

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор - начальник управления  
научной политики

Федерального государственного  
бюджетного учреждения высшего  
образования «Московский государственный  
университет имени М.В. Ломоносова»,  
доктор физ.-мат. наук, профессор



*А.А. Федянин*  
А.А. Федянин

«3» 03 2023 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» о диссертационной работе Лозинг Натальи Анатольевны «Квантово-кинетическая теория фотолюминесценции в приложении к описанию ансамблей примесных центров в твердых средах с использованием метода Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда-Ивона», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – Оптика

Диссертационная работа Лозинг Н.А. посвящена исследованию спектральных характеристик и особенностей фотолюминесценции коллективных систем квантовых излучателей в поле непрерывного возбуждающего оптического излучения. Интерес к кооперативным эффектам в малых ансамблях квантовых излучателей связан с широкими возможностями управления такими сложными и интересными системами, как пары органических молекул и полупроводниковых квантовых точек, считающимися одними из предпочтительных кандидатов для создания миниатюрных, наиболее теоретически изученных и стабильно работающих коллективных систем. Естественно, что все существующие теории имеют ограничения и их развитие стимулируется новыми экспериментальными данными. Так, например, возможная бистабильность в оптическом отклике систем квантовых излучателей, о которой говорится в диссертации, создает потенциальную возможность построения оптических логических элементов, демонстрирующих, в частности, переходы между различными стационарными состояниями, работу транзистора, элемента оптической памяти и т.д. С другой стороны, это явление вызывает значительный интерес и с точки зрения фундаментальной физики, как явный пример спонтанного упорядочения в открытой стационарной системе, взаимодействующей с электромагнитным излучением.

Поставленные в диссертации задачи являются новыми и не были решены вплоть до настоящего времени. Можно утверждать, что развитые в диссертации теоретические подходы успешно применены автором для описания оригинальных экспериментальных результатов по лазерной фотолюминесцентной спектроскопии.



Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и пяти приложений. Полный объем диссертации составляет 103 страницы, включая 28 рисунков. Список литературы содержит 97 наименований.

Во **введении** описаны суть исследования, его цель и решаемые задачи. Приведен обзор научной литературы. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Приведен список работ автора и информация об апробации результатов.

В **первой главе** описан формализм, основанный на применении цепочек ББГКИ, модифицированных и адаптированных к решению оптических и спектроскопических задач. Формулируются приближения разрыва ББГКИ, необходимые для описания динамики параметров излучателя и спектров рассеянного излучения.

**Вторая глава** посвящена расчету спектров кооперативной фотолюминесценции пары квантовых излучателей. В этой главе приводятся результаты численного решения уравнений для матрицы плотности излучателей и результаты численного моделирования спектров возбуждения фотолюминесценции, спектров испускания фотолюминесценции и спектров поглощения пробного сигнала. Показывается согласие результатов численных расчетов с данными экспериментов по лазерной фотолюминесцентной спектроскопии одиночных молекул в твердых матрицах.

В **третьей главе** исследуется явление внутренней оптической бистабильности и динамика переходных процессов при переключениях системы между стационарными состояниями. Полученные результаты применены для интерпретации эффекта, наблюдаемого в эксперименте по исследованию фотолюминесценции микрокристаллов алмаза с германиевыми центрами окраски.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

В качестве основных результатов диссертационной работы можно выделить следующее:

1. Получены уравнения для вычисления спектра возбуждения фотолюминесценции, спектра испускания фотолюминесценции и спектра поглощения пробного сигнала для пары неидентичных двухуровневых квантовых излучателей в поле лазерной волны с учетом произвольной геометрии возбуждения и детектирования.
2. Произведена серия численных расчетов наблюдавшихся в эксперименте характерных зависимостей спектров возбуждения фотолюминесценции пары органических молекул в твердотельной матрице. Показано соответствие численных расчетов и наблюдавшихся эффектов.
3. Показано как при изменении угла между направлением поляризации возбуждающего света с осью кооперативной пары происходит спектральная миграция положений максимумов в спектре возбуждения фотолюминесценции кооперативной пары неидентичных квантовых излучателей. Показано согласие рассчитанных зависимостей с экспериментальными данными для кооперативной пары органических молекул в твердотельной матрице.
4. Произведен расчет динамики населенностей системы квантовых излучателей в диэлектрической среде и полной интенсивности фотолюминесценции. Проведен анализ пороговых оптических явлений, связанных с нелинейной динамикой возбужденных состояний излучателей.
5. Предложена интерпретация наблюдавшегося явления спонтанных возрастаний интенсивности фотолюминесценции микрокристалла алмаза с германиевыми центрами окраски.



Поставленные задачи являются новыми и не были решены вплоть до настоящего времени. Впервые выведено основное управляющее уравнение для матрицы плотности пары неидентичных по частоте и моменту перехода квантовых излучателей с возможностью учета произвольной геометрии схемы возбуждения непрерывным лазерным пучком. Получены уравнения для расчета спектров возбуждения и испускания фотолюминесценции. Произведено моделирование спектров возбуждения фотолюминесценции, воспроизводящее результаты экспериментов с кооперативными парами органических молекул. Также впервые исследована динамика интенсивности излучения большого коллективного ансамбля излучателей в диэлектрической среде при реализации режима безрезонаторной оптической бистабильности, на основании которой предложено объяснение наблюдавшегося в эксперименте явления длительных всплесков интенсивности фотолюминесценции микрокристалла алмаза с германиевыми центрами окраски.

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикациями в ведущих рецензируемых изданиях. Результаты работ имеют множество приложений и представляют интерес для научного сообщества, активно работающего в области лазерной физики и фотоники. Результаты диссертации могут быть рекомендованы для использования в исследованиях, проводимых в МГУ, МПГУ, МФТИ, МИФИ, ИТМО, СПбПУ, а также в ФИАН, ИСАН, ИОФ РАН, ИЛФ и др.

Работа не свободна от отдельных недостатков.

1. Так автором недостаточно аргументированно сформулирован физический смысл использованных приближений для обрыва цепочки уравнений.

2. Практически не обсуждается вопрос о возможном влиянии состояния поляризации падающего излучения на положение пиков в спектре возбуждения двух молекул.

3. Недостаточно четко сформулированы ограничения, связанные с использованием двухуровневого приближения для описания фотолюминесценции молекул (вследствие наличия у них колебательной структуры подуровней).

4. Для утверждения о реализации режима внутренней оптической бистабильности необходимо исследовать устойчивость найденных стационарных состояний. Непонятно, на основе чего высказывается предположение об устойчивости найденных стационарных состояний.

Отмеченные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку работы и не снижают ценность полученных результатов.

Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов обеспечиваются использованием строгих математических методов квантовой механики и квантовой оптики, согласием частных случаев с другими теоретическими работами, а также экспериментальными результатами, имеющимися на данный момент в литературных источниках. Результаты работы прошли апробацию на различных конференциях и опубликованы в ведущих рецензируемых журналах.

По теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, а полученные результаты неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях.

Содержание диссертационной работы Лозинг Н.А. «Квантово-кинетическая теория фотолюминесценции в приложении к описанию ансамблей примесных центров в твердых средах с использованием метода Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда-Ивона»

соответствует указанной специальности. Автореферат полно и правильно отражает основные результаты и выводы работы и соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Лозинг Наталья Анатольевны «Квантово-кинетическая теория фотолюминесценции в приложении к описанию ансамблей примесных центров в твердых средах с использованием метода Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда-Ивона» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Лозинг Наталья Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 - Оптика.

Доклад Лозинг Н.А. по материалам диссертации заслушан на Семинаре кафедры общей физики и волновых процессов Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова 17 февраля 2023 г.

Отзыв о диссертации составлен заведующим кафедрой общей физики и волновых процессов Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова доктором физико-математических наук, профессором Владимиром Анатольевичем Макаровым. Отзыв одобрен на семинаре кафедры общей физики и волновых процессов Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова 17 февраля 2023 г.

Заведующий кафедрой общей физики  
и волновых процессов Физического факультета  
Московского государственного  
университета имени М.В. Ломоносова  
доктор физ.-мат. наук, профессор  
Владимир Анатольевич Макаров  
Тел :+7 985 921 5112  
e-mail: vamakarov@phys.msu.ru

Владимир Анатольевич Макаров



подпись

17.02.2023

дата

Адрес: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Физический факультет), 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2



Список основных работ сотрудников Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по теме диссертации Н.А. Лозинг "Квантово-кинетическая теория фотолюминесценции в приложении к описанию ансамблей примесных центров в твердых средах с использованием метода Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда-Ивона" в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. N. Yu. Kuznetsov, K. S. Grigoriev, and V. A. Makarov, Topology of polarization-ellipse strips in the light scattered by a dielectric nanosphere *Phys. Rev. A* 104, 043505 (2021).
2. V. A. Makarov, V. M. Petnikova, Control of Structured Light at Variation in the Initial Launch Angle Demonstrated with the Airy Beam, *Physics of Wave Phenomena* volume 30, 260–264 (2022)
3. R.A. Ganeev, G.S. Boltaev, S.Y. Stremoukhov, V.V. Kim, A.V. Andreev, A.S. Alnaser, High-order harmonic generation during different overlaps of two-colored pulses in laser-produced plasmas and gases, *The European Physical Journal D* volume 74, Article number: 199 (2020)
4. V. A. Diukov, K. S. Grigoriev, and V. A. Makarov, Interconversion between OAM and SAM in five-wave mixing process in medium with the fourth-order optical susceptibility, *Optics Letters* Vol. 47, Issue 6, pp. 1307-1310 (2022).
5. P.S. Ryzhikov, V.A. Makarov, Intrinsic symmetry of nonlocal nonlinear optical susceptibilities, *Laser Phys. Lett.* 19 035401 (2022).
6. A.V. Andreev, A.A. Konovko, S.Y. Stremoukhov, High harmonics generation in gases near the gratings: towards the spectrum enhancement and enrichment, *Laser Phys. Lett.* 19 045401 (2022).
7. R. A. Ganeev, S. Y. Stremoukhov, A.V. Andreev, A. S. Alnaser, Application of Quasi-Phase Matching Concept for Enhancement of High-Order Harmonics of Ultrashort Laser Pulses in Plasmas, *Applied Sciences*, 9(8), 1701 (2019).