Результаты публичной защиты

Дата защиты: 08 декабря 2016 г.

Соискатель: **Цыгвинцев Илья Павлович**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Трехмерное моделирование коротковолнового источника излучения на основе лазерной плазмы».

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

На заседании председательствует –Председатель диссертационного совета, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИН.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ – к.ф.-м.н., М.А. КОРНИЛИНА.

На заседании присутствовали 21 членов совета из 25 членов диссертационного совета, из них 7 докторов по профилю рассматриваемой диссертации:

1. ЧЕТВЕРУШКИН Б.Н.	д.ф.-м.н.	05.13.18
2. ТИШКИН В.Ф.	д.ф.-м.н.	01.01.07
3. КАЛИТКИН Н.Н.	д.ф.-м.н.	01.02.05
4. КОРНИЛИНА М.А.	к.ф.-м.н.	05.13.18
5. АНДРЕЕВ В.Б.	д.ф.-м.н.	01.01.07
6. ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
7. ГАСИЛОВ В.А.	д.ф.-м.н.	01.02.05
8. ДОЛГОЛЕВА Г.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
9. ЕЛИЗАРОВА Т.Г.	д.ф.-м.н.	01.02.05
10.ЗМИТРЕНКО Н.В.	д.ф.-м.н.	01.02.05
11.КАРАМЗИН Ю.Н.	д.ф.-м.н.	01.01.07
12.КОВАЛЕВ В.Ф.	д.ф.-м.н.	05.13.18
13.КОЗЛОВ А.Н.	д.ф.-м.н.	01.02.05
14.КОЛЕСНИЧЕНКО А.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18
15.КУЛЕШОВ А.А.	д.ф.-м.н.	05.13.18
16.ЛУЦКИЙ А.Е.	д.ф.-м.н.	01.02.05
17.МАЖУКИН В.И.	д.ф.-м.н.	05.13.18
18.ПЕТРОВ И.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05
19.ПОЛЯКОВ С.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
20.ШПАТАКОВСКАЯ Г.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18
21.ЯКОБОВСКИЙ М.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.03
на базе федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук»
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 08 декабря 2016 г., № 16

О присуждении **Цыгвинцеву Илье Павловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «**Трёхмерное моделирование коротковолнового источника излучения на основе лазерной плазмы**» по специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 26 мая 2016 года, протокол № 11, диссертационным советом Д002.024.03 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», 125047, Москва, Миусская пл., д.4, приказ №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Цыгвинцев Илья Павлович**, 1989 года рождения.

В 2013 году соискатель окончил Московский инженерно-физический институт (государственный университет), факультет экспериментальной и теоретической физики, кафедру «Теоретической ядерной физики», ему присуждена квалификация магистра по специальности «Прикладные математика и физика».

В период 2013-2016 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В настоящее время работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», отдел №6 «Вычислительная физика и кинетические уравнения».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор **Гасилов Владимир Анатольевич**, заведующий отделом № 13 «Математические модели и численные методы высокотемпературной гидродинамики» ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Официальные оппоненты:

1. **Валько Виктор Васильевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник 12 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации.
2. **Рыжков Сергей Витальевич**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теплофизики МГТУ им. Н.Э. Баумана.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Институт спектроскопии Российской академии наук, в своем **положительном** заключении, подписанном **Медведевым Вячеславом Валерьевичем,** кандидатом физико-математических наук, старшим научный сотрудником сектора плазменных источников излучения отдела атомной спектроскопии ИСАН, указала, что

«В диссертации ... решена актуальная задача по разработке и применению трёхмерной РГД-модели взаимодействия лазерного излучения с веществом в источнике экстремального ультрафиолетового излучения на основе оловянной плазмы для литографии нового поколения».

«К практически значимым результатам диссертации Цыгвинцева И.П. относится применение разработанного трёхмерного кода для прикладных

задач моделирования источника ЭУФ-излучения. Особое внимание в данной работе уделяется влиянию отклонений геометрии системы мишень+импульс от осесимметричной. Моделирование источника в трёхмерном пространстве даёт новые возможности исследования как формирования мишени предымпульсом, так и зажигания плазмы основным импульсом и, как следствие, управления коэффициентом конверсии и корпускулярными потоками.»

«Результаты диссертационной работы Цыгвинцева И.П. можно рекомендовать к использованию в ряде научно-исследовательских институтов — в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Институте спектроскопии РАН, а также в ряде высокотехнологических компаний в России и за рубежом — в ISTEQ, ASML, IMEC, TNO, Cymer, Gigaphoton, ЭУФ-Лабс, РнД-ИСАН. Кроме того, результаты данной диссертации могут найти применение в учебном процессе в вузах и при подготовке специалистов в области математического моделирования физических процессов.»

В отзыве отмечены следующие замечания по работе:

1) В тексте диссертации отсутствуют подробности об уравнении состояния для олова. Из-за этого затруднительно понять, какие механизмы в модели отвечают за испарение олова и деформацию оловянной мишени.

2) В главе 3 проведён ряд проверок модели на аналитически решаемых задачах, однако нет ни одного сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными.

Дана следующая общая оценка работы:

«В диссертации …решена актуальная задача по разработке и применению трехмерной РГД-модели взаимодействия лазерного излучения с веществом в источнике экстремального ультрафиолетового излучения па основе оловянной плазмы для литографии нового поколения. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики.

Диссертационная работа Цыгвинцева И.П. удовлетворяет всем критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, согласно Постановлению Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. »

Соискатель имеет 12 печатных работ по теме диссертации, из которых 4 в журналах перечня ВАК, остальные – в рецензируемых изданиях и сборниках трудов научных конференций. В рецензируемых журналах, включенных в список ВАК:

1. Цыгвинцев И. П., Круковский А. Ю., Гасилов В. А. и др. Сеточно-лучевая модель и методика расчёта поглощения лазерного излучения // Математическое моделирование. 2015. Т. 27, № 12. С. 96 – 108
2. Цыгвинцев И. П., Круковский А. Ю., Гасилов В. А. и др. Моделирование формирования пинча в вакуумном диоде с лазерным поджигом // Математическое моделирование. 2016. Т. 28, № 2. С. 146 – 160
3. Цыгвинцев И. П., Круковский А. Ю., Новиков В. Г. Трёхмерное численное моделирование воздействия нецентрального лазерного импульса на сферическую оловянную мишень // Математическое моделирование. 2016. Т. 28, № 7. С. 81 – 95
4. Гасилов В. А., Круковский А. Ю., Повещенко Ю. А., Цыгвинцев И. П. Неявная эйлерово-лагранжева разностная схема трёхмерной газовой динамики на основе согласованных аппроксимаций уравнений балансов массы и импульса // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2016. № 5. 24 с.

На автореферат диссертации поступило 2 отзыва: от **Попруженко Сергея Васильевича**, доктора физико-математических наук, профессора, зам. заведующего кафедры теоретической ядерной физики МИФИ и **Лисенкова Василия Викторовича**, кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории квантовой электроники Института электрофизики УрО РАН. Все отзывы **положительные**. В отзыве Лисенкова В.В. имеются замечания:

1. В автореферате не приведены параметры лазерного импульса (длительность импульса, энергия и т.п.), воздействующего на каплю.

2. Отсутствуют данные по характеристикам излучения ионов олова.

Выбор официальных оппонентов объясняется их широко известной компетенцией в разработке методов вычислительной математики применительно к численному решению задач механики сплошных сред, в том числе, с использованием многопроцессорной вычислительной техники. Ведущая организация была выбрана с учётом её ведущей роли в отечественных экспериментальных и теоретических работах, направленных на разработку источника коротковолнового излучения для нужд фотолитографии.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

разработана и исследована физико-математическая радиационно-газодинамическая модель процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с металлической мишенью, учитывающая эффекты отклонения зарядового состава плазмы от термодинамически равновесного, влияние поля излучения на уравнение состояния и оптические характеристики плазмы и эффектов, связанных с рефракцией лазерного пучка в плазме;

построены и исследованы конечно-разностные схемы уравнений радиационной газовой динамики и сеточно-характеристические методы решения уравнения переноса лазерного и теплового излучения в плазме;

создан комплекс программ 3DLINE, адаптированный для расчетов на многопроцессорных ЭВМ с гибридной архитектурой доступа к памяти;

выполнены вычислительные эксперименты, в которых показан эффект влияния смещения оси симметрии лазерного пучка относительно центра сферической мишени на угловое распределение кинетической энергии, поток вещества и на коэффициент конверсии лазерного излучения в излучение требуемого диапазона;

воспроизведён в расчёте ранее экспериментально наблюдавшийся эффект сглаживания спеклованного импульса при прохождении его через динамическую плазменную фазовую пластину.

Все полученные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах и прошли апробацию в публичных докладах и выступлениях на авторитетных международных и всероссийских конференциях.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные в нем результаты вносят существенный вклад в теорию математического моделирования задач радиационной газовой динамики лазерной плазмы, равно как и в практику математического программного обеспечения расчетов эксплуатируемых и проектируемых источников коротковолнового излучения.

Значение полученных соискателем результатов исследования **для практики** определяется перспективой применения разработанных методик и комплексов программ к оценке эффективности конверсии лазерного излучения в излучение ЭУФ-диапазона для известной формы мишени, прогнозированию деформации мишени вследствие воздействия предымпульса и оценке скорости загрязнения оптической системы оловом на основе рассчитанных потоков вещества. Результаты могут быть также полезны при анализе экспериментальных данных.

Достоверность результатов исследования подтверждается их повторяемостью при измельчении расчетной сетки, совпадением с точными решениями в одномерных и трёхмерных задачах, качественным соответствием немногим имеющимся экспериментальным данным.

Личный вклад соискателя состоит в равноправном участии в постановке задач, разработке моделей, выборе численных методов, анализе результатов, и полностью – в разработке гибридной модели переноса лазерного излучения, распараллеливании программ а также верификации и апробации методики и кода на модельных и прикладных задачах в серий

расчетов с использованием высокопроизводительных вычислительных систем.

Диссертация является целостным законченным научным исследованием, содержащим решение актуальной задачи математического моделирования физического явления и внесшим вклад в теорию и практику моделирования источника коротковолнового излучения на основе лазерной плазмы.

На заседании 08 декабря 2016 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Цыгвинцева И.П. представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, которые установлены Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Цыгвинцеву Илье Павловичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них - 7 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета
Д 002.024.03, академик РАН _____Б.Н. Четверушкин

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 002.024.03, к.ф.-м.н. _____М.А. Корнилина

08 декабря 2016 года.