

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.138.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПРИ УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30.10.2019 протокол № 3

О присуждении Нефедкину Никите Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Коллективная динамика двухуровневых атомов в устройствах нанооптики и плазмоники» в виде рукописи по специальности 01.04.13 - Электрофизика и электрофизические установки, принята к защите 21.08.2019г., протокол № 2, объединенным диссертационным советом Д 999.138.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, <http://www.itae.ru/>, +7 (495) 484-23-83), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10.05.2017г. № 411/нк.

Соискатель Нефедкин Никита Евгеньевич 1993 года рождения, в 2017 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В настоящее время является аспирантом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)» (с 01.09.2017 по 31.08.2021).

Диссертация выполнена на кафедре электродинамики сложных систем и нанофотоники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Андрианов Евгений Сергеевич, старший научный сотрудник подразделения №70 Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА») (127055, г. Москва, ул. Суцневская, д. 22, <http://www.vniia.ru>, (499) 978-78-03).

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор кафедры физической химии, Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (НИТУ МИСиС) Капуткина Наталия Ефимовна;

- кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии Института спектроскопии РАН Мелентьев Павел Николаевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (г. Москва), в своем положительном

заклучении, составленном ведущим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук О.В. Бутовым, заслушанном и одобренном на семинаре «Физика электронных процессов в низкоразмерных системах» (подписанном председателем семинара д.ф.-м.н. С.В. Зайцевым-Зотовым и ученым секретарем семинара к.ф.-м.н. А.М. Смолвичем, а также утвержденном 19.09.2019 директором ИРЭ РАН член-корреспондентом РАН С.А. Никитовым), указала что в диссертации содержится ряд новых результатов, а именно:

1. Продемонстрировано, что в процессе эволюции системы классических нелинейных и квантовых излучателей в некоторый момент из-за нелинейности формируется точка сгущения фазовых траекторий дипольных моментов излучателей, в которой возникает сверхизлучательный пик. В точке сгущения фаз дисперсия фаз дипольных моментов классических эмиттеров минимальна. В случае сверхизлучения Дике квантовых эмиттеров минимальна дисперсия оператора разности косинусов фаз любых двух эмиттеров.
2. Предсказано существование оптимальной добротности резонатора, для которой интенсивность сверхизлучения атомов максимальна.
3. Предсказано существование явления модовой кооперации в двумерных плазмонных лазерах с распределенной обратной связью, проявляющееся в генерации мод с большими излучательными потерями и высоким порогом.
4. Показано, что время отклика плазмонного лазера с распределенной обратной связью на внешний импульс сильно зависит от площади пятна накачки. Установлено, что существует его оптимальный размер, при котором частота амплитудной модуляции достигает 1 ТГц.
5. Показано, что у отклика плазмонного нанолазера на внешнее поле в режиме компенсации потерь наблюдается подавление шумов и сужение спектра фазовых флуктуаций.
6. Показано, что отношение энергии тепловых флуктуаций наномантенны к энергии взаимодействия наномантенны и однофотонного источника является

управляющим параметром для статистических свойств излучения системы, состоящей из наноантенны, запитываемой однофотонным источником. В пределе малого отношения система демонстрирует однофотонные свойства.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также лабораториями, занимающимися экспериментальными исследованиями наноразмерных плазмонных систем, в частности, в следующих организациях: МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИ им. Лебедева РАН, Институт спектроскопии РАН.

Соискатель имеет 7 статей по теме диссертации в реферируемых журналах из списка ВАК:

1. Superradiance of a subwavelength array of classical nonlinear emitters / N. E. Nefedkin [et al.] // Optics Express. — 2016. — Feb. 22. — Vol. 24, no. 4. — P. 3464. — URL: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=oe-24-4-3464>.
2. Superradiance of non-Dicke states / N. E. Nefedkin [et al.] // Optics Express. — 2017. — Feb. 6. — Vol. 25, no. 3. — P. 2790. — URL: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=oe-25-3-2790>.
3. Superradiance enhancement by bad-cavity resonator / N. E. Nefedkin [et al.] // Laser Physics. — 2017. — June 1. — Vol. 27, no. 6. — P. 065201. — URL: <http://stacks.iop.org/1555-6611/27/i=6/a=065201?key=crossref.fc4c5e9b9ed51a9ab720bd8c2449a771>.
4. Stochastic resonance in the loss compensation regime of a plasmonic nanolaser / N. E. Nefedkin [et al.] // Physical Review A. — 2017. — Sept. 1. — Vol. 96, no. 3. — URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.96.033801>.
5. Mode Cooperation in a Two-Dimensional Plasmonic Distributed-Feedback Laser / N. E. Nefedkin [et al.] // ACS Photonics. — 2018. — Aug. 15. —

Vol. 5, no. 8. — P. 3031—3039. — URL: <http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsphotonics.8b00265>.

6. Response Time of a Plasmonic Distributed Feedback Laser in a Large-Signal Modulation Regime / N. Nefedkin [et al.] // Phys. Rev. Applied. — 2019. — May. — Vol. 11, issue 5. — P. 054067. — URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevApplied.11.054067>.
7. Second-order coherence function of a plasmonic nanoantenna fed by a single-photon source / N. E. Nefedkin [et al.] // Opt. Express. — 2019. — Aug. — Vol. 27, no. 16. — P. 23396—23407. — URL: <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-27-16-23396>.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н., В.П. Крайнов) – отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– в тексте автореферата присутствуют неопределенные величины, что затрудняет его понимание

– чересчур сжатое изложение некоторых результатов. Например, из текста автореферата сложно понять, как именно зависит время задержки отклика плазмонного DFB лазера от размера накачиваемой области, формула (4).

2. Институт спектроскопии РАН (Зав. лабораторией спектроскопии наноструктур, к.ф.-м.н. Ю.Е. Лозовик) – отзыв положительный, со следующими замечаниями:

– при обсуждении механизма возникновения сверхизлучения в квантовой системе не указана природа нелинейности

– непонятно, каким образом появляется неортогональность мод плазмонной структуры DFB лазера, ведь при разложении по базису моды ортогональны друг другу

3. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Главный научный сотрудник, д.ф.-м.н. В.И. Манько) – отзыв положительный, с замечаниями:

– при описании эффекта модовой кооперации ключевым моментом является существование неортогональных мод, но их природа в тексте автореферата не обсуждается

– можно отметить некоторую специфичность используемой терминологии

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н., Капуткина Н.Е. является ведущим ученым в области квантовой оптики, физики твердого тела; автор множества работ, посвященным различным эффектам, в том числе, лазированию в гетероструктурах, таких как квантовые точки, квантовые ямы, и др.;

1. Altaisky, M. V., Zolnikova, N. N., Kaputkina, N. E., Krylov, V. A., Lozovik, Y. E., & Dattani, N. S. (2017). Entanglement in a quantum neural network based on quantum dots. *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 24, 24-28.

2. Altaisky, M. V., Zolnikova, N. N., Kaputkina, N. E., Krylov, V. A., Lozovik, Y. E., & Dattani, N. S. (2016). Towards a feasible implementation of quantum neural networks using quantum dots. *Applied Physics Letters*, 108(10), 103108.

3. Altaisky, M. V., Kaputkina, N. E., & Krylov, V. A. (2018). Symmetry and decoherence-free subspaces in quantum neural networks. *Physics of Atomic Nuclei*, 81(6), 792-798.

- к.ф.-м.н. Мелентьев П.Н. является признанным специалистом по лазерной спектроскопии и спектроскопии плазмонных наноструктур. Автор многих работ по данной тематике:

1. P.N. Melentiev, A. Kalmykov, A. Kuzin, D. Negrov, V. Klimov, V.I. Balykin (2019). Open-Type SPP Waveguide with Ultrahigh Bandwidth up to 3.5 THz, *ACS Photonics* 6,1425-1433.

2. П.Н. Мелентьев, В.И. Балыкин (2019). Нанооптические элементы для поверхностных плазмонных волн. УФН, 189, 282–291.
3. Melentiev, P., Kalmykov, A., Gritchenko, A., Afanasiev, A., Balykin, V., Baburin, A.S., Ryzhova, E., Filippov, I., Rodionov, I.A., Nechepurenko, I.A., Dorofeenko, A.V., Ryzhikov, I., Vinogradov, A.P., Zyablovsky, A.A., Andrianov, E.S., Lisyansky, A.A. (2017). Plasmonic nanolaser for intracavity spectroscopy and sensorics. Applied Physics Letters, 111(21), 213104.

Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН в качестве ведущей организации обоснован тем, что ИРЭ РАН является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе в области электродинамики низкоразмерных наноструктур и распространения электромагнитных волн в сложных средах и структурах:

1. Polischuk O V, Moiseenko I M, Morozov M Y, Popov V V Double frequency plasmonic amplification of terahertz radiation in a periodical double-layer graphene. Journal of Physics: Conference Series , 2018 , 1092. 012119. ISSN 1742-6588
2. Моисеенко И.М., Морозов М.Ю., Попов В.В. Усиление терагерцевых плазмонов в экранированном графене с накачкой оптическими плазмонами. Нелинейный мир , 2018 , 16 (2). С. 7-8. ISSN 2070-0970
3. Pogosov W.V., Shapiro D.S., Bork L.V., Onishchenko A.I. Exact solution for the inhomogeneous Dicke model in the canonical ensemble: Thermodynamical limit and finite-size corrections. Nuclear Physics B, 2017, 919. С. 218-237. ISSN 05503213

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Исследовано явление сверхизлучения в системах классических и квантовых эмиттеров. Найден общий для этих систем механизм возникновения сверхизлучательного всплеска интенсивности излучения.

Определена оптимальная добротность резонатора, в который помещены эмиттеры, при которой интенсивность сверхизлучения максимальна.

2. Исследована коллективная динамика атомов активной среды и мод электромагнитного поля двумерного плазмонного DFB лазера. Предсказан эффект кооперации мод. Предложен метод генерации лазерных импульсов с терагерцовой частотой за счет изменения размера накачиваемой области активной среды.

3. Исследован отклик плазмонного нанолазера на внешнее электромагнитное поле при учете тепловых шумов. Показано, что в режиме компенсации потерь плазмонного нанолазера возникает стохастический резонанс, проявляющийся в подавлении случайных флуктуаций фазы дипольного момента нанолазера.

4. Изучено влияние плазмонной наноантенны, размещенной вблизи однофотонного источника, на интенсивность излучения системы наноантенна–однофотонный источник и статистические свойства излучения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Впервые продемонстрировано, что в процессе эволюции системы классических нелинейных и квантовых излучателей в некоторый момент из-за нелинейности формируется точка сгущения фазовых траекторий дипольных моментов излучателей, в которой возникает сверхизлучательный пик. В точке сгущения фаз дисперсия фаз дипольных моментов классических эмиттеров минимальна. В случае сверхизлучения Дике квантовых эмиттеров минимальна дисперсия оператора разности косинусов фаз любых двух эмиттеров.

2. Предсказано существование оптимальной добротности резонатора, для которой интенсивность сверхизлучения атомов, помещенных в этот резонатор, максимальна.

3. Впервые предсказано существование явления кооперации мод в двумерных плазмонных лазерах с распределенной обратной связью, проявляющееся в генерации мод с большими излучательными потерями и высоким порогом.

4. Показано, что время отклика плазмонного лазера с распределенной обратной связью на внешний импульс сильно зависит от площади пятна накачки. Установлено, что существует его оптимальный размер, при котором частота амплитудной модуляции достигает 1 ТГц.

5. Впервые показано, что у отклика плазмонного нанолазера на внешнее поле в режиме компенсации потерь наблюдается подавление шумов и сужение спектра фазовых флуктуаций.

6. Показано, что отношение энергии тепловых флуктуаций наноантенны к энергии взаимодействия наноантенны и однофотонного источника является управляющим параметром для статистических свойств излучения системы, состоящей из наноантенны, запитываемой однофотонным источником. В пределе малого отношения система демонстрирует однофотонные свойства.

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

– На основе предложенного механизма сверхизлучения разработаны рекомендации по увеличению его интенсивности при подборе оптимальной добротности резонатора.

– Описан метод уменьшения времени отклика и увеличения частоты амплитудной модуляции (вплоть до 1 ТГц) плазмонного лазера с распределенной обратной связью путем изменения размера пятна накачки. Данный метод также требует меньшей мощности импульса накачки.

– Результаты, полученные при исследовании статистических свойств излучения плазмонной наноантенны, запитываемой однофотонным источником, необходимы для создания более быстрых источников одиночных фотонов с заданной функцией когерентности второго порядка.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: МГУ им. М.В. Ломоносова, Объединенном Институте Высоких температур РАН, Физическом институте

академии наук им. Лебедева, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- расчетно-теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах квантовой механики, электродинамики и оптики. Они согласуются с опубликованными экспериментальными результатами;
- идея диссертационной работы базируется на анализе научно-технической литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп и лабораторий;
- результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад соискателя в непосредственном участии в выборе объектов исследования, постановке задач, разработке теоретических подходов, численном моделировании и обсуждении полученных результатов. Все изложенные в диссертации оригинальные результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Апробация результатов исследования проводилась на более чем 20 российских и международных конференциях и симпозиумах, в некоторых из которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 30.10.2019г. диссертационный совет принял решение присудить Нефедкину Никите Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 17 докторов физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика и электрофизические установки, из 20 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 999.138.02
академик РАН, д.ф.-м.н., профессор



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.138.02
к.ф.-м.н.



Кугель К.И.
30.10.2019 г.