

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Юридический адрес: 117303, г. Москва,
ул. Керченская, дом 1 А, корпус 1
Почтовый адрес: 141700, Московская обл.,
г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9
Тел.: +7(495) 408-42-54, факс: +7(495) 408-68-69

info@mipt.ru

23.03.2026 № 1.08-14-3083

на № _____ от _____



Проректор по научной работе

Баган Виталий
Анатольевич

2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Мушина Федора Юрьевича**
«Оптические и нелинейно-оптические свойства наноструктур с плазмонными
компонентами и квантовыми излучателями», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6 – Оптика

Актуальность темы исследования. В настоящее время изучение наноструктур, содержащих плазмонные элементы и квантовые излучатели, все еще остается одним из важнейших направлений в области линейной и нелинейной оптики. Известно, что присутствие плазмонных нанобъектов меняет скорости излучательных и безызлучательных переходов в молекулах и квантовых точках, влияет на безызлучательный перенос энергии в донорно-акцепторной паре. Поэтому, внедряя плазмонные элементы в структуру оптоэлектронных устройств, можно менять в нужную сторону характеристики этих устройств. Кроме того, представления об оптическом отклике плазмон-экситонных структур необходимы для создания новых оптических технологий, востребованных во многих областях науки и техники. Диссертационная работа Мушина Ф.Ю. посвящена изучению ряда открытых вопросов, связанных с плазмон-экситонным взаимодействием в системах, содержащих оболочечные наночастицы и квантовые точки, с влиянием плазмонных наночастиц на фосфоресценцию молекул, с нелинейным оптическим откликом слоистых наночастиц и с генерацией плазмонов в спазерах с цилиндрической геометрией резонатора. В связи с вышесказанным актуальность данной работы не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа Мушина Ф.Ю. изложена на 155 страницах, включает 75 рисунков и содержит введение, пять глав, заключение и список литературы из 150 наименований.

Входящий № 206-2873
Дата 01 АПР 2026
Самарский университет

Во введении обосновывается актуальность исследований, формулируются цели и задачи работы, приводятся положения, выносимые на защиту, а также показывается научная новизна и практическая значимость результатов работы.

Первая глава работы содержит обзор современного состояния исследуемой проблемы. В ней кратко изложено содержание оригинальных работ, посвященных фотофизическим процессам в системах с квантовыми излучателями и плазмонными компонентами. А именно, рассматривается влияние плазмонных наночастиц на затухание и разгорание люминесценции органических молекул, на безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения от донора к акцептору, приводятся сведения о плазмон-экситонном взаимодействии в различных системах и рассматриваются спазеры с различной геометрией плазмонного резонатора. На основании выполненного обзора выявлен ряд актуальных задач, требующих изучения или более детальной проработки.

Вторая глава посвящена теоретическому изучению влияния сферической наночастицы с диэлектрическим ядром и металлической оболочкой на скорость перехода электрона в квантовой точке из зоны проводимости в валентную зону и скорость перехода квантовой точки из экситонного состояния в основное. Проведенные автором расчеты показывают, что максимального значения скорость безызлучательного перехода, сопровождающегося рождением локализованного плазмона в наночастице, и скорость излучательного перехода достигают при определенном радиусе ядра наночастицы. Кроме того, установлены параметры рассматриваемой системы, при которых кинетика обмена энергией между наночастицей и квантовой точкой становится осцилляционно-релаксационной. Также в данной главе изучено влияние слоистой наночастицы на безызлучательный перенос энергии в донорно-акцепторной паре молекул. Основные результаты, полученные в этой главе, лежат в основе первого защищаемого положения.

В третьей главе работы представлены экспериментальные и теоретические результаты по влиянию плазмонных наночастиц на оптические свойства окрашенных эритрозином пленок поливинилового спирта. Автором описана методика получения образцов и приведены схемы установок для измерения спектров люминесценции и кинетики затухания фосфоресценции. Выполненные автором исследования показали, что с ростом концентрации наночастиц в пленке интенсивность люминесценции сначала увеличивается, а затем уменьшается, при этом время затухания фосфоресценции сокращается. Также в этой главе приведена разработанная математическая модель, качественно объясняющая наблюдаемые эффекты. Модель учитывает изменение в присутствии наночастицы скоростей поглощения света молекулой и скоростей излучательной и безызлучательной дезактивации молекулы. Проведенные по данной модели

расчеты позволили выявить оптимальные расстояния между молекулой и наночастицей, обеспечивающие наибольшее усиление люминесценции. На основании полученных результатов сформулировано второе защищаемое положение.

В четвертой главе представлена разработанная теоретическая модель, позволяющая рассчитать интенсивность второй гармоники, возникающей при отражении света от монослоя сферических оболочечных наночастиц, расположенного вблизи плоской границы двух оптически прозрачных сред. Автором исследована зависимость интенсивности второй гармоники от радиуса и диэлектрической постоянной ядра наночастицы. Полученные в этой главе результаты составляют третье защищаемое положение.

В пятой главе рассмотрены одномерные плазмон-поляритоны в нанопроволоке круглого сечения с диэлектрической сердцевиной и плазмонной оболочкой и изучена возможность создания спазера на основе такой нанопроволоки. В главе изложена теоретическая модель спазера, в котором активной средой является слой трехуровневых квантовых излучателей, размещенный на внешней поверхности нанопроволоки. Выполненные автором расчеты показали, что в зависимости от скорости безызлучательного перехода между верхним и промежуточным уровнями трехуровневой системы спазер может генерировать низкочастотные одномерные осесимметричные плазмоны либо одной частоты, либо двух различных частот одновременно. Четвертое защищаемое положение отражает основные результаты этой главы.

В заключении перечислены основные результаты проведенных исследований.

Основные результаты, полученные автором и их новизна. Результаты диссертационной работы Мушина Ф.Ю. являются новыми и оригинальными.

- На основании предложенной теоретической модели установлены параметры системы, состоящей из квантовой точки и наночастицы с диэлектрическим ядром и плазмонной оболочкой, которые обеспечивают режим промежуточной плазмон-экситонной связи.

- Впервые указано, что механизм влияния плазмонной наночастицы на фосфоресценцию молекулы красителя такой же, как и на флуоресценцию из-за подмешивания синглетного состояния к триплетному состоянию молекулы вследствие спин-орбитального взаимодействия. На основании этого разработана теоретическая модель, приводящая к согласующимся с экспериментом результатам.

- Предложена и теоретически обоснована схема эксперимента, позволяющая регистрировать нелинейный отклик наночастиц с диэлектрическим ядром и плазмонной оболочкой. Спектральные положения максимумов интенсивности отраженной второй гармоники зависят от размера диэлектрического

ядра частицы и электродинамических характеристик ядра частицы, ее оболочки и окружающей среды.

- Теоретически показано, что спазер на основе слоистой нанопроволоки круглого сечения с трехуровневой усиливающей средой может генерировать одномерные осесимметричные поверхностные плазмон-поляритоны с двумя различными частотами, равными частотам переходов между возбужденными и основным состояниями в трехуровневой системе.

Сформулированные в диссертационной работе Мушина Ф.Ю. научные положения и выводы хорошо обоснованы. Они подтверждаются надежными экспериментальными и теоретическими результатами, достоверность которых обеспечивается использованием современных экспериментальных методик, проверенных методов теоретического исследования и согласием с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость работы. Полученные диссертантом результаты дополняют имеющиеся в современной научной литературе сведения об оптических процессах, протекающих в структурах с плазмонными составляющими. Изученное влияние наночастиц на флуоресценцию красителя может быть востребовано в спектрально-люминесцентном анализе, как способ повышения чувствительности метода. Исследования динамики трехуровневого спазера на основе слоистого цилиндра являются значимыми для разработки лазеров и спазеров с цилиндрическим плазмонным резонатором. Изучение режима промежуточной плазмон-экситонной связи в системе «наночастица – квантовая точка» необходимо, например, для приготовления запутанных состояний. Полученные Мушиным Ф.Ю. результаты представляют научный и практический интерес для специалистов, занимающихся исследованиями в области молекулярной фотоники и наноплазмоники, и могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и образовательных организациях, связанных с исследованиями в данной области.

Замечания.

Существенные замечания по диссертации отсутствуют. Имеющиеся не принципиальные замечания носят характер пожеланий и уточнений, ничуть не снижая общего положительного впечатления о работе:

1. В первой главе, посвященной обзору литературы, большинство ссылок на работы 10-15 летней давности. Чтобы отразить современное состояние проблемы и для обоснования актуальности и мотивации следовало бы рассмотреть более свежие работы (за последние 3-5 лет).

2. В формулировке первого защищаемого положения не сделан акцент на новизну полученных результатов. Следовало бы подчеркнуть отличие сделанных выводов от уже известных сведений о плазмон-экситонном взаимодействии в рассматриваемой системе.

3. Во второй третьей и пятой главах при проведении процедуры вторичного квантования плазмонного поля используется действительная диэлектрическая функция металла, следовательно, не учитывается диссипация энергии в металле, хотя существуют методы квантования с учетом этой диссипации. В работе не указано, почему можно пренебрегать мнимой частью диэлектрической функции металла.

4. В экспериментальных разделах третьей главы недостаточно обоснован выбор красителя в качестве объекта исследования. Расчеты по разработанной математической модели влияния наночастиц на люминесценцию красителя только качественно объясняют экспериментальные результаты. В случае количественного совпадения теории с экспериментом результаты данной главы имели бы большую практическую ценность.

5. В четвертой главе при расчете поверхностной плотности заряда удвоенной частоты учитывается объемный нелинейный вклад. Однако потенциал электрического поля, создаваемого этой плотностью, ищется как решение уравнения Лапласа, а не Пуассона. При этом не приводится обоснование такой замены уравнений.

6. В пятой главе при рассмотрении трехуровневого спазера не указано какая предполагается накачка: когерентная или некогерентная. Кроме того, в обосновании пренебрежения взаимодействием трехуровневой системы с фотонными модами отмечается, что если дипольные моменты переходов в активной среде параллельны поверхности нанопроволоки, то скорость спонтанного излучения меньше скорости излучения в вакууме. Однако, это справедливо только для идеального металла, а к рассматриваемой модели спазера данное обоснование не подходит.

Общая оценка диссертационной работы. Давая общую оценку диссертационной работы, следует отметить, что указанные замечания не влияют на положительное впечатление о работе и не снижают ценности проведенного исследования. Диссертационная работа Мушина Ф.Ю. является законченным научным исследованием и вносит существенный вклад в изучение оптических свойств плазмонных наноструктур.

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах данных Scopus и WoS, и доложены на многочисленных российских и международных конференциях. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Мушина Ф.Ю. «Оптические и нелинейно-оптические свойства наноструктур с плазмонными компонентами и квантовыми излучателями» полностью соответствует П. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от

24.09.2013 №842, а ее автор, Мушин Федор Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на расширенном научном семинаре Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ, Физтех 23 марта 2026 г., протокол № 03-01.

Директор Центра фотоники и
двумерных материалов, д-р физ.-мат. наук



А.Д. Большаков

Почтовый адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер.,9

Телефон: 8 (495) 000-00-00,

Адрес электронной почты: bolshakov.ad@mipt.ru

Организация – место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Центр фотоники и двумерных материалов

Должность: директор

Web-сайт организации: <https://mipt.ru>