

## Отзыв официального оппонента

на диссертацию Гришина Михаила Ярославовича «Спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния нано- и пикосекундных лазерных импульсов в воде» представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

В условиях нарастания экологических проблем, с которыми сталкивается человечество на современном этапе своего развития, большое значение приобретают методы дистанционного контроля параметров атмосферы и водных систем Земли. В этой связи диссертация Гришина Михаила Ярославовича, посвящённая применению комбинационного рассеяния света для дистанционного измерения параметров воды, несомненно, является актуальной. Одной из главных задач диссертации является задача бесконтактного измерения температуры воды на основе явления комбинационного рассеяния света. Эта задача относится к классу обратных задач рассеяния, когда на основе данных оптических измерений нужно восстановить те или иные параметры рассеивающей среды. Это трудная задача. В идеале её решение должно опираться на решение прямой задачи рассеяния, в которой требуется найти характеристики света, рассеянного средой, в условиях, когда все параметры рассеивающей среды известны. Итогом решения прямой задачи рассеяния являются математические соотношения между параметрами рассеянного света и характеристиками рассеивающей среды. Затем желательно найти приближения, при которых эти соотношения упрощаются настолько, что становится возможным решение обратной задачи рассеяния.

В данном случае такой подход реализовать не удастся из-за сложности и многообразия физических процессов, которые определяют характер комбинационного рассеяния света в воде. Как справедливо отмечает автор диссертации, в настоящее время ещё нет полного понимания спектров комбинационного рассеяния света в воде. На качественном уровне широкий спектр комбинационного рассеяния света в воде объясняется тем, что молекулы воды сильно взаимодействуют друг с другом, объединяясь в комплексы, и это существенно влияет на внутримолекулярные колебания. Структура молекулярных комплексов воды зависит от температуры, давления и других условий. Это открывает возможность измерения ряда важных параметров воды на основе эффекта комбинационного рассеяния света.

В условиях, когда теоретический анализ затруднён, на первый план выходят экспериментальные исследования, которые позволяют установить связь характеристик рассеянного света с параметрами рассеивающей среды. Здесь первостепенную роль играют точность и надёжность измерений. В случае комбинационного рассеяния (КР) света дополнительную трудность создаёт слабость этого эффекта и необходимость

выделения полезного сигнала на фоне шумов различной природы. Автор диссертации успешно решает эту задачу. В диссертации описана аппаратура, используемая им для измерения спектров КР света в воде. Спектрометр включает в себя лазеры видимого диапазона, генерирующие наносекундные и пикосекундные импульсы высокой мощности, дифракционный спектрограф и детектор на базе охлаждаемой светочувствительной матрицы со стробируемым усилителем яркости. Полученные с помощью этой аппаратуры спектры КР света в воде отличаются высокой точностью, воспроизводимостью и относительно низким уровнем шумов.

Сравнение спектров, полученных при разных температурах, показывает, что тонкие особенности формы спектральной линии КР света чувствительны к небольшим изменениям температуры. Это позволяет использовать эффект комбинационного рассеяния света для бесконтактного измерения температуры воды. Точность этих измерений оказывается весьма высокой. Как отмечает автор диссертации, погрешность измерения температуры воды на основе анализа данных КР света статистически обоснованным в работе методом «взвешивания», или гравитационного центра ОН-полосы, не превышает двух десятых долей градуса в диапазоне изменения температуры от 10 до 98 градусов Цельсия. Этот результат находится на уровне лучших мировых достижений. Особый интерес вызывает обнаруженное автором постоянство коэффициента температурного сдвига центра ОН-полосы КР как для импульсов наносекундной (10 нс), так и пикосекундной (15 пс) длительности.

Немаловажное значение имеет и то, что сложная оптическая система собрана в виде компактного мобильного комплекса, который позволяет проводить измерения в условиях натурального эксперимента. В диссертации приведён отчёт об измерениях параметров воды в акватории Горьковского водохранилища в Нижегородской области. Измерения проводились с борта научно-исследовательского судна, когда поверхность воды находилась на расстоянии более двух метров от спектрометра. Измерения показали, что погрешность измерения температуры воды на основе анализа спектра комбинационного рассеяния не превышает одного градуса.

В диссертации М. Я. Гришина приведены данные о комбинационном рассеянии света в воде, подвергнутой сильному механическому воздействию со стороны гребного винта быстроходного судна. Опыты показали, что в результате такого воздействия спектр комбинационного рассеяния воды заметно меняется, причём это изменение сохраняется в течение нескольких часов. Еще один фактор, влияющий на спектр комбинационного рассеяния в воде, это давление. В диссертации Гришина показано, что перепады давления в мощной ультразвуковой волне заметно меняют спектр комбинационного рассеяния. Это

обстоятельство можно использовать для бесконтактных измерений параметров ультразвука в воде.

В заключительной главе диссертации исследован процесс вынужденного комбинационного рассеяния света в воде. Обнаружен эффект резкого снижения порога вынужденного комбинационного рассеяния при наведении фокуса лазерного пучка на поверхность воды. Автор диссертации связывает этот эффект с френелевским отражением рассеянного света от поверхности воды, в результате чего в системе возникает обратная связь, усиливающая эффект комбинационного рассеяния света. В экспериментах по вынужденному комбинационному рассеянию света в воде автором диссертации наблюдались конусные компоненты рассеяния на стоксовой и антистоксовой частотах, происхождение которых объясняется четырёхволновым параметрическим взаимодействием световых волн.

Отметим, что автору впервые удалось осуществить одновременную генерацию ВКР на двух КР-активных модах молекулярных комплексов в воде со сдвигами 3000 и 3450 обратных сантиметров внутри огибающей ОН-полосы без оптического пробоя. Вместе с результатами первой главы по температурной перестройке сдвига центра ОН-полосы, это открывает возможность генерации двух компонент ВКР с температурной перестройкой разностной частоты в окрестности 450 обратных сантиметров, что соответствует 13.5 терагерц.

Диссертационная работа в целом производит впечатление завершённого исследования, посвящённого актуальной проблеме оптики. Работа содержит постановку задачи, обзор литературы, описание экспериментальных установок, результаты измерений и выводы. Диссертация написана хорошим языком, хорошо проиллюстрирована. Результаты работы опубликованы в научных журналах и доложены автором на научных конференциях. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации:

1. На графиках интенсивность комбинационного рассеянного света представлена в относительных единицах, что не даёт возможности оценить абсолютную величину эффекта.
2. В работе не хватает численных оценок таких параметров, как энергия водородной связи молекул воды, сечение комбинационного рассеяния света на молекуле воды, удельный коэффициент усиления вынужденного комбинационного рассеяния света в воде, порог оптического пробоя воды.

Высказанные замечания не затрагивают основного содержания диссертации.

Диссертационная работа М. Я. Гришина по актуальности темы, новизне, надёжности и практической значимости полученных результатов удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 года, а её автор, Гришин Михаил Ярославович, заслуживает присвоения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук Никитин Сергей Юрьевич, доцент кафедры общей физики и волновых процессов Отделения радиофизики Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», 19991, Москва, Ленинские горы, д. 1.

С.Ю. Никитин

Телефон: 8-916-520-93-86

E-mail: sergeynikitin007@yandex.ru

Почтовый адрес: Московская область, г. Одинцово, ул. Говорова, д. 6, кв.120

17 декабря 2021 г.

Подпись С. Ю. Никитина удостоверяю:

Декан физического факультета МГУ

профессор



Н. Н. Сысоев