на основе слоистого цилиндра //Квантовая электроника. – 2024. – Т. 54. – №. 6. – С. 347-354. [Chmereva T.M., Kucherenko M.G., **Mushin F.Yu.** Spaser with a Three-Level Active Medium Based on a Layered Cylinder // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2024. – Volume 51, pages S728–S740] (научная статья 0,53 п.л. / 0,18 п.л.)

8. Кучеренко М.Г., Русинов А.П., **Мушин Ф.Ю.**, Чмерева Т.М. Влияние плазмонных наночастиц на генерационные свойства молекул красителя // Оптика и спектроскопия, 2025. - Т. 133, № 6. - С. 688-694. [Kucherenko M.G., Rusinov A.P., **Mushin F.Yu.**, Chmereva T.M. Effect of plasmonic nanoparticles on generation proper-ties dye molecules // Optics and Spectroscopy. – 2025. – V. 133, No. 6. – P. 656–662] (научная статья 0,46 п.л. / 0,15 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от следующих организаций и специалистов:

1. Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии

наук», подписан, д.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории физики лазеров сверхкоротких импульсов Автаевой Светланой Владимировной. Замечаний не содержит.

2. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», подписан в.н.с. физического ф-та СПбГУ, д.ф.-м.н., профессором, Цыганенко Алексеем Алексеевичем. Замечания: «Основное замечание касается отсутствия в работе результатов моделирования изучаемых процессов с помощью других методов. Было бы интересно произвести сопоставление итоговых величин, полученных в различных подходах. Следует заметить, что системы с серебряными наночастицами являются классическим объектом, где наблюдается и используется явление SERS, экспериментальным и теоретическим исследованиям которого посвящено огромное количество работ. Анализ этого явления в рамках данной диссертационной работы, безусловно, привел бы к необоснованному расширению и без того широкого набора оптических проявлений влияния наночастиц, однако просто констатация отсутствия противоречий результатов автора диссертации с теоретическими описаниями усиления спектров комбинационного рассеяния представляется вполне уместным. Кроме того, некоторые выводы работы носят главным образом описательный, качественный характер».

3. Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук», подписан гл.н.с., зав. лабораторией нелинейной оптики, д.ф.-м.н., профессором Кундиковой Наталией Дмитриевной. Замечаний не содержит.

4. Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова», подписан с.н.с., к.ф.-м.н. Курмангалеевым Кайратом Сансыбаевичем. Замечания: 1. В работе указано, что выявлены условия для слабого (~ 10 мэВ) и промежуточного (~ 100 мэВ) плазмон-экситонного взаимодействия. Чем обоснован выбор величин взаимодействия (~ 10 и ~ 100 мэВ)? Существует ли строгий аналитический критерий для разграничения этих режимов? 2. В тексте автореферата утверждается, что механизм влияния наночастиц на фосфоресценцию такой же, как на флуоресценцию, из-за подмешивания синглетного состояния к триплетному. Проводилась ли оценка того, как меняется константа спин-орбитального взаимодействия вблизи плазмонной частицы, или это влияние учитывалось только через изменение скоростей излучательных переходов? 3. В эксперименте наблюдался максимум интенсивности люминесценции, сменяющийся падением при росте концентрации наночастиц. Учитывался ли в теоретической модели эффект агрегации наночастиц при высоких концентрациях, или падение объясняется

исключительно тушением за счет малых расстояний между молекулой и металлом? 4. В модели в 4-й главе рассматривается «неупорядоченный монослой». Влияет ли степень хаотичности расположения частиц в слое на интенсивность генерируемой второй гармоники, или взаимодействие между соседними частицами в слое считалось пренебрежимо малым?

5. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», подписан заведующим кафедрой фотоники, д.ф.-м.н., профессором, Рябочкиной Полиной Анатольевной. Замечания: 1) На странице 11 автор указывает характеристики источников излучения, используемых для возбуждения спектров люминесценции и кинетики затухания люминесценции. Важными характеристиками лазера, используемого для регистрации кривых затухания люминесценции наряду с длиной волны излучения, являются длительность импульса и частота их следования. Данные характеристики очень значимы для интерпретации полученных кривых затухания люминесценции. Однако в автореферате автором эти характеристики не приведены. 2) На рисунке 5 (страница 12) приведены спектры люминесценции эритрозина в пленке при отсутствии и наличии наночастиц золота и серебра с разной концентрацией. Из изложения, представленного в автореферате, можно сделать вывод о том, что спектры зарегистрированы без использования интегрирующей сферы. В связи с этим возникает вопрос по поводу корректности сравнения интенсивностей спектров. На интенсивность люминесценции значительным образом влияет рассеяние, которое будет разным при изменении концентрации наночастиц в пленке. 3) Автор, апеллируя к рисунку 6, отмечает уменьшение времени жизни фосфоресценции эритрозина. При этом из вида кинетик затухания различных образцов, приведенных на рисунке 6, складывается ощущение, что их изменение соответствует погрешности измерения. 4) Автор при описании экспериментальных методик и представлении экспериментальных результатов не указывает погрешности эксперимента.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечено, что указанные недостатки не делают работу менее значимой и не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую **положительную** оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Ф.Ю. Мушину учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Выбор Вартаняна Т.А. в качестве официального оппонента по диссертации

обосновывается его признанным авторитетом в области взаимодействия света с веществом, плазмоники, фотофизики поверхности и нанотехнологий.

Выбор С. Г. Моисеева в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается его высокой компетентностью в областях оптики композитных материалов и наноструктур, наноплазмоники и нелинейной оптики.

Выбор ФГАОУ ВО «МФТИ (НИУ)» в качестве ведущей организации обосновывается достижениями его специалистов в области физики, нанотехнологий, квантовых технологий, оптики, фотоники и материаловедения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

найден области значений геометрических параметров системы «квантовая точка – слоистая наночастица» (радиус диэлектрического ядра частицы, радиус квантовой точки, расстояние между квантовой точкой и наночастицей), при которых плазмон-экситонное взаимодействие является слабым (~ 10 мэВ) или промежуточным (~ 100 мэВ);

получено, что путём вариации концентрации наночастиц золота и серебра в полимерных пленках можно как значительно усилить флуоресценцию и фосфоресценцию, так и достичь их тушения, причём зависимость интенсивности люминесценции от концентрации наночастиц имеет немонотонный характер с чётко выраженным максимумом;

определен диапазон расстояний (4-8 нм) между молекулой красителя и серебряной наночастицей, при котором достигается наибольшее усиление флуоресценции и фосфоресценции.

установлена зависимость спектральных положений и величин максимумов интенсивности отражённой монослоем слоистых наночастиц второй гармоники от радиуса и диэлектрической проницаемости ядра наночастицы.

показано, что в спазере на основе слоистого цилиндра с трехуровневой активной средой возможна генерация одномерных осесимметричных поверхностных плазмонов на двух частотах, соответствующих переходам между возбужденными и основными состояниями трехуровневой среды.

Теоретическая значимость исследования заключается в **разработке** теоретических моделей, описывающих оптические процессы в системах, содержащих возбужденные молекулы, квантовые точки, сферические плазмонные наночастицы и нанопроволоки. В рамках предложенных моделей **рассчитаны** скорости излучательных и безизлучательных переходов в квантовых точках вблизи металлических наночастиц, кинетика обмена энергией между квантовой точкой и наночастицей; интенсивности флуоресценции и фосфоресценции красителя вблизи плазмонной наночастицы; интенсивность второй гармоники, ге-

нерируемой монослоем слоистых наночастиц; ключевые параметры спазера на основе слоистой нанопроволоки; **раскрыт** механизм влияния плазмонных наночастиц на флуоресценцию молекул. Результаты расчетов **демонстрируют** возможность управления режимами генерации спазера, скоростями релаксационных процессов в квантовых излучателях, **позволяют определять** условия усиления люминесценции молекул.

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

найлены условия реализации слабого и промежуточного плазмон-экситонного взаимодействия в системе «квантовая точка – наночастица с оболочкой» что позволяет управлять режимами обмена энергией между квантовой точкой и наночастицей;

показано существование оптимальных концентраций наночастиц золота и серебра в полимерных пленках или растворах, обеспечивающих максимальное усиление люминесценции и вынужденного излучения молекул красителей;

продемонстрировано, что вариация радиуса диэлектрического ядра слоистой наночастицы и его диэлектрической проницаемости позволяет управлять спектральным положением максимумов второй гармоники, генерируемой монослоем таких частиц;

показано, что скорость релаксации между возбужденными состояниями трехуровневой системы критически влияет на режим генерации спазера на основе слоистой нанопроволоки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты получены на современном спектральном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теоретические модели основаны на фундаментальных уравнениях и правилах квантовой механики и электродинамики сплошных сред и в предельных случаях приводят к известным результатам;

использованы стандартные методы квантовой механики и электродинамики, корректно выбранные приближения при выполнении всех расчётов, многократно апробированные экспериментальные методики, а также современные методы сбора и обработки исходной информации;

установлено качественное и в некоторых случаях количественное соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

основные положения и выводы работы согласуются с устоявшимися концепциями молекулярной фотоники и оптики наноструктур.

Личный вклад соискателя. Все результаты в диссертационной работе, были получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем.

Представленные в диссертационной работе результаты представляют интерес для научных лабораторий, занимающихся исследованиями в области нанооптики, поскольку способствуют дальнейшему развитию фундаментальных представлений о физических процессах, лежащих в основе генерации и управления светом на субволновых масштабах, а также открывают новые перспективы для их практического применения.

Исследование выполнялось в соответствии с планом фундаментальных научно-исследовательских работ по гранту Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2024-550.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

В ходе защиты диссертации не были высказаны критические замечания.

Соискатель Ф.Ю. Мушин ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 15 мая 2026 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, принял решение присудить Ф.Ю. Мушину учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.01

академик РАН, д.т.н., профессор

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.01

к.ф.-м.н., доцент

15.05.2026



В.А. Сойфер

А.М. Телегин