

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Новицкого Дениса Викторовича
«Динамика взаимодействия света с резонансными средами и активными
многослойными структурами»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.05 – оптика

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Д.В. Новицкого посвящена теоретическому исследованию взаимодействия электромагнитного излучения с нелинейными и активными системами с различной структурой – резонансными средами, регулярными и неупорядоченными слоистыми системами на их основе, нелинейными фотонными кристаллами, многослойными структурами, содержащими усиливающие (лазерные) слои. Исследования выполняются на стыке таких актуальных направлений современной оптической науки, как физика взаимодействия света с веществом, нелинейная оптика, лазерная физика и нанофотоника. Таким образом, рассматриваемая диссертация полностью соответствует пунктам 3 (оптика мезоскопических структур и метаматериалов, нанофотоника) и 4 (нелинейная оптика, оптика лазерных сред) раздела III паспорта специальности «01.04.05 – оптика», отрасли «физико-математические науки».

2. Актуальность темы диссертации

Исследование нелинейно-оптических явлений лежит в основе множества практических применений оптики и фотоники, связанных с управлением характеристиками оптического излучения. При этом динамические аспекты этих явлений, связанные с распространением импульсного излучения, остаются в значительной степени недостаточно исследованными. Диссертация Д.В. Новицкого посвящена именно этой актуальной задаче, в работе рассматривается динамика взаимодействия импульсного и квазинепрерывного излучения с нелинейными резонансными средами и фотонными кристаллами, а также активными многослойными структурами, содержащими в качестве слоёв лазерные среды.

Диссертационная работа Д.В. Новицкого выполнена в рамках заданий государственных программ научных исследований, соответствующих приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь. Тема диссертации соответствует пункту «6. Электроника и фотоника» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190 и пункту «4. Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика» приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы согласно Указу Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 №156.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

В диссертационной работе Д.В. Новицкого исследован широкий круг вопросов физики взаимодействия света с веществом, нелинейной оптики, нанофотоники. Можно выделить следующие новые научные результаты:

- выявлены закономерности формирования солитонов самоиндуцированной прозрачности и оптических кинков (волн с огибающей типа ударного фронта) и столкновений между ними, в том числе с учетом чирпа (модуляции частоты) и для предельно коротких (одноцикловых) импульсов;
- установлен механизм самоиндуцированной локализации сверхкоротких импульсов света в фотонных кристаллах с инерционной керровской нелинейностью, продемонстрирована возможность преобразовать спектральный состав и реализовать асимметричное пропускание излучения в таких системах;
- проанализировано влияние случайных вариаций параметров резонансных сред на динамику распространения сверхкоротких импульсов, включая определение условий локализации импульса и управления скоростью сигнала в зависимости от степени разупорядоченности;
- выяснен физический смысл исключительных точек активных (РТ-симметричных) многослойных структур, определены условия применимости теории эффективной среды для описания свойств РТ-симметричных метаматериалов;
- построена теоретическая модель лазерной генерации в системе с распределенной обратной связью, основанной на поляризационной решетке, и проведено сравнение результатов модели с экспериментальными данными.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Содержащиеся в диссертации положения, выводы и результаты исследований корректно сформулированы, хорошо аргументированы и подтверждены теоретическими расчётами, ссылками на соответствующую литературу и там, где это возможно, сравнением с экспериментальными данными. Результаты, полученные в диссертации, в предельных случаях совпадают с известными в литературе. Обоснованность и достоверность основных результатов, выводов и защищаемых положений диссертации определяется использованием для их получения общепризнанных теорий, соотношений и подходов, обеспечивающих непротиворечивое описание нелинейных оптических явлений с учётом их динамики.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость результатов состоит в развитии теории взаимодействия электромагнитного излучения с резонансными средами и структурированными материалами, позволившим объяснить их оптические свойства и предсказать ряд новых динамических эффектов, имеющих фундаментальное значение. Так, большое значение в связи с развитием методов генерации всё более коротких импульсов света имеет выяснение особенностей взаимодействия таких импульсов с

резонансными средами, а также с нелинейными фотонными кристаллами при сравнимых значениях времени релаксации нелинейности и длительности импульса. Существенным вкладом является и исследование в диссертации распространения и локализации импульсов в разупорядоченных нелинейных структурах, позволяющее не только определить негативные стороны случайных вариаций параметров системы, но и использовать разупорядоченность в качестве средства управления характеристиками оптических сигналов. Наконец, безусловно значимым достижением диссертационной работы является прояснение физических свойств многослойных оптических систем, которые характеризуются неэрмитовыми операторами Гамильтона и в отклике которых возникают новые и необычные особенности, связанные с так называемыми исключительными точками.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в создании физических основ для новых методов управления характеристиками оптического излучения, что представляет интерес для разработки новых устройств нелинейной оптики и лазерной техники. Так, эффекты невзаимности при распространении света через резонансные среды и нелинейные фотонные кристаллы перспективны при создании полностью оптических диодов. Новые подходы предложены и для задач бистабильного переключения и модуляции излучения. Результаты, связанные с использованием усиливающих сред в системах активной нанофотоники, перспективны для расширения сферы использования металлодиэлектрических метаматериалов, резонансной локализации излучения, усиления и генерации света (асимметричная генерация импульсов света, лазеры с распределённой обратной связью на красителях с поляризационной решеткой).

Социальная значимость результатов работы состоит в их использовании для подготовки научных кадров в университетах, для пропаганды достижений белорусских ученых и повышения престижа науки в обществе. Имеются акты внедрения результатов диссертации в образовательный процесс в Белорусском государственном университете и об использовании результатов при проведении научных работ в МФТИ - Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете).

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, представлены в 31 статье, опубликованной в научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (в том числе 18 статей без соавторства), 1 главе в коллективной монографии, а также в 23 публикациях в сборниках материалов и тезисов научных конференций (в том числе 11 без соавторства).

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация Д.В. Новицкого представляет собой законченное научное исследование и характеризуется внутренней логичностью и согласованностью. Она состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими литературными обзорами и результатами оригинальных исследований, заключения, библиографического списка (569 наименований) и списка работ автора (55 наименований), двух приложений (первое включает в себя некоторые

математические соотношения, не вошедшие в основной текст, второе содержит акты о практическом использовании результатов исследования). Общая характеристика работы содержит актуальность, цели и задачи исследования, научную и практическую значимость полученных результатов, защищаемые положения. Оформление диссертации (разбиение по главам, представление рисунков, список использованных источников и собственных работ автора) выполнено в соответствии с требованиями ВАК. Изложение результатов последовательно и логично. Диссертация достаточным образом иллюстрирована, она содержит 147 рисунков. Автореферат соответствует содержанию диссертации и раскрывает ее основные положения.

8. Замечания по диссертации

1. В диссертации для исследования взаимодействия электромагнитного излучения с веществом широко используется модель двухуровневой среды. Представляет интерес обобщение результатов на большее число уровней, учитываемых в расчетах. Это особенно актуально при рассмотрении усиливающих сред, накачка которых обычно осуществляется по трех- или четырехуровневой схеме.

2. В диссертации подробно изучены случаи строго периодических (регулярных) и полностью случайных (нерегулярных) многослойных структур. Предлагается в будущем рассмотреть промежуточные случаи с квазикристаллическим или фрактальным расположением слоев, обладающие своей спецификой.

Указанные замечания имеют характер рекомендаций для последующей работы, они не затрагивают основных положений и выводов диссертации, не снижают научной и практической значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержание диссертационной работы Д.В. Новицкого отражает личный вклад автора, который состоит в постановке задач, непосредственном проведении теоретических расчетов и моделирования, интерпретации полученных данных, подготовке и написании публикаций, большая часть которых – без соавторства, представлении результатов на научных конференциях. На основании анализа содержания диссертации, уровня представления результатов, а также аргументации и обоснованности сделанных выводов можно считать, что научная квалификация автора диссертации соответствует ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

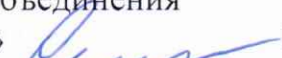
10. Выводы

Диссертационная работа Д.В. Новицкого «Динамика взаимодействия света с резонансными средами и активными многослойными структурами» представляет собой самостоятельно выполненную квалификационную научную работу, имеющую внутреннее единство и подтверждающую личный вклад автора в науку, полностью соответствующую требованиям, предъявляемым к докторским

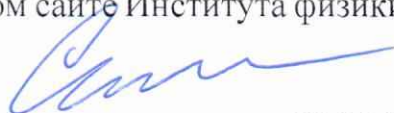
диссертациям, установленным главой 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь». Диссертация представляет собой концептуальное развитие актуальных научных направлений - нелинейной оптики и лазерной физики, содержит принципиально новые научно обоснованные результаты, совокупность которых является крупным достижением в оптике.

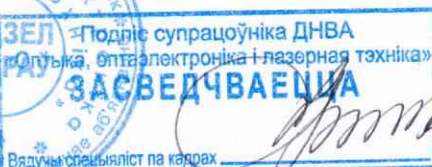
Автор диссертационной работы Новицкий Денис Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика за новые научно обоснованные теоретические результаты, включающие:


- установление закономерностей взаимодействия попутных и встречных фемтосекундных солитонов самоиндуцированной прозрачности в резонансных двухуровневых средах, позволяющих наблюдать управляемое поглощение и невзаимное пропускание импульсов света;
- определение условий наблюдения эффекта самозахвата сверхкороткого импульса света в одномерном фотонном кристалле с инерционной кубической нелинейностью, а также исследование устойчивости эффекта при наличии случайных вариаций параметров структуры;
- обоснование возможности использования резонансно усиливающих сред для компенсации потерь излучения в металлодиэлектрических слоистых структурах типа гиперболического метаматериала;
- установление нового механизма возбуждения квазисвязанных состояний в континууме, обусловленного нарушением РТ-симметрии в трехслойных структурах со слоями поглощающего и усиливающего материала с близкой к нулю диэлектрической проницаемостью;
- разработку минимальной теоретической модели РОС-лазера на поляризационных решетках, позволяющей описывать динамику генерации такого лазера в качественном согласии с результатами эксперимента.

Член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор физико-математических наук, профессор,
заместитель генерального директора по научной деятельности
государственного научно-производственного объединения
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  И.В. Семченко

Я, Семченко Игорь Валентинович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси в сети Интернет.

 И.В. Семченко
29.03.2024



 С.В. Фрокопц