

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации **ГОЛУБЕВОЙ Татьяны Юрьевны**

«Генерация, передача и хранение широкополосного яркого излучения в квантовой оптике и квантовой информатике»,
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.05-оптика

Диссертация Т.Ю. Голубевой обобщает результаты теоретических исследований автора в одном из наиболее широких по физическому содержанию и важных в прикладном аспекте секторов современной физической оптики. В этом секторе главные направления экспериментальных и теоретических исследований – поиск, разработка и оптимизация новых методов квантовой оптической информатики, т.е. эффективной передачи информации по оптическим каналам связи.

Важным для успеха в этих направлениях оказалось формирование и использование излучения в “сжатых” состояниях (с пониженным уровнем шумов, включая квантовые флуктуации). Предсказание, теоретические исследования и варианты экспериментальной реализации таких квантовых состояний электромагнитного поля были на пике популярности в 70-е и 80-е годы прошлого века. Эксперименты этих лет были успешными, но нестандартными и как правило – весьма тонкими, со светом малой интенсивности.

Задачи оптической квантовой информатики предъявляют новые требования. Именно эти требования и выражены вполне четко уже в подробном названии темы диссертации, в последовательности изложения задач и результатов: источники света с необходимыми квантово-статистическими характеристиками (включая широкополосность и достаточную полную и спектральную яркость); оптимизация условий ввода информации, отображения и сохранения её в признаках квантового состояния атомарной среды; эффективность считывания (определяемая в широком смысле – в зависимости от поставленных целей).

Полагаю, что сказанным выше вполне характеризуется несомненная актуальность темы диссертации Т.Ю. Голубевой, так же как и практическая направленность проведенных ею конкретных теоретических исследований, при этом в достаточной степени фундаментальных по физическому содержанию.

Научный уровень исследования определяется самим характером поставленных и решенных в диссертации задач; обоснованность и достоверность результатов обеспечены высокой степенью компетентности автора диссертации, правильным выбором современных эффективных

методов качественного анализа физических условий и проведенных расчетов

Действительно, все расчеты в диссертации выполняются методами полностью квантовой теории взаимодействия света с веществом (квантовой электродинамики).

Далее, исследуемые динамические системы почти во всех рассмотренных случаях являются открытыми (по крайней мере, для квантовых вакуумных флуктуаций электромагнитного поля, а также и по отношению к механизмам внешнего возбуждения).

Между тем, по главным требованиям квантовой информатики, внимание должно быть сосредоточено на оценке и минимизации шумов.

Поэтому в диссертации используются эффективные методы современной, т.е. преимущественно квантовой, физической кинетики.

В большинстве решаемых в диссертации задач основу расчетов составляют операторные уравнения движения в картине Гейзенберга с включением ланжевеновских (также операторных) шумовых источников. В главе 2, для детального анализа статистических характеристик излучения параметрического генератора, применяется также аппарат матрицы плотности: нетривиальный переход от уравнений Гейзенберга-Ланжевена к уравнениям для матрицы плотности в Р-представлении Глаубера, а также W-функция распределения квазивероятности Вигнера.

В каждой главе диссертации, соответственно общей цели исследования, полученные физические результаты оцениваются в информационном аспекте. Наряду с традиционными характеристиками (параметром Манделя для числа фотонов в резонаторе или потока фотонов и фотоотсчетов, дисперсиями квадратурных компонент поля) вычисляются и анализируются как функции параметров задачи показатели информационного качества преобразования излучения, относительно недавно введенные в квантовую оптику.

Это эффективность преобразования числа фотонов (от записи сигнала к его считыванию, глава 7); степень чистоты квантового состояния поля и его частотных компонент (глава 2); взаимная энтропия Шеннона (главы 5, 6); наличие и степень так называемой перепутанности (entanglement) состояния двух подсистем (в данном случае – полевых мод), определяемые критерием Дуана (главы 2, 6); верность (fidelity) воспроизведения сигнала при считывании (глава 6, в данном случае – спектральная верность при телепортации широкополосного сигнала).

Позволю себе замечание методического характера: вместо “степень чистоты” было бы правильнее – “степень смешанности”, т.е. отклонения состояния от чистого. Состояние любой системы или чистое, или нет (т.е. смешанное).

Автор диссертации Т.Ю. Голубева содержательно и точно перечислила и охарактеризовала полученные результаты, причем не только во Введении и Заключение, но и по главам.

Обоснование принятых приближений, анализ результатов, сопоставление их с известными ранее во всех главах диссертации проведены весьма тщательно. Подчеркну, что при этом ссылки на работы из большого списка литературы не собраны только во Введении и фрагментах обзорного характера (как бывает нередко), а являются в полной мере “работающими”.

Диссертация Т.Ю. Голубевой в целом написана очень обстоятельно и при этом живо, с уважением к читателю; чувствуется педагогический опыт автора.

При чтении текста столь обширной и содержательной работы у меня возникали, конечно, основания для собственных размышлений, в различной степени по разным главам и задачам. Были замечены (редкие) описки и следы сбоя (TEX'a?) в номерах формул и рисунков (в главе 3 и в начале главы 4).

Отмечу, в качестве критических замечаний, только существенные из обнаруженных погрешностей. Не корректными в математическом отношении являются неравенства (содержащие операторы) – (3.15), (3.76), (4.33), то же в тексте на с. 183. На с. 180, после выражений (7.7), (7.8) почему-то неправильно указан смысл перенормированных (размерных) операторов рождения и уничтожения: среднее значение $\langle \hat{a}^+ \hat{a} \rangle$ есть плотность потока фотонов (т.е. в $[c^{-1} \text{см}^{-2}]$, ранее это было пояснено верно). В уравнении (7.87), в правой части, должно быть $-(\gamma/2)\hat{c}$, а не $(-\gamma)\hat{c}$. Замечательно, впрочем, что полученные в адиабатическом приближении уравнения (7.92) – (7.94) записаны правильно (а я как оппонент виноват, что всё-таки “придрался” к описке локального значения).

Ни по одному из результатов и выводов автора диссертации у меня не возникли сколько-нибудь существенные возражения.

Поэтому, не считая задачей оппонента пересказывать “своими словами” результаты по главам, выделю действительно лишь то, что произвело наиболее сильное впечатление по трудоемкости исследования, по новизне и важности результатов (и ближе мне по опыту и текущим интересам).

По главе 1. Во-первых, здесь в решающей степени построена детальная квантово-статистическая (не феноменологическая) теория генерации линейно поляризованного света полупроводниковыми лазерами относительно нового типа – викселями. Во-вторых, теоретически предсказан и убедительно обоснован неожиданный эффект. При условии регулярной накачки, наряду с субпуассоновской статистикой излучения, возникает

поляризационное сжатие излучения (по параметру Стокса ξ_1 в квантовом определении, наблюдаемое, соответственно, по разностному току после поляризационного делителя). Установлено, что сжатие не разрушается флуктуациями населенностей верхних состояний рабочего перехода (переворачиванием спина) для систем с очень малым временем жизни нижнего состояния.

Материал главы 2 оказался интересным для меня разнообразием методики расчетов и фундаментальностью решаемых вопросов в теоретическом аспекте. Анализируются близость к чистому состоянию системы из трех мод высокодобротного резонатора, то же для каждой из мод в отдельности, при параметрическом взаимодействии; степень перепутанности состояний при малом и значительном превышении порога параметрической генерации; характер и степень сжатия. Подчеркну как определенно положительную и, на мой взгляд, существенную для оценки особенность: анализ здесь, как и в других главах, доводится до расчета наблюдаемых характеристик излучения на выходе из резонатора (не ограничивается более абстрактными признаками компонент поля в резонаторе).

В главе 3 наиболее ценным для использования в квантовой информатике, также и для развития самой теории лазеров, на мой взгляд, является квантовая теория генерации при совмещении регулярной накачки и внешней синхронизации (захвате фазы). Построенная теория базируется на уравнениях Гейзенберга-Ланжевена (а не на исходном подходе Лэмба и Скалли), поэтому она применима к полупроводниковым лазерам. Показано, что эффективное подавление фазовых флуктуаций (диффузии фазы) может быть реализовано при сильном сжатии флуктуаций одной из квадратурных компонент поля (называемой в диссертации амплитудной, что поясняется рис. 3.2, с. 101 рис. 3.4, с. 106).

В небольшой главе 4 наиболее интересными мне представляются варианты расчета квантовых характеристик многомодового в пространственном аспекте излучения в дальней зоне. Это существенно для передачи оптических изображений и далее используется в главе 5.

Подчеркну еще раз целенаправленность представленных в диссертации исследований: в главах 4 – 6 последовательно используются результаты детальной теории квантово-статистических свойств источников, развитой в главах 1 – 3.

Для меня, по направлению моей работе в течение нескольких последних лет (электромагнитно индуцированная прозрачность (ЭИП) и близкие явления), наиболее интересной и стимулирующей вхождение в детали является глава 7 (наряду, конечно, с дальнейшим развитием теории генерации и применений “сжатого” света).

Фактически эта глава содержит наиболее полный, насколько могу судить, анализ процедур записи, условий хранения и считывания информации, при этом анализ вполне самостоятельный и конструктивный, при следующих основных физических условиях (отличных от ЭИП).

Используется известная Λ -схема невырожденных уровней; управляющий и сигнальный световые импульсы являются очень короткими (с длительностью много меньшей времени жизни верхнего состояния атома) и, следовательно, спектрально широкими; несущие частоты импульсов в основных рассмотренных (и наиболее благоприятных) ситуациях сильно отстроены от соответствующих переходов, но выполнено условие комбинационного резонанса. Подробно рассматриваются и варианты с малой отстройкой, при сохранении широкополосности.

Выполнен полный расчет актуальных характеристик результатов считывания при прямом и обратном распространении считывающего импульса. Обнаружены и обоснованы преимущества обратного считывания.

Четкое, как и в других главах, изложение основных результатов здесь в наибольшей, по моему впечатлению, степени имеет характер обоснованных предсказаний и практических рекомендаций в отношении экспериментов.

Возвращаюсь к оценке диссертации в целом – с двумя краткими добавлениями.

Заметная часть представленных в диссертации результатов докладывалась Т.Ю. Голубевой и обсуждалась на городском межвузовском семинаре по квантовой оптике в РГПУ им. А.И.Герцена.

Среди результатов работы Т.Ю. Голубевой в области квантовой оптики один, и весьма ценный, не мог быть представлен в диссертации: перевод на русский язык и участие в организации издания коллективного труда “Квантовые изображения” (М.: Физматлит, 2009).

Заключение.

Результаты, полученные лично автором диссертации и выдвигаемые на защиту, четко выделены и сформулированы.

Все основные результаты диссертации опубликованы весьма представительно и своевременно.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Голубевой Т.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, в ней обоснован ряд новых теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение,

По своей актуальности, новизне, объему выполненных исследований, научно-практической значимости работа полностью соответствует

требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям (п.9. Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842).

Соискатель Голубева Татьяна Юрьевна достойна присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Профессор кафедры теоретической физики и астрономии
ГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический
университет им. А.И. Герцена»,
доктор физико-математических наук,
доцент

30 октября 2014 г.



А.С. Трошин

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Российский государственный
педагогический университет им. А.И. Герцена»

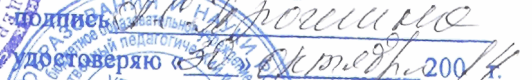
Адрес: 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д.48

Телефон: (812) 314-48-85

E-mail: thphys@herzen.spb.ru



РГПУ им. А.И. Герцена

подпись 

удостоверяю «30 октября 2014 г.»

Отдел персонала
управления кадров и социальной работы

Ведущий документовед
отдела персонала


Н.В. Горбатовская