

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://mephi.ru>

№ _____
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора НИЯУ МИФИ
доктор физ.-мат. наук

В.И. Шевченко



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Шевченко Михаила Александровича
**«ВЫНУЖДЕННОЕ НИЗКОЧАСТОТНОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ
СВЕТА В СИСТЕМАХ НАНОРАЗМЕРНЫХ И СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ»**
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.6- Оптика

Актуальность диссертации

На сегодняшний день системы нано и субмикронных частиц находят применение в разнообразных областях науки и техники, таких как оптика, радиофотоника, микроэлектроника, биофизика. Поэтому исключительно важным направлением в исследованиях нано- и субмикронных объектов является их физическая характеристика. Особое место в этих исследованиях занимает изучение их колебательной динамики, знание которой позволяет существенно расширить возможности использования систем нано- и субмикронных частиц для решения фундаментальных задач, а также многочисленных практических приложений. Одним из основных методов позволяющих получать информацию об упругих характеристиках систем нано и субмикронных частиц, является метод, основанный на использовании низкочастотного комбинационного рассеяния света (НКР). Вынужденный аналог этого процесса – вынужденное низкочастотное комбинационное

рассеяние света (ВНКР), позволяет не только получать информацию о морфологии исследуемых систем, но и является основой для создания источника бигармонической накачки с возможностью перестройки разностной частоты в гигагерцовом диапазоне для практических приложений. Поэтому сформулированная автором цель работы, а именно исследование процессов взаимодействия электромагнитного излучения с системами наноразмерных и субмикронных частиц различной природы, включая биологические, получение информации о характеристиках ВНКР в таких системах и изучение возможности их использования в качестве активных сред для генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона при оптической накачке, является, безусловно, актуальной в современной оптике, а содержание работы соответствует специальности 1.3.6 «оптика».

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Список литературы содержит 73 наименования. Полный объём диссертации составляет 101 страницу, включая 33 рисунка, 7 таблиц и список литературы из 73 источников.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту, обсуждается научная новизна и практическая ценность результатов работы, приведены сведения об апробации результатов работы.

В первой главе изложены физические принципы возникновения и протекания процессов НКР и вынужденного низкочастотного комбинационного рассеяния света ВНКР. Описаны методы расчета спектральных характеристик НКР и его связь с морфологией исследуемых систем. Рассмотрены основные теоретические подходы, применяемые для описания процесса НКР, в частности, модель колебаний свободной сферы. Рассмотрены основные практические приложения НКР и ВНКР, обуславливающие интерес к исследованиям в этом направлении. Рассмотрен процесс когерентного акустического возбуждения ансамбля нано или субмикронных частиц на собственных акустических частотах. Проведен анализ современных литературных данных по основным направлениям работы, позволяющий оценить значимость и новизну полученных автором результатов в данной области знаний.

Вторая глава содержит детальное описание используемых экспериментальных установок, а также результаты исследований свойств

ВНКР, возбуждаемого в различных системах нано и субмикронных частиц с целью определения влияния на параметры ВНКР распределения частиц по размерам. Показано, что эффективность преобразования волны накачки в волну ВНКР, а также энергетический порог возбуждения определяются шириной и формой распределения частиц по размерам. Проведена оценка влияния на процесс ВНКР среды в которой находятся частицы. Экспериментально реализовано внутрирезонаторное низкочастотное комбинационное рассеяние света.

В третьей главе сообщается о результатах исследованиям ВНКР в системах биологических частиц - вирусах растений различной формы и агрегатах глобулярных белков. Продемонстрирована принципиальная возможность эффективной генерации ВНКР в подобных системах с коэффициентом преобразования до 55%. Для различных типов биологических систем были рассчитаны собственные частоты колебаний (методом Лэмба и Дубровского), показавшие хорошее согласие с экспериментально наблюдаемыми величинами.

Четвертая глава посвящена исследованию генерации стоксовых и антистоксовых компонент ВНКР при бигармонической накачке. Благодаря высокой эффективности преобразования ВНКР можно использовать как источник бигармонической накачки для эффективного резонансного воздействия на объекты различной физической природы. При воздействии на систему субмикронных частиц была экспериментально реализована генерация компонент ВНКР высших порядков, включая антистоксовые компоненты.

Пятая глава содержит описание предложенного и экспериментально реализованного нового метода генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона в системе субмикронных частиц при оптической накачке. Метод основан на раскачке акустических колебаний системы частиц, обладающих дипольным моментом. Показано, что основным физическим механизмом, обеспечивающим эффективную раскачку акустических колебаний частиц, является пондеромоторное взаимодействие. Были зарегистрированы спектры электромагнитного излучения в гигагерцовом диапазоне, представляющие собой набор спектральных линий, совпадающих с собственными частотами используемых частиц.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна исследований заключается в том, что в диссертационной работе:

1. Впервые экспериментально реализовано внутрирезонаторное вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света при использовании суспензии нанометровых и субмикронных частиц полистирола.
2. Экспериментально реализована оригинальная схема генерации спектральной гребенки с разностной частотой в гигагерцовом диапазоне при использовании бигармонической накачки. Показано, что эффективная генерация высших стоксовых и антистоксовых компонент возникает при совпадении разностной частоты бигармонической накачки с собственной акустической частотой активной в смысле ВНКР моды.
3. Впервые реализовано ВНКР в ряде биологических систем (вирусов). Показано, что ВНКР может быть использовано для идентификации соответствующих систем.
4. Получена генерация электромагнитного излучения СВЧ диапазона при оптической накачке. Показано, что частоты электромагнитного излучения СВЧ совпадают с собственными акустическими частотами системы

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов в следующих задачах:

1. ВНКР, возбуждаемое вне резонатора, а также внутрирезонаторное, являются эффективным источником информации о морфологии систем наноразмерных и субмикронных частиц различной физической природы, включая биологические.
2. Учитывая высокую эффективность ВНКР, этот процесс можно использовать качестве источника бигармонической накачки с возможностью перестройки разностной частоты в гига- и терагерцовом диапазонах.
3. Системы упорядоченных диэлектрических субмикронных частиц, а именно, синтетические опаловые матрицы, могут применяться для генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона на частотах, соответствующих частотам собственных акустических колебаний глобул, образующих матрицу, при оптической накачке. Зависимость собственной акустической частоты от размеров глобулы, а также от параметров среды, заполняющей пустоты

матрицы, открывает возможность перестройки частоты генерируемого излучения СВЧ диапазона.

Достоверность полученных результатов определяется сопоставлением полученных результатов с данными, представленными в научной литературе, а также результатами численных расчетов.

Основные результаты диссертации были опубликованы в 28 материалах международных и всероссийских конференций, в 7 публикациях в рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также прошли широкую апробацию на 20 международных и российских научных конференциях.

Недостатки и замечания по содержанию и оформлению диссертации

1. В тексте диссертации нет подробного описания методики измерения распределения энергии по компонентам вынужденного низкочастотного комбинационного рассеяния.
2. При исследовании процесса генерации высших стоксовых и антистоксовых компонент ВНКР при бигармонической накачке (четвертая глава), автор не рассматривает возможность одновременной генерации вынужденного рассеяния Мандельштама-Брилла, которое может оказать существенное влияние на характеристики ВНКР.
3. В нескольких местах в диссертации появляется нераскрытая аббревиатура SLFRS (очевидно, это Stimulated Low-Frequency Raman Scattering).

Приведенные замечания не влияют на общую **положительную** оценку работы.

Общая оценка диссертации

Диссертация Шевченко М.А. является законченной научной работой, выполненной на высоком уровне. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и достоверно отражает основные результаты работы.

Диссертация Шевченко Михаила Александровича «Вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света в системах наноразмерных и субмикронных частиц» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым

к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор за результаты исследований процессов взаимодействия электромагнитного излучения с системами наноразмерных и субмикронных частиц различной природы, определение характеристик ВНКР в таких системах и возможности их использования в качестве активных сред для генерации электромагнитного излучения СВЧ диапазона при оптической накачке заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6- оптика.

Диссертация и проект отзыва ведущей организации на диссертационную работу заслушаны, обсуждены и одобрены на объединенном семинаре Института Лаплаз и кафедры лазерной физики НИЯУ МИФИ 20 августа 2021 года, протокол № 4 – от 20.08.2021.

Отзыв составили:

Кузнецов Андрей Петрович, директор Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., доцент, arkuznetsov@mephi.ru



Кудряшов Николай Алексеевич, председатель совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор, NAKudryashov@mephi.ru



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ);

115409,

г. Москва, Каширское шоссе, 31.

Тел.: +7 (495) 788-56-99, доб. 9388