

ОТЗЫВ

официального оппонента, **Жукова Владимира Петровича**, на диссертационную работу **Галёва Романа Владимировича «Исследование процессов поглощения и преобразования лазерного излучения в твердых и жидкокристаллических сплошных средах»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкостей, газа и плазмы.

Диссертационная работа Галёва Романа Владимировича «Исследование процессов поглощения и преобразования лазерного излучения в твердых и жидкокристаллических сплошных средах» состоит из 2-х частей. Первая часть посвящена анализу двумерных и трехмерных распределений поглощенной веществом энергии лазерного излучения в процессах лазерной обработки материалов, таких как лазерная резка металлов, лазерное сверление металлов, селективное лазерное спекание порошков с целью выяснения особенностей нагрева и выяснения возможностей улучшения качества технологической лазерной обработки материалов. Вторая часть диссертационной работы связана с вопросами, возникающими при создании миниатюрных оптоволоконных систем, способных управлять характеристиками лазерного излучения в оптоволокне путем пропускания излучения через полость в оптоволокне, занятую нематическим жидким кристаллом (НЖК), специфически влияющим на характеристики пропускаемого лазерного излучения. Обе части объединены единым подходом в исследовании: математическим моделированием на основе уравнений Максвелла.

Актуальность работы вытекает из развития лазерной техники и осознания новых возможностей, влекущих такие потребности, как улучшение качества технологий лазерной обработки материалов, ускорение передачи информации по оптоволокну и увеличение скорости ее обработки, удешевление экспериментального лазерного оборудования и увеличение его возможностей.

Научная новизна состоит в применении конечно-разностного численного метода для решения уравнений Максвелла, являющегося развитием схемы Ии, к задачам лазерного сверления и селективного лазерного спекания, в установлении формы полости в виде слоя с плоскопараллельными стенками в оптоволокне, занятой НЖК, как предпочтительной перед цилиндрическим отверстием, просверленным в оптоволокне, в разработке кода для совместного решения уравнений Максвелла и уравнений динамики ЖК-среды.

К новым результатам также можно отнести предложение об определении фазы электромагнитной волны в непараксиальном случае (определение оптического вихря), в применении формулы усреднения неполярных единичных векторов при интерполяции вектора-директора — единичного неполярного вектора, описывающего локальную ориентацию

«оптической оси кристалла» НЖК — в численном алгоритме совместного расчета уравнений Максвелла и уравнения ориентационной динамики.

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных численных алгоритмов, методическими исследованиями, сравнением с экспериментальными данными и с результатами, полученными на основе других методов.

Практическая значимость заключается в данных о распределении теплового потока по поверхности образцов в различных задачах лазерной обработки материалов, в данных о рассеянии светового пучка и изменении его углового момента при прохождении через НЖК. Полученные данные позволяют дать ряд рекомендаций и сузить направление дальнейших экспериментальных поисков в области улучшения лазерной обработки материалов и создания миниатюрной оптоволоконной системы, управляющей электромагнитным излучением.

Апробация. Результаты работы представлены на семи научных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 7 работ в изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация **состоит** из введения, четырех глав, заключения и двух приложений.

В первой главе подробно описываются конечно-разностная схема и реализующий ее код для решения поставленных задач, а также метод генерации лазерного импульса в расчетах, обеспечивающий так называемые неотражающие граничные условия. Приведены результаты верификации созданного алгоритма. Также описан более простой метод расчета поглощенной энергии электромагнитной волны, использующий положения геометрической оптики.

Во второй главе, получены и проанализированы распределения потоков тепла для ряда частных случаев, имеющих значение в технологических процессах лазерной резки металлов и селективного лазерного спекания порошков. На примере задачи, связанной с лазерным сверлением, показаны границы применимости численного метода расчета электромагнитного поля, основанного на положениях геометрической оптики, и показана предпочтительность метода решения точных уравнений Максвелла перед методом, основанном на положениях геометрической оптики, применительно к задачам с характерными линейными размерами порядка длины волны.

В третьей главе, путем численного моделирования выбрана форма полости в оптоволокне, занятой НЖК. Проведена серия расчетов прохождения пучка электромагнитного излучения через слой НЖК с заданными распределениями оси анизотропии НЖК, соответствующих основным

классическим «дисклинациям» — распределениям вектора-директора «с особой точкой». Показано влияние толщины слоя НЖК и конкретной дисклинации на параметры пучка излучения, пропущенного через вышеупомянутый слой НЖК. Проведенные исследования могут помочь экспериментально определять характер распределения вектора-директора НЖК в полости оптоволокна по измеренным параметрам прошедшего пучка лазерного излучения, что способствует созданию систем.

В четвертой главе, описана модель взаимодействия НЖК и лазерного излучения, на основе совместного решения уравнений Максвелла и уравнения ориентационной динамики НЖК. Проведены исследования точности и сходимости созданного алгоритма. Получены распределения электромагнитного поля пучка и вектора-директора НЖК. Показано качественное совпадение динамики поведения физической системы «пучок-НЖК» (стабилизация или стохастический режим) в зависимости от поляризации пучка и параметров НЖК (знака диэлектрической анизотропии) численных расчетов с экспериментальными данными. Также показано, что численный расчет воспроизводит экспериментально наблюдаемое явление самофокусировки пучка, пропущенного через слой НЖК, за счет поворота молекул НЖК под воздействием электромагнитного поля пучка.

В приложениях содержатся описания решений вспомогательных задач, имеющих самостоятельную ценность: алгоритм построения точного решения уравнений Максвелла в виде собственных мод оптоволокна, алгоритм вычисления коэффициентов отражения, прохождения и поглощения для стопки пластин в зависимости от частоты падающей электромагнитной волны.

Вместе с тем Диссертация не свободна от недостатков. **Замечания** следующие:

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 оптоволокна 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.

Несмотря на замечания, работу оцениваю положительно. Диссертация представляет законченное исследование. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Выполненная работа удовлетворяет всем квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Считаю, что Галёв Роман Владимирович заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкостей, газа и плазмы».

Жуков Владимир Петрович, доктор физико-математических наук (01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы), старший научный сотрудник лаборатории вычислительных технологий Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий (ФИЦ ИВТ <http://www.ict.nsc.ru>).

Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6
Тел. 8 (383) 330-61-50, e-mail: ict@ict.nsc.ru

Дата 04.04.2023

В.П. Жуков

Подпись старшего научного
технологий ФИЦ ИВТ, и
учёный секретарь ФИЦ
к.ф.-м.н.

ислительных

.В. Киланова

Я, Жуков Владимир И
персональных данных в доку
совета, и их дальнейшую обра

чение своих
эртационного

Председателю
диссертационного совета
24.1.125.01 (Д 003035.02)
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, Жуков Владимир Петрович, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации *Галёва Романа Владимировича* на тему: Исследование процессов поглощения и преобразования лазерного излучения в твердых и жидкокристаллических сплошных средах на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	Д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	
Академическое звание	
Тел:	8 (383) 334 9194
E-mail:	zukov@ict.nsc.ru
Должность	Старший научный сотрудник
Подразделение организации	Лаборатория вычислительных технологий
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий»
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования РФ
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6
Web-сайт организации.	http://www.ict.nsc.ru/
Телефон организации.	8 (383) 330-61-50
E-mail организации.	ict@ict.nsc.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею более 100 научных работы, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Zhukov V.P.,	Dual wavelength laser excitation of bandgap materials: challenges for

	Bulgakova N.M., Sladek J., Mirza I., Bulgakov A.V.	efficient energy coupling, in: Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2020), paper STh1H.4 doi: 10.1364/CLEO_SI.2020.STh1H.4/
2	Жуков В.П., Федорук М.П.	Высокоэффективный метод вычисления интеграла Стрэттона-Чу в задачах взаимодействия лазерного излучения с веществом // Вычислительные технологии. - 2021. - Т.26. - № 3. - С.42-60. - ISSN 1560-7534. - EISSN 2313-691X.
3	Лизунов С.А., Жуков В.П., Булгаков А.В., Булгакова Н.М.	Численное исследование динамики нагрева золота ультракороткими дихроматическими импульсами лазерного излучения // Сибирский физический журнал. - 2021. - Т.16. - № 1. - С.5-20. - ISSN 2541-9447.
4	Bulgakova N.M., Zhukov V.P., Sládek J., Mirza I., Bulgakov A.V.	Dual wavelength laser excitation of bandgap materials: Challenges for efficient energy coupling // CLEO: Science and Innovations, CLEO_SI 2020 (Washington; United States, 10.05-15.05.2020): Optics InfoBase Conference Papers. Part F183-CLEO-SI 2020. - 2020: OSA - The Optical Society. - Art.STh1H.4. - ISBN: 978-155752820-9.
5	Жуков В.П., Федорук М.П.	Численная реализация модели воздействия фемтосекундного лазерного импульса на стекло в приближении нелинейных уравнений Максвелла//Математическое моделирование, 2019, т. 31, № 6, с. 107–128.
6	Zhukov V.P., Akturk S., Bulgakova N.M.	Asymmetric interactions induced by spatio-temporal couplings of femtosecond laser pulses in transparent media// Journal of the Optical Society of America B, 2019, Vol. 36, Issue 6, pp. 1556-1564.
7	Lizunov S.A., Zhukov V.P., Bulgakov A.V., Bulgakova N.M.	Effect of the dynamic reflectivity on laser energy absorption by zinc: numerical two-temperature modeling, MM Science Journal, 2019 (December), pp. 3567-3572.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

Старший научный сотрудник

лаборатории вычислительных технологий ФИЦ ИВТ, д.ф.

И. Жуков

Подпись старшего научного сотрудника лаборатории вычислительных технологий ФИЦ ИВТ, д.ф.-м.н. В.П. Жукова заверяю

Э. С. Килианова

учёный секретарь

В. Киланова

Дата 30.01.21