

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.125.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
МЕХАНИКИ ИМ. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.04.2023 № 8

О присуждении Галёву Роману Владимировичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование процессов поглощения и преобразования лазерного излучения в твердых и жидкокристаллических сплошных средах» по специальности 1.1.9. Механика жидкости газа и плазмы принята к защите 20 января 2023 г. (протокол заседания №5) диссертационным советом 24.1.125.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИТПМ СО РАН), ул. Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, утвержденным приказом Рособнадзора от 16.11.2007г. №2249-1603 и продлением срока полномочий приказом Минобрнауки России от 10.09.2009г. (№591925-1734), подтверждением полномочий от 11.04.2012г. (№105/нк) и изменениями от 08.06.2016 (№661/нк), от 3.08.2018г. (№59/нк) и от 12.09.2022 (№1215/нк).

Соискатель Галёв Роман Владимирович, 1977 года рождения, в 2013 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению подготовки 011200 ФИЗИКА, в 2016 году закончил аспирантуру ФГБУН ИТПМ СО РАН по направлению 01.02.05. Механика жидкости, газа и плазмы, работает младшим научным сотрудником в ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории «Вычислительной аэродинамики» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Кудрявцев Алексей Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории «Вычислительной аэродинамики» ФГБУН ИТПМ СО РАН.

Официальные оппоненты:

Жуков Владимир Петрович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории вычислительных технологий Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий;

Тищенко Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории энергетики мощных лазеров Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение ФИЦ КИЦ СО РАН**

в своем положительном отзыве, подписанном Зыряновым Виктором Яковлевичем, д.ф.-м.н., профессором, заведующим лабораторией молекулярной спектроскопии Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КИЦ СО РАН, указала, что «Результаты диссертации имеют научную ценность и обладают новизной. Диссертация представляет законченное исследование, выполненное на хорошем уровне и убедительно демонстрирует высокую квалификацию автора по указанной специальности».

Соискатель имеет 14 **опубликованных работ**, в том числе по теме диссертации — 14 работ, из них 7 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК. Все результаты, представленные в работах, получены автором или при его непосредственном участии. Наиболее значимые результаты диссертации изложены в публикациях:

1. Kovalev O.B., Galjov R.V. The application of Maxwell's equations for numerical simulation of processes during laser treatment of materials // J. Phys. D: Appl. Phys. 2015. Vol. 48. 305501.

2. Orishich A.M., Golyshev A.A., Shulyatyev V.B., Galev R.V., Kudryavtsev A.N. Beam polarization effect on the surface quality during steel cutting by CO2 laser // Journal of Laser Applications. 2018. Vol. 30, No. 1. 012006. 7 p.

3. Галев Р.В., Кудрявцев А.Н., Трашкеев С.И. Численное моделирование взаимодействия лазерного излучения с дисклинациями в нематическом жидком кристалле // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики - 2015: тезисы Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука (Россия, Новосибирск, 19 - 23 окт. 2015 г.). Новосибирск, 2015. С. 126 — 127.

В [1] впервые применен численный метод FDTD для задач лазерной обработки материалов. В [2] численно подтверждена гипотеза о том, что боковая стенка реза при лазерной резке в случае поляризации пучка перпендикулярно направлению резки поглощает больше энергии лазерного излучения, чем в случае направления пучка вдоль направления резки. В [3] описаны результаты моделирования задач, связанных с созданием миниатюрной системы управления параметрами излучения, содержащей нематический жидкий кристалл.

На диссертацию поступили отзывы:

Официального оппонента д.ф.-м.н. Жукова В.П. Указано, что «Диссертация представляет законченное исследование. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации». Замечания: 1. Англоязычный термин FDTD не является общепринятым в русской литературе. Есть его русские аналоги. Кроме того, этот термин неудачен в принципе. Автор диссертации подвергает его совершенно правильной критике, но тащит через всю диссертацию. 2. 1-ый пункт новизны: «Разработан параллельный расчетный код для решения ... уравнений Максвелла для анизотропной неоднородной среды, способный моделировать взаимодействие лазерного излучения с твердыми и жидкокристаллическими сплошными средами» следует больше конкретизировать, например, для решения задач сверления и оптоволокон с полостями,

заполненными НЖК. Сами по себе уравнения Максвелла для анизотропной среды, несомненно, решались, в том числе на многопроцессорных компьютерах. 3. В тексте бывает трудно найти параметры, при которых велся расчет. Например, в Главе 3 не нашел сведений о длине волны. Приведенная на стр. 66 мощность лазера 0.4 Вт не говорит ни о чем. Смысл имеет интенсивность излучения. На некоторых рисунках мелкие надписи. Есть плохо сформулированные мысли. Например 3-ий абзац снизу на стр. 54. Стр. 45: «от расчета к расчету менялась поляризация...» — скорее «проводились расчеты с разными поляризациями». 4. Очевидно, что, например, в задачах о сверлении необходимо учитывать изменение температуры обрабатываемого материала, его плавление и т. п.

Официального оппонента д.ф.-м.н. Тищенко В.Н. Указывается, что «Диссертационная работа написана хорошим языком, результаты достаточно подробно иллюстрируются и обсуждаются. Она представляет собой законченную научно-исследовательскую работу по актуальной тематике и содержит новые научные и практически значимые результаты, полученные в значительном объеме с использованием современных методов численного моделирования. Полученные в работе результаты соответствуют поставленным целям и задачам». Замечания: 1. По непонятным причинам автор не включил в диссертацию экспериментальные результаты, полученные в совместных расчетно-экспериментальных работах с сотрудниками лаборатории лазерных технологий ИТПМ СО РАН и сотрудниками ИЛФ СО РАН, хотя они опубликованы в статьях, где он является соавтором. 2. Недостаточное внимание уделено сравнению результатов расчетов с экспериментальными данными при описании результатов численного моделирования процессов лазерной резки и сверления, хотя такое сравнение присутствует в опубликованной журнальной статье. 3. Хотя в описании проведенных расчетов «закрутки» света при прохождении через слой нематического ЖК упоминается об экспериментах, проводимых в ИЛФ СО РАН, в диссертации сравнение экспериментальных и расчетных результатов по генерации оптических вихрей отсутствует.

Ведущей организации ИФ им. Л.В. Кириенского СО РАН — обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. Отмечается научная новизна исследований, обоснованность научных положений и достоверность результатов, которые не вызывают

сомнений. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях и получили достаточную апробацию. Замечания: 1. При решении задач о лазерной резке, сверлении и селективном спекании в диссертации определяется распределение поглощенной энергии в материале, но не учитываются процессы теплопроводности, приводящие к ее перераспределению. Такой учет мог бы повысить точность прогнозирования неравномерности прогрева различных участков и, в конечном счете, повысить качество лазерной обработки материалов. Представляется, что особенно существенными эффекты теплопроводности могли бы оказаться на начальном этапе лазерного сверления, когда, как показывают полученные автором результаты, из-за интерференции распределение поглощенной энергии сильно неравномерное, что должно создавать значительные градиенты температуры. Можно высказать в качестве пожелания для дальнейшей работы — сопрягать расчет поглощения энергии лазерного излучения с решением задачи теплопроводности в образцах. 2. При моделировании прохождения света через полость в оптоволокне, заполненную жидким кристаллом, никак не объясняется из каких соображений было выбрано использованное в расчетах распределение директора внутри полости в виде клиновой дисклинации. Естественно, возникает вопрос, как бы изменились полученные результаты в случае других возможных конфигураций директора нематического жидкого кристалла. 3. При проведении верификации расчетного кода на задачах, имеющих точные решения, лучше было бы везде указывать величину погрешности численного решения. Это было бы содержательнее, чем, например, использованная оригинальная фраза «решения визуально неотличимы» при описании результатов моделирования эффекта Фредерикса. 4. В диссертации отмечается, что полученный при моделировании прохождения света через слой жидкого кристалла угол отклонения директора на порядок отличается от того, что дает оценка по формуле из статьи Б.Я. Зельдовича и Н.В. Табиряна. Это неудивительно, учитывая, что моделируется прохождение узкого пучка, а формула получена для плоской волны. Представляется, однако, что при моделировании нелинейных эффектов, связанных с взаимным влиянием электромагнитного излучения и динамики сплошной жидкокристаллической среды, можно было бы выполнить

сравнение с результатами исследований других авторов. В частности, достаточно детально такие задачи были рассмотрены в работах С.И. Трашкеева.

На автореферат поступили отзывы:

К.ф.-м.н. **Болдарева А.С.** (Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»). Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

К.ф.-м.н. **Карапузикова А.И.** (ФГБУН Институт лазерной физики СО РАН). Отзыв положительный. Замечание: «Из представленных в автореферате результатов по генерации оптических вихрей вытекает, что генерируемый угловой момент увеличивается с ростом силы дисклинации (см. рис. 8 в автореферате). Возникает вопрос: насколько реально создать распределения директора, соответствующие еще большим силам дисклинации, чем исследованные? Не является ли более эффективным использование для генерации оптических вихрей не нематических, а холестерических жидких кристаллов, в которых распределение преимущественного направления длинных осей молекул само закручено по спирали?»

К.ф.-м.н. **Смаева М.П.** (ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук). Отзыв положительный. Замечание: «К недостаткам автореферата можно отнести неточности в оформлении иллюстративных материалов. Например, на рис. 1 нет определения переменных, указанных по осям координат. На рис. 2а и 2б распределения напряженности поля световой волны не согласуются друг с другом. На рис. 8 не указаны единицы измерения».

К.т.н. **Шваб И.В.** (ФИЦ Информационных технологий). Отзыв положительный. Замечание: «К недостаткам работы я отнесла бы то, что в задачах, связанных с лазерной обработкой материалов, рассчитывается только распределение поглощенной энергии. Хотелось бы, чтобы данная задача решалась как сопряженная, и перераспределение тепла учитывалось путем добавления в используемую математическую модель уравнения теплопроводности. Можно рассматривать это как пожелание для дальнейшей работы».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются признанными высокопрофессиональными специалистами в областях, непосредственно связанных с темой диссертации:

д.ф.-м.н. Жуков В.П. — специалист в области вычислительных методов, моделирующих лазерное взаимодействие с веществом; д.ф.-м.н. Тищенко В.Н. — специалист в области экспериментальной лазерной физики; ведущая организация — один из крупнейших научных центров фундаментальных и прикладных исследований в различных областях общей механики, механики жидкости и газа, физики жидких кристаллов, композитных ЖК материалов, оптоэлектроники, устройств отображения информации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан параллельный расчетный код для решения методом FDTD (Finite Difference Time Domain) уравнений Максвелла для анизотропной неоднородной среды, способный моделировать взаимодействие лазерного излучения с твердыми и жидкокристаллическими сплошными средами;

показана при численном моделировании задач лазерной резки необходимость учета всех переотражений лучей для правильного вычисления теплового потока;

в задаче о лазерном сверлении **продемонстрирована** важность учета интерференции электромагнитных волн; в задаче о лазерном спекании **объяснены** причины различного поведения керамических и металлических частиц. Метод FDTD **впервые применен** к задачам лазерного сверления и селективного лазерного спекания;

в оптоволоконных системах управления электромагнитным излучением с помощью полости, заполненной нематическим ЖК (жидким кристаллом), **показана** предпочтительность использования определенной формы полости, как обеспечивающей меньшее рассеяние в условиях отсутствия фокусировки пучка;

предложен способ управления величиной углового момента оптического вихря путем изменения толщины слоя и/или силы дисклинации нематического жидкого кристалла;

разработан расчетный код для совместного решения уравнений Максвелла и уравнений динамики ЖК-среды;

показана возможность возникновения стохастических режимов при определенных поляризации и знаке диэлектрической анизотропии; **воспроизведено** в численном расчете явление самофокусировки лазерного пучка в нелинейной среде.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные в работе данные вносят вклад в обоснование расчетных методик для исследования процессов взаимодействия электромагнитного поля с веществом.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики заключается в том, что полученные данные способствуют развитию технологий высококачественной лазерной обработки материалов и созданию миниатюрных систем управления пучками электромагнитного излучения.

Оценка достоверности результатов исследования обеспечена использованием апробированных численных алгоритмов, методическими исследованиями, результатами сравнения с экспериментальными данными и с результатами, полученными на основе других методов.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные результаты диссертационной работы получены при участии автора. При выполнении работ по теме диссертации, опубликованных совместно с научным руководителем и другими соавторами, соискателем разработаны расчетные коды, проведены все представленные в работах расчеты, выполнена обработка расчетных данных. Диссертант также принимал участие в постановке задач, обсуждении результатов, подготовке статей к публикации в рецензируемых журналах и других изданиях. Результаты работы были доложены соискателем на конференциях, в том числе международных.

В ходе защиты критических замечаний высказано не было. В части, касающейся замечаний ведущей организации, официальных оппонентов и содержащихся в отзывах на автореферат, которые не носили критического характера, Галёв Р.В. частично с ними согласился, частично привел собственную аргументацию по существу высказанных замечаний.

На заседании 21 апреля 2023 года диссертационный совет принял решение за исследования процессов поглощения и преобразования лазерного излучения в твердых и жидкокристаллических сплошных средах, имеющие значение в области технологий

лазерной обработки материалов и создания миниатюрных систем управления электромагнитным излучением, присудить Галёву Р.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за — 18, против — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета

йлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

андрович

«25» апреля 2023 г.