

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сергея Юрьевича Никитина «Рассеяние лазерного излучения в однородных газовых и в жидких дисперсных средах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.21 – Лазерная физика и 03.01.02 – Биофизика.

Диссертация С. Ю. Никитина посвящена теории линейных и нелинейных оптических процессов, связанных с генерацией лазерного излучения и диагностикой вещества, включая живую материю. В диссертационной работе представлены результаты исследования обратного вынужденного комбинационного рассеяния и нестационарного когерентного антистоксова рассеяния света в газах, а также рассеяния лазерного излучения в жидкой дисперсной среде. Одним из основных направлений современной оптики является изучение закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения со средой. Целями этих исследований являются, как поиск способов управления параметрами электромагнитного излучения, так и определения характеристик вещества по анализу рассеянного в нём излучения. Таким образом, тема диссертационной работы С. Ю. Никитина является весьма актуальной, как с общенаучной, так и с практической точек зрения.

Основное содержание диссертации изложено во введении и семи главах. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, показаны новизна и практическая значимость работы. Приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первые две главы диссертации посвящены процессу обратного вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в газах. В этой области автором диссертации теоретически решена сложная задача о нелинейном взаимодействии четырех связанных волн – накачки, стоксовой, антистоксовой и обратной стоксовой компонент ВКР. Полученное решение позволило сформулировать условия существования режима стационарного обратного ВКР, при котором волна накачки рассеивается преимущественно назад, а попутное рассеяние не возникает. Важной особенностью этого режима рассеяния является то, что при нем отсутствует каскадная генерация стоксовых компонент ВКР различных порядков. Это позволяет значительно повысить эффективность генерации первой стоксовой компоненты ВКР. Другая особенность данного режима состоит в том, что преобразователь лазерного излучения на основе обратного ВКР оказывается весьма компактным, что, несомненно, является важным достоинством. Экспериментальные исследования процесса обратного ВКР, проведенные в

разных лабораториях, как в России, так и за рубежом, подтвердили предсказания теории. Режим обратного ВКР был обнаружен в газах (водород, дейтерий, метан), а также в кристаллах (кальцит, нитрат бария). На основе процесса обратного ВКР в Институте Физики Академии Наук Беларуси в Минске был создан компактный комбинационный лазер на обратном ВКР в водороде, обладающей рекордно высокой эффективностью (96% по квантам). В диссертации С. Ю. Никитина проведен глубокий теоретический анализ процесса обратного ВКР в газах. Исследовано влияние на этот процесс таких факторов энергия, длительность и форма импульса накачки, длина волны и ширина спектра накачки, давление газообразной среды и условия фокусировки накачки. Результаты сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными. Благодаря проведенным исследованиям достигнуто ясное понимание механизма обратного ВКР в газах. Полученные знания можно использовать для проектирования и создания высокоэффективных компактных комбинационных лазеров на обратном ВКР в газах.

Третья глава диссертации С. Ю. Никитина посвящена теории нестационарного когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) в газах. Данный процесс представляет собой новый метод диагностики газовых сред, основанный на применении сверхкоротких лазерных импульсов. С помощью процесса нестационарного КАРС можно проводить сверхбыстрые измерения параметров газообразной среды. Однако для практической реализации этой возможности нужны адекватные теоретические модели, которые связывали бы параметры газообразной среды и характеристики импульсного отклика. В диссертации С. Ю. Никитина развита одна из таких моделей. Автор диссертации детально изучен вопрос о том, как влияет на процесс нестационарного КАРС тепловое движение молекул газа. Получено выражение импульсного отклика газообразной среды через корреляционную функцию тепловой скорости молекулы газа. На основе законов классической механики и статистики проведен расчет этой корреляционной функции. Показано, что в ударном приближении эта функция является экспоненциальной, а время корреляции тепловой скорости втрое превышает среднее время свободного пробега молекулы газа. Этот результат позволил автору предложить новые алгоритмы измерения параметров газообразной среды, таких как газокинетический диаметр молекулы, концентрация молекул и давление газа. Численные оценки, сделанные автором для молекулярного водорода, позволяют сделать вывод о достоверности полученных данных. Результаты этой части диссертационной работы С. Ю. Никитина, несомненно, вносят весомый вклад в теорию нестационарного

КАРС в газах, а также в классическую статистическую механику газообразных сред. Достоверность результатов автора подтверждается экспериментальными данными, полученными с водородом, азотом, аммиаком и другими газами.

Четвертая и пятая главы диссертации С. Ю. Никитина посвящены теории рассеяния лазерного излучения в жидкой дисперсной среде, представляющей собой суспензию красных клеток крови. Автором ставится задача измерения статистических характеристик деформируемости эритроцитов на основе метода лазерной дифрактометрии красных клеток крови в сдвиговом потоке (эктацитометрии). Способность эритроцитов изменять свою форму под действием внешних сил (деформируемость) представляет собой один из важных реологических параметров крови. Этот параметр существенно влияет на микроциркуляцию крови в органах и тканях человеческого организма, а потому имеет прямое отношение к диагностике и лечению многих заболеваний, в том числе таких широко распространенных заболеваний как ишемические заболевания и сахарный диабет. Автором диссертации проведен теоретический анализ рассеяния лазерного пучка на ансамбле частиц, моделирующих красные клетки крови в сдвиговом потоке лазерного эктацитометра.

Шестая глава содержит описание новых алгоритмов измерения популяционных характеристик эритроцитов на основе анализа данных лазерной дифрактометрии эритроцитов в сдвиговом потоке. Это такие характеристики как средняя деформируемость эритроцитов, дисперсия деформируемости и коэффициент асимметрии распределения эритроцитов по деформируемости. Новые алгоритмы позволяют оценивать параметры распределения клеток крови по деформируемости, а именно, среднюю деформируемость, дисперсию деформируемости и асимметрию распределения эритроцитов по деформируемости.

В седьмой главе диссертации для расчетов рассеяния лазерного пучка эритроцитами и их агрегатами предложено новое приближение, названное лучеволновым приближением. В этом приближении падающее излучение и свет внутри частицы рассматриваются как набор лучей, а свет за ее пределами как набор сферических волн, испускаемых отдельными элементами поверхности частицы. Показано, что лучеволновое приближение соизмеримо по точности с дискретно-дипольным приближением, но существенно превосходит последнее по скорости счета для частиц с волновым параметром размера более 50.

Полученные в диссертационной работе Никитина Сергея Юрьевича научные результаты представляются достаточно хорошо обоснованными и вполне достоверными.

Из недостатков отметим недостаточно подробное сравнение полученных автором результатов с имеющимися в научной литературе данными соответствующих экспериментов. Так, в первой главе диссертации, в которой развита модель квазистационарного обратного вынужденного комбинационного рассеяния лазерного излучения в сжатом водороде, учитывающая сильную перекачку энергии в обратную стоковую компоненту и фокусировку пучка накачки, при сравнении модельных результатов с экспериментальными (*Laser Physics*, 1993, v. 3, N 1, p. 131-139) указывается, что «представленная здесь теоретическая модель в области небольшой эффективности преобразования правильно передает зависимость эффективности обратного ВКР в водороде от длины волны и спектральной ширины накачки». Желательно было бы определить эту область, а также уточнить, что происходит с моделью при выходе из этой области. В четвертой главе хотелось бы видеть более подробное описание преимуществ, развиваемого автором метода лазерной дифрактометрии для измерения статистических характеристик неоднородных ансамблей эритроцитов, по сравнению с методом скоростной фотографии эритроцитов в сдвиговом потоке и с методом лазерного пинцета. Из технических недостатков следует отметить невысокое качество некоторых рисунков (например: Рис. 2.2.3, Рис. 3.2.1), что несколько затрудняет чтение текста.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертации.

В целом диссертация С. Ю. Никитина выполнена на высоком научном уровне. Она вносит весомый вклад в такие области науки как теория обратного вынужденного комбинационного рассеяния света в газах, теория нестационарного когерентного рассеяния света в газах, классическая статистическая механика газообразной среды и теория рассеяния лазерного излучения на неоднородных ансамблях клеток крови. Результаты диссертации хорошо известны научной общественности, являясь новыми и хорошо апробированными. Они доложены автором на авторитетных международных и национальных научных конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах.

Полученные в данной диссертации научные результаты, связанные с исследованиями обратного вынужденного комбинационного рассеяния и нестационарного когерентного антистоксова рассеяния света в газах, а также рассеяния лазерного пучка в жидкой дисперсной среде представляют

большой интерес для многих научных учреждений, работающих в этой области: ФИАН, ИОФРАН, ФТИ РАН и др.

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

Таким образом, диссертационная работа Никитина Сергея Юрьевича удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, в частности, требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а её автор, Никитин Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.21 – Лазерная физика и 03.01.02 – Биофизика.

Заведующий лабораторией когерентной оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, доктор физико-математических наук

"25" декабря 2015 г.

Н.В. Чернега

Подпись Н.В. Чернеги заверяю

И.о. Ученого секретаря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
кандидат физико-математических наук

М.М. Цвентух



Список основных статей официального оппонента Чернеги Н.В. по теме диссертации за 5 лет.

1. Чернега Н.В., Самойлович М.И., Белянин А.Ф., Кудрявцева А.Д., Клещева С.М. Генерация электромагнитного и акустического излучений в наноструктурированных системах // Нано- и микросистемная техника. 2011. № 4. С. 21–31.
2. Н.В.Чернега, М.И.Самойлович, А.Д.Кудрявцева, А.Ф.Белянин, П.В.Пашенко, Н.Н.Дзбановский, «Нелинейно-оптические и акустические свойства тонких пленок», Неорганические материалы, 2011, Т. 47, № 9, С. 1-6.
3. V.S.Gorelik, A.D.Kudryavtseva, V.A.Orlovich, M.V.Tareeva, N.V.Tcherniega, and A.I.Vodchits, "Stimulated Raman scattering of light in artificial opal filled by water", Journal of Russian Laser Research, 2011, V.32, No 3, P. 129-138.
4. Н.В.Чернега, А.Д.Кудрявцева, М.И.Самойлович, А.С.Шевчук, С.М.Клещева, "Вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние света в наноструктурах", Автометрия, Т. 48, № 3, С. 39-45, 2012.
5. A.D. Kudryavtseva, N.V. Tcherniega, M.I. Samoylovich, A.S. Shevchuk, "Photon-Phonon Interaction in Nanostructured Systems", Journal of Thermophysics, 2012, Volume 33, Issue 10 (2012), Page 2194-2202
6. N. V. Tcherniega, A. D. Kudryavtseva, A. S. Shevchuk, I. S. Burkhanov, S. V. Krivokhizha, L. L. Chaikov, V. V. Savranskiy, D.Yu. Korobov, "Effective acousto-optical interaction in suspensions of nanodiamond particles", Journal of Russian Laser Research, №5, 2012, стр. 496-502.
7. N.V.Tcherniega, K.I.Zemskov, V.V.Savranskii, A.D.Kudryavtseva, A.Yu.Olenin, and G.V.Lisichkin, "Experimental observation of stimulated low frequency Raman scattering in water suspensions of silver and gold nanoparticles", Optics Letters, V. 38, N 6, March 15, 2013, P. 824-826
8. V.S. Gorelik, A.D. Kudryavtzeva, N.V. Tcherniega, A.I. Vodchits, V.A. Orlovich A method for reducing the stimulated Raman scattering threshold in liquids embedded into photonic crystals, Journal of Russian Laser Research , v.34, N1, 2013, pp 1-9,
9. V.S. Gorelik, A.D. Kudryavtzeva, V.A. Orlovich, P.P. Sverbil, N.V. Tcherniega, A.I. Vodchits, Yu.P. Voinov, L.I. Zlobina Raman Scattering in Light and Heavy Waters, Journal of Russian Laser Research , v.34, N6, pp 523-530, 2013
10. Mikhail V. Vasnetsov, Tatiana N. Orlova, Vladimir Yu. Bazhenov, Aleksey V. Shevchuk, Anna D. Kudryavtseva, Nikolay V. Tcherniega, «Photonic bandgap examination in an immersed synthetic opal», Appl. Phys. B, Lasers and Optics, Appl. Phys. B, 2014, 116, pp 541–548
11. Я. Альмохамед, Р. Бариль, А.И. Водчиц, Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, А.Д. Кудрявцева, В.А. Орлович, Н.В. Чернега, «Понижение порога вынужденного комбинационного рассеяния света в комбинационно-

вынужденного комбинационного рассеяния света в комбинационно-активных средах, введённых в поры глобулярного фотонного кристалла», Письма в ЖЭТФ, Т. 101, С. 399-404, 2015.

12. M. V. Vasnetsov, V. Yu. Bazhenov, I. N. Dmitruk, V. I. Stiopkin, A. D. Kudryavtseva, N. V. Tcherniega, "Luminescence response of synthetic opal under femtosecond laser pumping", Journal of Luminescence, V. 166, 233-237, 2015, Volume 166, October 2015, P. 233-237 doi:10.1016/j.jlumin.2015.05.035.

13. Н. Ehrlich, А. Kudryavtseva, G. Lisichkin, V. Savranskii, N. Tcherniega, K. Zemskov, M. Zhilenko, "Frozen ZnS aqueous suspension nonlinear optical properties", Int. Journal of Thermophysics, 2015, published online: 04 September 2015, DOI 10.1007/s10765-015-1972-6, V. 36, No 10-11, 2784- 2791, 2015.

Заведующий лабораторией когерентной оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, доктор физико-математических наук

"25" декабря 2015 г.

Н.В. Чернега

Подпись Н.В. Чернеги заверяю

И.о. Ученого секретаря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
кандидат физико-математических наук

М.М. Цвентух

