

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Зябловского Александра Андреевича «Оптика и магнитооптика лазеров на основе фотонных кристаллов и метаматериалов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки»

Диссертационная работа А.А. Зябловского представлена на 127 страницах и содержит 32 рисунка. Работа включает введение, шесть глав основного текста, заключение и список литературы, включающий 132 наименования. К работе приложен автореферат на 22 страницах, который достаточно полно отражает основные результаты диссертации.

В работе представлено теоретическое и численное исследование электромагнитных свойств нелинейных фотонных кристаллов, метаматериалов и плазмонных композитов, содержащих усиливающие компоненты, по следующим направлениям:

- исследование прохождения электромагнитных волн через однородные и слоистые среды, содержащие усиливающие компоненты;
- изучение режимов генерации лазера с анизотропным резонатором во внешнем магнитном поле;
- численное и теоретическое исследование явления самосинхронизации колебаний дипольных моментов в двумерной решетке спазеров;
- исследование влияния дисперсии диэлектрической проницаемости на свойства  $PT$ -симметричных и квази- $PT$ -симметричных электродинамических систем.

Диссертационное исследование и его результаты соответствуют паспорту специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки»

**Актуальность исследования.** Электродинамика фотонных кристаллов и метаматериалов - активно развивающаяся область современной физики, которая имеет, как фундаментальное, так и прикладное значение. С практической точки зрения интерес к метаматериалам связан с возможностью использовать их для субволновой фокусировки оптического излучения и управления потоками электромагнитных полей на наномасштабах. В тоже время высокий уровень потерь в метаматериалах ограничивает область их применения, поэтому крайне важным становится вопрос о возможности компенсации потерь в метаматериалах и фотонных кристаллах путем добавления в их структуру усиливающей среды. Данная проблема подробно рассматривается в представленной диссертационной работе на примере фотонного кристалла, содержащего усиливающие слои. Также в работе исследуется лазерная генерация в системах, включающих фотонные кристаллы и плазмонные метаматериалы. Использование фотонных кристаллов и метаматериалов позволяет создавать лазеры с размерами много меньшими длины волны испускаемого излучения, которые пригодны для применения в современных линиях передачи и обработки информации. Поэтому совершенствование существующих в настоящее время и разработка принципиально новых видов лазеров на основе фотонных кристаллов и метаматериалов является перспективным направлением в современной науке и технике.

**Научная новизна и достоверность результатов диссертации.**

Представленная работа выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд новых результатов, из которых наиболее значимыми являются:

1. Решение задачи о возбуждении слоя усиливающей среды во временной области, определение условий, при которых структура корректно описывается в рамках известных подходов Френеля и с помощью ряда Эйри.

2. Решение задачи о возбуждении фотонного кристалла, содержащего усиливающую среду, в том числе определение критериев формирования запрещенной зоны в фотонном кристалле, содержащем усиливающие слои и границы между разрешенной и запрещенной зонами фотонного кристалла, содержащего усиливающие слои.
3. Анализ решения задачи о возбуждении слоя фотонного кристалла с усиливающей средой и определение области применимости френелевского подхода для расчета распределения поля в фотонном кристалле, в том числе вывод о том, что френелевский подход применим при малом числе ячеек фотонного кристалла на частотах из разрешенной зоны и при большом числе ячеек на частотах из запрещенной зоны.
4. Решение задачи о колебаниях в двумерной решетке спазеров и вывод о том, что взаимодействие наночастиц через квантовые точки соседних спазеров может приводить к синхронизации колебаний дипольных моментов отдельных наночастиц, которые порождают эффект сверхизлучения и сужения диаграммы направленности излучения из решетки спазеров.
5. Доказательство невозможности наблюдения фазового перехода при изменении частоты электромагнитного поля в  $PT$ -симметричных и квази- $PT$ -симметричных системах.

Научная новизна также подтверждается большим числом публикаций в рецензируемых журналах из списка ВАК и выступлениях на международных и российских конференциях. Благодаря этому результаты, представленные в работе, прошли необходимую апробацию.

Достоверность полученных в диссертации теоретических результатов подтверждается их соответствием известным физическим представлениям о характере явлений в исследуемых объектах и совпадением с результатами численных экспериментов.

## **Недостатки диссертации.**

1. Общий стиль изложения полученных результатов диссертации чрезвычайно сжатый, многие вопросы только упомянуты, но не раскрыты. Особенно это относится к численным решениям ряда задач в главах 2 – 5. Методы их решения почти не обсуждаются, хотя известно, что получение устойчивого численного решения линейной, а тем более, нелинейной задачи является сложной проблемой, требующей отдельного исследования.
2. В главах 4 – 6 решаются достаточно разнородные задачи, которые объединяет только то, что в них рассматриваются лазеры и фотонные кристаллы. Без ущерба для диссертации одна из них могла бы быть исключена из работы. За счет этого возможно было бы более подробно изложить оставшийся материал.
3. Подписи к рисункам необычно длинные, например, подпись к рис. 23 занимает почти целую страницу. Это затрудняет чтение и понимание диссертации.
4. Во второй главе диссертации рассматриваются парадоксы, возникающие при рассмотрении «полубесконечной усиливающей среды». На основании чего делается вывод об ошибочности такого рассмотрения, и в дальнейшем исследуется только усиливающие системы конечных размеров. В тоже время, ясно, что «полубесконечная усиливающая среда» требует для своего создания бесконечной энергии накачки и изначально является не физической, поэтому следовало бы сразу начать рассмотрение с систем конечных размеров.
5. В главе три дается определение запрещенной зоны фотонного кристалла, содержащего усиливающую среду, как области частот, в которой с ростом числа ячеек фотонного кристалла пропадает лазерная генерация. Обычно же

запрещенную зону определяют, как область частот, в которой электромагнитные волны не могут распространяться по фотонному кристаллу. В случае фотонного кристалла, содержащего усиливающие слои, определение запрещенной зоны следовало бы выбрать аналогично случаю фотонного кристалла без усиливающей среды.

**Оценка диссертации в целом.** В целом, несмотря на указанные выше замечания диссертационная работа диссертационная работа Зябловского А.А. производит положительное впечатление. Она является цельным, завершенным научным исследованием, посвященным актуальной научной проблеме, содержит признаки научной новизны, отвечает принятым критериям достоверности.

Автор диссертационной работы Зябловский А.А. продемонстрировал способность формулировать и решать широкий круг научных задач, связанных с физикой лазеров на основе фотонных кристаллов и метаматериалов. Он хорошо владеет аппаратом математической физики, как в части аналитических исследований, так и в проведении численных расчетов.

**Заключение.** По актуальности решенной проблемы, научной новизне и практической значимости результатов, объему и оформлению диссертации можно утверждать, что представленная к защите работа отвечает требованиям п. 9 действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Зябловский Александр Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки».

Официальный оппонент,  
главный научный сотрудник Института  
радиотехники и электроники им. В.А.  
Котельникова РАН,  
доктор технических наук

С.Е. Банков

Отзыв С.Е. Банкова удостоверяю,  
Ученый секретарь  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН



И.И. Чусов

Данные официального оппонента по диссертации С.Е. Банкова:

Почтовый адрес: Москва, 119330, Университетский проспект, д. 21, корп. 2,  
кВ. 107.

Телефон (рабочий): 8-495-629-34-10

Электронная почта: [sbankov@yandex.ru](mailto:sbankov@yandex.ru)