

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор МГУ имени М.В.Ломоносова

профессор А.А.Федягин



*Федягин* «марта» 2015 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу

Чернеги Николая Владимировича "Вынужденное рассеяние света в наноразмерных системах", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

В настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся направлений современной нелинейной оптики является исследование взаимодействия электромагнитного излучения с наноразмерными и субмикронными системами. Использование таких сред позволяет добиться существенного увеличения эффективности нелинейно-оптических взаимодействий различных типов. Весьма перспективным является использование как искусственных структурно-организованных сред с периодической модуляцией оптических свойств на масштабе порядка оптической длины волны, так и случайно-неоднородных сред, состоящих из наночастиц различной природы. Большое количество экспериментальных и теоретических работ по исследованию оптических свойств таких систем в научной литературе обусловлено, прежде всего, возможностью их практического применения при создании различных устройств для управления параметрами когерентного излучения. Также большой интерес представляет возможность получения информации об особенностях

взаимодействия таких сред с излучением. В диссертации ставилась задача экспериментального исследования вынужденного рассеяния света в наноразмерных и субмикронных системах различного типа. Таким образом, тема диссертационной работы Чернеги Николая Владимировича является весьма актуальной как с общенаучной, так и с практической точек зрения.

Работа структурирована в соответствии с заявленной целью и направлена на реализацию основных задач исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объем работы составляет 248 страниц, включая 66 рисунков и 16 таблиц.

Основное содержание диссертации изложено во введении и пяти главах.

Во введении диссертации обосновывается актуальность, теоретическая и практическая значимость темы, представлена цель и задачи исследования, определены его объект и предмет, указаны научная новизна диссертационной работы. Приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы по технологии производства и оптическим свойствам субмикронных и наноразмерных систем, прежде всего синтетических опаловых матриц и нанокомпозитов на их основе. Особое внимание уделено спектроскопии брэгговского отражения света, являющейся одним из основных методов характеризации опалов и позволяющей получать информацию о параметрах таких систем. Отмечена связь между акустическими свойствами опалов и спектральными характеристиками спонтанного низкочастотного комбинационного рассеяния света.

Вторая глава диссертации содержит описание результатов экспериментальных исследований вынужденного комбинационного рассеяния света в нанокомпозитах на основе синтетических опаловых матриц, инфильтрованных комбинационно активными средами. Экспериментально продемонстрировано влияние спектрального положения фотонной запрещенной зоны на характеристики процесса вынужденного комбинационного рассеяния. Наиболее существенным результатом является двадцатикратное понижение порога вынужденного комбинационного рассеяния при соответствующем выборе положения фотонной запрещенной зоны относительно накачки и первой стоксовой компоненты.

В третьей главе содержится описание экспериментальных результатов по исследованию вынужденного рассеяния света в синтетических опаловых матрицах и в тонких пленках различной природы, являющееся результатом взаимодействия импульсного лазерного излучения с локализованными акустическими колебаниями структурных элементов, образующих исследуемые образцы. Данный тип рассеяния отличается высокой эффективностью преобразования. Спектральное смещение первой стоксовой компоненты относительно частоты накачки составляет величину порядка 10 ГГц. Использование образцов с различной морфологией позволяет менять значение частоты смещения в гигагерцовом диапазоне, что представляется исключительно важным при использовании данного типа вынужденного рассеяния света в задачах спектроскопии комплексных систем, собственные частоты которых соответствуют этому диапазону.

Четвертая глава содержит результаты по экспериментальному исследованию нового типа вынужденного рассеяния света - вынужденного низкочастотного комбинационного рассеяния (ВНКР). Отличительные черты ВНКР: высокий коэффициент преобразования, наличие порога, узкий спектр

– соизмеримый с лазерной линией, возможность менять величину смещения спектра ВНКР относительно лазерной линии в диапазоне от гигагерц до терагерца ВНКР распространяется как вперед, так и назад, что очень удобно для практических приложений.

Так как спектральное смещение рассеянного излучения лежит в диапазоне от гигагерц до терагерца, для регистрации и исследования использовались экспериментальные методики, применяемые для изучения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). Основным спектральным прибором являлся интерферометр Фабри-Перо с различными базами, но так как, в отличие от ВРМБ, ВНКР распространяется как вперед, так и назад, для изучения ВНКР использовалась экспериментальная установка с двумя интерферометрами. Очень важно использовать для возбуждения лазер с узкой спектральной линией, так как частотное смещение рассеянной волны лежит в диапазоне от гигагерц до терагерца.

Учитывая достаточно хорошо развитую на сегодняшний день технологию получения наночастиц различной природы, данный тип рассеяния может быть использован как для получения данных о динамике колебаний наночастиц вnano- и гигагерцовом диапазоне частот, так и для решения практических задач колебательной спектроскопии в качестве источника бигармонической накачки.

В пятой главе рассматриваются вопросы практического применения вынужденных рассеяний света для управления пространственной структурой электромагнитного излучения. Автором экспериментально реализован ряд схем по восстановлению и обработке изображений амплитудных и амплитудно-фазовых объектов при вынужденном комбинационном рассеянии света, причем восстановление было получено на нескольких стоксовых компонентах. Нелинейно-оптическая фильтрация в области Фурье-спектров восстановленных изображений позволила осуществлять

визуализацию фазовых объектов и получение инверсии контраста в изображении амплитудных объектов.

В диссертации Чернеги Николая Владимировича была развита оригинальная экспериментальная методика для решения поставленных задач. Высокий уровень техники экспериментов, выполняемых в данной работе, свидетельствует о надёжности получаемых в диссертации экспериментальных результатов.

Основные экспериментальные результаты, полученные автором, являются новыми. Новизна и практическая значимость полученных автором результатов подтверждаются достаточным количеством публикаций в ведущих научных журналах.

Перечислим наиболее важные и новые, на наш взгляд, научные результаты, полученные в диссертации Чернеги Николая Владимировича:

1) Впервые было реализовано вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света, являющееся результатом взаимодействия лазерного излучения с собственными акустическими колебаниями наноразмерных структурных единиц, составляющих исследуемые образцы. Данный тип рассеяния был реализован как для твердотельных систем, так и для суспензий наночастиц. Размерный характер данного процесса определяет смещение частоты рассеянного излучения. Учитывая возможности перестройки частотного смещения рассеянной волны в широком диапазоне и высокую эффективность данного процесса, этот тип рассеяния может быть использована в качестве источника бигармонической накачки для решения широкого круга практических задач.

2) Впервые было получено вынужденное комбинационное рассеяние света в трехмерном фотонном кристалле, при соответствующем выборе параметров фотонного кристалла. Было экспериментально продемонстрировано 20-кратное понижение порога в случае попадания

частоты возбуждающего лазерного излучения в окрестность высокочастотного края фотонной запрещенной зоны, а частоты первой стоксовой компоненты – в окрестность низкочастотного края.

3) Автором были экспериментально реализованы схемы нелинейно-оптической обработки изображения, являющиеся нелинейным аналогом схем, использующих амплитудно-фазовую фильтрацию в области Фурье-спектра изображения. Использование вынужденных рассеяний света позволило автору осуществить одновременное восстановление и обработку оптического изображения на нескольких стоксовых компонентах.

Остановимся на некоторых недостатках, которые присутствуют в диссертации.

1. В диссертации слабо представлена теоретическая база, необходимая для описания экспериментально обнаруженных и исследуемых эффектов. Например, в главе 2 показано, что вблизи края фотонной запрещенной зоны в синтетическом опале наблюдается 20-кратное понижение порога вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) и значительное 6-и кратное преобразование излучения по энергии. Однако не анализируется причина существенного отличия порогов генерации (от 10 до 20) в случаях заполнения пор фотонного кристалла различными материалами. Хотелось бы видеть спектральные или угловые зависимости пороговой интенсивности вблизи края фотонной запрещенной зоны для различных материалов.

2. Остались без должного обсуждения зависимости характеристик вынужденного комбинационного рассеяния света в нанокомпозитах на основе опаловых матриц от размера образцов.

3. Для описания сходных физических явлений в диссертации используются различные термины, что затрудняет чтение работы. Так, в главе 4 рассматривается вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света в суспензиях наночастиц, а в главе 3 аналогичное рассеяние

в синтетическом опале на микросферах называется «вынужденным глобулярным рассеянием». Отсутствует слово «комбинационное», поэтому создается впечатление, что речь идет о качественно новом механизме рассеяния.

Все эти недостатки не влияют на общий высокий уровень и достоверность полученных результатов выполненной диссертационной работы.

Оценивая диссертацию Чернеги Николая Владимировича, следует отметить, что данная работа является целенаправленным научным исследованием, решающим важные научные и практические задачи, связанные с дальнейшим развитием нелинейной оптики. Работа выполнена на высоком научном уровне и открывает новые перспективы для создания устройств управления параметрами когерентного излучения на основе наноразмерных и субмикронных систем.

Основные научные результаты диссертационной работы Чернеги Николая Владимировича являются новыми, хорошо апробированы, опубликованы в центральных научных журналах и представлены в материалах международных и российских научных конференций.

Полученные в данной диссертации экспериментальные научные результаты, связанные с исследованием нелинейно-оптических свойств наноразмерных и субмикронных систем, представляют большой интерес для многих научных учреждений и научно-производственных организаций, работающих в этой области: МГУ, ИОФРАН, ФТИ РАН и др.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и написан в соответствии с правилами ВАК РФ.

Таким образом, диссертационная работа Чернеги Николая Владимировича удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Чернега Николай Владимирович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Диссертационная работа и автореферат обсуждены на заседании кафедры общей физики физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова 10 марта 2015 г.

Отзыв подготовил профессор, доктор физико-математических наук Л.П.Авакянц. Отзыв на диссертацию утвержден единогласно на заседании кафедры общей физики физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова 10 марта 2015 г., протокол № 7, присутствовало 42 сотрудника кафедры.

Заведующий кафедрой общей физики,  
профессор, доктор физико-математических наук



А.М.Сале茨кий

Ученый секретарь кафедры общей физики,  
старший преподаватель, кандидат физико-математических наук



С.В.Пацаева

Адрес: Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, кафедра общей физики.

e-mail: avakyants@physics.msu.ru; тел. +7 (495) 939-14-89.

Список основных публикаций сотрудников кафедры за 2011-2015 годы по тематике диссертации Чернеги Николая Владимировича «Вынужденное рассеяние света в наноразмерных системах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

1. Svyakhovskiy S.E., Skorynin A.A., Bushuev V.A., Chekalin S.V., Kompanets V.O., Maydykovskiy A.I., Murzina T.V., Mantsyzov B.I. Experimental demonstration of selective compression of femtosecond pulses in the Laue scheme of the dynamical Bragg diffraction in 1D photonic crystals. *Optics Express*, 2014, v.22, № 25, pp. 31002-31007
2. Frolova L.V., Skorynin A.A., Mantsyzov B.I. Gap soliton and quasilinear  $2\pi$  pulse in continuous resonant photonic crystals *Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics*, 2013, v.30, № 8, pp.2240-2247
3. Svyakhovskiy S.E., Skorynin A.A., Bushuev V.A., Chekalin S.V., Kompanets V.O., Maydykovskiy A.I., Murzina T.V., Novikov V.B., Mantsyzov B.I. Polarization effects in diffraction-induced pulse splitting in one-dimensional photonic crystals *Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics*, 2013, v.30, №5, с.1261-1269
4. Хабибуллин Р.А., Галиев Г.Б., Климов Е.А., Пономарев Д.С., Васильевский И.С., Кульбачинский В.А., Боков П.Ю., Авакянц Л.П., Червяков А.В., Мальцев П.П. Электрофизические и оптические свойства приповерхностных квантовых ям AlGaAs/InGaAs/AlGaAs с различной глубиной залегания *Физика и техника полупроводников*, 2013, том 47, № 9, с.1215-1220
5. Скорынин А.А., Бушуев В.А., Манцызов Б.И. Динамическая брэгговская дифракция оптических импульсов в фотонных кристаллах в геометрии Лауэ: дифракционное деление, селективное сжатие и фокусировка импульсов, *ЖЭТФ*, 2012, том 142, выпуск 1, с.64-76
6. Svyakhovskiy S.E., Kompanets V.O., Maidykovskiy A.I., Murzina T.V., Chekalin S.V., Skorynin A.A., Bushuev V.A., Mantsyzov B.I. Observation of Bragg diffraction-induced laser pulse splitting in a linear photonic crystal *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 2012, v. 86, № 1, p. 013843-4