

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Никитина Сергея Юрьевича
«РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОДНОРОДНЫХ ГАЗОВЫХ И
В ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальностям
01.04.21 – Лазерная физика и 03.01.02 -Биофизика.

Диссертационная работа С.Ю.Никитина посвящена теоретическому исследованию ряда актуальных задач лазерной физики и биофизики, связанных с рассеянием лазерного излучения в однородных газовых средах и в жидкой дисперсной среде, представляющей собой суспензию красных клеток крови. Для решения этих задач были построены и разработаны аналитические модели и приближения, найдены новые соотношения, предложены новые алгоритмы обработки данных.

Структурно диссертационная работа чётко разделяется на две независимые части – исследование обратного вынужденного комбинационного рассеяния и нестационарного антистоксова рассеяния лазерного излучения в газах и исследование рассеяния лазерного пучка на суспензии эритроцитов в сдвиговом потоке. Обе части представляют собой весьма актуальные направления современной нелинейной оптики, лазерной физики и биофизики.

Первая часть работы посвящена проблеме преобразования лазерного излучения на основе процесса вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) света в газах, обладающих высокой комбинационной нелинейностью, примерами которых являются, например, метан, дейтерий, а также водород, анализируемый в работе. В диссертационной работе решается задача детального теоретического исследования режима обратного ВКР, когда стоксова компонента рассеяния распространяется навстречу пучку накачки. Этот режим рассеяния отличается высокой эффективностью преобразования лазерного излучения в излучение первой стоксовой компоненты и компактностью ВКР преобразователя. В связи с этим весьма важной и актуальной задачей является нахождение оптимальных значений основных параметров преобразователя, таких как длина волны и энергия импульса накачки, давление используемой газообразной среды, условия фокусировки лазерного излучения. Эта задача была решена в диссертации. Как следует из текста диссертации, полученные результаты демонстрируют хорошее согласие с экспериментальными данными по ВКР в водороде.

Продолжая исследования комбинационного рассеяния лазерного излучения в газах, в работе рассматривается проблема сверхбыстрых измерений параметров газообразных сред на основе процесса нестационарного когерентного антистоксова рассеяния (КАРС). Как отмечено в диссертации, использование сверхкоротких лазерных импульсов и фокусировка лазерного излучения дают возможность изучать физические процессы на очень малых временных и пространственных масштабах. Так, методом нестационарного КАРС можно исследовать процесс диффузии в газах на временах, когда смещение молекулы за счет теплового движения имеет порядок длины световой волны. При комнатной температуре это время составляет около одной наносекунды. С практической точки зрения важным является вопрос о том, какие параметры газа и каким образом можно измерять с помощью процесса нестационарного КАРС. В диссертационной работе С.Ю. Никитиным теоретически вычислена корреляционная функция тепловой скорости молекулы газа, что позволило связать измеряемое в экспериментах по нестационарному КАРС время корреляции тепловой скорости молекулы с другими параметрами, такими как газокинетический диаметр молекулы, температура и давление газа. Результаты, полученные С.Ю.Никитиным в этой части работы, существенно расширяют функциональные возможности процесса нестационарного КАРС как метода быстрой бесконтактной диагностики газообразных сред.

Вторая часть диссертационной работы посвящена проблеме измерения деформируемости красных клеток крови. Основными измеряемыми величинами, на основе которых строятся теоретические модели, являются популяционные характеристики эритроцитов, такие как среднее значение и дисперсия деформируемости эритроцитов, а также функция распределения клеток крови по деформируемости. В работе отмечается, что деформируемость эритроцитов является одним из основных параметров, определяющих характер микроциркуляции крови в органах и тканях человеческого организма, потому разработка и совершенствование методов измерения этого параметра имеет первостепенное значение для диагностики и лечения многих заболеваний, что ещё раз подтверждает высокую степень актуальности диссертационного исследования.

В настоящее время одним из основных методов измерения деформируемости эритроцитов является лазерная дифрактометрия клеток крови в сдвиговом потоке (эктацитометрия). В диссертации представлена детальная теория рассеяния лазерного пучка клетками крови, находящимися в сдвиговом потоке и деформированными силами вязкого трения. На основе

этой теории С.Ю.Никитиным предложены новые алгоритмы измерения статистических характеристик деформируемости эритроцитов, в том числе алгоритмы измерения ширины и асимметрии распределения эритроцитов по деформируемости. Экспериментальная проверка этих алгоритмов показала, что они обеспечивают точность измерений, достаточную для практических приложений, о чём говорится в диссертации.

К основным научным достижениям диссертационной работы, новизна которых не вызывает сомнений, относятся следующие:

- впервые была построена динамическая модель обратного вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) лазерного излучения в сжатом водороде,
- впервые на основе предложенной в диссертации корреляционной функции молекулы газообразной среды описано влияние теплового движения молекул на процесс нестационарного когерентного антистоксова рассеяния (КАРС) в газах;
- разработана аналитическая модель рассеяния лазерного пучка на ансамбле эритроцитов, деформированных в сдвиговом потоке;
- предложены новые алгоритмы обработки данных в лазерной дифрактометрии и новое лучеволновое приближение, позволяющее существенно повысить скорость счёта частиц.

Практическая значимость результатов представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- режим обратного ВКР перспективен для создания эффективных компактных комбинационных газовых лазеров;
- процесс нестационарного КАРС дает возможность сверхбыстрых бесконтактных измерений концентрации молекул и давления газа;
- лазерная эктацитометрия эритроцитов позволяет измерять статистические характеристики деформируемости клеток крови, в частности ширину и асимметрию распределения эритроцитов по деформируемости.

Оценивая диссертацию в целом, можно отметить ее высокий научный уровень, широкий круг и разнообразие решаемых научных задач, причём в рамках одной работы удалось рассмотреть совершенно различные проявления рассеяния лазерного излучения, начиная с микроскопических объектов (атомов, молекул) и их квантовомеханического описания в случае ВКР и КАРС, более укрупнённого рассмотрения процесса рассеяния на уровне кинетики молекул и механики газообразной среды, и, наконец,

макроскопического описания на уровне рассеяния Ми и моделирования динамики клеток крови. Такое объединение представляет собой весьма интересный с методической точки зрения опыт, когда в столь разнообразных объектах и типах рассеяния можно вычленишь некоторые общие особенности и закономерности. Построенные С.Ю.Никитиным приближенные аналитические модели сложных физических процессов, таких как обратное ВКР и нестационарное КАРС в газах, а также рассеяние лазерного пучка на неоднородном ансамбле эритроцитов в лазерном эктацитометре могут служить основой для выработки некоего универсального взгляда на процесс рассеяния лазерного излучения в газообразных и жидких средах, что, возможно, будет реализовано в будущем.

Выполненные автором исследования, несомненно, актуальны. Полученные результаты, как уже было сказано, имеют практическое значение.

Достоверность полученных данных, как следует из текста работы, подтверждается численными оценками и прямым сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными.

Содержание диссертационной работы полностью соответствует специальностям 01.04.21 – лазерная физика и 03.01.02 – биофизика.

Вместе с тем, по содержанию и оформлению диссертационной работы и автореферата имеются следующие замечания:

1. Как уже было сказано, диссертационная работа чётко разделяется на две части: исследование вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) и нестационарного когерентного антистоксова рассеяния (КАРС) лазерного излучения в газах, и исследование рассеяния лазерного пучка на суспензии эритроцитов в сдвиговом потоке. К сожалению, из текста диссертации не совсем понятно, каким образом ВКР и КАРС могут быть связаны с рассеянием света на эритроцитах. Создаётся впечатление двух абсолютно независимых друг от друга работ, хотя можно было бы методически их объединить на основе единого подхода к рассеянию лазерного излучения с постепенным укрупнением рассматриваемых объектов, начиная с микроскопических объектов (атомов, молекул) и их квантовомеханического описания, описания на уровне кинетики молекул и механики газообразной среды и макроскопического описания на уровне моделирования динамики клеток крови.
2. Ни в тексте диссертации, ни в автореферате не конкретизированы методы исследования, а также личный вклад автора и средства

- обеспечения достоверности полученных результатов, что сильно затрудняет оценку представленной работы.
3. Формулировка защищаемого положения 4: «Существует определённое соотношение между дисперсией размеров эритроцитов и видностью дифракционной картины...» предполагает, что установлено некоторое соотношение между этими двумя параметрами, выражаемое функцией, или пропорцией, или иным формальным представлением, но в тексте диссертации и автореферата это соотношение не приводится. В этом случае более уместна была бы формулировка: «Видность дифракционной картины сильно зависит от дисперсии размеров эритроцитов», не обязывающая к конкретике.
 4. Из текста диссертации и автореферата неясна практическая значимость результатов по анализу дисперсии размеров эритроцитов и её связи с видностью дифракционной картины, проведённому в главе 5, а также новых алгоритмов обработки данных в лазерной дифрактометрии эритроцитов, предложенных в главе 6, и нового лучеволнового приближения, предложенного в главе 7.
 5. При рассмотрении динамики обратного вынужденного комбинационного рассеяния (глава 2 диссертации) указывается, что основные уравнения, описывающие этот процесс в общем случае и в различных режимах (система уравнений (2.2.3) на стр. 55, система (2.4.18) на стр. 76 и система (2.5.1) на стр. 83) решались численно. При этом не только не даётся описаний используемых численных методов, на основе которых решались эти системы уравнений, но и даже не указывается названий этих методов.
 6. Имеются некоторые небрежности при выполнении научных обзоров. В частности, в главе 3 приводится достаточно подробный обзор по нестационарному когерентному антистоксову рассеянию света в газах, но по каким-то причинам в этом обзоре диссертант постоянно упоминает и собственные работы, но в третьем лице. Обзор работ по ВКР, приведённый в главе 2, даёт до 1991 года – создаётся впечатление, что за последующие 25 лет в этой области больше ничего сделано не было. В обзоре к главе 4 в ссылке на метод лазерного пинцета (стр.118) необходимо было указать одну или несколько наиболее известных и значимых работ, касающихся этой технологии, а не ссылаться на свою собственную публикацию в трудах российской конференции.
 7. В некоторых выражениях не пояснён физический смысл параметров. Например, в выражении (3.2.14) на стр.103 не определён параметр Θ ,

- который фигурировал в формуле (3.1.3) и входит в выражение для импульсного отклика газообразной среды (3.2.22), являющееся основой для теоретических описаний раздела 3.6. В формуле (5.2.1) на стр.143 не пояснён параметр r_m , но подробно описывается параметр r , который отсутствует и в формуле (5.2.1), и в формуле (5.2.2), следующей из неё. Возможно, это опечатка, и в формуле (5.2.2) вместо ε должно быть r .
8. Из текста диссертации не совсем понятно, почему соотношение (3.4.9), определяющее, что время корреляции тепловой скорости молекулы в 3 раза превышает среднее время пробега молекулы, в дальнейшем позиционируется как основа связи корреляции тепловой скорости и молекулярных параметров (стр.116). Основываясь на формулировке защищаемого положения 2, очевидно, что основой всех расчётов являются выражения для корреляционной функции тепловой скорости молекул газа, формулы для которой ((3.1.6) и (3.1.7)) были предложены диссертантом в качестве двух альтернативных моделей (стр.94), но, к сожалению, вывод этих выражений в диссертации отсутствует.
 9. На стр.156 диссертации вводится параметр «скелетная линия», уравнение которой приводится в формуле (5.5.15), как указано в тексте работы. Но данная формула представляет собой не уравнение, а равенство или условие: $g=1$. Намного корректнее было бы в (5.5.15) дать само уравнение, образующееся от наложения этого условия на формулу (5.5.5), где, как и подобает в уравнениях кривых, присутствуют координаты x и y .
 10. В главах 4-7, посвящённых лазерной дифрактометрии, отсутствуют рисунки 6, 7, 8, 9, 10, 12, приведённые только в автореферате, что сильно обедняет текст работы и затрудняет её чтение.
 11. На рисунках, приводимых в главе 7, сравниваются результаты расчётов рассеяния света сферическими (рис.7.5.2, рис.7.11.1, рис.7.11.2), цилиндрическими (рис.7.10.1) и сфероидальными (рис.7.12.1, 7.12.2, 7.12.3) частицами в различных приближениях – теории Ми, приближении геометрической оптики, дискретно – дипольном приближении и лучеволновом приближении, предложенном диссертантом. Поскольку тип линий на каждой приводимой диаграмме рассеяния у всех кривых абсолютно идентичен, сравнение приближений крайне затруднительно для читателя и возможно только исходя из контекста работы.
 12. Не пронумерованы многие формулы в тексте диссертации. Например, 4 формулы, на основе которых контролировалась точность вычислений, на

стр. 56; 2 выражения – для скоростей молекул после удара и коррелятора скоростей молекулы - на стр. 107; 10 формул на стр.145 -149; 5 формул, касающихся решения уравнения для формы линии изоинтенсивности, на стр. 178. Кроме того, на стр.166 при отнесении к определённой нормированной интенсивности f отсутствует ссылка на формулу (5.6.1), где она определяется. Эта ссылка даётся только на стр. 168, что очень затрудняет понимание представленных на стр.166-168 теоретических выкладок, лежащих в основе алгоритма характеристической точки.

13. В тексте диссертации отсутствует заключение, где подводятся основные итоги работы и формулируются результаты и защищаемые положения.
14. Некорректно оформлен список литературы: имеется несоответствие правилам действующего ГОСТа, в ссылках на книги и монографии не указано общее количество страниц, в ссылках на многие статьи не указаны конечные страницы (см., например, №1, №2, №№12-15, №19, №28, №№36-38, №47, №№50-55 и другие позиции в списке литературы), в списке публикаций по теме диссертации почему-то указаны учебно-методические труды диссертанта: задачник по статистической радиофизике и оптике (№8 списка) и учебник по физической оптике (№54 списка).

Все вышеперечисленные недостатки относятся к оформлению работы и стилю подачи материала, и не влияют на основные научные результаты диссертационной работы, и, таким образом, не изменяют ее общей положительной оценки.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 104 печатных работах, в том числе 33 работы, опубликованные в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК РФ, 7 работ в зарубежных рецензируемых журналах, а также 22 работы в монографиях, тематических сборниках и сборниках трудов конференций.

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

Результаты работы прошли достаточную апробацию, о чём свидетельствует обсуждение результатов работы на многих крупных международных и всероссийских научных конференциях, симпозиумах и семинарах.

Таким образом, на основании анализа данных, приведённых в диссертации, можно заключить, что диссертационная работа Никитина Сергея Юрьевича по актуальности и новизне, научному уровню и

практической значимости полностью удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 20.09.2013 № 842) в части соискания учёной степени доктора наук и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, содержащие решение ряда крупных задач, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее существенное значение как в области нелинейной оптики и лазерной физики, так и в области лазерной дифрактометрии и биофизики клеток крови.

Автор работы, Никитин Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04.21 – Лазерная физика и 03.01.02 - Биофизика.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Информационная
Безопасность автоматизированных систем»
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»
доктор физ.-мат. наук

И. Л. Пластун

410054, г.Саратов, ул.Политехническая, 77,
Тел. (845-2) 99 88 04, e-mail: inna_pls@mail.ru

Подпись д.ф.-м.н. Пластун Инны Львовны заверяю:

Ученый секретарь Учёного Совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.
профессор, д.т.н.



П.Ю.Бочкарёв

25 декабря 2015г.