

## ОТЗЫВ

Официального оппонента доктора физико-математических наук, Шипилова Константина Федоровича на диссертацию Бурханова Ильи Сергеевича «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Диссертация соискателя Бурханова Ильи Сергеевича посвящена исследованию нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях, а также наблюдению вынужденного концентрационного рассеяния света (ВКоСС) на этих частицах со спектральным сдвигом этого рассеяния в стоксову и антостоксову сторону.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена несколькими факторами. С научной точки зрения обнаружением нелинейного (вынужденного) режима концентрационного рассеяния света на частицах в жидкости, которое ранее не было зафиксировано и дополняет картину, свойственную другим типам рассеяния (ВКР, ВРМБ, ВРКЛР, ВТР, ВГР), где для каждого спонтанного процесса рассеяния удалось наблюдать его вынужденный режим. С методической точки зрения разработкой новой методики исследования малых сдвигов вынужденного рассеяния и нового метода определения направления спектрального сдвига с помощью корреляционной спектроскопии в условиях потока. С практической точки зрения - определены пределы применимости широко используемого метода динамического рассеяния света (ДРС), особенно при зондовых измерениях рассеяния навстречу возбуждающему излучению.

Основные результаты диссертационной работы вносят вклад в решение перечисленных выше задач. Среди наиболее важных результатов диссертации можно отметить следующие.

1. Разработана методика и создана оптическая схема для измерения малых частотных сдвигов ( $\sim 100$  Гц) и интенсивности вынужденного рассеяния света методом корреляционной спектроскопии с использованием непрерывного лазера, а также направления спектрального сдвига линии вынужденного рассеяния при наличии потоков жидкости по измеренным скорости потока и полному частотному сдвигу линии вынужденного рассеяния в направлениях вдоль и против потока.

2. Обнаружен режим нелинейного концентрационного рассеяния света на частицах в жидкости, указывающий на начальную фазу перехода рассеяния в вынужденный режим, что подтверждено:
- а** - экспоненциальным ростом интенсивности рассеянного света при увеличении мощности возбуждающего пучка;
  - б** - появлением спектральной линии рассеянного света с частотным сдвигом, близким к полуширине линии спонтанного рассеяния света на флуктуациях концентрации частиц;
  - в** - изменением знака частотного сдвига в зависимости от размера частиц, совпадающего с ранее предсказанным теоретически;
  - г** - удовлетворительным согласием полученных экспериментально значений коэффициентов усиления ВКоРС с предсказанными теоретическими оценками.

Диссертационная работа Бурханова И.С. изложена на 130 страницах текста, включающего в себя 67 рисунков, 4 таблицы и содержит список цитируемой литературы из 79 наименований.

**Во введении** обсуждена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, ее научная, методическая и практическая значимость. Также дано обоснование преимуществ используемых автором диссертации подходов.

**Первая глава** традиционно посвящена обзору публикаций по теме диссертации. Описана теория спонтанного и вынужденного рассеяния света. Приведены признаки вынужденного рассеяния и процессы, определяющие тип вынужденного рассеяния и частотного сдвига спектральной линии вынужденного рассеяния. Приведён вывод градиентной силы, действующей на сферическую частицу в жидкости в интерференционной решётке интенсивности возбуждающего излучения и рассеянного назад света. Показано, что определяет направление спектрального сдвига линии ВКоРС на субмикронных частицах в жидкости и рассмотрены примеры для определенных размеров частиц.

**Во второй главе** описаны экспериментальные установки для регистрации вынужденного рассеяния и методы получения корреляционных функций. Приведено описание подготовки образцов, сделаны теоретические оценки затягивающей силы и коэффициентов усиления  $g$  ВКоРС на субмикронных частицах в жидкости. Описана методика определения частотного сдвига ВКоРС на субмикронных частицах в жидкости и его

направления при наличии конвекционного потока. Проведена проверка линейности измерения детекторов, регистрирующих интенсивность падающего излучения. Определена дифракционная эффективность брэгговской решетки и показано её применение для оценки порога вынужденного концентрационного рассеяния света на субмикронных частицах в жидкости.

В третьей главе диссертации представлены корреляционные функции рассеянного света для наночастиц кремния в масле, алмаза и латекса в воде. Для образцов латекса и алмаза измерены коэффициенты усиления ВКоСС. По периоду косинусоидальной составляющей определен сдвиг спектральной линии ВКоСС на частицах алмаза. В условиях потока жидкости определены величины и направления спектральных сдвигов ВКоСС для частиц латекса трех размеров. Проведены контрольные дополнительные измерения путем добавления в схему оптической развязки или поперечного резонатора для подтверждения наблюдаемого эффекта.

Заключение диссертации отражает основные результаты, изложенные в диссертационной работе.

К недостаткам диссертации следует отнести следующие.

Отсутствуют данные о пространственном распределении, модовом составе и стабильности излучения использованных в работе лазеров, а эти параметры могли существенно повлиять на достоверность и воспроизводимость результатов спектральных измерений.

В диссертации отмечено, что из-за неточности определения температуры взвеси частиц возникает заметная погрешность в значениях сдвига спектральной линии и, при этом, нет данных о термализации растворов и градиентах температуры в продольных и поперечных направлениях в кюветах с рабочей средой, особенно, в условиях конвективного потока.

В работе предполагается, что частицы кремния и алмаза имели сферическую форму, но скорее всего, присутствовала заметная доля частиц эллипсоидальной формы, анизотропное влияние которых на результаты измерений необходимо было учесть или доказать их ничтожное влияние.

К сожалению, почти во всех главах присутствует значительное количество опечаток, описок и неточностей, что затрудняет чтение диссертации.

Тем не менее, указанные недостатки не снижают общего благоприятного впечатления о диссертационной работе от её высокого научного уровня.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Достоверность результатов диссертационной работы Бурханова И.С. подкреплена согласованностью полученных экспериментальных данных с теоретическими расчетами и оценками других авторов, полученными в рамках независимых альтернативных подходов. Основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в ведущих научных журналах и представлены автором лично на 9 международных и российских конференциях, что также подтверждает достоверность и обоснованность результатов.

Диссертация достаточно хорошо оформлена и написана ясным и четким языком. Схемы и рисунки прекрасно иллюстрируют изложенный материал. Автор продемонстрировал высокий уровень экспериментальной культуры и умение излагать свои мысли.

Представленная работа носит самостоятельный законченный характер и вносит важный вклад в понимание процессов вынужденного концентрационного рассеяния света на частицах в жидкости, а также открывает возможность дальнейших экспериментов с вынужденным концентрационным рассеянием света.

В диссертации Бурханова И.С. сформулированы и обоснованы научные положения, совокупность которых можно определить как решение важной задачи в области методов наблюдения и регистрации вынужденного концентрационного рассеяния света на частицах в жидкостях.

Считаю, что диссертационная работа «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях» удовлетворяет требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а сам Бурханов Илья Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Официальный оппонент:

д. ф.-м. н. Шипилов Константин Федорович, исполняющий обязанности ведущего научного сотрудника Научного центра волновых исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (НЦВИ ИОФ РАН); 119991, Москва, ул. Вавилова, 38;  
тел: +7(499)5038250;  
e-mail: [kfship@kapella.gpi.ru](mailto:kfship@kapella.gpi.ru)

*Шипилов*

/Шипилов Константин Федорович/

Подпись заверяю  
заместитель заведующего отделом  
НЦВИ ИОФ РАН  
А.В. Свиридова

*22.08.2017*



Список основных научных публикаций исполняющего обязанности ведущего научного сотрудника Научного центра волновых исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (НЦВИ ИОФ РАН) доктора физико-математических наук Шипилова Константина Федоровича по теме диссертации Бурханова Ильи Сергеевича «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

1. V.I. Golovanov, D.M. Mazo, A.P. Martynov and K.F. Shipilov / Dielectric photonic crystal with near-zero effective refractive index in the microwave range / Physics of wave phenomena, 2016, V.24, №4, P.1-4.
2. V.I. Golovanov, K.F. Shipilov // Measurement of frequency dependence of refractive index and guided propagation in metamaterial // Physics of wave phenomena. 2014. V.22. N.4. P. 273–276.
3. E.A. Vinogradov, N.V. Suyazov, K. F. Shipilov // Acoustic Cloaking by the Wave Flow Method // Physics of wave phenomena 2014. V. 22, N 1, P. 36-45.
4. Е.А. Виноградов, В.А. Бабинцев, В.Г. Веселаго, В.И. Голованов, К.Ф. Шипилов // О сверхразрешении плоских линз на основе фононных и фотонных кристаллов // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2012. №8. С.3 – 10.
5. Е.А. Виноградов, Н.В. Суязов, К.Ф. Шипилов // Дисперсия и отрицательное преломление акустических волн в гетерогенных средах // Труды ИОФАН., Т. 69, «Исследование взаимодействия оптического и акустического излучения с жидкими средами». отв. ред. К.Ф. Шипилов, М. Наука, 2013, 206 с. с. 126-147.