

## ОТЗЫВ

официального оппонента,  
на диссертационную работу Шевченко Михаила Александровича  
«Вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света в системах  
наноразмерных и субмикронных частиц», представленную на соискание ученой  
степени кандидата физико – математических наук  
по специальности 1.3.6– «Оптика»

Одним из центральных вопросов в изучении систем нано- и субмикронных частиц различной физической природы является их характеристика. Среди таких широко используемых методов, как электронная и атомно-силовая микроскопия, динамическое рассеяние света также активно развивается спектроскопия низкочастотного комбинационного рассеяния (НКР) света. НКР, являясь процессом неупругого рассеяния света на собственных акустических колебаниях нано- и субмикронных частиц, позволяет получать информацию о морфологии исследуемых систем, которая представляет не только чисто академический интерес, но и может быть использована для решения практических задач нанофотоники, электроники, биомедицины. Вынужденный аналог НКР – вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света (ВНКР), является энергетически эффективным процессом. Эффективность преобразования накачки в рассеянную волну может превышать 50 процентов. Это обстоятельство делает возможным использование ВНКР не только как спектрального метода, но и как эффективного источника когерентного излучения с заданным спектральным распределением, например, для получения бигармонического (двухчастотного) излучения, с возможностью перестройки разностной частоты в диапазоне от единиц гигагерц до терагерца. Такое излучение может быть использовано для исследования систем, обладающих собственными частотами в гигагерцовом и терагерцовом диапазонах частот.

В этой связи тема диссертационной работы М. А. Шевченко является весьма актуальной.

Представленная к защите диссертационная работа М.А. Шевченко оформлена согласно рекомендациям ВАК и имеет следующую структуру: состоит из введения, пяти глав и заключения, в котором перечислены основные результаты. Материал изложен на 102 страницах, содержит 33 рисунка, 7 таблиц и 73 наименований в списке цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы и сформулированы цели, а также приведены основные результаты работы.

В первой главе диссертационной работы приводится обзор теоретических и экспериментальных исследований НКР. Рассмотрены основные теоретические подходы, применяемые для описания процесса НКР. Акцентируется внимание на влиянии матрицы, в которой находятся активные в смысле НКР частицы. Рассмотрены основные практические приложения НКР, обуславливающие интерес к этому направлению и его практическую значимость. Приведен обзор современных работ по ВНКР.

Во второй главе приводятся результаты экспериментальных исследований свойств ВНКР, возбуждаемого в различных суспензиях с целью определения влияния на параметры ВНКР распределения частиц по размерам. Также в этой главе приведены результаты экспериментов по исследованию влияния матрицы на спектральные характеристики рассеянного излучения. Продемонстрировано хорошее согласие полученных экспериментальных данных с расчетными. Экспериментально реализована схема внутривибраторного ВНКР и показано, что данный подход может быть использован как для характеристики систем нано- и субмикронных частиц, так и для получения когерентного излучения с заданным спектральным распределением.

В третьей главе приводятся экспериментальные результаты исследований ВНКР в биологических объектах: вирусах растений различной формы и агрегатах глобулярных белков. Реализована эффективная генерация ВНКР в этих системах с максимальным коэффициентом преобразования волны накачки в рассеянную волну (55%). Для биологических частиц были рассчитаны собственные частоты колебаний, с учетом матрицы, и показано, что полученные

экспериментально данные находятся в удовлетворительном согласии с расчетными.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований воздействия импульсного оптического двухчастотного излучения на систему частиц, обладающих собственной акустической частотой в гигагерцовом диапазоне частот. Показано, что при совпадении разностной частоты накачки с собственной частотой частиц возникает эффективная генерация компонент ВНКР высших порядков, включая антистоксовые компоненты. Экспериментально реализована генерация трёх стоксовых и двух антистоксовых компонент с разностной частотой в гигагерцовом диапазоне.

В пятой главе приводятся результаты экспериментальных исследований генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона при оптической накачке в нано- и субмикронных системах. Показано, что воздействие мощных лазерных импульсов на систему нано- или субмикронных частиц, приводящее к когерентному возбуждению собственных акустических колебаний данной системы на частотах, лежащих в гигагерцовом диапазоне, может приводить к генерации электромагнитного излучения на частотах, совпадающих с акустическими. Это принципиально новый способ генерации излучения СВЧ диапазона, который также может быть использован для характеристики систем наноразмерных и субмикронных частиц.

К наиболее важным и существенным можно отнести следующие результаты:

1. Экспериментально реализована схема внутривибраторного ВНКР. Показано, что наряду с возможностью использования этого процесса для исследований систем наноразмерных и субмикронных частиц, он может быть применен для создания источника излучения с заданным спектральным распределением, определяемым морфологией используемых частиц.

2. Получено ВНКР в биологических объектах субмикронных размеров (в том числе в ряде вирусов растений) и показано, что спектральные характеристики ВНКР определяются морфологией этих объектов.

3. Использование бигармонической накачки, полученной в процессе ВНКР, для возбуждения системы диэлектрических субмикронных частиц позволило реализовать генерацию стоксовых и антистоксовых компонент с разностной частотой в гигагерцовом диапазоне. Показано, что такая генерация происходит при совпадении разностной частоты бигармонической накачки с собственной акустической частотой частиц.

4. Предложен и экспериментально реализован новый способ генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона в системах диэлектрических частиц при оптической накачке. Экспериментально продемонстрировано совпадение собственных акустических частот частиц и частот электромагнитного излучения СВЧ диапазона.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Для описания процесса собственных акустических колебаний обычно используют модель Лэмба или модель «жидкой капли». Последняя модель подробно не обсуждается. Почему использовался подход Лэмба для случая биологических частиц? Было бы логично привести расчеты с использованием модели «жидкой капли».
2. В ряде экспериментов для возбуждения ВНКР использовались образцы синтетических опаловых матриц. Мощности используемых лазерных источников достаточно большие, однако вопрос лучевой прочности не рассматривался.
3. При использовании в качестве образцов суспензий субмикронных частиц не обсуждается вопрос влияния вынужденных рассеяний света, которые могут возбуждаться в жидкости, на характеристики ВНКР. Прежде всего, это вынужденное рассеяние Мандельштамма-Бриллюэна, а также, вынужденное комбинационное рассеяние света.

Сделанные замечания не снижают высокий научный уровень диссертационной работы.

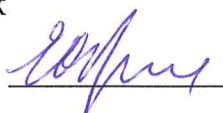
Вместе с тем, необходимо отметить, что диссертация М.А. Шевченко существенно развивает фундаментальные знания об особенностях

взаимодействия импульсного когерентного излучения с системами нано- и субмикронных частиц. Также следует отметить большой вклад диссертанта в развитие методики оптической диагностики наноразмерных и субмикронных систем. Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Выводы диссертации хорошо обоснованы и аргументированы. Материалы диссертации полностью отражены в публикациях, апробированы на научных конференциях и симпозиумах различного уровня. Список публикаций содержит 7 работ, которые опубликованы в международных и отечественных научных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Представленный автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа М. А. Шевченко по актуальности темы, объему выполненной работы, новизне, надежности и практической значимости полученных результатов удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 года, а её автор, Шевченко Михаил Александрович, заслуживает присвоения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 — Оптика.

Официальный оппонент:

Заведующий Лабораторией спектроскопии наноматериалов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им.  
А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), кандидат  
физико-математических наук

 Образцова Елена Дмитриевна

2 декабря 2021 года

Почтовый адрес: Россия, 119991, ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38, корпус 1

Телефон: (499)135-30-02

E-mail: [elobr@kapella.gpi.ru](mailto:elobr@kapella.gpi.ru)

Подпись Образцовой Е.Д. удостоверяю:



ПОДПИСЬ

ЗАВЕРЯЮ

УЧЕНОГО

СЕКРЕТАРЯ

ИОФ

Глушков В.В.

12 20 21 г.

**Список основных публикаций официального оппонента кандидата физико-математических наук Образцовой Е. Д. по тематике диссертации Шевченко М.А.**

1. А. Д. Зверев, В. А. Камынин, А. И. Трикшев, Е. Ю. Ковтун, Н. Р. Арутюнян, А. А. Мاستин, П. А. Рябочкина, Е. Д. Образцова, В. Б. Цветков, Влияние параметров насыщающихся поглотителей на режимы генерации гантелевидного тулиевого волоконного лазера, Квантовая электроника, т. 51, №6, 518-524, (2021).
2. Pavel V. Fedotov, Valentina A. Eremina, Dmitriy A. Musatov, Ekaterina A. Obratsova, and Elena D. Obratsova, Vapor-phase epitaxial re-growth of large diameter single-walled carbon nanotubes, Appl. Phys. Lett. v.118, art. no. 163101 (2021).
3. Alexander A. Tonkikh, Valentina A. Eremina, Ekaterina A. Obratsova, Dmitry A. Musatov, Alexander Yu. Pereyaslavtsev, Esko I. Kauppinen, and Elena D. Obratsova, Tunable Doping and Characterization of Single-Wall Carbon Nanotube Macrosystems for Electrode Material Applications ACS Appl. Nano Mater., v. 4, no. 3, pp. 3220-3231 (2021).
4. Pavel V. Fedotov, Dmitry V. Rybkovskiy, Alexander I. Chemov, Ekaterina A. Obratsova, and Elena D. Obratsova, Excitonic Photoluminescence of Ultra-Narrow 7-Armchair Graphene Nanoribbons Grown by a New "Bottom-Up" Approach on a Ni Substrate under Low Vacuum (2020) J. Phys. Chem. C, v. 124, no. 47, 25984-25991 (2020).
5. С. А. Филатова, В. А. Камынин, И. В. Жлуктова, А. И. Трикшев, Н. Р. Арутюнян, М. Г. Рыбин, Е. Д. Образцова, Д. Т. Батов, В. С. Воропаев, В. Б. Цветков, Спектральная и временная динамики ультракоротких импульсов в гольмиевом волоконном усилителе", Квантовая электроника, т. 49, № 12, 1108-1111 (2019).
6. М. В. Понарина, А. Г. Охримчук, М. Г. Рыбин, М. П. Смаев, Е. Д. Образцова, А. В. Смирнов, И. В. Жлуктова, В. А. Камынин, Т. В. Долматов, В. В. Букин, П. А. Образцов, Двухволновая генерация пикосекундных импульсов с частотой следования 9.8 ГГц в волноводном Nd:YAG-лазере с графеном, Квантовая электроника, т. 49 №:4, 365-370 (2019).
7. С. А. Филатова, В. А. Камынин, Н. Р. Арутюнян, А. С. Пожаров, Е. Д. Образцова, П. А. Итрин, В. Б. Цветков, Сравнение режимов синхронизации мод в гольмиевом волоконном лазере", Квантовая электроника, т. 48, № 12, 1113- 1117 (2018).