

ОТЗЫВ
на диссертационную работу
Фримана Александра Владимировича
«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И
ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР С РЕЗОНАНСАМИ ФАНО»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6 – оптика

Данная диссертационная работа посвящена разработке новых физических принципов для создания фотонных интегральных схем с использованием оптических свойств и параметров фотонных систем в соответствующих типах волноводов с резонансом Фано и с особой модификацией элементов типа фотонных кристаллов. Данная тематика имеет принципиальное значение как в фундаментальном аспекте, так и в прикладном, особенно, когда речь идет о динамических оптических характеристиках подобных систем, которые для маломощных источников светового излучения могут быть использованы в различных устройствах по быстродействующей обработке сигналов и изображений. Автор моделирует различные режимы при распространении светового излучения в диапазоне длительностей в сотни фемтосекунд в таких структурах с использованием современных программных средств и алгоритмов, модифицированных им для рассматриваемых задач, что само по себе очень востребовано, но недостаточно развито на сегодняшний день в оптических задачах рассматриваемого типа. Поэтому актуальность работы, ее новизна и ее научная значимость, а также высокая квалификация диссертанта в данной области не вызывает сомнений.

Среди наиболее важных результатов, полученных автором и обладающих научной новизной, считаю целесообразным отметить следующие.

1. Рассмотрение задачи общего управления оптическими характеристиками фотонных кристаллов с заполнением вакантных пор рядом веществ в условиях резонансного характера взаимодействия при соответствующих частотных дисперсиях материала с возникновением локализованных состояний по разным механизмам переходных процессов.
2. Исследованы конкретно различные динамические режимы при реализации резонансов Фано в волноводных структурах с резонаторами различного типа, в частности шарообразным, что позволяет изменять параметры фемтосекундных лазерных импульсов с их укорочением на основе методов физической оптики. При этом рассмотрены различные варианты использования числа резонаторов ассоциированных с волноводом.
3. Обнаружен интересный эффект возникновения затухающих колебаний в двумерном волноводе определенной структуры при образовании резонанса Фано в таком волноводе с отражающими стенками и диэлектрической вставкой. При этом возникновение таких затухающих колебаний происходит с частотой,

определяемой соотношением между резонансной частотой резонанса Фано и частотой падающего оптического излучения.

Недостатки.

А. Во-первых, технические – по оформлению диссертации (пп. А.2 – А.7 ниже – вызывают вопросы уже во Введении (объем – 22 стр.)).

А.1. В ней приводится список рисунков, таблиц и Приложение (с исходными кодами используемых программных вычислительных средств) после списка литературы, хотя по очевидной логике порядок расположения этих материалов должен быть обратным. Явно не хватает ссылки на такой классический труд как – В.М. Агранович, В.Л. Гинзбург. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. Изд.: Наука. 1965 г.

А.2. Обоснование актуальности темы идет со ссылкой еще на времена викингов, и поэтому сразу возникает вопрос, а почему не на основе достижений древних греков.

А.3. Редакторски работа написана в некоторых местах небрежно с перечислением режимов, например, «замедленного света» без физической интерпретации этого наблюдаемого эффекта, да еще со ссылкой на якобы использование данного механизма построения линии задержки в первых ЭВМ. В оригинальной Главе II автор часто сбивается на обзорный формат; аналогично и в Главе IV.

А.4. Ряд фраз вызывает недоумение в частности, что для комбинационного рассеяния света требуется высокая интенсивность нелинейных процессов, хотя этот эффект был открыт задолго до появления лазеров.

А.5. Что означают фразы об основной задаче волновода передать сигнал конечной длины и распространяющиеся частоты в линейных системах. Автор злоупотребляет различными сокращениями, которые затрудняют концентрированное понимание содержательной части работы.

А.6. Не очень понятно акцентированное утверждение автора о независимости частотных и временных характеристик физических систем, когда, например, теорема Винера-Хинчина позволяет анализировать динамический процесс в ландшафте этих двух неотделимых друг от друга принципиальных параметров.

А.7. Не очень понятно, почему предложенное автором численное моделирование говорит об эффективном использовании ресурсов лаборатории (каких?), да еще в условиях (по терминологии автора) «параллелизации» вычислений с целью ускорения (прироста скоростей расчета в разы) для приводимых вычислений. Эту процедуру не всегда можно сделать для разных задач.

А.8. В автореферате, в отличие от самого текста диссертации, не указана структура представляемой работы (4 главы, первая из которых – обзорная).

Б. Во-вторых, – по содержательной части диссертации.

Б.1. Не очень понятно, на какой технологии для получения фотонных кристаллов из синтетического опала с внедренными наночастицами рубина и паров йода основывается автор при своем анализе. Хотя речь идет о численном моделировании, но не очень ясна такая экзотика в выборе материала для исследования в сравнении с другими вариантами. При этом рассматриваются еще и полупроводниковые материалы с характеристиками запрещенной зоны двумерных гексагональных фотонных кристаллов в геометрии с

воздушным отверстием. Здесь необходимы дополнительные пояснения. Для наночастиц, например, необходима также конкретизация по топологическим параметрам.

Б.2. Используемый метод FDTD и его конкретная реализация требует пояснения по различным используемым модулям, которые позволяют определять динамические режимы для разных характеристик и производить визуализацию данных. Здесь необходимо, все-таки, написать какие-то начальные формулы и более подробно конкретизировать задачу под начальные условия, особенно при расчете спектральных характеристик излучения от рассматриваемых структур, требующих дополнительных модулей для расчета, а также приведение энергетических и мощностных характеристик оптического излучения не только в относительных единицах (см. напр., рис. 2.13; 3.5-3.6; 3.14 и др.).

Б.3. Приоритет предложенной, по мнению автора, оригинальной модели временного обострения оптических импульсов в системах без нелинейности является в общем контексте дискуссионным, поскольку само это обострение не очень сильно (приблизительно от 300 фс до 180 фс с одним резонатором и – до 100 фс с двумя резонаторами по уровню порядка 0.3) – рис.3.16. В нелинейных системах такое обострение можно делать на несколько порядков больше.

Б.4. Для таких комплексных систем, которые рассматривает автор с различными режимами в условиях резонансов Фано, требуется приведение более сложных математических соотношений, позволяющих хотя бы качественно понять возможности аналитических расчетов. Кроме того, целесообразно также упомянуть квантовые задачи со связанными состояниями в системе с квантовыми точками (ср. с рис. 3.13).

Б.5. Когда речь идет о накопленной энергии в резонаторах необходимо проанализировать устойчивость и стабильность таких состояний в условиях реального эксперимента, хотя бы гипотетического.

Б.6. Сам процесс сжатия оптических импульсов в рассматриваемых многопараметрических системах разного типа требует более комплексного анализа как по входным абсолютным характеристикам подаваемого оптического импульса, так и по возникающим режимам на выходе из системы. В частности, для волновода квадратного сечения реализуется более сложная картина распространения волн, чем обсуждение проблемы в двоичной системе утверждения, что может распространяться только мода нулевого порядка и отсутствует режим распространения моды первого порядка – здесь, по крайней мере, нужно обсудить в численных параметрах соотношение их величин в определенных условиях, например, неидеальности. Этот аспект устойчивости касается и локализации поля в резонаторах в отсутствие распространения излучения в волноводе.

Б.7. Название Главы III, являющейся основной по полученным результатам (28 страниц из общего объема диссертации в 143 с.), практически повторяет название всей диссертации.

Б.8. В Главе IV при описании разработанных автором алгоритмов численного моделирования с модификацией соответствующих программных пакетов отдельного обоснования требует задача с гиротропными средами на примере магнитоактивной плазмы. В связи с оптимизацией численных методов решения необходимо провести хотя бы краткий сравнительный анализ для разных предлагаемых/существующих алгоритмов.

Отмеченные недостатки носят скорее технический характер и представляют пожелания на будущую работу соискателя. Они не умаляют достижений автора в аспекте

научной новизны и научно-практической значимости работы, включая разработанные автором алгоритмы численного моделирования фотонных структур в динамике резонансов Фано. Ключевой пункт здесь – оптимизация численных методов решения под требуемые оптические характеристики в планарных системах. Полученные результаты представляют значительный интерес и будут востребованы исследователями, работающими в этой области.

В целом работа написана ясным языком и с качественной обзорной Главой I, с большим количеством полученных графических зависимостей (40 рис.) и численных параметров (5 табл.) и достаточным списком цитируемой литературы (192 наименования) по исследуемой проблеме. Автореферат диссертации достаточно полно и точно отражает ее содержание.

Уровень публикаций автора соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации, а ее результаты докладывались на ряде авторитетных конференций – как молодежных, так и международных по профилю работы.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертация работа удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 11.09.2021) и предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.6 – «Оптика», а Фриман Александр Владимирович заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физ.-мат. наук,
профессор,

заведующий кафедрой физики и прикладной математики Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Аракелян Сергей Мартирович

18 марта 2022 г.

Докторская диссертация (МГУ): «Нестационарные и стохастические волновые процессы и неустойчивости при взаимодействии лазерного излучения с неоднородно-анизотропными нелинейными средами», шифр: 01.04.03 – радиофизика, включая квантовую радиофизику, диплом: ФМ № 004252 от 15.07.1988г.

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Рабочий телефон: 8(4922)333369; e-mail: arak@vlsu.ru

Подпись проф. С.М. Аракеляна заверяю
Ученый секретарь ВлГУ

Т.Г. Коннова



Список основных публикаций официального оппонента д.ф.-м.н. Аракеляна С.М. в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации Фримана А.В. за последние 5 лет:

- 1) Sedov Evgeny, Irina Sedova, Sergey Arakelian, Giuseppe Eramo, and Alexey Kavokin. "Hybrid optical fiber for light-induced superconductivity." *Scientific Reports* 10, no. 1 (2020): 1-8.
- 2) Sedov Evgeny, Sergey Arakelian, and Alexey Kavokin. "Spontaneous symmetry breaking in persistent currents of spinor polaritons." *Scientific reports* 11, no. 1 (2021): 1-12.
- 3) Sedov Evgeny, Irina Sedova, Sergey Arakelian, and Alexey Kavokin. "Polygonal patterns of confined light." *Optics Letters* 46, no. 8 (2021): 1836-1839.
- 4) E. S. Sedov, I. E. Sedova, S. M. Arakelian, and A. V. Kavokin. "Magnetic control over the zitterbewegung of exciton–polaritons." *New Journal of Physics* 22, no. 8 (2020): 083059.
- 5) N. N. Eliseev, A. S. Kuz'mina, A. G. Putilov, A. E. Shepelev, S. M. Arakelian, and A. A. Lotin. "The plasmonic nanoparticles with controlled optical properties." In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1331, no. 1, p. 012014. IOP Publishing, 2019.