

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 02 июня 2021 г. (протокол № 7)

Защита диссертации Мартыненко Артема Сергеевича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Сверхплотная плазма в условиях изохорического нагрева пикосекундными
лазерными импульсами релятивистской интенсивности»

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2) Протокол № 7 от 02 июня 2021 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 22 человек, из 15 членов совета присутствовали очно, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника; 7 членов совета присутствовали дистанционно, из них 2 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02 д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02 д.ф.-м.н. Васильев М.М.

Фамилия, И.О.	Учёная степень, шифр специальности в совете	Присутствие
1 Фортов В.Е.	академик (01.04.08)	Отсутствует
2 Андреев Н.Е.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
3 Канель Г.И.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
4 Васильев М.М.	д.ф.-м.н. (01.04.08)	Очное присутствие
5 Агранат М.Б.	д.ф.-м.н. (01.04.14)	Отсутствует
6 Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.08)	Очное присутствие
7 Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Отсутствует
8 Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
9 Васильев М.Н.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.14)	Удаленное подключение
10 Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
11 Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
12 Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.08)	Очное присутствие
13 Голуб В.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
14 Грязнов В.К.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.14)	Удаленное подключение
15 Дьячков Л.Г.	д.ф.-м.н. (01.04.08)	Очное присутствие
16 Еремин А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
17 Зейгарник Ю.А.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.14)	Очное присутствие
18 Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
19 Кириллин А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Удаленное подключение
20 Лагарьков А.Н.	академик (01.04.08)	Отсутствует
21 Ломоносов И.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Удаленное подключение
22 Медин С.А.	д.т.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
23 Норман Г.Э.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
24 Петров О.Ф.	Академик (01.04.08)	Очное присутствие
25 Полежаев Ю.В.	чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
26 Савватимский А.И.	д.т.н. (01.04.14)	Очное присутствие
27 Сон Э.Е.	академик (01.04.08)	Очное присутствие
28 Старостин А.Н.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Отсутствует
29 Филиппов А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
30 Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Удаленное подключение
31 Яньков Г.Г.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.14)	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории 1.1 – диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Мартыненко Артема Сергеевича на тему «Сверхплотная плазма в условиях изохорического нагрева пикосекундными лазерными импульсами релятивистской интенсивности». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 1.1 – диагностики вещества в экстремальном состоянии ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru) за время обучения в аспирантуре Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское ш., 31, mephi.ru).

Научный руководитель:

Пикуз Сергей Алексеевич – Кандидат физико-математических наук, Заведующий лабораторией № 1.1 – диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2, тел. (495) 484-1944, jiht.ru, e-mail: spikuz@gmail.com)

Официальные оппоненты:

Стародубцев Михаил Викторович – гражданин РФ, Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Моделирования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах» (373) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46, тел. +7 (831) 436 41 87 ipfran.ru, e-mail: alla@ipfran.ru);

Попруженко Сергей Васильевич – гражданин РФ, Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38, тел. +7 (499) 503 87 34, www.gpi.ru, e-mail: office@gpi.ru).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; +7 495 939-16-82, www.msu.ru, info@physics.msu.ru)

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н. Стародубцев М.В. и д.ф.-м.н. Попруженко С.В., научный руководитель к.ф.-м.н. Пикуз С.А.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Давайте начнём нашу работу. Кворум у нас есть. На повестке дня защита диссертации. И Михаил Михайлович огласит документы, которые у нас есть по этому поводу.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги. Мы сегодня должны заслушать выступление Артёма Сергеевича. Он обратился в наш совет с просьбой принять к защите его работу по специальности физика плазмы

Ученый секретарь

Работа была выполнена под руководством Сергея Алексеевича Пикуза в его лаборатории, и экспортная комиссия в составе Михаила Борисовича Аграната, Иосилевского Игоря Львовича и Леонида Михайловича Василяка рассмотрела эту работу и дала своё заключение, что она может быть рассмотрена у нас в диссертационном совете. В ней имеются все материалы в соответствии с требованиями ВАК. С вашего позволения я их зачитывать не буду. И если есть какие-то вопросы, я готов на них ответить.

Председатель

Если вопросов нет, тогда давайте перейдём к заслушиванию диссертации. Пожалуйста 20 минут.

Мартыненко А.С.

(Выступает с докладом по диссертационной работе. Выступление не стенографируется, доклад Мартыненко А.С. прилагается)

Председатель

Спасибо, Артем Сергеевич. Пожалуйста, у нас время для того, чтобы задать вопросы соискателю. Кто хотел бы что-нибудь спросить?

Воробьёв В.С.

Можно я?

Председатель

Конечно можно, Владимир Сергеевич.

Воробьёв В.С.

Значит, при такого рода спектральных измерениях встаёт два глобальных вопроса, которые вот как-то не прозвучали в изложении материала. Есть ли термодинамическое равновесие в заселённостей уровней, атомов, ионов и, короче говоря, выполняется ли формула Саха-Больцмана. И второе, у вас есть картинки, где вы снимаете спектры поперёк излучающего объекта. Однородность есть или нет. Вот, собственно, эти два вопроса существенны в данном исследовании.

У меня два вопроса. Первый, скорее, уточняющий. Вы называли индукцию магнитного поля – 20 Тл. Какие здесь времена? Поле импульсное?

Мартыненко А.С.

Первый, здесь всё время используется термин горячих электронов. Потому что они приводят к образованию вакансий и к тому, что спектр высвечивается. И этот спектр имеет очень сложную форму. Относительно низкоэнергетичные электроны можно описать какой-то

температурой, то есть описать распределением Максвелла. То есть обеспечивается равновесие. То есть обеспечивается термодинамическое равновесие. Но всегда есть спектр горячих электронов, который не описывается этим. Допустим используются какие-то фракции, для его описания. И так и учитывается при моделировании. А насчёт поперёк: спектрометр имеет пространственное разрешение вдоль одной оси, и условно для каждой из этих точек в пространстве возможно получить свой спектр.

Воробьёв В.С.

И использовалась абелизация или процедура Абеля для того, чтобы учесть неоднородности, я так понял? По сечению поперёк длины.

Мартыненко А.С.

Тут на самом деле используется предположение, что светит горячая часть спектра. Такое предположение было сделано. На основании последующего анализа.

Председатель

Владимир Сергеевич, вы как, удовлетворены?

Иосилевский И.В.

У меня вопрос вот какой: значит, например, в первом положении выносимом на защиту, говорится о том, что результатом является метод восстановления плотности и температуры разлетающейся плазмы. Что верно и неверно в моём представлении, что после мгновенного вложения энергии вы имеете место с двумя отдельными подсистемами: ионную и электронную? Каждая из которых живёт своей жизнью. И теперь вопрос: вы когда говорите про восстановление плотности, имеете ввиду восстановление массовой плотности, ионной? В таком случае, что вы можете сказать о восстановлении плотности ионной подсистемы? Второй вопрос связан с этим же: когда вы говорите про адиабатический разлёт, вы имеете ввиду адиабатичность электронной или ионной подсистемы, или их вместе?

Мартыненко А.С.

Спасибо за вопросы. На первый вопрос: анализ позволяет определить ионную плотность и электронную температуру. Соответственно анализ позволяет дать оценку и на электронную плотность тоже. А второй вопрос: скорее всего здесь я неверно выразился. Здесь подразумевалось условие адиабатического остывания, то есть закон о том, как температура и объём связаны по мере её разлёта. Скажу, что основной вклад вносят первые стадии. А остальные предположения вносят ошибку, но на более поздних стадиях.

Иосилевский И.В.

Я вас правильно понял, что когда вы говорите про адиабатичность, вы говорите про адиабатичность ионной подсистемы?

Мартыненко А.С.

Да.

Иосилевский И.В.

Но она же откровенно вроде бы не адиабатична, потому что она энергичным образом обменивается с электронной подсистемой. Могут ли быть отдельно адиабатичные ионные и электронные подсистемы?

Мартыненко А.С.

Вероятно, да. Могут.

Председатель

Так, пожалуйста, ещё вопросы?

Сон Э.Г.

Можно я вопросы задам? Значит, первый вопрос у меня такой: мне кажется, наиболее достижение вашей работы связано с экспериментальными результатами. Так как это то, что никто не делал. Но любая экспериментальная работа должна начинаться с описания экспериментального стенда, диагностики, точности измерения и т.д. Вы сказали, что измерения делались на установке Vulcan, предполагая, что все члены учёного совета хорошо знают, что это такой. Есть ли у вас какой-то слайд, на котором была бы показана установка, что вы мерили, какими приборами и какова точность первичных параметров. Потому что вторичные – это уже обработка. Есть ли у вас такой слайд?

Мартыненко А.С.

У меня есть только схемы.

Сон Э.Г.

Ну, схемы, к сожалению, для экспериментатора не очень. Хорошо. Второй вопрос: я постараюсь объединить вопросы, которые задавал Владимир Сергеевич и Игорь Львович Иосилевский. Вот, какой вопрос: у вас имеется некоторая система, которая образуется на стадии предимпульса, образуется плазма с какими-то параметрами. Потом вы мгновенно вкладываете энергию за очень короткое время. И поскольку это время, как вы говорите, много меньше времени гидродинамического разлёта, вы считаете, что всё происходит изохорически. Но это и так, и не так. Любо эксперимент, не обязательно пикосекундный: если вы быстро вводите энергию и потом смотрите, как она за этим реагирует. В начальный момент, конечно, всё неравновесно. Тем более пикосекундные времена, времена установления функции распределения, ион-электронный обмен, который очень медленно происходит. Поэтому Владимир Сергеевич задавал вопрос, есть ли там Саха и поэтому вопрос об обоснованности предположения, что там изохорический нагрев, он существует. Значит, метод расчёта в моделировании, который вы изложили, вы изложили нестационарное течение, как набор стационарных состояний. Это, значит, вопрос требует обоснования, так как в принципе для двумерной задачи, которую в рассматривали, можно было бы построить гидродинамическую модель более-менее согласованную. Поэтому вопрос у меня такой: какова обоснованность ваших выводов о том, что нагрев является изохорическим, то есть у вас объём является константой, то есть все процессы происходят при заданном объёме. Хотя, изучается стадия, например, 8 нс, о которых вы говорили, и там, конечно, уже никакого изохорического нагрева уже нет.

Мартыненко А.С.

Можно я уточню, отвечу про модель чуть-чуть. Я согласен, что модель очень грубая; но её выводами является ответ на вопрос, является ли контраст хорошим или плохим по запросу лазерщиков. То есть там не требовалось большой точности. Насчёт предположения изохоричности: формально, когда мы говорили об околотвердотельных плотностях, мы регистрируем спектр излучения наиболее горячей жизни стадии, которая живёт несколько пикосекунд и расширяется. То есть основной вклад, который регистрируется интегральным по времени, идёт от начальных стадий, то есть когда предполагаются параметры плазмы конечными, фиксированными. То есть здесь вопрос спорным, но получилось соответствие модели с экспериментом.

Председатель

Да, давайте, пожалуйста, задавайте, Виктор Владимирович.

Голуб В.В.

Разлёт плазмы при лазерно-импульсном облучении мишени широко использовался для создания управляющих усилий для ракетно-космической техники. Очень много было работ. Одновременно было и про одиночный лазер, который создавал какую-то преплазму. Пытались ли вы оценить тот импульс, который у вас возникает при вашем разлёте? Это на самом деле очень интересная работа с этой точки зрения. Но там, по-моему, были не пикосекундные, а микросекундные импульсы. Как вы, рассматривали с этой точки зрения?

Мартыненко А.С.

На самом деле здесь оценка не на контраст, а на момент плазмообразования. То есть какое здесь «дельта тэ» между пиком импульса и моментом плазмообразования (то есть понять, в какой момент времени интенсивность предимпульса или пьедестала начинает превышать порог плазмообразования). Здесь оценивался не контраст, а в какой момент образовывалась плазма.

Голуб В.В.

Ну, я имел в виду, просто у вас раз есть отличные картинки при разлёте этой плазмы. Из этих картинок можно в конечном счёте получить. Плотность вы знаете, она у вас ионная; то есть вы можете оценить, какой импульс эта ионная компонента даёт на ту пластину, которую вы облучали.

Председатель

Там всё разлетается.

Голуб В.В.

Понятно, да, разлетается. Но оно же даёт импульс.

Председатель

Очень большой импульс, его никто не мерит в этих экспериментах.

Голуб В.В.

А почему? Целая книга толстая есть по...

Председатель

Здесь десять в двадцатой, а то, что вы рассказываете, десять в десятой интенсивность. Десять порядков разницы.

Голуб В.В.

Спасибо.

Мартыненко А.С.

В общем, это не измерялось, отвечая на ваш вопрос.

Савватимский А.И.

Вот вы сами как расцениваете свою работу, как экспериментальную или как расчётную?

Мартыненко А.С.

Как экспериментальную.

Савватимский А.И.

Ну, судя по автореферату, работа выполнена за рубежом на некой установке, так?

Председатель
На нескольких.

Савватимский А.И.

Ну на нескольких, но фраза, что работа выполнена в ОИВТ вообит в заблуждение. Ну это так, к слову. Известно, что переход энергии от лазера поглощается внешними электронами. А внешние электроны передают энергию решётке. И время передаче – это единицы пикосекунд. Это экспериментальный факт. В вашем случае, можете ли вы получить ситуацию, когда вы опережаете это время, и тогда у вас электроны получают огромную энергию, а решётка остаётся холодной.

Мартыненко А.С.

Поскольку импульс пикосекундный, то такое можно реализовать. Чем короче импульс, тем лучше.

Савватимский А.И.

У вас он короче или длиннее, чем несколько пикосекунд. Сколько?

Мартыненко А.С.

Порядка пикосекунды.

Савватимский А.И.

То есть это на границе состояния. По поводу преплазмы: этот предимпульс – это явно мешающий фактор в эксперименте, но я не совсем понял, откуда он появляется, и как от него избавиться. Если греть электрическим током, то там этого предимпульса нет. А здесь есть. Поясните, пожалуйста.

Мартыненко А.С.

Есть пик интенсивности и есть его нарастание, так как пик не может появиться мгновенно, соответственно, есть какой-то пьедестал. На установках есть эффект предимпульса, когда пики низкие. Но в основном проблема с нарастающим пьедесталом.

Савватимский А.И.

А нарисованный пичок откуда возник? Его же нет в основном импульсе?

Председатель

Система так работает.

Савватимский А.И.

Оптика? То есть он всегда есть?

Председатель

Бороться можно, но избавиться нельзя. Есть ещё вопросы?

Вараксин А.Ю.

Да, конечно. Артём Сергеевич, у меня такой вопрос, больше касающийся не существа, а методический: вот у вас положение, которое выносятся на защиту, первое, «рентгеноспектральный метод и т.д.». И второй, «метод восстановления и т.д.». Ну, поскольку работа экспериментальная, обычно так: методов мало, методик больше. Поэтому, что до вас этого метода не было, рентгеноспектрального. Если был, то мне как экспериментатору было бы интересно узнать, новая методика определения чего-то с применением рентгеноспектрального

метода. Второе тоже пояснить, в чём здесь ваша новизна? Поскольку, всё-таки «метод» — это сильное слово с моей точки зрения.

Мартыненко А.С.

Значит, про первое. В первом положении суть в том, что здесь на основании рентгеноспектральных методов определяется момент плазмообразования. То есть когда интенсивность пьедестала становится больше. Согласно моему обзору литературы, это никем ранее не публиковалось. Может быть, это и было, но не обнаружил. Соответственно нами и это опубликовалось про определение рентгеноспектральными методами. Вторая часть – это на основании интегрированных по времени эмиссионных спектров. То есть по-разному пытаются определять параметры плазмы, когда спектры интегрированы по времени. Соответственно, здесь предложен такой способ, когда предложена проста 2D модель с учётом плазменных состояний. Вот, новизна вот в этом. Если это отвечает на ваш вопрос.

Председатель

Есть ещё вопросы? Если нет, тогда я хотел бы уточнить. Вы употребляете и в положениях, выносимых на защиту, и в докладе несколько раз «момент определения». Для кого-то пикосекунды – это очень коротко. Значит, что вы называете моментом? В первую очередь определение. А второе, я в принципе, более важный вопрос: насколько я понимаю, у вас интегральные по времени всё-так спектры. Поэтому как вообще определить момент можно точно, интегрируя по времени? Это, по-видимому, означает, что какая-то принципиальная модель заложена. Вы о ней ничего не сказали. Или я пропустил.

Мартыненко А.С.

Я уточню тогда...

Председатель

Да, пожалуйста.

Мартыненко А.С.

Значит, насчёт момента плазмообразования. Имеется ввиду, что определялась разница между моментом плазмообразования и приходом лазерного импульса. По всей диссертации, что вы сказали. Значит, «определение плотности плазмы в момент сразу после прихода основного лазерного импульса» - имеется ввиду, что когда лазерный импульс кончился и вложил основную лазерную энергию, начался разлёт плазмы. То есть пикосекунды.

Председатель

По поводу разгрузки понятно, но когда вы рисуете профиль и говорите о моменте, что для вас такое «момент прихода»? То есть это половина интенсивности или это одна десятая? Определение?

Мартыненко А.С.

Я бы сказал максимум. Но здесь, честно говоря, не принципиально.

Председатель

То есть момент – это максимум? Тогда при 10^{20} у вас большое силовое воздействие. Что говорить о плазме до прихода основного импульса, когда всё, что вы меряете «смелось» уже этой большой интенсивностью.

Мартыненко А.С.

Если у нас пикосекундный лазерный импульс, то, скорее всего, не успела у нас плазма особо разлететься.

Председатель

Вы когда говорите «характеристика» - это до того, как пришёл основной импульс или когда он воздействовал и всё «смял».

Мартыненко А.С.

Когда он вложил энергию.

Председатель

Тогда не очень понятно, что значит «до прихода основного импульса». Тогда вы измеряете то, что после. И вообще, какая модель заложена, если вы в интегральных по времени спектрах говорите о какой-то времени? Поэтому у вас там предположение, что что-то там светит ярче. Я как-то вот этого не услышал.

Мартыненко А.С.

Да, ярче светит, когда пришёл основной лазерный импульс.

Председатель

Тогда максимум температуры горячих электронов?

Мартыненко А.С.

Да.

Председатель

И вот это есть момент, на самом деле насколько я понимаю? И вот это и есть момент на самом деле, насколько я понимаю. Потому что по интегральным измерениям только вот так как-то можно. И вот тогда о плазме до воздействия я очень слабо понимаю, потому что вы измеряете момент, когда всё основной импульс изменил. Он сминает и дырку делает.

Мартыненко А.С.

Да. Поэтому и способ такой: мы непосредственно не измеряем спектр, который был до. Потому что ...

Председатель

Ну, вы измеряете, но он малый вклад вносит.

Мартыненко А.С.

Да. Настолько малый вклад, что просто выделить его нельзя. Поэтому мы измеряем, как вы сказали, момент, когда наиболее горячая температуры. И на основании этого делает предположение о том, что происходило с плазмой до.

Председатель

Ну я и говорю, без модели никуда не деться. Поэтому говорить, то это экспериментальное измерение, это не экспериментальное измерение.

Мартыненко А.С.

Хорошо, здесь существенна модель.

Председатель

Существенна. Потому что все ваши спектры интегральные.

Мартыненко А.С.

Я согласен.

Председатель

Ещё есть вопросы или замечания? Тогда мы переходим к слову руководителя. Сергей Алексеевич? Вы вначале должны сказать о человеке, о соискателе. И только, да.

Пикуз С.А.

Коллеги, в общем я рад представить такую работу здесь. И что Артём Сергеевич подготовил такую диссертацию. Я поясню его вклад и историю того, как он приступил к этой работе и этой тематике. Несмотря на то, что защита сейчас проходит со значительной задержкой относительно его времени аспирантуры, уже со значительной задержкой, порядка двух лет. Я хотел бы сказать, что это связано исключительно с тем, что он пришёл в нашу тему, в группу уже будучи на третьем году аспирантуры, резко поменяв тематику. И за три с половиной года примерно практически к нуля для себя с большим количеством публикаций. Его вклад в эту работу особенно на последних этапах я бы назвал определяющей. То количество статей и публикаций, которые в итоге получились на основании проведённых экспериментов, это исключительно заслуга Артёма Сергеевича. Он не просто является первым автором практически во всех своих публикациях. Я считаю, что вполне сложившийся молодой учёный, который ведёт большую работу с нашими зарубежными коллегами уже непосредственно сам. И это касается как уже планирования будущих экспериментов, так и совместных программ и проектов. Поэтому я считаю, что нашей лабораторией мы всегда можем на него положиться во введении этой тематике. И надеюсь, что он продолжит работу в нашей организации, в нашей лаборатории. Я позволю прокомментировать вопрос сугубо формальный по поводу того, где была выполнена работа, почему мы таким образом отразили в диссертации, автореферате, что работа выполнена в ОИВТ. И частично даже ответить на вопрос, почему не так сильно представлены описания экспериментальных установок в диссертации. Работа выполнена на двух установках: на Vulcan в Резерфорде, петаватт, и на Phelix в GSI. Эти установки являются, имеет статус user facility и представляет фактически сервис по измерительным возможностям. И в общем в нашей области это широко распространена практика когда полностью весь эксперимент планируется и готовится с точки зрения идеологии и планов и всё научно постановки на внешних установках (по отношению в ОИВТ в нашем случае). Вся обработка, всё составление работ, отчётов реализуется в ОИВТ. А площадки действительно фактически сервисные для нас возможность. И те детали, конфигурации постановки за исключением того, что представлено в диссертации, за исключением диагностических методов использования нас фактически не касаются. Мы работаем как по каталогу: запрашиваем определённые параметры, эти все параметры Артём Сергеевич привёл на всех слайдах. И имеет фактически то, что заказали. А вся творческая составляющая она фактически отражена здесь, и выполнена непосредственно в ОИВТ.

Председатель

Спасибо. Можно только уточнить, вы сказали, что у вас есть надежда, что вы будете продолжать работать в лаборатории.

Пикуз С.А.

Это же сотрудник должен принимать решение, что делать дальше. Мы предлагаем.

Мартыненко А.С.

Я планирую работать здесь, да.

Председатель

Спасибо. Тогда Михаил Михайлович, пожалуйста, огласите те материала, которые поступили в письменном виде на данную диссертацию.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги, я должен вас ознакомить с отзывом ведущей организации на диссертацию Артёма Сергеевича. В качестве ведущей организации выступало Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова». Отзыв положительный. С вашего позволения зачитывать полностью отзыв не буду, он достаточно внушительный. Остановлюсь только на его структуре и на замечаниях, которые в нём сформулированы. Он содержит оценку актуальности работы, анализ структуры диссертации, описывает новизну и достоверность полученных данных, а также научно-практическую значимость представленных в работе, содержит упоминания о личном вкладе и оценку работы. При этом выделен ряд замечаний, которые я зачитаю.

В большей части разделов диссертации при описании выполненных экспериментов отсутствует описание экспериментальных схем и используемых рентгеновских спектрометров (в частности – такого важного параметра, как спектральное разрешение). Это существенно затрудняет оценку достоверности полученных рентгеноспектральных данных.

В Главе 1 автором описана оригинальная методика оценки временного контраста и даже длительности предимпульса. Как представляется, оценивается все-таки лишь факт взаимодействует ли фронт интенсивного лазерного импульса с разлетевшейся плазмой (вследствие наличия предимпульсов разного рода), либо с почти неповрежденной мишенью. Оценка длительности основывается на достаточно грубой модели разлета. В любом случае такая оценка требует погрешности. В этом смысле защищаемое положение об определении момента плазмообразования не вполне корректно.

В работе в целом не приведено обсуждение механизмов уширения спектральных линий в плотной плазме, зависимости роли того или иного механизма уширения от ее параметров. Необходимо обосновать используемые модели. Кроме того, существенная часть результатов получена при сравнении с моделированием различными спектральными пакетами. Описание этих пакетов и обоснование возможности их использования для моделирования в экспериментальных условиях, соответствующих проведенным измерениям, в работе отсутствует.

В Главе 2 автором обсуждается возможность восстановления условий в плазме в момент ее формирования по интегральным по времени измерениям. Здесь также возникает ряд вопросов. Во-первых, для расчетов взята простая адиабатическая модель. Как минимум, необходимо было бы для начала сравнить расчеты разлета по этой модели с численным моделированием «реального» разлета. Во-вторых, автор разбивает процесс разлета на 6 стадий. Почему именно 6? Насколько сходящейся является используемая процедура? Это все следовало описать в работе.

В Главе 3 речь идет об интересном эффекте понижения потенциала ионизации в плотной плазме. Обсуждается применимость нескольких моделей такого эффекта. Вместе с тем хотелось бы в тексте увидеть описание этих моделей, их физической сущности, а не только названия.

В тексте присутствует ряд спорных утверждений. Например, в начале раздела 3.1.2. можно прочесть, что «Отражение от кристаллического слоя с номером m происходит в соответствии с условием Вульфа-Брегга: ...». Вроде бы величина m – это порядок дифракции, а не номер слоя? На стр. 75 говорится об обратно-тормозном поглощении релятивистских?? электронов. Традиционно этот механизм поглощения рассматривается для малых интенсивностей лазерного излучения. Вместе с тем известный релятивистский механизм $J \times B$ не отмечен.

В тексте присутствуют довольно многочисленные орфографические, грамматические и стилистические ошибки и опечатки. Так, например, слово «предимпульс» зачастую пишется через «и», но иногда – через «ы». Большинство рисунков имеют надписи на английском языке.

Представленные результаты получены на больших установках, а их обработка – достаточно сложный и трудоемкий процесс. Поэтому хотелось бы в тексте работы видеть

четкие указания на вклад соискателя – что именно сделано по эксперименту, что – по обработке и моделированию в каждом конкретном эксперименте.

Сделанные замечания почти не затрагивают защищаемых положений и не оказывают заметного влияния на общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком профессиональном уровне.

Диссертация соответствует «Положению о порядке присуждения учёных степеней» № 842 от 24.09.2013г. (ред. 01.10.2018г.), а соискатель искомой ученой степени.

Отзыв был составлен доктором физ.-мат. наук профессором Савельевым-Трофимовым Андрей Борисовичем. Профессор кафедры Общей физики и волновых процессов Физического факультета МГУ.

Кроме отзыва ведущей организации на автореферат поступило пять отзывов. Все отзывы положительные, но имеют ряд замечаний. Я также хотел бы их зачитать.

Председатель

Возражений нет, кстати?

Ученый секретарь

На автореферат поступили следующие отзывы. Первый отзыв из ФГУП ЦНИИМаш, «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения». Отзыв подготовил главный научный сотрудник д.ф.-м.н. Беляев Вадим Северианович. Отзыв положительный, с замечаниями:

Замечание по автореферату носит, скорее, рекомендательный характер и касается разработанной в рамках диссертационной работы методики определения момента образования лазерной плазмы относительно времени воздействия основного лазерного импульса на мишень по интегрированным по времени эмиссионным рентгеновским спектрам образовавшейся плазмы. Желательно экспериментально подтвердить предлагаемую методику с использованием других способов определения момента образования лазерной плазмы относительно времени воздействия основного лазерного импульса. Например, в случае низкого контраста без использования плазменного зеркала можно было бы измерить временной профиль импульса с предимпульсом. И если бы предимпульс возникал за 25 пикосекунд до основного импульса, то это бы подтверждало бы методику автора с использованием которой было получено, что преплазма возникает за 25 пикосекунд до основного импульса (стр. 10 автореферата). Измерить предимпульс за 25 пикосекунд можно либо по спектру chirпированного импульса, либо с использованием автокоррелятора.

Автореферат не лишен грамматических ошибок. Используемый термин «лазеро-плазменный источник» желательно заменить на широко используемый «лазерно-плазменный источник».

Председатель

Там вместе или отдельно пишется?

Ученый секретарь

Я оставляю это замечание за автором. Возможно, он хотел сюда вставить что-то другое, но продублировал. Тем не менее, отзыв положительный. И делается вывод, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени искомой.

Второй отзыв полупил из МИФИ, Национальный исследовательский ядерный университет. Составлен непосредственно и подписал его д.ф.-м.н. Андрей Петрович Кузнецов, директор института Лазерных и плазменных технологий, профессор. Отзыв положительный, содержит следующие замечания:

Использование слова «изохорический» при описании процесса нагрева вещества лазерными импульсами может вводить в заблуждение, правильнее было бы дать пояснения, что

идет речь о типе нагрева вещества, происходящем за время меньшее характерного времени гидродинамического разлёта мишени.

В тексте автореферата встречаются опечатки, а размер подписей на некоторых рисунках оказывается недостаточен для восприятия соответствующей информации.

Третий отзыв поступил из "Курчатовского института", Национального исследовательского центра. Отзыв подписал Канцырев Алексей Викторович, к.ф.-м.н., и.о. заместителя директора по научной работе. Отзыв положительный, с замечаниями. К незначительным замечаниям автореферата можно отнести то, что, говоря о температуре плазмы, автор не уточняет о какой именно температуре, электронной или ионной, идёт речь в каждом конкретном случае, и есть ли основания считать, что эти температуры совпадают. Тем не менее отзыв положительный. Соискатель заслуживает присуждения искомой степени.

Четвертый отзыв поступил из Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики. Отзыв составил и подписал к.ф.-м.н., начальник научно-исследовательского отдела Деркач Владимир Николаевич. Отзыв положительный. Имеются следующие замечания:

- работа не лишена «обязательных» ошибок и лексических погрешностей. С научной точки зрения некоторые моменты нуждаются в дополнительном разъяснении (возможно из-за лаконичности определений, задаваемых объемом автореферата). Перечислю основные. Автор несколько раз употребляет термин «ультравысокий» контраст, составляющего важную часть постановки эксперимента, но не определяет его количественно.

- второе - способ определения начальных параметров плазмы, учитывающий остывание и гидродинамическое расширение плазмы и основанный на регистрации интегрального по времени спектра свечения. Он основан на сравнении экспериментального и модельного спектров, а именно интенсивностей и ширин характеристических линий. Автором сообщается о хорошем их согласовании, однако при этом не учитывается влияние аппаратурной функции применяемого диагностического комплекса на реализацию экспериментального распределения, и возникающую при этом погрешность измерений.

- то же замечание касается и анализа результатов регистрации плотности плазмы в вариантах применения мишеней с (без) пластиковыми обкладками, препятствующими разлету кремневой плазмы. Максимальная корреляция расчетных и экспериментальных распределений спектров излучений должна свидетельствовать в пользу той или иной плотности плазмы. Однако, учет экспериментальной погрешности измерений способен изменить корреляционные соотношения и, тем самым, изменить оценку плотности плазмы. Тем не менее отзыв положительный. Соискатель заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Наконец, пятый отзыв поступил из Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина. Отзыв положительный. Отзыв составил и подписал д.ф.-м.н., начальник отдела Научно-теоретического отделения, Вихляев Денис Александрович. В отзыве сформулированы следующие замечания:

- в Главе 3 и на Рисунке 9 приводятся данные об излучательной способности плазмы в абсолютных величинах, но не дано никаких пояснений по тому, как эти величины были получены. При этом оценка излучательной способности важна в контексте максимизации яркости рентгеновского источника для абсорбционной спектроскопии.

- автор в автореферате не упоминает диагностическое оборудование, с помощью которого исследовалась плазма. Исследование плазмы, созданной релятивистскими лазерными импульсами пикосекундной длительности, в «мягкой» области рентгеновского излучения — нетривиальная задача из-за значительного фонового излучения, обусловленного быстрыми электронами и собственным излучением плазмы.

- в тексте автореферата встречаются опечатки и грамматические ошибки, впрочем, не затрудняющие чтение и восприятие. Также не хватает ссылки на рисунок 11.

Отзыв положительный. Соискатель заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Председатель

Спасибо. Артём Сергеевич, вот вам время для того, чтобы ответить на эти вопросы. Но если вы сможете учитывать, что часть этих вопросов мы уже тут обсуждали, и соответственно, будете делать дополнения к тому, что мы уже обсуждали, то есть суммируя, не идя прямо вот. То это было бы правильно, я думаю. Попробуйте.

Мартыненко А.С.

Тогда я начну с конца. Про обратную функцию. На самом деле при обработке спектров учитывалось это. Иначе получились бы неверные интенсивности и ширины. Поэтому что это необходимо было сделано, но не было отмечено в автореферате. То же самое про абсолютные величины. Я действительно не привёл: процесс обработки не был раскрыт. Дальше, про температуры: использовалась электронная температура, где не сказано обратное. Про ионную ничего не говорилось. С тем, что про различные части не были описаны. Что надо было подробнее описать диагностику, обработку. Я с этим всем согласен. Остальное, насколько я помню дублировалось частично.

Председатель

Ну, в значительной степени «да». Я думаю, что в общем по существу мы имеем представление о тех недостатках, которые есть в работе. Как было сказано, «неустранимые»? Или «обязательные»? Хорошо, спасибо, Артём Сергеевич. Тогда мы перейдём к выступлению оппонентов. Первый у нас Михаил Викторович Стародубцев. Пожалуйста. И если вы не против, рассказывать диссертацию снова нам не нужно. Мы её слышали и помним. Вообще лучше туда.

Стародубцев М.В.

Очень приятно всегда находиться в институте и высоких температур. Всегда модно услышать работы самого высокого уровня. Работа Артёма Сергеевича из их числа. Мы довольно давно сотрудничаем с институтом высоких температур. Люди из института приезжают проводить эксперименты на нашем лазерном стенде в Институте Прикладной Физики, .. И я должен заметить, что сложности, с которыми сталкиваются экспериментаторы при проведении экспериментов по взаимодействию интенсивного излучения с веществом, они в общем достаточно очевидны. И эти сложности связаны с тем, что не применимы все те многочисленные методы диагностики, которые развивались в физике плазмы на протяжении сотни лет. Зонд Ленгмюра туда не засунешь, в обычную лазерную плазму (когда мы говорим про сверхинтенсивное излучение); оптика даёт информацию только о внешних слоях, о разреженной плазме, внутренние слои плотной плазмы так не увидишь. Поэтому мы вынуждены всегда приходить к какому-то другим измерением. И рентгеновская спектрометрия здесь, наверное, является одной из определяющих, которые могут использоваться. И во многом безальтернативно. И это накладывает определённые обязательства, на тех, кто проводит эти измерения: модели должны быть качественные, результаты - достоверные. Потому что иначе других способов проверки экспериментальных данных у нас практически нет. Поэтому в общем, поэтому я так приветствую работу, проведённую в диссертации Артёма Сергеевича. Довольно полно он развивает методы рентгеноспектральной диагностики. И в первую очередь учитывает с которыми сталкиваются, рентгеноспектральные. В первую очередь из-за особенностей взаимодействия лазерного излучения в веществом, плазмой, все такие задачи, мы хорошо знаем как происходит эмиссия однородной плазмы с однородной концентрацией и температурой, это всё хорошо известно. Есть достаточное число численных пакетов, которые это хорошо обрабатывают. А вот как происходят процессы в эксперимента при разлёте, при остывании, это всё известно довольно плохо. И при этом если учитывать, и если строить правильные модели, которые будут прямо рассматривать и разлёт плазмы и просчитывать спектры, это всё будет очень долго. Нам экспериментаторам нужно получать оперативные данные о процессы лазеро-плазменного взаимодействия. И здесь достаточно неоднородная модель, которая предлагается в диссертации, она является большим подспорьем потому, что

можно быстро и эффективно получать какую-то информацию. Судя по всему, достаточно достоверную, так как сшивка между экспериментом и теми данными, которые получаются при обработке, как показано в диссертации, очень достойны. Собственно, на этом собственно обзор самой диссертации я завершу. Но отмечу, что меня особенно впечатлили те результаты, которые представлены в третьей главе: удалось получить практически твердотельную плазму. Это достаточно уникальный результат. Благодаря этому удалось посмотреть все эффекты, понижения потенциала ионизации и т.п. Они этот результат, если его пошире представить, был бы достоин того, чтоб на нём одном основывать диссертацию. Ну и теперь, насколько я понимаю, на основании «Положения», я должен выводы и замечания зачитать непосредственно. Я, естественно, отмечаю достоверность полученных результатов благодаря большому числу опубликованных работ. Теоретическую и практическую значимость. Изложение материалов диссертации выполнено на достаточно высоком уровне, обладает внутренним единством. По каждой главе сделаны четкие выводы, отражающие их основную суть. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Тем не менее хотелось бы привести несколько критических замечаний как общего характера, так и касающихся способа представления полученных результатов.

- В работе приводятся результаты моделирования, выполненного с помощью радиационно-столкновительных программных пакетов PrismSPECT, FLYCHIK и SCFLY, однако физические модели, заложенные в код, описаны только в общих чертах. В частности, не хватает конкретики по тому, учитывался ли в расчетной модели эффект Штарка и каким образом. Кроме того, в работе не приводится оценка точности восстановления параметров плазмы по эмиссионным рентгеновским спектрам.

- Второе, модель, описывающая прямое воздействие лазерного излучения на твердотельные мишени, предполагает, что нагрев мишени происходит локально во времени и пространстве (т.е. в течение лазерного импульса и в пределах фокального пятна). Однако, возникающая в ходе лазерного воздействия горячая электронная компонента и создаваемое ей рентгеновское излучение, может нагревать мишень на больших размерах и в течение большего времени. Как это влияет на модель и на восстановление параметров плазмы?

- Третье, одним из важнейших результатов, представленных в Главе 3 диссертации, является получение плазмы с околотвердотельной концентрацией при использовании структурированной мишени с пластиковыми обкладками, нанесенными на кремниевую фольгу. В диссертации, однако, практически не приводятся объяснения режимов взаимодействия такой мишени с лазерным предимпульсом (пьедесталом). Если речь идёт о пикосекундном предимпульсе. В диссертации используется такая терминология: «предимпульсом» называется нс-предимпульс, в пикосекундный называется «пьедесталом». Было бы полезно привести такие объяснения и сформулировать требования на предимпульс. Ну, тут понятно, что имеется в виду, так как предимпульс может иногда и портить мишень. Лёгкая пластиковая обкладка будет разлетаться быстрее чем мишень. И поэтому если мы сделаем слишком плохой предимпульс, то это только испортит мишень. А если хороший, то лазерный импульс будет взаимодействовать не с кремнием, а с обкладкой. Видимо, где-то есть промежуток, который является оптимальным, когда пластиковая обкладка не будет разрушена предимпульсом, но будет разрушена пьедесталом к тому времени, когда придёт импульс. Вот это надо.

- Четвёртое, обозначения на некоторых рисунках приводятся на английском. Кроме того, в работе встречаются опечатки. Ни то, ни другое, впрочем, не затрудняет восприятие диссертации.

Перечисленные выше замечания не снижают достоверности и важности научных результатов полученных в диссертации результатов.

В целом, хотелось бы отметить, что спектроскопические методы исследования вещества являются одним из мощнейших инструментов физики плазмы. Диссертационная работа Мартыненко А.С., посвященная разработке новых подходов к рентгеновской диагностике параметров плотной лазерной плазмы, заметно развивает это важное и

перспективное направление. Выводы диссертационной работы обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Мартыненко Артем Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Артем Сергеевич, на мой взгляд, на мой взгляд заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Физика плазмы».

Председатель

Спасибо, Михаил Викторович. Артем Сергеевич, пожалуйста, отреагируйте на замечания.

Мартыненко А.С.

Спасибо за замечания. Значит, по поводу физической модели и Штарка: мы используем готовый PIC-код, и там все эти эффекты «защиты». Там есть и эффект Штарка и другие. Я не обзвевал это потому, что не мы разработали код. Все эти эффекты учтены, иначе бы все линии были тонкие. Дальше, про точность: да, действительно, я не отразил то в явной форме, хотя, мне казалось, что это отражено. Значит, как точность определялась: варьировались параметры плазмы, преимущественно плотности, находился оптимум по интенсивностям и др., когда описывался модельный спектр. И, грубо говоря, находились диапазоны, когда спектры переставали быть описываемыми. То есть всё-таки точность есть. Видел ли эффект применения обкладок? Виден. Потому что если посмотреть и сравнить экспериментальные спектры без и с обкладками, то с ними спектры просто шире, это видно без всякого анализа. То есть проявляется эффект Штарка, то есть плотности больше. И анализ позволяет оценить, насколько. Я не отразил этот факт, хотя стоило бы. Потом, действительно, не был подробно изучен эффект применения обкладок: это последующая задача. Понять, когда имеет и не имеет смысл их использовать. То есть обнаружен эффект применения, но не был изучен в той степени, чтобы делать выводы. Физическая модель не была до конца разработана. Когда, адекватно это использовать. С грамматическими замечаниями полностью согласен.

Председатель

Спасибо, второй оппонент у нас Сергей Васильевич Попруженко. Пожалуйста, Мы вас слушаем.

Попруженко С.В.

Добрый день, уважаемые коллеги. Мен зовут Сергей Попруженко, и я работаю в Институте общей Физики РАН. И выступаю официальным оппонентом по диссертации Артема Сергеевича Мартыненко. Постараюсь в нескольких словах сказать, как я вижу актуальность и важность этой работы. Дело в том, что современная физика взаимодействия мощного лазерного излучения в веществе в очень значительной мере заключается в исследованиях различных сценариев взаимодействия лазерных импульсов очень высокой интенсивности 10^{18} Вт/см² и выше длительности фемто-секундных и пикосекундных с различными плазмами, которые возникают в твердотельных мишенях и каких-то специальных специально приготовленных объектах. И здесь возникает конечно очень широкий спектр возможностей исследования и приложений, которых связаны с лабораторной астрофизикой, то есть моделирование условий взаимодействия, которых возможно возникают в астрофизических объектах, по-другому нам недостижимых для экспериментального исследования. И создание различных источников вторичного излучения рентгеновского, похожего на синхротронное и так далее. Поэтому во-первых такого рода эксперименты очень важны и чрезвычайно сейчас многообразны, а во-вторых для того чтобы всё-таки в таких экспериментах подходить на возможности практического использования, например, вторичного излучения очень важно необходимо понимать различные сценарий взаимодействия, и то, насколько мы можем получать те или иные параметры. Поэтому диагностика таких режимов и различных вариантах взаимодействия -

это вещь чрезвычайно важная. И этим занимается много групп, огромное количество работ существует. Но тем не менее до сих пор эта тема не исчерпана. И вряд ли когда-то будет исчерпана потому, что и параметры разнообразны, и диагностика очень сложна. Потому что там «замешано» на различные особенно, особенно если речь идёт о каких-то очень коротких импульсах, а именно пикосекундных импульсах. В этой работе там замешано очень много фактов: и равновесия нет в полной мере, и в той же мере столкновения важны, и нестационарность, и в разные моменты взаимодействия лазерных импульсов с плазмой параметры существенно разные. Поэтому здесь получается такая сложнейшая «каша», понимание которой постепенно выстраивается в результате большого количества экспериментальных и расчетных работ. Я считаю, что та экспериментальная работа, которая была сегодня представлена, она носит значительный вклад в понимание такого рода взаимодействия, а именно целью было посмотреть и реализовать режимы, когда взаимодействие пикосекундного высокоинтенсивного (больше 10^{20} Вт/см²) импульса с плазмой обеспечило бы режим близкий к изохорическому. Тогда мы можем удерживать плотность несильно с падающую относительно первоначальной твердотельной плотности мишени. И это было центральной темой работы. К этому были развиты методики диагностики определённые, и потом метод реализован. Я считаю, что те результаты, которые были получены в третьей главе, когда при помощи специальных обкладок, налагаемых на мишень удалось достичь, и удалось это показать, сопрягая результаты эксперимента, сравнивая их с результатами моделирования, удалось показать что да, существенно возрастает плотность плазмы, с которой взаимодействует основной лазерный импульс, и поэтому практически здесь достигнуто взаимодействие с плазмой твердотельной плотностью. Это очень важный результат. Это не просто, и здесь я согласен с предыдущим оппонентом, что удалось поймать такую конфигурацию и параметры предимпульса, и лазерного импульса, и тех обкладок, в которые мишень погружалась, чтобы действительно этого режима достичь. Это и правда результат, который при определенном развитии мог бы быть вполне основанием для защиты кандидатской диссертации.

Четвёртая глава мне тоже понравилась. Особенно, мне кажется, эта экспериментальная постановка очень красивой, когда диагностика плотного тёмного вещества, которое образуется не только под прямым воздействием лазерного импульса, но и под воздействием потока электронов, который этот импульс произвёл. Эта диагностика осуществлялась при помощи второй мишени, которая частью этого лазерного импульса специально подогревалась и создавала поток рентгеновского излучения, результат взаимодействия которого с первой проволокой считался довольно элегантно образом. Я считаю, что здесь два достаточно весомых исследования было проведено и были получены значительные результаты, которые группируются вокруг создания условий изохорического нагрева и нагрева электронными, и, главное, диагностики. Теперь, переходя от своих слов к содержанию моего отзыва, зачитай ту часть, которая относится к замечаниям. В моём официальном заключении.

Должен сказать, что мои замечания здесь в очень значительной степени уже прозвучали поскольку выступаю последним. Поэтому вы услышите здесь дублирование тех вопросов, которые уже прозвучали.

Первое, судя по терминологии, используемой в работе, рассматриваемая в ней плотная плазма считается равновесной. Во всяком случае, повсеместно используется понятие температуры. Ясно, однако, что на начальном этапе взаимодействия плазма оказывается сильно неравновесной: энергии электронов и ионов значительно различаются, а электронные спектры не похожи на тепловые. В работе отсутствуют оценки, обосновывающие использование концепции термодинамического равновесия. Насколько быстро равновесное состояние достигается в плазме твердотельной плотности? Насколько близкой к равновесной можно считать относительно разреженную преплазму, возникающую при облучении мишени без обкладок? Ответы на эти вопросы представляются мне важными, потому, в частности, что моделирование, используемое для восстановления параметров плазмы по форме спектральных линий, по-видимому, существенно опирается на предположение о равновесии.

В пункте 2.2.1 второй главы описывается модель адиабатического расширения, основанная на аппроксимации временных зависимостей ступенчатыми функциями. Из описания неясно, чем определяется выбор параметров модели. Почему считается, что разлет плазмы происходит с постоянной скоростью? Насколько результаты расчетов чувствительны к этому предположению, а также к ряду других допущений, перечисленных на стр.37?

В разделе 4.2.7 четвертой главы обсуждается определение температуры плазменной короны путем сравнения экспериментальных данных с результатами моделирования, выполненного при помощи пакета программ PrismSPEC. Для достижения наилучшего согласия с экспериментально измеренной структурой линий в расчете сделано предположение о присутствии в распределении 0,1% горячих электронов с энергией 10кэВ. Чем обосновано такое предположение? Далее, в разделе 4.2.8 кратко описано, каким образом энергетический спектр электронов моделируется распределением Максвелла с некоторой эффективной температурой, которая (стр.98) «...может быть приближенно оценена на основании значения лазерной интенсивности в соответствии с полуэмпирической модифицированной формулой Бэгга (согласно работе [176]), показанной на Рис.4-24-а для интересующего диапазона лазерных интенсивностей». Такая скудная форма изложения (на рисунке, конечно, показана не формула, а рассчитанная по этой формуле зависимость температуры от интенсивности) существенно затрудняет понимание физического содержания модели. Очень полезно было бы привести некоторое количество важных формул и соотношений, лежащих в основе модели и лучше разъяснить основания для выбора значений параметров и модельных предположений. Сказанное относится не только к содержанию разделов 4.2.7, 4.2.8, но и ко всем частям диссертации, посвященным описанию использовавшихся моделей.

Текст диссертации написан крайне небрежно. Имеются многочисленные опечатки, рассогласование падежей, повторы. Иногда грамматическая конструкция предложений настолько неудачна, что не позволяет понять смысл написанного. Честно говоря, мне кажется, нужно всё-таки больше усилий прикладывать, поскольку её читает руководитель и оппоненты.

Перечисленные замечания и недостатки не снижают общей положительной оценки работы, ее научной значимости и новизны. Диссертационная работа Мартыненко Артема Сергеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней», а ее автор Мартыненко Артем Сергеевич за решение задачи об изохорическом нагреве сверхплотной плазмы пикосекундными лазерными импульсами и о спектроскопической диагностике этой плазмы заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Сергей Васильевич. Артем Сергеевич, ну опять ситуация у нас такая, что опять часть замечаний уже повторились, но были и отличные. Поэтому обратите на них внимание.

Мартыненко А.С.

Спасибо. Я отвечаю с конца. Да, я согласен с проявленной небрежностью и грамматическими ошибками. Касательно всех вопросов, я ещё раз скажу, что, насколько я понимаю, спектр горячих электронов в плазме имеют сложную форму, то есть часть из них можно описать имеющими в предположении равновесности, то есть Максвеллом некоторой температурой. А часть из них горячая. И, соответственно, вся диссертация исходила из этого. Это является общепринятым. И, собственно, так все и делают. Поэтому по поводу предпоследнего замечания. Да, поэтому на основании этих соображений выбиралось в четвёртой главе, что электроны распределены по Максвеллу. Соответственно, последующее моделирование исходило из этого предположения: была относительно холодная часть, которая приводила к образованию вакансий, и была относительно горячая часть, которая пролетала в основном и не взаимодействовала. По поводу третьего: предполагалось то, что было сказано про 0.1. По факту можно предположить наличие большей фракции менее энергетичных

электронов, либо наоборот. Просто без учёта горячей фракции спектр не описывался. Соответственно, мы не делаем утверждения о такой-то фракции горячих электронов в этом эксперименте, потому что это просто не так. То есть горячие электроны в распределении и смоделировать их сложно. Поэтому предполагалась такая-то фракция. Тогда получалось описать спектры. То есть основная часть, это какая плотность, какая температура условно холодных электронов. Далее, про распределение и чувствительность в ступенчатой модели: действительны, модели оказываются чувствительны и к предположению геометрии, и предположению о скорости разлёта. Мы делали оценку на основании гидродинамического моделирования, какая должна быть скорость разлёта и форма, но мы действительно пренебрегли тем, что скорость меняется, тем, что она меняется. То есть модель простая. Это можно объяснить тем, что по факту начальные стадии разлёта оказывают наибольший вклад, и если подумать и оценивать спектральные линии при основании, то окажется, что модель будет чуть менее чувствительна к тому, что оказывается дальше, с какой именно скоростью он происходил. Наконец, первый, про равновесность, быстрое протекание процессов и разреженность плазмы: ответ связан с тем, что уже прозвучало, про распределение. Предполагалось, что плазма частично равновесна, то та фракция, которая низкоэнергетичная, описывается какой-то конечно температурой; а есть фракция горячих электронов. И поскольку вклад в интегрированный по времени спектр вкладывает наиболее горячая стадия, то предполагалось равновесность с какой-то фракцией горячих электронов. На все ответил.

Председатель

Спасибо, уважаемые члены совета и все присутствующие. У нас сейчас время и место для дискуссии. Пожалуйста, Генри Эдгарович.

Норман Г.Э.

Дорогой председатель, Николай Евгеньевич. Дорогие коллеги. Я на двух вопросах хотел остановиться. Первый – это содержательный, снижение потенциала ионизации. Вот, конкретная группа, которая работает тоже на Vulcan, я подписан на их работы и просматриваю их. Так вот, снижение потенциала ионизации есть в каждой работе. Но я ни разу там не видел, что они смогли разрешить кусочек спектральной серии. Этого снижения. А здесь это сделано. Поэтому я считаю, что это очень интересный результат. Правда, не могу вспомнить Диму Ковульшина, который в однократной плазме это сделал, и у нас здесь докладывал в своё время. Но для такой вот твердотельной плазмы это первый результат. И я полностью согласен с Михаилом Викторовичем и Сергеем Васильевичем, что вообще-то это самостоятельная кандидатская диссертация уже. Это хотел отметить.

А второе, по поводу замечания Сергея Юрьевича, где работа сделана, здесь или в Англии.

Председатель

Ну уже разъяснение было?

Норман Г.Э.

Я хотел бы добавить к разъяснению. Я хотел бы напомнить, что Сергей Пикуз был моим аспирантом и сотрудником. И Анатолий Яковлевич Фаенов тоже был моим сотрудником. И в то же время гуру для Сергея. И Анатолий Яковлевич действительно работал за рубежом. А вот Серёжа, хочу подчеркнуть в преддверии его защиты здесь через некоторое время здесь, вот он сразу изменил ситуацию. То есть он действительно ездил, в отличие от Фаенова, на несколько точек – и в это диссертации у Артёма тоже несколько точек – но он возвращался сюда и обработку всю делал здесь. И готовился к экспериментам он тоже здесь. Потому что, Серёжа, у вас же есть вторая комната лабораторная. То есть начинали на пятом этаже, а довольно у вас есть лабораторная комната на первом этаже. И там готовятся средства диагностики. И

готовится эксперимент и что-то по обработке. Поэтому мы должны подчеркнуть, что работа на самом деле сделана здесь в ОИВТ.

Председатель

Спасибо, Генри Эдгарович. Ещё есть желающие выступить в дискуссии? Пожалуйста, Леонид Михайлович.

Василяк Л.М.

Я тоже рад ознакомиться с диссертацией. Это прекрасная работа и её надо поддержать.

Норман Г.Э.

Я, конечно, тоже поддерживаю.

Василяк Л.М.

Я хотел бы отметить, что чтобы из какой-то интегральной характеристики получить что-то, что было до этого – это очень трудная задача. Вообще, это проблема, известная как обратная задача теории рассеяния. И известно, что она ...

Председатель

... не решается однозначно.

Василяк Л.М.

Да, и зависит от того, какие функции вы берёте. И в этом смысле, автор набрался смелости и взялся за интегральные характеристики, то есть рентгеновские спектры, построил определённые модели. И уже на основании того, что он сделал, он получил определённые характеристики. А дальше уже надо эту модель совершенствовать. Замечания, что касаются его адиабатического приближения: конечно, он имеет право на такие приближения с моей точки зрения потому, что в плазме существуют, например, адиабатические электроны и неадиабатические ионы. Это рентгеновские электростатические волны. Теперь, адиабатические ионы и изотермические электроны – это ионный звук. Ну и, естественно, практически с этой точки зрения приближение мне кажется вполне оправданным. И зависимости от тех условий, которые там будут ни могут прийти в нормальную концепцию. Я считаю, что с точки зрения того, что он делает, это всё сделано хорошо. И мы можем проголосовать за то, чтоб поддержать работу.

Председатель

Спасибо, Леонид Михайлович. Ещё будут желающие выступить? Если «нет», то тогда мне представляет, что это есть отражение того, что всё ясно, и мы должны теперь перейти к голосованию. А, подождите, извините, заключительное слово. Всё ясно, но, возможно, вы хотите ещё что-то сказать.

Мартыненко А.С.

Я хотел бы поблагодарить диссертационный совет за то, что нашли время собраться, за то, что нашли время выслушать и, да, приехать, за высказанные замечания. Я хотел бы поблагодарить оппонентов за то, что нашли время ознакомиться с диссертацией, прочитать её и вынести свои заключения, составить отзывы и тоже приехать. Я хотел бы поблагодарить своего научного руководителя за то, что 3.5 года назад взял меня под своё крыло и с тех пор является в научном смысле примером для подражания. И показал мне, что такое современная наука. Хотел бы поблагодарить своих коллег, с которыми мне посчастливилось работать, за поддержку, которую они мне постоянно оказывают. За дискуссии и всё это.

Председатель

Спасибо, Артем Сергеевич. Итак, мы переходим всё-таки теперь к процедуре голосования. Согласно регламенту, присутствующие получаю бюллетени для тайного голосования, подключенные онлайн голосуют личным сообщением в чате, либо сообщают свое мнение личным сообщением ученому секретарю. *(Проводится процедура тайного голосования).*

Васильев М.М.

Коллеги, я хотел бы огласить результаты голосования. На заседании присутствовало 22 члена диссертационного совета. Из них очно – 15; в том числе докторов по профилю, рассматриваемому в диссертации – 10. Онлайн присутствовало – 7 человек; в том числе докторов наук по профилю, рассматриваемому в диссертации – 2. Проголосовало – 22 человека. Все «за». Прошу утвердить. Кто «за», поднимите руку. Если онлайн есть возражения, прошу высказаться вслух. Возражавших нету. *(Результат голосования утверждается единогласно).* Мы можем поздравить.

Председатель

Спасибо. У нас обсуждение в проект заключения текущей работы. *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).* Нет больше замечаний? Тогда предлагаю принять с учётом тех замечаний, которые были сделаны. Кто «за»? *(Проект заключения принят единогласно).*

Председатель

Отлично. С защитой диссертации мы поздравляем. Успехов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 02.06.2021 протокол № 7

О присуждении Мартыненко Артему Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Сверхплотная плазма в условиях изохорического нагрева пикосекундными лазерными импульсами релятивистской интенсивности», в виде рукописи по специальности 01.04.08 – Физика плазмы, принята к защите 01.04.2021 г., протокол № 4, диссертационным советом Д 002.110.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2, jiht.ru, (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012г. № 105/нк.

Соискатель Мартыненко Артем Сергеевич 1991 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

С 2015 года обучался в очной аспирантуре Института Лазерных и Плазменных Технологий (ЛаПлаз) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Диссертация выполнена в Лаборатории № 1.1 – Диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Соискатель работает научным сотрудником Лаборатории № 1.1 – Диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Пикуз Сергей Алексеевич, заведующий лабораторией № 1.1 – Диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, Стародубцев Михаил Викторович, заведующий лабораторией «Моделирования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах» (373) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»;

доктор физико-математических наук, Попруженко Сергей Васильевич, ведущий научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», в своем положительном заключении, составленном профессором кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, доктором физико-математических наук Савельевым-Трофимовым А.Б. (утвержденном проректором – начальником управления научной политики МГУ им. М. В. Ломоносова, д.ф.-м.н. профессором Федяниным А.А.), указала что:

Глубокое понимание поведения вещества в экстремальных условиях, а именно при высоких значениях давления и температуры, требуется как для описания большинства астрофизических явлений, так и для решения практических задач, стоящих перед научным сообществом, таких как создание лазерноиндуцированных источников частиц и мощного рентгеновского излучения, а также осуществление инерциального термоядерного синтеза (сюда же можно отнести, т.н. быстрое и ударное зажигание термоядерного топлива). В связи с этим изучение свойств, развитие методов получения и диагностики вещества, создаваемого в лабораторных условиях при изохорическом нагреве вещества короткоимпульсными лазерными импульсами высокой интенсивности не вызывает сомнений.

Достоверность полученных данных подтверждается сопоставлением экспериментальных данных с модельными, полученными на основе общепринятых атомно-кинетических численных кодов. Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в МГУ им. М.В. Ломоносова, РФЯЦ ВНИИЭФ, ФГУП ЦНИИмаш, НИЯУ МИФИ и во многих других научных учреждениях.

Соискатель имеет 16 опубликованных статей, из них 13 по теме диссертации, 9 из которых опубликованы в журналах, включенных в реферативную базу данных Web of Science:

Основные работы:

1. Martynenko A.S., Pikuz S.A., Skobelev I.Yu. et. al. Optimization of a laser plasma-based X-ray source according to WDM absorption spectroscopy requirements // Matter and Radiation at Extremes. — 2021. — Vol. 6, Issue 1. — Page 014405.
2. Martynenko A.S., Pikuz S.A., Antonelli L., et. al. Role of relativistic laser intensity on isochoric heating of metal wire targets // Optics Express. — 2021. — Vol. 29.

3. Martynenko A.S., Skobelev I.Yu., Pikuz S.A. et. al. Determining the Short Laser Pulse Contrast Based on X-Ray Emission Spectroscopy // High Energy Density Physics. — 2021. — Vol. 38, Page 100924.
4. Ryazantsev S.N., Skobelev I.Yu., Filippov E.D. et. al. Precise wavelength measurements of Potassium He- and Li-like satellites in a laser plasma of a mineral target // Matter and Radiation at Extremes. — 2021. — Vol. 6, Issue 1. — Page 014402.
5. Ryazantsev S. N., Skobelev I.Y., Martynenko A.S. et. al. Analysis of Ly α Dielectronic Satellites to Characterize Temporal Profile of Intense Femtosecond Laser Pulses // Crystals. — 2021. — Vol. 11, Issue 2. — Page 130.
6. Martynenko A.S., Pikuz S.A., Skobelev I.Yu. et. al. Effect of plastic coating on density of plasma formed in Si foil targets irradiated by ultra high-contrast relativistic laser pulses // Physical Review E. — 2020. — Vol. 101, Issue 4.
7. Martynenko A.S., Skobelev I.Yu., and Pikuz S.A. Possibility of estimating high-intensity-laser plasma parameters by modelling spectral line profiles in spatially and time-integrated X-ray emission // Applied Physics B: Lasers and Optics. — 2019. — Vol.125, No. 2.
8. Jakubowska K., Mancelli D., Benocci R. et. al. Reflecting laser-driven shocks in diamond in the megabar pressure range // High Power Laser Science and Engineering. — 2021. — Vol. 9, Issue 1. — 010000e3.
9. Cristoforetti G., Antonelli L., Mancelli D. et. al. Time evolution of stimulated raman scattering and two plasmon decay at laser intensities relevant for shock ignition in a hot plasma // High Power Laser Science and Engineering. — 2019. — Vol. 7, e51.
10. Мартыненко А.С., Скобелев И.Ю., Пикуз С.А. и др. "Определение параметров пикосекундной лазерной плазмы на начальных этапах её формирования методами высокоразрешающей рентгеновской спектроскопии" // Вестник Объединенного института высоких температур. — 2019. т. 3.
11. Filippov E.D., Martynenko A.S., Cervenak M. et. al. X-ray time-resolved diagnostics of hot electron generation in shock ignition relevant experiments // International Conference Laser Optics ICLO. — 2020.
12. Martynenko A. S., Pikuz S. A., Ryazantsev S. N. et. al. X-ray spectroscopy validation of ionization potential depression models in dense plasma created by petawatt laser pulses // International Conference Laser Optics ICLO. — 2020.
13. Pikuz S.A., Faenov A.Y., Pikuz T.A. et. al. X-ray radiation properties of plasma under interaction of femtosecond laser pulses with $\sim 10^{22}$ W/cm 2 intensities // International Conference Laser Optics. — 2018. — IEEE. — p. 234.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИМаш) (главный научный сотрудник, д.ф.-м.н. Беляев В.С.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Замечание по автореферату носит, скорее, рекомендательный характер и касается разработанной в рамках диссертационной работы методики определения момента образования лазерной плазмы относительно времени воздействия основного лазерного импульса на мишень по интегрированным по времени эмиссионным рентгеновским спектрам образовавшейся плазмы. Желательно экспериментально подтвердить предлагаемую методику с использованием других способов определения момента образования лазерной плазмы относительно времени воздействия основного лазерного импульса. Например, в случае низкого контраста без использования плазменного зеркала можно было бы измерить временной профиль импульса с предимпульсом. И если бы предимпульс возникал за 25 пикосекунд до основного импульса, то это бы подтверждало бы методику автора с использованием которой было получено, что преплазма возникает за 25 пикосекунд до основного импульса (стр. 10 автореферата). Измерить предимпульс за 25 пикосекунд можно либо по спектру chirпированного импульса, либо с использованием автокоррелятора.

- Автореферат не лишен грамматических ошибок. Используемый термин «лазеро-плазменный источник» желательнее заменить на широко используемый «лазерно-плазменный источник».

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (директор Института лазерных и плазменных технологий, профессор, д.ф.-м.н. Кузнецов А.П.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- Использование слова «изохорический» при описании процесса нагрева вещества лазерными импульсами может вводить в заблуждение, правильнее было бы дать пояснения, что идет речь о типе нагрева вещества, происходящем за время меньшее характерного времени гидродинамического разлёта мишени.

- В тексте автореферата встречаются опечатки, а размер подписей на некоторых рисунках оказывается недостаточен для восприятия соответствующей информации невооружённым глазом.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт" (к.ф.-м.н., и.о. зам. директора по научной работе Канцырев А.В.) - отзыв положительный, с замечанием:

- к незначительным замечаниям автореферата можно отнести то, что, говоря о температуре плазмы, автор не уточняет о какой именно температуре, электронной или ионной, идёт речь в каждом конкретном случае, и есть ли основания считать, что эти температуры совпадают.

4. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ)» (к.ф.-м.н., начальник научно-исследовательского отдела № 1331 Деркач В.Н.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- Вместе с тем работа не лишена «обязательных» ошибок и лексических погрешностей. С научной точки зрения некоторые моменты нуждаются в дополнительном разъяснении (возможно из-за лаконичности определений, задаваемых объемом автореферата). Перечислю основные. Автор несколько раз употребляет термин «ультравысокий» контраст, составляющего важную часть постановки эксперимента, но не определяет его количественно.

- Второе - способ определения начальных параметров плазмы, учитывающий остывание и гидродинамическое расширение плазмы и основанный на регистрации интегрального по времени спектра свечения. Он основан на сравнении экспериментального и модельного спектров, а именно интенсивностей и ширин характеристических линий. Автором сообщается о хорошем их согласовании, однако при этом не учитывается влияние аппаратурной функции применяемого диагностического комплекса на реализацию экспериментального распределения, и возникающую при этом погрешность измерений.

- То же замечание касается и анализа результатов регистрации плотности плазмы в вариантах применения мишеней с (без) пластиковыми обкладками, препятствующими разлету кремневой плазмы. Максимальная корреляция расчетных и экспериментальных распределений спектров излучений должна свидетельствовать в пользу той или иной плотности плазмы. Однако, учет экспериментальной погрешности измерений способен изменить корреляционные соотношения и, тем самым, изменить оценку плотности плазмы.

5. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ-ВНИИТФ)» (д.ф.-м.н., начальник отдела Научно-теоретического отделения № 1, Лобода П.А. // Вихляев Д.А.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- В главе 3 и на рисунке 9 приводятся данные об излучательной способности плазмы в абсолютных величинах, но не дано никаких пояснений по тому, как эти величины были

получены. При этом оценка излучательной способности важна в контексте максимизации яркости рентгеновского источника для абсорбционной спектроскопии.

- Автор в автореферате не упоминает диагностическое оборудование, с помощью которого исследовалась плазма. Исследование плазмы, созданной релятивистскими лазерными импульсами пикосекундной длительности, в «мягкой» области рентгеновского излучения – нетривиальная задача из-за значительного фонового излучения, обусловленного быстрыми электронами и собственным излучением плазмы.

- В тексте автореферата встречаются опечатки и грамматические ошибки, впрочем, не затрудняющие чтение и восприятие. Также не хватает ссылки на рисунок 11.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н. Стародубцев М.В. является специалистом в области взаимодействия электромагнитного излучения с плазмой:

1. K. Burdonov, G. Revet, R. Bonito, C. Argiroffi, J. Béard, S. Bolanõs, M. Cerchez, S.N. Chen, A. Ciardi, G. Espinosa, E. Filippov, S. Pikuz, R. Rodriguez, M. Šmíd, M. Starodubtsev, O. Willi, S. Orlando, J. Fuchs, Laboratory evidence for an asymmetric accretion structure upon slanted matter impact in young stars, *Astron. Astrophys.* — 2020. — V. 642. — A38.

2. C. Ruyer, S. Bolaños, B. Albertazzi, S.N. Chen, P. Antici, J. Böker, V. Dervieux, L. Lancia, M. Nakatsutsumi, L. Romagnani, R. Shepherd, M. Swantusch, M. Borghesi, O. Willi, H. Pépin, M. Starodubtsev, M. Grech, C. Riconda, L. Gremillet, J. Fuchs, Growth of concomitant laser-driven collisionless and resistive electron filamentation instabilities over large spatiotemporal scales, *Nat. Phys.* — 2020. — V. 16. — Pp. 983–988.

3. S.E. Perevalov, K.F. Burdonov, A. V. Kotov, D.S. Romanovskiy, A.A. Soloviev, M. V. Starodubtsev, A.A. Golovanov, V.N. Ginzburg, A.A. Kochetkov, A.P. Korobeinikova, A.A. Kuz'min, I.A. Shaikin, A.A. Shaykin, I. V. Yakovlev, E.A. Khazanov, I.Y. Kostyukov, Experimental study of strongly mismatched regime of laser-driven wakefield acceleration, *Plasma Phys. Control. Fusion.* — 2020. — V. 62. — № 094004.

- д.ф.-м.н. Попруженко С.В. является специалистом в области численного моделирования процессов взаимодействия интенсивного лазерного излучения с веществом:

1. S.V. Popruzhenko, T.A. Lomonosova, Frustrated ionization of atoms in the multiphoton regime, *Laser Phys. Lett.* — 2021. — V. 18. — № 015301.

2. S.V. Popruzhenko Quantum theory of strong-field frustrated tunneling *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* — 2018. — V. 51. — № 014002.

3. S.V. Popruzhenko, T.V. Liseykina, A. Macchi, Efficiency of radiation friction losses in laser-driven 'hole boring' of dense targets, *New J. Phys.* — 2019. — V. 21. — № 033009.

Выбор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в качестве ведущей организации обусловлен тем, что МГУ им. М.В. Ломоносова является одной из ведущих организаций по фундаментальным исследованиям, в том числе в области исследования физики плазмы с использованием лазерных импульсов.

1. K.A. Ivanov, I.N. Tsymbalov, O.E. Vais, S.G. Bochkarev, R. V. Volkov, V.Y. Bychenkov, A.B. Savel'ev, Accelerated electrons for in situ peak intensity monitoring of tightly focused femtosecond laser radiation at high intensities, *Plasma Phys. Control. Fusion.* — 2018. — V. 60. — № 105011.

2. A.A. Ushakov, P.A. Chizhov, V.A. Andreeva, N.A. Panov, D.E. Shipilo, M. Matoba, N. Nemoto, N. Kanda, K. Konishi, V. V. Bukin, M. Kuwata-Gonokami, O.G. Kosareva, S. V. Garnov, A.B. Savel'ev, Ring and unimodal angular-frequency distribution of THz emission from two-color femtosecond plasma spark, *Opt. Express.* — 2018. — V. 26. — № 18202.

3. E.A. Bolkhovitinov, G.A. Gospodinov, K.A. Ivanov, A.A. Rupasov, A.B. Savel'ev, The Diagnostic Probing of Laser Plasma with a Femtosecond Time Resolution Using a Three-Channel Polarization Interferometer, *Phys. At. Nucl.* — 2019. — V. 82. — Pp. 1419–1423.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Установлено, что одновременное применение пластиковых обкладок ведёт к существенному повышению плотности плазмы вплоть до почти твердотельных значений, в то время как их отсутствие – к генерации плазмы с величиной плотности в несколько раз меньше даже в тех случаях, когда используется излучение лазерной установки ультравысокого контраста.

- Экспериментальные данные о параметрах прогреваемого потоком горячих электронов используются для верификации численных моделей, описывающих динамику и структуру возникающих электронных токов, механизмы прогрева вещества.

- Предложен метод оценки момента образования преплазмы по рентгеновским эмиссионным спектрам лазерной плазмы, создаваемой ультракороткими лазерными импульсами.

- Разработан и апробирован метод восстановления параметров адиабатически разлетающейся плазмы в момент взаимодействия основного сверхмощного лазерного импульса с мишенью по её интегральным по времени эмиссионным рентгеновским спектрам.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Впервые с высокой точностью было определено положение края рекомбинационного континуума в зависимости от плотности кремниевой плазмы вплоть до околотвердотельных значений. Наблюдалось исчезновение уровней с главным квантовым числом $n \geq 4$ в гелиеподобных ионах кремния и пропадание соответствующих эмиссионных рентгеновских спектральных линий. Эти данные позволяют уточнить теоретические модели, описывающие эффект понижения фоторекомбинационного континуума.

- Впервые было охарактеризовано состояние плотного нагретого вещества, разогреваемого потоком быстрых лазерно-ускоренных электронов, с одновременным применением эмиссионных рентгеновских спектральных и абсорбционных рентгенографических методов диагностики для протяжённых мишеней: впервые проведено одновременное восстановление температурного профиля разогреваемого вещества и описание динамики разлёта мишени. Выявлено определяющее влияние лазерной интенсивности на характер прогрева проволоки на глубине от 300 мкм; а энергии – на максимальную температуру получаемой плазмы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Показано, что пластиковые мишенные обкладки позволяют повысить плотность получаемой лазерной плазмы в том числе для случая ультравысокого лазерного контраста, достигнутого за счёт одновременного использования ОРСПА и плазменного зеркала.

- Показана возможность оптимизации источников жёсткого рентгеновского излучения на основе твердотельных мишеней для абсорбционной спектральной диагностики плотной горячей плазмы.

- Разработанные методы оценки момента образования преплазмы и параметров плазмы в момент прихода основного лазерного импульса, основанные на анализе рентгеновских эмиссионных спектров лазерной плазмы, уже используются при обработке и интерпретации экспериментальных данных на современных лазерных установках, в частности на установках Vulcan PW (RAL, Великобритания), Phelix (GSI, Германия).

- Предложенные методики рентгеновской диагностики плазмы успешно применяются для интерпретации результатов экспериментов, выполняемых широкой международной коллаборацией на установках в Лаборатории Резерфорда Эплтона (Rutherford Appleton Laboratory's Central Laser Facility; Оксфордшир, Великобритания), Институте тяжёлых ионов (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung; Дармштадт, Германия) в Институте Прикладной Физики РАН (Нижегород, Россия).

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, ИОФ РАН им. А. М. Прохорова, ФГУП ЦНИИмаш, Институте Лазерных и Плазменных технологий НИЯУ МИФИ, МГУ им. М.В. Ломоносова,

ФИАН им. П.Н. Лебедева, в НИЦ "Курчатовский институт", Институте астрономии РАН и во многих других научных учреждениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- использованы современные методы и приборы для регистрации рентгеновского излучения плазмы и определения его спектрального состава, показана воспроизводимость результатов исследования;

- расчетно-теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах кинетики плазмы. Они согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- идея диссертационной работы базируется на анализе научной литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп и лабораторий;

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автором проведены кинетические расчеты относительных интенсивностей линий высокоионизированной кремниевой и алюминиевой плазмы в рамках квазистационарной столкновительно-радиационной модели. На основании полученных зависимостей автором предложены методика определения электронной температуры и плотности плазмы в момент прихода основного лазерного импульса на мишень с учётом процессов остывания и разлёта плазмы по интегральным по времени рентгеновским спектрам; а также рентгеноспектральная методика оценки момента плазмообразования относительно момента прихода основного лазерного импульса на мишень.

Автор принимал непосредственное участие в подготовке и проведении экспериментов на установках Vulcan и Phelix, результаты которых легли в основу диссертации. Автор лично проводил последующую обработку и анализ полученных данных.

Апробация результатов исследования проводилась на 12 российских и международных конференциях и симпозиумах, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе в большинстве своем подготовлены лично автором, либо при его непосредственном участии.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г. (ред. 01.10.2018г.).

На заседании от 02.06.2021г. диссертационный совет принял решение присудить Мартыненко А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 22 человек, из них очно: 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 2 доктора наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02
д.ф.-м.н.



Васильев М.М.

М.П.

02.06.2021г.