

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПРИ
УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 99.1.044.02, созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной электродинамики Российской
академии наук при участии Объединенного института высоких
температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 27 октября 2021 г. (протокол № 6)

**Защита диссертации Доронина Ильи Владимировича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Формирование когерентного излучения многоатомными системами»**

Специальность 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки

Москва – 2021

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 99.1.044.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук при участии Объединенного института высоких температур Российской академии наук

Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)

Протокол № 6 от 27 октября 2021 г.

Диссертационный совет 99.1.044.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 10.05.2017 г. № 411/нк в составе 20 человек. На заседании присутствуют 15 человек, из них 12 докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика электрофизические установки – очно, 3 доктора наук по специальности 1.3.13 – электрофизика электрофизические установки - дистанционно. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – заместитель председателя диссертационного совета
99.1.044.02, д.ф.-м.н., доцент Гавриков А.В.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 99.1.044.02,
д.ф.-м.н., доцент Дорофеев А.В.

1	Лагарьков А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор, академик РАН	1.3.13	Отсутствует
2	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.13	Отсутствует
3	Гавриков А.В.	Д.ф.-м.н., доцент	1.3.13	Присутствует
4	Дорофеев А.В.	Д.ф.-м.н., доцент	1.3.13	Присутствует
5	Батенин В.М.	Д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН	1.3.13	Присутствует
6	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.13	Присутствует
7	Виноградов А.П.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.13	Присутствует
8	Гиппиус Н.А.	Д.ф.-м.н.	1.3.13	Присутствует
9	Деньщиков К.К.	Д.т.н.	1.3.13	Отсутствует
10	Жук А.З.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.13	Отсутствует
11	Зейгарник В.А.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.13	Присутствует
12	Кисель В.Н.	Д.ф.-м.н., доцент	1.3.14	Присутствует
13	Мерзликин А.М.	Д.ф.-м.н.	1.3.13	Присутствует
14	Парфенов Ю.В.	Д.т.н., с.н.с.	1.3.13	Присутствует
15	Пухов А.А.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.13	Присутствует
16	Рахманов А.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	1.3.13	Присутствует
17	Рожков А.В.	Д.ф.-м.н.	1.3.13	Присутствует
18	Розанов К.Н.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	1.3.13	Присутствует
19	Сон Э.Е.	Д.ф.-м.н., профессор, академик РАН	1.3.13	Отсутствует
20	Сарычев А.К.	Д.ф.-м.н.	1.3.13	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации аспиранта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)». **Доронина Ильи Владимировича** на тему «Формирование когерентного излучения многоатомными системами». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Диссертация выполнена на кафедре электродинамики сложных систем и нанофотоники Физтех-школы фундаментальной и прикладной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)». (141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9., mipt.ru).

Научный руководитель:

Зябловский Александр Андреевич – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва.

Официальные оппоненты:

Макаров Сергей Владимирович–гражданин РФ, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, руководитель лаборатории, профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49А).

Свяховский Сергей Евгеньевич–гражданин РФ, к.ф.-м.н., доцент Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносов» (МГУ имени М.В.Ломоносова; Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН; 108840, г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, д. 5)

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н.Макаров С.В. – в онлайн формате, к.ф.-м.н. Свяховский С.Е. - очно, научный руководитель Доронина И.В. к.ф.-м.н. Зябловский А.А. – очно.

СТЕНОГРАММА

Председатель

На повестке дня защита Доронина Илья Владимировича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Формирование когерентного излучения многоатомными системами» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки. Прошу ученого секретаря доложить содержание всех представленных соискателем материалов.

Прошу Вас.

Ученый секретарь

Илья Владимирович представил документы в диссертационный совет. Диссовет рассмотрел его диссертацию. Комиссия сообщила, что все соответствует специальности и все документы в порядке. Соответственно мы можем заслушать доклад.

Доронин И.В.

Здравствуйте, меня зовут Доронин Илья Владимирович. Я аспирант кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники МФТИ. Мой научный руководитель – Зябловский Александр Андреевич. Я представляю диссертацию «Формирование когерентного излучения многоатомными системами»

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Доронина И.В. прилагается).

Председатель

Спасибо, Илья Владимирович. Коллеги, вопросы к докладчику самое время задать, прошу.

Василяк Л.М.

Скажите пожалуйста, правильно ли я понял, что у Вас активная среда ограничена, всё-таки, в пространстве? Потому что если она будет бесконечна, то, как только у неё будет кна L , то говорить о какой-то фазовой синхронизации бесконечной системы невозможно.

Доронин И.В.

Да, безусловно. У нас конечная активная среда, и действительно, если система бесконечная, то у нас будет бесконечное время установления, поэтому, разумеется, да, о когерентности нельзя будет говорить.

Василяк Л.М.

А тогда ещё вопрос, вы говорили, что берете коэффициент поглощения и его к нулю устремляете, а там бесконечность, да? А перемножение бесконечно малой и бесконечно большой величины - это будет неопределенность некая. Насколько это корректное приближение?

Доронин И.В.

Да, в данном случае необходимо переходить к пределу строго определенным образом. Нужно сначала устремлять в бесконечность размер и после этого, когда размер уже бесконечный, можно устремлять к нулю потери. Есть ряд работ математических, в которых показано, что данный предельный переход корректный.

Василяк Л.М.

Подскажите пожалуйста, в лазерах на самоограниченных переходах наблюдается сверхсветимость и сверхизлучение. Это молекулы азота, когда идет импульсная накачка. Мы скажем делали эксперимент, когда волна ионизации идет с очень высокой скоростью, и получается сверхизлучение. Что нужно сделать, чтобы было когерентно. Можете дать какой-то практический совет, когда идет такая накачка? Какие условия, с Вашей точки

зрения?

Доронин И.В.

Ну, с моей точки зрения, в качестве оценки можно...

Василяк Л.М.

Какие-то нулевые параметры можно задать?

Доронин И.В.

В качестве грубой оценки я могу посоветовать воспользоваться вот этим выражением. Поскольку у Вас в свободном пространстве, я подозреваю,

Василяк Л.М.

Да, зеркал нет, это чистое, безо всяких зеркал.

Доронин И.В.

Парсел фактор равен единице, скорость спонтанной релаксации — это измеряемая величина для активной среды, и гамма сигма — это, по сути, ширина линии, это скорость поперечно релаксации.

Василяк Л.М.

Ширина линии какая? В вакууме или реальная?

Доронин И.В.

В той системе, в которой Вы наблюдаете. Можно считать, реальная. Это всё-таки ширина линии отдельного атома. Я подозреваю, что в Вашей системе она близка к ширине линии в вакууме.

Василяк Л.М.

Спасибо.

Председатель

Коллеги, ещё кто-нибудь хотел бы задать вопросы?

Мерзликин А.М.

Когда Вы рассматриваете квантование, в самом начале, Вы устремляете потери к нулю, а размер системы к бесконечности.

Доронин И.В.

Ну наоборот, но да.

Мерзликин А.М.

Да, окей. А, собственно, зачем необходимо поглощение? У Вас же все процессы, которые Вы рассматриваете, они имеют конечные времена. Казалось бы, если мы сделаем резонатор много больше, чем *с*то мы уже забудем про то, что у нас какие-то импульсы могут вернуться и так далее. Зачем поглощение?

Доронин И.В.

По двум причинам. Во-первых, когда мы устремляем значение потерь к бесконечности, мы можем работать в частотном пространстве, а если мы просто возьмем большой ящик, то мы не можем работать в частотном пространстве, только во временном. Это первая причина. И вторая причина, с точки зрения численного моделирования намного проще сделать конечный ящик не слишком большой и добавить потери, чем делать очень большой ящик и быть уверенным, что система точно выйдет на стационар за это время.

Председатель

Коллеги, ещё кто-нибудь хотел бы? Может быть, кто-то из коллег, кто работает с нами дистанционно? Проверьте пожалуйста.

Гиппиус Н.А. (дистанционно)

Можно вопрос, если это технически возможно?

Председатель

Да-да, конечно возможно, мы Вас слушаем.

Гиппиус Н.А. (дистанционно)

Мне очень понравился доклад, спасибо большое. У меня вопрос вот какой. У Вас когерентный режим устанавливается при отрицательной средней инверсии, то есть когда... Отрицательная инверсия – это поглощение

Доронин И.В.

Да. Да.

Гиппиус Н.А. (дистанционно)

Но вот правильно ли я понимаю, что у Вас на самом деле моменты, когда она бывает то положительной, то отрицательной, и Вам важно, что она бывает положительной?

Доронин И.В.

Нет, отвечаю на Ваш вопрос. Вот здесь представлены графики, где инверсия населенности отрицательна во все моменты времени и при этом устанавливается конечная амплитуда, и при таких параметрах ширина линии узкая и g^2 падает. То есть это когерентное излучение, и инверсия остается отрицательной во все моменты времени. То есть нам необязательно, чтобы инверсия становилась положительной.

Гиппиус Н.А. (дистанционно)

То есть в среднем... А всё-таки баланс энергии там как будет, если у Вас в среднем есть поглощение?

Доронин И.В.

Дело в том, что когда мы периодически модулируем мощность накачки, мы изменяем фазовые соотношения между персонажами, между модой электромагнитного поля и атомами активной среды. И из-за постоянно изменяющейся фазы мы манипулируем скоростью передачи энергии. Дело в том, что в лазере в режиме сильной связи затухание происходит немонотонно. Если подать какую-то накачку и остановить, то он будет затухать с осцилляциями – будут затухающие осцилляции. И если мы правильно подбираем фазу активной среды, то можно добиться того, что в моменты уменьшения, спада осцилляций активная среда меньше забирала энергии, а в момент нарастания осцилляций активная среда больше отдавала энергии. И за счет этого мы добиваемся того, что поток энергии из активной среды в поле, даже несмотря на то, что в стационаре среда в целом должна поглощать.

Гиппиус Н.А. (дистанционно)

Интересно, спасибо большое.

Председатель

Коллеги, ещё вопросы? Прошу Вас.

Мерзликин А.М.

Вы рассматривали g^2 . Вы смотрели более высокие функции? g^3 , g^4 ?

Доронин И.В.

Нет, в диссертации более высокого порядка корреляционные функции не рассматривались. Подход позволяет их описать, но мы этого не сделали, потому что они менее используемы на практике.

Мерзликин А.М.

Спасибо.

Председатель

Коллеги, я так понимаю, что вопросы иссякли. Тогда наверно переходим к следующему пункту, который мы должны соблюдать. Слово предоставляется Александру Андреевичу Зябловскому, научному руководителю соискателя.

Зябловский А.А.

Здравствуйте, уважаемый диссертационный совет. Значит, я должен, я так понимаю, охарактеризовать диссертанта. Илья Владимирович Доронин поступил на кафедру электродинамики сложных систем и нанофотоники на втором курсе Московского физико-технического института. Наукой он начал заниматься на 4-ом курсе, когда пришел в группу, возглавляемую Алексеем Петровичем Виноградовым, и, собственно, начиная с 4-го курса он плодотворно, не прерываясь, занимался наукой. За это время он опубликовал 11 научных работ, 8 из которых вошли в диссертацию. 3 не вошли, потому что они уже как-то выпадают из темы диссертации. Надо заметить, что во все эти работы он внес очень существенный вклад. Некоторые идеи он даже предложил. Например, вывод универсального лазерного порога – это чисто его идея и, по сути, чисто его результат. Во все остальные тоже очень заметный вклад. Во все, без сомнения, результаты. Кроме научной деятельности Илья Владимирович занимается педагогической деятельностью – он уже 2 года ведет занятия на физтехе, на кафедре теоретической физики – семинары по теории поля, по квантовой механике. За все это время Илья Владимирович сформировался как ученый, он уже самостоятельный человек, и я прошу диссовет присудить ему кандидатскую степень по электрофизике, электрофизическим установкам.

Председатель

Спасибо, спасибо большое. Александр Викторович, тогда слово Вам, прошу зачитать заключение организации, где была выполнена работа, отзыв ведущей организации и другие поступившие в совет отзывы.

Ученый секретарь

Значит, заключение организации – от МФТИ. Там, в общем-то, сказано, что он учился в аспирантуре, подготовил диссертацию – и всё в порядке. Поступило 3 отзыва на авторефераты.

Первый отзыв от профессора кафедры теоретической физики МФТИ **Крайнова Владимира Павловича**. Отзыв положительный, без замечаний.

Второй отзыв от старшего научного сотрудника ИСАН – **Мелентьева Павла Николаевича**. Отзыв от него положительный, с одним замечанием. Замечание:

- отсутствие анализа найденных эффектов при использовании квантовых эмиттеров света с эффективной трёхуровневой схемой энергетических уровней, широко используемых как в лазерной физике, так и для создания современных пробников света на основе плазмонных нанолазеров.

И третий отзыв от заместителя директора ИРЭ им. Котельникова **Бутова Олега Владиславовича**. Отзыв положительный, с замечанием:

- в работе не обсуждается способ экспериментального обнаружения предпорога когерентной генерации, о котором идет речь во второй главе.

Отзыв ведущей организации ИСАН. Есть два замечания:

-В тексте диссертации утверждается, что в системе без отражения порог интенсивности может сопровождаться когерентной генерацией, а может не сопровождаться. Необходимо уточнить, как связаны эти два порога, если они оба присутствуют в системе.

-В четвертой главе получено условие для когерентной генерации в системе с активной средой, сосредоточенной в субволновом объеме. Следовало уточнить, может ли данное условие быть использовано в более общих задачах, и каким образом.

Председатель

Илья Владимирович, прошу Вас ответить на вопросы, которые прозвучали.

Доронин И.В.

Я начну с вопросов ведущей организации. Что касается порога по интенсивности и порога по когерентности. Порог по интенсивности связан с нелинейностью, а порог, связанный с когерентностью, связан с началом автоколебаний. Автоколебания – это частный случай нелинейности, поэтому если наступают автоколебания, то точно наступает нелинейность, но наоборот не всегда верно. В связи с этим, если присутствуют оба порога, то порог по когерентности всегда присутствует позже, чем порог по интенсивности. В предельном случае очень добротного лазера эти два порога могут совпадать, но в общем случае порог когерентности позже, чем порог по интенсивности.

Второй вопрос от ведущей организации, касательно обобщения универсального условия. Несмотря на то, что условие получено для активной среды, сосредоточенной в субволновом объеме, он все ещё может быть использован как оценка снизу для порога в системе с произвольной геометрией.

По поводу отзывов на автореферат. Касательно трехуровневой системы: в большинстве активных сред, работающих по принципу трёх уровней, скорость перехода с третьего уровня на рабочие лазерные уровни очень велика, и в рамках уравнений этот уровень, третий, можно исключить и свести систему к двухуровневой, что и было сделано в диссертации. В некоторых случаях, возможно, это сделать нельзя, и над этими ситуациями в данный момент ведется работа.

И второй отзыв на автореферат, касательно обнаружимости предпорога. Речь идет об исключительной точке. Её можно обнаружить следующим образом. Если сначала создать условия для генерации. То есть сначала накачать среду до когерентной генерации, а потом остановить накачку, то в течение какого-то промежутка времени затухание света в этой системе будет неэкспоненциальным. А с какого-то момента оно станет чисто экспоненциальным. Этот момент перехода от неэкспоненциального затухания к экспоненциальному как раз происходит в момент перехода исключительной точки. Таким образом эта точка и предпорог могут быть обнаружены экспериментально.

Председатель

Спасибо, давайте сейчас перейдем к следующему шагу. Слово предоставляется официальному оппоненту, Сергею Евгеньевичу Свяховскому.

Свяховский С.Е.

Добрый день, меня зовут Сергей Евгеньевич Свяховский. Московский государственный университет имени Ломоносова. Я прочитал диссертацию Ильи Доронина. Состоит из 120 страниц, 6 глав, в ней присутствуют все необходимые для диссертации ключевые моменты - актуальность, новизна и прочее, что отражено в моем отзыве. Положительные стороны, которые указаны в отзыве, я, с Вашего позволения, не буду зачитывать. У меня

есть несколько замечаний к тексту диссертации.

Первое замечание это как в реальных системах имеется спонтанное излучение. Как оно влияет на порог генерации. Подобны вопрос здесь уже обсуждался.

Второе замечание – это в шестой главе, где рассматривается возбуждение инверсии, когда на двухуровневую систему воздействует множество других систем. Нет ли при этом многофотонного возбуждения и почему это не было учтено, почему всё идет в рамках диполь-дипольного взаимодействия.

И третье замечание касается. В пятой главе был приведен график возбуждения не на весь интересующий диапазон. Сказано, что в системе присутствует генерация до критической точки, однако построенные графики весь диапазон не перекрывают. Хотелось бы узнать, почему.

В целом, я считаю, что диссертация удовлетворяет всем формальным требованиям и Илья Владимирович заслуживает присвоения ему ученой степени. На этом у меня все.

Председатель:

Спасибо большое. Илья Владимирович, прошу Вас ответить на вопросы.

Доронин И.В.

Да, отвечаю на вопросы по порядку. Спонтанное излучение влияет следующим образом. Когда речь, например, об этом условии, то это условие на появление когерентного вклада в излучение. То есть, когда появляется хотя бы небольшая доля когерентности в излучении. При этом в этой точке все ещё преобладает спонтанное излучение. Излучение всё еще не является когерентным. То есть это та точка, в которой начинается генерация – начинает сужаться линия, начинает падать g^2 .

По поводу многофотонности, многофотонный переход – это другое явление. Главное, ключевое отличие заключается в том, что при многофотонном переходе явление нелинейное, и оно пропорционально каждому из входных сигналов. То есть, если бы это был многофотонный переход, то у нас бы увеличение сигнала от любой из этих низкочастотных квантовых точек увеличивало бы выходную инверсию населенности высокочастотной, но при сверхосцилляциях дело обстоит абсолютно по-другому: нужны строго определенные соотношения между амплитудами и фазами. Если увеличить амплитуду одного из источников, то эффект может наоборот ослабнуть, а не усилиться. То есть система ведет себя совершенно не так, как при многофотонных возбуждениях, на основании чего можно говорить, что это другой эффект.

Наконец, касательно графиков. Графики действительно построены не до исключительной точки, которая находится примерно в единице, а до меньших значений, и это связано с тем, что по горизонтальной оси отложена лишь средняя инверсия населенности. Мы поскольку меняем мощность накачки, то эта инверсия населенности осциллирует во времени. Если мы приблизимся очень близко к этой точке, то наша амплитуда модуляции будет выходить за её пределы и будет попадать в область обычной лазерной генерации. Из-за этого начинают взаимодействовать два явления – генерация без инверсии и обычная лазерная генерация, и в системе начинаются очень большие флуктуации, и графики ведут себя некорректно.

Председатель

Сергей Евгеньевич, Вы удовлетворены прозвучавшим?

Свяховский С.Е.

Да, я удовлетворен.

Председатель

Спасибо. Сейчас слово предоставляется второму официальному оппоненту, Макарову Сергею Владимировичу. У меня есть информация, что он с нами дистанционно. Так ли это?

Макаров С.В. (дистанционно)

Да-да. Я здесь.

Председатель

Прошу Вас тогда сделать сообщение. Ваше мнение о диссертации сообщите нам, пожалуйста.

Макаров С.В. (дистанционно)

Да, Уважаемые коллеги. Я также прочитал диссертацию Ильи Владимировича Доронина. Она действительно соответствует всем требованиям, связана одной идеей, одной тематикой, проведена на довольно высоком уровне, соответственно, по перечню публикаций видно, что внес ключевой вклад – в большинстве публикаций является первым или вторым соавтором. Публикации также в международных журналах, авторитетных, таких как Laser&PhotonicsReviews, PhysRev-ы и Американское оптическое сообщество, и также авторитетный в России журнал ЖЭТФ. Это что касается формальных вещей. Также, помимо положительных впечатлений есть ряд замечаний, учет которых улучшит работу, но в целом картины они не портят. В целом работа теоретическая, но всё-таки должна быть какая-то привязка к эксперименту.

Во-первых, в четвертой главе рассматривается возможность когерентной генерации в активной среде, которая сосредоточена в субволновом объеме. Но при этом известно, что при таком плотном расположении излучателей в ограниченном объеме зачастую существенным становится диполь-дипольное взаимодействие, что во многих системах приводит к тушению люминисценции или в данном случае может влиять как-то на когерентность генерации. Соответственно, это первый вопрос, который имеет смысл обсудить.

Второе замечание связано с тем, что в шестой главе в целом довольно интересные результаты, но создание инверсии в квантовой точке с высокой частотой перехода... не освещен вопрос приложений этого метода создания такой инверсии населенности. Что было бы конечно очень интересно экспериментаторам, которые читают работу.

Также, в пятой главе, где предлагается лазер, излучающий когерентно при отрицательной инверсии населенности не обсуждается тоже возможность реализации такого лазера с точки зрения характеристик существующих известных активных сред и резонаторов.

Также в целом, как четвертое замечание, работа не лишена некоторых стилистических недостатков, например, «toymodeloflaser» было переведено как «игрушечная модель лазера», наверно лучше было бы подобрать другой синоним, вместо слова «игрушечная» - «упрощенная», хотя понятно, что в англоязычно литературе это так и звучит, toymodel. Ну и также встречаются такие как «пустая Вселенная» вместо «free-space». Тоже кажется, что это слово употреблено по неосторожности вместо свободного пространства.

Несмотря на замечания, диссертация производит очень хорошее впечатление, результаты действительно на высоком уровне. Считаю, что соискатель достоин степени. Спасибо.

Председатель

Спасибо, Сергей Владимирович! Илья Владимирович, прошу Вас ответить на вопросы.

Доронин И.В.

Замечание о диполь-дипольном взаимодействии. Действительно, если мы помещаем частицы в субволновой объем, то между ними возникает диполь-дипольное взаимодействие и может начаться явление концентрационного гашения. Однако,

существуют активные частицы, для которых мы оценили параметры, и, по этому условию, возможна когерентная генерация до существенного проявления концентрационного гашения и диполь-дипольного взаимодействия. То есть при концентрациях порядка 10 в 18-ой. Когда гашение не очень сильное, его можно грубо оценить и учесть в этой формуле. Концентрационное гашение приводит к таким эффектам как появление дополнительных каналов релаксации, из-за чего становится сложнее достичь той же самоинверсии населенности, но эта формула учитывает, то есть она на ту инверсию населенности, которая создана. Также оно приводит к увеличению ширины линии, что также может быть учтено в формуле, и к изменению частоты перехода активной среды, это в формуле учтено за счет того, что Парсел-фактор зависит от частоты.

Далее, по поводу приложений создания инверсии населенности в квантовых точках. Данный метод создания инверсии населенности может быть полезен в квантовых компьютерах, поскольку существует проблема создания инверсии населенности в квантовых точках в оптическом диапазоне, однако возможно создание инверсии квантовых точек в инфракрасном диапазоне. Таким образом, если создать инверсию населенности квантовых точек в инфракрасном диапазоне, то при помощи этого метода можно достичь инверсии населенности в квантовой точке, которая, возможно, уже лежит в оптическом диапазоне.

Далее, по поводу реализации лазера без инверсии. Указанные графики строились для параметров, которые взяты из реальных сред и систем, в частности, для плазмонных наночастиц и стандартных красителей. Такие параметры являются достаточными для наблюдения эффекта.

По поводу качества перевода. Да, в некоторых местах перевод диссертации не очень удачный, но здесь речь идет скорее о малоупотребительных терминах, например, в книге Скалли «Квантовая оптика» используется перевод «Вселенная» вместо «пространство» - «моды Вселенной». Касательно «игрушечной модели» - неудачный перевод, но в тексте диссертации, когда вводятся слова «игрушечная модель», поясняется, что именно имеется в виду - имеется в виду конкретная геометрия активной среды, что позволяет избежать двусмысленности.

Председатель

Спасибо. Сергей Владимирович, в рамках текущего обсуждения Вы что-нибудь у диссертанта хотели бы ещё уточнить?

Макаров С.В.

Спасибо, всё ясно, я полностью удовлетворен.

Председатель

Коллеги, сейчас время для обсуждения и дискуссий. Может быть, кто-то хотел высказаться и прокомментировать? Пожалуйста.

Мерзликин А.М.

Я хотел бы повторить слова, которые уже звучали здесь о том, что много публикаций сделано. У него 8 публикаций, большая часть из которых относится к журналам первого квартиля. На мой взгляд, диссертация замечательная. Я призываю членов диссертационного совета голосовать «за».

Председатель

Спасибо. Коллеги, ещё кто-нибудь хотел бы высказаться, прокомментировать? Прошу Вас, пожалуйста.

Виноградов А.П.

Несколько слов скажу, Виноградов Алексей Петрович. Как было сказано, диссертант Илья работал в моей группе. По поводу связи с экспериментом не всё так просто. Эксперимент сложный, но постановка многих задач шла из эксперимента. Касательно, например, последней задачи несколько слов. Известно, что в биологических системах, в клетках, при

делении возникают ультрафиолетовое излучение. Никаких химических реакций близко там не лежит, которые могут дать просто ультрафиолет, поэтому возникал вопрос, откуда может низкоквантовое возбуждение вылиться в ультрафиолетовое излучение. Конечно, вероятность этого события крайне мала, но, учитывая эволюцию биологических систем, могли подстроиться. И примерно такая же ситуация с экспериментальной проверкой. Эффекты предсказываются тонкие, и не все могут померять и не все могут увидеть. В общем, здесь скорее недостаток экспериментальной базы, чем теоретической. Что делать, здесь, по-моему, везде было сказано. Так что я считаю, что вполне достойная работа и в этом смысле она также законченная. То есть это не просто сугубо теория – даны конкретные рекомендации, чего делать. Я предлагаю голосовать «за».

Председатель

Спасибо большое. Коллеги, ещё кто-нибудь высказаться хотел бы? Тогда предоставляется заключительное слово Илье Владимировичу, а потом совет уйдет на голосование.

Доронин И.В.

Я благодарю уважаемых членов совета за Ваше внимание, за Ваши вопросы. Я надеюсь на Вашу благосклонность.

Председатель

Илья Владимирович, спасибо. Коллеги, сейчас мы должны приступить к процедуре голосования. Так как голосование тайное, я прошу всех освободить помещение. И коллеги, когда мы сделаем свой выбор, тоже просьба выйти, чтобы дать возможность проголосовать тем, кто у нас дистанционно, а потом, буквально через несколько минут, вернуться обратно.

(Проводится процедура тайного голосования).

Председатель

Коллеги, Вы можете уже доложить результаты голосования?

Ученый секретарь

Результаты голосования: из 15 присутствующих 15 – «за», ни одного «против», ни одного недействительного.

Председатель

Коллеги, результаты голосования Вы услышали. Принимаем?

(принято единогласно)

Илья Владимирович, мы Вас поздравляем с успешной защитой. А сейчас нужно завершить некоторые формальности и необходимо обсудить проект заключения. Перед Вами копии.

Пухов А.А.

Господа, я хочу, чтобы мы в виде исключения. Докладчик от волнения не поблагодарил своего научного руководителя. Илья Владимирович?

Доронин И.В.

Я благодарю своего научного руководителя Зябловского Александра Андреевича, с которым были выполнены почти все работы, вошедшие в список публикаций. Без его помощи и наставлений я бы не справился.

Председатель

Коллеги, я предлагаю перейти к формальной стороне – обсуждению проекта заключения.

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).

Коллеги, тогда я предлагаю проголосовать за предложенный проект заключения, но с учетом тех замечаний, которые прозвучали – с учетом того, что это всё должно быть

доработано. Кто за, коллеги? Против? Воздержавшихся нет. Спасибо.

(Проект заключения принят единогласно).

Коллеги, большое спасибо за работу. На сегодня заседание закончено. Поздравляем ещё раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.1.044.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
РАН ПРИ УЧАСТИИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РАН, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.10.2021г. № 6

О присуждении Доронину Илье Владимировичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Формирование когерентного излучения многоатомными системами» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки; принята к защите 19.08.2021г., (протокол заседания № 5) диссертационным советом 99.1.044.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН при участии Объединенного института высоких температур РАН (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, (495) 485-9081, itae.ru), утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 10.05.2017г.

Соискатель Доронин Илья Владимирович 1995 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время он является аспирантом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

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

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт им. Н.Л. Духова» Зябловский Александр Андреевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории гибридной нанофотоники и оптоэлектроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» Макаров Сергей Владимирович;
 - кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета Федерального государственного бюджетного учреждения «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Свяховский Сергей Евгеньевич
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Институт спектроскопии Российской академии наук в своем положительном заключении, составленном зав. лабораторией спектроскопии наноструктур к.ф.-м.н., профессором Лозовиком Ю.Е. (утвержденном 04.10.2021г. директором д.ф.-м.н. Задковым В.Н.) указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов практически по всем направлениям работы. Например, предложена модель описания когерентных свойств активных сред с пренебрежимо малым отражением на границе. Кроме того, предложен способ возбуждения положительной инверсии населенности в квантовых точках за счет взаимодействия с соседними квантовыми точками, ближние поля которых испытывают сверхосцилляции. Интерес представляет также предсказанный эффект возникновения когерентного излучения при отрицательной инверсии населенности в лазере за счет периодической модуляции мощности накачки.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих источники излучения на основе активных сред, в частности, в Институте спектроскопии РАН, Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, Национальном исследовательском университете ИТМО, Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете), в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ в рецензируемых научных изданиях:

1. *Zyablovsky A. A., Doronin I. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A., Lozovik Y. E., Vinogradov A. P., Lisyansky A. A.* Exceptional Points as Lasing Prethresholds // *Laser & Photonics Reviews*. – 2021. – V. 15, № 3. – P. 2000450.
2. *Doronin I. V., Zyablovsky A. A., Andrianov E. S., Pukhov A. A., Vinogradov A. P.* Lasing without inversion due to parametric instability of the laser near the exceptional point // *Phys. Rev. A*. – 2019. – V. 100, № 2. – P. 021801(R).
3. *Doronin I. V., Zyablovsky A. A., Andrianov E. S.* Strong-coupling-assisted formation of coherent radiation below the lasing threshold // *Opt. Express*. – 2021. – V. 29, № 4. – P. 5624-5634.
4. *Doronin I. V., Andrianov E. S., Zyablovsky A. A., Pukhov A. A., Lozovik Y. E., Vinogradov A. P., Lisyansky A. A.* Second-order coherence properties of amplified spontaneous emission // *Opt. Express*. – 2019. – V. 27, № 8. – P. 10991-11005.
5. *Zyablovsky A. A., Doronin I. V., Andrianov E. S., Pukhov A. A., Lozovik Y. E., Vinogradov A. P., Lisyansky A. A.* Formation of positive feedback and coherent emission in a cavity-free system // *Opt. Express*. – 2019. – V. 27, № 24. – P. 35376-35384.
6. *Doronin I., Pukhov A., Andrianov E., Vinogradov A., Lisyansky A.* Inversion of a two-level atom by quantum superoscillations // *Optics letters*. – 2017. – V. 42, № 21. – P. 4303-4306.
7. *Доронин И. В., Пухов А. А., Виноградов А. П.* Энергетика возбуждения сверхосцилляций, близких к гармоническим // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2017. – Т. 106, № 7. – С. 459-462.
8. *Doronin I. V., Zyablovsky A. A., Andrianov E. S., Pukhov A. A., Lozovik Y. E., Vinogradov A. P.* Universal Lasing Condition // *Scientific Reports*. – 2021. – V. 11, № 1. – P. 4197.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»** (профессор кафедры теоретической физики д.ф.-м.н., профессор Крайнов В.П.) – отзыв положительный, без замечаний.

2. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук** (старший научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии к.ф.-м.н. Мелентьев П.Н.) – отзыв положительный, с замечанием:
- отсутствие анализа найденных эффектов при использовании квантовых эмиттеров

света с эффективной трёх-уровневой системой энергетических уровней, широко используемых как в лазерной физике, так и создания современных пробников света на основе плазмонных нанолазеров.

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН»** (заместитель директора по научной работе д.ф.-м.н., Бутов О.В.) – отзыв положительный, с замечанием:

- в работе не обсуждается способ экспериментального обнаружения предпорога когерентной генерации, о котором идет речь во второй главе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., Макаров Сергей Владимирович является ведущим ученым в области физики лазеров, волоконной оптики и спектроскопии.

1. Tripathi A., Kim H.R., Tonkaev P., Lee S.J., Makarov S. V., Kruk S.S., Rybin M.V., Hong-Gyu Park, Kivshar Y. Lasing action from anapole metasurfaces // Nano Letters. – 2021. – V. 21, № 15. – P. 6563-6568;

2. Zograf G.P., Ryabov D., Rutckaia V., Voroshilov P., Tonkaev P., Permyakov D. V., Kivshar Y., Makarov S.V. Stimulated Raman scattering from mie-resonant subwavelength nanoparticles // Nano Letters. – 2020. – V. 20, № 8. – P. 5786-5791;

3. Trofimov P., Pushkarev A.P., Sinev I.S., Fedorov V.V., Bruyere S., Bolshakov A., Mukhin I.S., Makarov, S. V. Perovskite-gallium phosphide platform for reconfigurable visible-light nanophotonic chip // ACS nano. – 2020. – V. 14, № 7. – P. 8126-8134;

- к.ф.-м.н., Свяховский Сергей Евгеньевич является признанным специалистом в области плазмоники и спектроскопии.

1. Vyunishev A.M., Pankin P.S., Svyakhovskiy S.E., Timofeev I.V., Vetrov S.Ya. Quasiperiodic one-dimensional photonic crystals with adjustable multiple photonic bandgaps // Optics Letters. – 2017. – V. 42, № 18. – P. 3602-3605;

2. Строкова Ю.А., Свяховский С.Е., Салецкий А.М. Перенос энергии электронного возбуждения между молекулами красителей, адсорбированных в одномерных фотонных кристаллах // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, № 8. – С. 200-203;

3. Pavlikov A.V., Forsh P.A., Sviakhovsky S.E., Matsukatova A.N., Forsh E.A., Kazanskii A.G., Kashkarov P.K. Giant enhancement of free charge carrier concentration in boron-doped amorphous hydrogenated silicon under femtosecond laser crystallization // Applied Physics Letters. – 2018. – V. 113. – P. 203103;

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области линейной и нелинейной спектроскопии как отдельных молекул и атомов, так и конденсированных сред. А также специализируется в разработке и создании спектральной аппаратуры, лазеров и систем регистрации. В лаборатории спектроскопии наноструктур ведутся интенсивные работы по физике твёрдого тела и физике лазеров.

1. Sokolik A.A., Kotov O.V., Lozovik Y.E. Plasmonic modes at inclined edges of anisotropic two-dimensional materials // Physical Review B. – 2021. – V. 103, № 15. – P. 155402;

2. Laptev V.B., Kompanets V.O., Pigulsky S.V., Makarov A.A., Mishakov G.V., Serebryakov D.V., Sharkov A.V., Chekalin S.V., Ryabov E.A. Vibrational Levels of the ν_1 Mode in $(CF_3)_2C=C=O$ Molecules Excited by Resonant IR Femtosecond Radiation // The Journal of Physical Chemistry A. – 2019. – V. 123, № 4. – P. 771-779;

3. Nechaeva N., Prokopkina T., Makhaeva G., Rudakova E., Boltneva N., Dishovsky C., Eremenko A., Kurochkin I. Quantitative butyrylcholinesterase activity detection by surface-enhanced Raman spectroscopy // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2018. – V. 259. – P. 75-82;

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Показано, что в активной среде явление затягивания частот электромагнитных мод наблюдается при накачках ниже пороговой. С ростом накачки это явление приводит к возникновению исключительной точки (exceptional point) в пространстве параметров среды и к образованию локализованной в активной среде моды, которая является коллективным состоянием электромагнитного поля и поляризации атомов;

– выведено условие формирования когерентного излучения в системе без резонатора, которое предсказывает генерацию в активных средах, имеющих пренебрежимо малое отражение на границах;

– теоретически предсказано появление когерентной генерации в лазере при отрицательной инверсии активной среды за счёт периодической модуляции мощности накачки;

– Показано, что низкочастотные двухуровневые системы могут возбудить высокочастотную двухуровневую систему вследствие явления сверхосцилляций.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– впервые предсказано возникновение исключительной точки в пространстве параметров системы, в которой отсутствуют выделенные моды;

– теоретически описано возникновение когерентной генерации в активной среде с пренебрежимо малым отражением на границе;

– показана возможность генерации когерентного излучения при отрицательной инверсии активной среды.

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

– полученное условие формирования когерентности излучения в активных системах, позволяет оценить порог генерации в системе без трудоемких расчетов;

– предложенный способ получения когерентной генерации при отрицательной инверсии позволит создать источники когерентного излучения нового типа, работающие при меньшей мощности накачки, чем классические лазеры;

– предсказанный эффект возбуждения двухуровневых систем с высокой частотой перехода за счет сверхосцилляций ближних полей может быть использован для создания инверсии в квантовых точках, лежащих в основе квантовых компьютеров.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих источники излучения на основе активных сред, в частности, в Институте спектроскопии РАН, Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, Национальном исследовательском университете ИТМО, Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете), в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается численным моделированием с использованием проверенных ранее методик, анализом погрешностей измерений, согласием результатов, полученных аналитически, с результатами численного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в развитии конкретных направлений в рамках обозначенной тематики работы. Постановка задачи, численное моделирование и получение аналитических результатов проходили при определяющем участии автора. Автор принимал активное участие в анализе и интерпретации полученных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 11 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Доронин Илья Владимирович ответил на задаваемые в ходе заседания вопросы от членов совета, а также на замечания, поступившие на автореферат и ведущей организации, и привел собственную аргументацию по ним.

На заседании от 27.10.2021г. диссертационный совет принял решение присудить

Доронину Илье Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 15 человек (из них - очно: 12 докторов наук, дистанционно: 3 докторов наук) по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета 99.1.044.02
д.ф.-м.н., доцент

Подпись зам. председателя дисс. совета

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.1.044.02
д.ф.-м.н.



[Handwritten signature]

Гавриков А.В.

Гавриков А. В. одобряю.
Медведев А. М. /

[Handwritten signature]

Дорофеев А.В.

27.10.2021г.