

## ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации Толкачёва Антона Игоревича «Оптимизация эффективности нелинейной генерации второго порядка в поверхностных слоях сферических и цилиндрических частиц», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

### **Характеристика научной, научно-педагогической, производственной деятельности соискателя**

Толкачёв А.И. в 2019 году окончил с отличием факультет физики и информационных технологий учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины». В 2019/2020 учебном году обучался в магистратуре по специальности «Физика», с 2020 года по настоящее время обучается в аспирантуре по специальности 01.04.02 – теоретическая физика в ГГУ имени Ф. Скорины. С 2018 года (без отрыва от учебы в вузе) начал трудовую деятельность в качестве педагога дополнительного образования государственного учреждения образования «Гимназия № 14 г. Гомеля», где работал до 2022 года. В 2020 и 2021 годах работал младшим научным сотрудником и стажером младшего научного сотрудника НИС ГГУ имени Ф. Скорины соответственно.

В течение всего времени обучения и работы в университете А.И. Толкачёв активно занимается научно-исследовательской деятельностью; в настоящее время он является автором 50 научных работ (из них 10 работ в журналах, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований). В опубликованных работах изложены результаты исследования явлений нелинейной генерации оптического излучения в поверхностных слоях диэлектрических частиц, а также результаты изучения отражения и преломления электромагнитных волн на границах раздела биизотропных сред.

О результатах исследований соискателем сделано 30 докладов на научных собраниях, в том числе 9 международных: 14-й международной Школе-конференции «Актуальные проблемы физики микромира» (Гродно, 2018); V Международной научной конференции «Проблемы взаимодействия излучения с веществом», посвящённой академику Б.В. Бокутю (Гомель, 2018); V Международной конференции «Оптика неоднородных структур – 2019» (Могилев, 2019); XII, XIII Международных научно-технических конференциях «Квантовая электроника» (Минск, 2019, 2021); Международной школе-конференции молодых учёных и специалистов «Современные проблемы физики» (Минск, 2020); 64th International Conference for Students of Physics and Natural Sciences «Open Readings 2021» (Вильнюс, Литва, 2021); 19th International Conference on Global Research and Education «Inter-Academia 2021» (Гомель, 2021); Международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, 2020).

В школьные и студенческие годы Толкачёв А.И. многократно был победителем олимпиад регионального, республиканского и международного уровня по физике. Он трижды (2013–2015 гг.) побеждал на заключительном этапе республиканской олимпиады по учебному предмету «Физика». В 2015 году стал победителем и получил золотую медаль на 46-й международной физической олимпиаде (46th IPHO), проходившей в г. Мумбаи (Индия). В студенческие годы он получил десятки наград на различных олимпиадах и конкурсах, где почти всегда занимал первое место. Он по четыре раза (2016–2019 гг.) занимал первые места на Региональной олимпиаде по физике в ГГУ имени Ф. Скорины, Открытой студенческой олимпиаде по физике в БГУ, Открытой студенческой олимпиаде по математике в ГГТУ им. П.О. Сухого. В 2017–2019 гг. участвовал в Республиканской олимпиаде по теоретической механике и неизменно занимал первое место, а также вносил основной вклад в командную победу своего университета. В эти же годы на Международной олимпиаде по теоретической механике он дважды (2017, 2018) был награждён серебряной медалью, а в 2019 г. удостоен золотой медали.

За высокие достижения в интеллектуальной деятельности Толкачёв А.И. удостоен премии специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов в 2013, 2014, 2016 годах, в 2015 году – с вручением нагрудного знака лауреата; стипендии Президента Республики Беларусь в 2017–2019 годах; премии Гомельского областного исполнительного комитета в 2013, 2015, 2017–2019 годах; премии Гомельского городского исполнительного комитета в 2013, 2014, 2018, 2019 годах.

Имея огромный опыт выступлений в олимпиадах и конкурсах самого высокого уровня, Толкачёв А.И. охотно и систематически использует его в процессе подготовки к олимпиадам команды школьников Гомельской области. За последние два года его ученики только на международных олимпиадах по физике получили одну золотую, три серебряных и одну бронзовую медали, а также похвальный отзыв.

В 2016–2018 годах Толкачёв А.И. входил в состав жюри областного турнира юных физиков, в 2016–2022 годах – третьего этапа республиканской олимпиады по физике, в 2020 году – заключительного этапа республиканской олимпиады по физике. В 2018 году работал в составе жюри городского конкурса научно-технического творчества учащихся «ТехноИнтеллект», в 2017–2019 годах – второго этапа республиканской олимпиады по физике, в 2020–2021 годах был председателем жюри второго этапа республиканской олимпиады по физике.

За «особый вклад в развитие способностей одаренных учащихся и студентов» Толкачёв А.И. удостоен премии специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов в 2022 году; за подготовку победителей заключительного этапа Республиканской олимпиады – премии Гомельского городского исполнительного комитета в 2018, 2019, 2021 годах.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В диссертации Толкачёва А.И. основной целью является поиск методов увеличения интенсивности излучения второй гармоники, генерируемой в поверхностных слоях симметричных по форме диэлектрических частиц. Проблема является важной, так как коэффициент преобразования энергии во вторую гармонику в рассматриваемом явлении крайне мал. Это обусловлено малостью объема области пространства, в которой принципиально возможна генерация второй гармоники, так как условие центральной симметрии нарушено только на границе раздела сред.

При добавлении в исследуемый коллоидный раствор нецентросимметричных молекул (красителей) сигнал второй гармоники увеличивается в сотни раз. Такие молекулы адсорбируются на поверхностях диэлектрических частиц, где выстраиваются определенным образом, что обуславливает увеличение генерируемого сигнала. Явления генерации второй гармоники и генерации суммарной частоты в коллоидных растворах могут быть использованы для определения тензора гиперполяризуемости адсорбированных молекул. В качестве нецентросимметричных молекул часто выбирают малахитовый зеленый ввиду большого значения его гиперполяризуемости на частоте, соответствующей излучению широко распространённого титан-сапфирового лазера.

Альтернативный способ увеличения интенсивности сигнала второй гармоники, связанный с увеличением мощности исходного излучения, неконкурентоспособен, так как уже практически двадцать лет назад был достигнут верхний предел мощности. Ограничение мощности возбуждающего излучения обусловлено повышением вероятности многофотонной ионизации и диссоциации химических добавок.

В тексте диссертации предлагается использовать оптимальные условия постановки эксперимента, при которых плотность мощности излучения второй гармоники достигает максимума. Эти условия определены соискателем учёной степени аналитическими и численными методами. Также в диссертации предложен метод исследования нелинейной генерации в поверхностных слоях частиц, основанный на использовании нескольких когерентных источников возбуждающего излучения; эффективность его применения обоснована в результате расчета энергетических характеристик генерируемого излучения удвоенной частоты.

Актуальность задачи максимизации интенсивности генерируемого излучения повысилась в последнее десятилетие, когда с использованием явления генерации второй гармоники начали исследовать аэрозоли, где концентрация исследуемых частиц гораздо меньше, чем в коллоидных растворах. Размер частиц в аэрозолях часто варьируется в большом диапазоне – от нанометров до микрометров, поэтому в диссертационном исследовании также рассматривается широкая область изменения характерного размера исследуемых частиц.

Явление генерации второй гармоники широко используется в микробиологии в целях исследования транспорта веществ через клеточные мембраны и для визуализации биологических объектов.

В силу изложенных обстоятельств можно утверждать, что тема диссертации является актуальной в современной нелинейной оптике. Она соответствует приоритетным направлениям исследований Республики Беларусь: в 2016–2020 гг. – «Электроника и фотоника» (постановление № 190 Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015); в 2021–2025 гг. – «Микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика» (указ Президента Республики Беларусь № 156 от 07.05.2020).

### **Научная оценка диссертации**

В диссертации Толкачёва А.И. исследование явлений генерации излучения удвоенной частоты в поверхностных слоях диэлектрических частиц производится в рамках классической электродинамики с использованием приближения Рэлея – Ганса – Дебая, которое ранее использовалось другими авторами.

В первой главе диссертации составлен обзор научной литературы об экспериментальных и теоретических исследованиях явлений генерации второй гармоники и генерации суммарной частоты. Подробно описаны известные в настоящее время аналитические подходы для описания явлений нелинейной генерации. Обоснован выбор направления исследований и модели описания нелинейной генерации, определены цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе, основываясь на выражениях для напряженности электрического поля излучения второй гармоники, генерируемого в сферическом (цилиндрическом) слое, полученных в нашей научной группе ранее, Толкачёв А.И. переходит к исследованию этого явления применительно к частицам, размеры которых много меньше длины волны возбуждающего излучения. В этом диапазоне указанные выражения принимают более простой вид, поэтому оказывается возможным нахождение явного вида плотности мощности генерируемого излучения и аналитический поиск максимума данной функции, зависящей от параметров возбуждающего излучения, свойств поверхностного слоя частицы и направления наблюдения. Аналогично, численными методами произведена максимизация плотности мощности второй гармоники, генерируемой в поверхностных слоях цилиндрических частиц большой высоты – при различных значениях радиуса их основания. Применительно к таким частицам впервые решена задача о генерации второй гармоники линейной структурой из эквидистантно расположенных частиц, найдены выражения для оптимальных расстояний.

В третьей главе диссертации описан новый подход к изучению нелинейной генерации, основанный на использовании двух когерентных источников возбуждающего излучения, построена математическая модель для описания генерируемого излучения удвоенной частоты в данном

явлении, которое было названо генерацией второй гармоники – суммарной частоты. Толкачёвым А.И. подробно изучено влияние параметров, характеризующих возбуждающие волны и свойства исследуемых частиц, на пространственное распределение и энергетические характеристики излучения удвоенной частоты, генерируемого в таком явлении, произведена численная оптимизация параметров возбуждающих волн (учтено 7 параметров) в целях максимизации плотности мощности генерируемого излучения второй гармоники – суммарной частоты. Путем сравнения оптимизированных энергетических характеристик генерируемого излучения второй гармоники – суммарной частоты с энергетическими характеристиками второй гармоники, генерируемой при использовании одной возбуждающей волны, показана эффективность использования двух источников: в явлении генерации второй гармоники – суммарной частоты достигается увеличение сравниваемых величин в 4 раза и более.

Все научные результаты, полученные в диссертации, являются новыми, научно обоснованными и важными в теоретическом и прикладном отношении.

Основные положения диссертации апробированы на конференциях, опубликованы в 31 научной работе, из которых 8 статей, которые соответствуют пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и ученых званий в Республике Беларусь.

Исследования по теме диссертации проводились в рамках государственных программ научных исследований «Фотоника, опто- и микроэлектроника» (подпрограмма «Фотоника») и «Фотоника и электроника для инноваций» (подпрограмма «Фотоника и её применения»), а также при финансировании Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (гранты по темам «Линейные и нелинейные оптические эффекты на границах раздела сред и поверхностях наночастиц» и «Генерация второй гармоники и суммарной частоты на объектах, ограниченных поверхностями второго порядка»).

Диссертационная работа и автореферат оформлены с соблюдением инструкции по их оформлению, в диссертации содержится библиографический список использованных источников и список работ соискателя. В тексте диссертации имеются ссылки на все работы, использованные при ее подготовке и включенные в библиографические списки.

Результаты, полученные в диссертации, особенно предложенный в ней метод использования двух и более когерентных источников возбуждающего излучения, могут быть использованы при планировании экспериментов по исследованию свойств поверхностных слоев диэлектрических нано- и микрочастиц, а также в целях выбора оптимальных параметров установки для достижения максимальной плотности мощности генерируемого излучения. С учетом полученных результатов можно будет уменьшить время проведения эксперимента, исследовать частицы меньшего размера, исследовать аэрозоли с меньшей концентрацией частиц.

В диссертации представлены результаты исследования нелинейных явлений второго порядка, которые представляют практический интерес и имеют высокую значимость. Среди них можно выделить следующие:

– нахождение оптимальных параметров возбуждающей волны и направлений наблюдения, при которых интенсивность излучения второй гармоники, генерируемой в оптически нелинейном тонком сферическом (цилиндрическом) слое достигает максимума;

– разработка математической модели нелинейной генерации второго порядка в поверхностных слоях диэлектрических частиц с использованием нескольких когерентных источников возбуждающего излучения;

– разработка новых методов определения независимых компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости, основанных на явлении генерации второй гармоники – суммарной частоты.

### Заключение

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Толкачёва Антона Игоревича «Оптимизация эффективности нелинейной генерации второго порядка в поверхностных слоях сферических и цилиндрических частиц» соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика за совокупность следующих научных результатов:

– полученные условия, при которых достигается максимум плотности мощности излучения второй гармоники, генерируемой в оптически нелинейном тонком сферическом (цилиндрическом) слое;

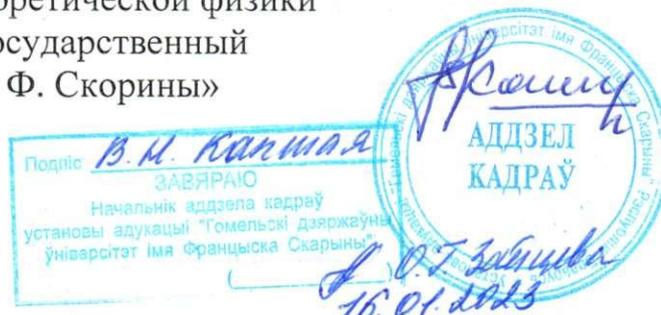
– разработанную математическую модель нелинейной генерации второго порядка в поверхностных слоях диэлектрических частиц с использованием нескольких когерентных источников возбуждающего излучения;

– новые методы определения тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости на основе особенностей излучения второй гармоники – суммарной частоты.

Я, Капшай Валерий Николаевич, выражаю согласие на размещение отзыва научного руководителя о диссертации А.И. Толкачева на официальном сайте учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» в глобальной компьютерной сети Интернет.

Научный руководитель, к.ф.-м.н., доцент,  
доцент кафедры теоретической физики  
УО «Гомельский государственный  
университет имени Ф. Скорины»

16.01.2023



В.Н. Капшай