



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44  
E-mail: bauman@bstu.ru  
ОГРН 1027739051779  
ИНН 7701002520 КПП 770101001

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## «УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)



Доктор технических наук, профессор  
В.Н. Зимин  
2017 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Бурханова Ильи Сергеевича «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Диссертационная работа соискателя Бурханова Ильи Сергеевича посвящена исследованию нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях, наблюдению вынужденного концентрационного рассеяния света (ВКоС) на этих частицах и изучению спектрального сдвига ВКоС в стоксову и антистоксову сторону в условиях потока.

В работе экспериментально обнаружен нелинейный (вынужденный) режим концентрационного рассеяния света на частицах в жидкости. ВКоС на частицах ранее не было зафиксировано, поэтому его экспериментальное наблюдение согласуется с физической картиной, свойственной другим типам рассеяния. В связи с развитием производства новых композиционных материалов и использования сложных взвесей и эмульсий возникает необходимость исследования рассеяния с малыми спектральными сдвигами в различных условиях, и поэтому актуальна разработка новой методики исследования малых сдвигов вынужденного рассеяния и нового метода

определения направления спектрального сдвига с помощью корреляционной спектроскопии в условиях потока. Эта работа определяет также пределы применимости приборов, которые используют метод динамического рассеяния света (ДРС) для определения размеров частиц, так как при щуповых измерениях рассеяния назад наличие ВКоРС существенно изменяет измеряемый размер частиц. Эти факторы определяют актуальность работы И.С. Бурханова.

Структура диссертационной работы Бурханова И.С. – Введение, три Главы, Заключение, Приложение и Список литературы. Объем диссертации составляет 130 страниц. В работе 67 рисунков и 4 таблицы и список цитируемой литературы из 79 наименований.

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, формулируется цель и задачи работы. Обсуждается научная новизна, научная, методическая и практическая значимость работы. Представлены положения, выносимые на защиту и сведения об апробации работы.

Первая глава представляет собой достаточно подробный обзор имеющейся литературы по теме диссертации. Обозначены основные признаки появления вынужденного рассеяния: экспоненциальный рост интенсивности и характерный частотный сдвиг спектральной линии рассеяния. Показано, что от радиуса частиц должно зависеть направление спектрального сдвига линии ВКоРС на частицах в жидкости.

Вторая глава посвящена описанию методики корреляционной спектроскопии и установок как для экспериментального наблюдения вынужденного рассеяния света, так и для измерения его интенсивности. Описан процесс подготовки образцов и их характеристики. Объясняется методика определения величины частотного сдвига линии ВКоРС на частицах в жидкости и его направления при рассеянии в потоке жидкости. Приведены теоретические оценки для затягивающей силы и условия возникновения ВКоРС. Оценены коэффициенты усиления  $g$  для ВКоРС на частицах определенных размеров и концентраций в жидкости, использованных в эксперименте. Описаны дополнительные измерения линейности ФЭУ. Представлены оценки порога вынужденного концентрационного рассеяния света на субмикронных частицах в жидкости и дифракционной эффективности Брэгговской решетки концентрации частиц.

Третья глава диссертация полностью посвящена экспериментальным результатам. Представлены корреляционные функции рассеянного света для наночастиц кремния в масле, на которых впервые была обнаружена

нелинейность. Получены корреляционные функции на частцах алмаза, по которым определена величина спектрального сдвига ВКоРС. Измерены коэффициенты усиления ВКоРС. Для образцов частиц латекса в воде также измерены коэффициенты усиления ВКоРС. Определены величины и направления спектральных сдвигов ВКоРС для частиц латекса трех размеров в воде в условиях потока жидкости. Проведены дополнительные измерения с добавлением оптической связки в оптическую схему для исключения взаимовлияния рассеяния и модовой структуры лазера. Получено ВКоРС на частцах латекса в поперечном резонаторе.

В заключении сформулированы основные научные результаты диссертационной работы. Наиболее интересными нам представляются разработка и создание оптической схемы для определения величины и направления спектрального сдвига линии вынужденного рассеяния методом корреляционной спектроскопии и экспериментальное обнаружение как стоксова, так и антистоксова сдвига частоты вынужденного рассеяния при разных размерах частиц. Отметим, что эти сдвиги близки к полуширине линии спонтанного концентрационного рассеяния, что соответствует теоретическим предсказаниям для ВКоРС. Таким образом, в работе И.С. Бурханова показан переход процесса рассеяния света на флюктуациях концентрации частиц в жидкости в вынужденный режим.

Результаты исследований И.С. Бурханова представляют несомненный научный и практический интерес. Известно, что у каждого вида спонтанного рассеяния должен быть свой вынужденный аналог. В работе И.С. Бурханова впервые экспериментально доказано, что такой вынужденный аналог имеется и у концентрационного рассеяния на частцах в жидкости. Спектральный сдвиг линии вынужденного концентрационного рассеяния примерно равен полуширине спектральной линии спонтанного концентрационного рассеяния, как и для вынужденного температурного рассеяния и вынужденного рассеяния крыла линии Рэлея. Все это вместе является новыми результатами и может быть основой для формирования упорядоченных систем из частца в жидкости, что может иметь применение в различных областях науки. Полученные результаты рекомендуются к использованию в следующих организациях: ФГУП «ВНИИОФИ», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Институте общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (МГУ), Московском Государственном Техническом Университете имени Н. Э. Баумана.

Результаты работы прошли апробацию на 9 российских и международных конференциях и опубликованы в 5 статьях в ведущих научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Достоверность и обоснованность результатов определяется не только согласованностью теоретических предсказаний с экспериментальными данными, но и воспроизводимостью экспериментальных результатов измерений для различных частиц различных размеров на различных экспериментальных оптических схемах. Все полученные данные подтверждены публикациями в ведущих рецензируемых оптических научных журналах.

В работе, однако, имеются некоторые недостатки и нерешенные вопросы.

1. В работе использовался непрерывный лазер мощностью 50 мВт. Представляется, что использование более мощного источника могло бы дать больше информации об исследуемых процессах. Почему не использовался более мощный лазер?
2. Наиболее интересные результаты, в частности определение направления частотного сдвига, получены в световодных схемах. Однако, кроме диаметра сердечника, другие данные световодов не указаны. Были ли это одномодовые или многомодовые световоды?
3. Автор приводит точную формулу (2.12.7) для описания формы корреляционной функции интенсивности рассеянного света при наличии ВКоС, однако для аппроксимации полученных в эксперименте функций использует упрощенную формулу (2.12.8). Как это влияет на точность подгонки и полученных значений частотных сдвигов?

Приведенные замечания не носят принципиальный характер, не снижают высокой научной ценности представленной работы, не влияют на достоверность и значимости полученных результатов и выводов.

Автореферат полностью соответствует содержанию и результатам диссертации.

Диссертационная работа «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях» Бурханова Ильи Сергеевича является законченным научным исследованием, по своей тематике полностью соответствует заявленной специальности и удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор Бурханов Илья

Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Выступление И.С. Бурханова по материалам кандидатской диссертации на семинаре кафедры ФН-4 состоялось 30 августа 2017 г.

Отзыв утвержден на заседании кафедры ФН-4 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) от 30 августа 2017 г., протокол № 1.

Доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры ФН-4  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул.,  
д. 5, стр. 1  
Телефон: +7 (499) 263-63-91  
e-mail: nbunkin@kapella.gpi.ru



Николай Федорович Бункин

Доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
ФН-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул.,  
д. 5, стр. 1  
Телефон: +7 (499) 263-63-91  
e-mail: amor59@mail.ru



Андрей Николаевич Морозов

Список основных научных публикаций ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) 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. Н.Ф. Бункин, В.С. Горелик, В.А. Козлов, Н.В. Суязов, А.В. Шкирин, Исследование фазовых состояний воды вблизи поверхности полимерной мембранны. Эксперименты по фазовой микроскопии и люминесцентной спектроскопии, ЖЭТФ, 146, №5, 1051-1062, 2014.
2. N.F. Bunkin, A.V. Shkirin, V.A. Kozlov, Cluster Structure of Dissolved Gas Nanobubbles in Ionic Aqueous Solutions, J. Chem. Eng. Data., 57, №10, 2823, 2012.
3. N.F. Bunkin, A.V. Shkirin, N.V. Suyazov, A.V. Starosvetskiy, Calculations of light scattering matrices for stochastic ensembles of nanosphere clusters, J. of Quant. Spectr. and Rad. Trans., V. 123, P. 23-29, 2013.
4. N.F. Bunkin, V.S. Gorelik, V.A. Kozlov, A.V. Shkirin, N.V. Suyazov Colloidal Crystal Formation at the "Nafion-Water" Interface, J. Phys. Chem. B, 118, 3372-3377, 2014.
5. N.F. Bunkin, A.V. Shkirin, N.V. Suyazov, V.A. Babenko, A.A. Sychev, N.V. Penkov, K.N. Belosludtsev, S.V. Gudkov, Formation and Dynamics of Ion-Stabilized Gas Nanobubble Phase in the Bulk of Aqueous NaCL Solutions, J. Phys. Chem. B, 120, №7, 1291-1303, 2016.
6. S.O. Yurchenko, A.V. Shkirin, B.W. Ninham, A.A. Sychev, V.A. Babenko, N.V. Penkov, N.P. Kryuchkov, N.F. Bunkin, Ion-Specific and Thermal Effects in the Stabilization of the Gas Nanobubble Phase in Bulk Aqueous Electrolyte Solutions, Langmuir, 32, 11245-11255, 2016.
7. N.F. Bunkin, A.V. Shkirin, G.A. Lyakhov Droplet-like heterogeneity of aqueous tetrahydrofuran solutions at the submicrometer scale, J. Chem. Phys, 145, 18501, 2016.