

**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 20 декабря 2017 г. (протокол № 20)

Защита диссертации Рязанцева Сергея Николаевича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Рентгеноспектральная диагностика рекомбинирующей плазмы для задач лабораторной
астрофизики»

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) Протокол № 20 от 20 декабря 2017 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 24 человек, из них 12 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 14 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 к.ф.-м.н. Васильев М.М.

1	Фортов В.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
2	Канель Г.И.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
3	Андреев Н.Е.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
4	Васильев М.М.	К.ф.-м.н.	01.04.08	Присутствует
5	Агранат М.Б.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
6	Амиров Р.Х.	Д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.08	Присутствует
7	Баженова Т.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
8	Вараксин А.Ю.	Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
9	Васильев М.Н.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
10	Василяк Л.М.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
11	Ваулина О.С.	Д.ф.-м.н.	01.04.08	Отсутствует
12	Воробьев В.С.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
13	Голуб В.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
14	Гордон Е.Б.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
15	Грязнов В.К.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
16	Зейгарник Ю.А.	Д.т.н., с.н.с.	01.04.14	Присутствует
17	Еремин А.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
18	Иванов М.Ф.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
19	Иосилевский И.Л.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
20	Кириллин А.В.	Д.ф.-м.н.	01.04.14	Присутствует
21	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Отсутствует
22	Ломоносов И.В.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
23	Медин С.А.	Д.т.н., профессор	01.04.14	Присутствует
24	Норман Г.Э.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
25	Петров О.Ф.	Академик РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
26	Полежаев Ю.В.	Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.14	Отсутствует
27	Савватимский А.И.	Д.т.н.	01.04.14	Присутствует
28	Сон Э.Е.	Академик. РАН, д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
29	Старостин А.Н.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует
30	Храпак А.Г.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	Присутствует
31	Якубов И.Т.	Д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации младшего научного сотрудника лаборатории 1.2.5 – диагностики вещества в экстремальном состоянии Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Рязанцева Сергея Николаевич на тему «Рентгеноспектральная диагностика рекомбинирующей плазмы для задач лабораторной астрофизики». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Диссертация выполнена в лаборатории 1.2.5 – диагностики вещества в экстремальном состоянии НИЦ-1 ТЭС ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru) за время обучения в аспирантуре физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова www.msu.ru)

Научный руководитель:

Пикуз Сергей Алексеевич – Кандидат физико-математических наук, Заведующий лабораторией № 1.2.5. – диагностики вещества в экстремальном состоянии НИЦ-1 Научно-исследовательского центра теплофизики экстремальных состояний (НИЦ-1 ТЭС) 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)

Научный консультант:

Грум-Гржимайло Алексей Николаевич - Доктор физико–математических наук, ведущий научный сотрудник отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, тел. (495) 939-18-18, sinp.msu.ru, e-mail: info@sinp.msu.ru)

Официальные оппоненты:

Терехин Владимир Александрович – гражданин РФ, Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института теоретической и математической физики Федерального государственного унитарного предприятия Российского федерального ядерного центра — Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики, (Мира пр., 37, Саров, Нижегородская обл., 607190, тел. (831) 304-4468, vniief.ru, e-mail: staff@vniief.ru)

Андреев Степан Николаевич – гражданин РФ, Доктор физико-математических наук, ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ул. Вавилова, 38, г. Москва, 119991, тел. (499) 503-8327, gpi.ru, e-mail: nauka@gpi.ru)

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения" (Пионерская ул., 4, Королев, Московская обл., 141074, тел. (499) 513-5006, tsniimash.ru, e-mail: corp@tsniimash.ru)

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н. Андреев С.Н. и д.ф.-м.н. Терехин В.А., научный руководитель Рязанцева С.Н. к.ф.-м.н. Пикуз С.А., научный консультант д.ф.-м.н. Грум-Гржимайло А.Н.

СТЕНОГРАММА

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги, добрый день. К нам в совет обратился Рязанцев Сергей Николаевич с просьбой принять к защите его диссертацию на тему «Рентгеноспектральная диагностика рекомбинирующей плазмы для задач лабораторной астрофизики» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы. Нашим советом была создана экспертная комиссия в составе профессора Андреев Николая Евгеньевича, Аграната Михаила Борисовича и профессора Иосилевского Игоря Львовича. Эксперты рассмотрели работу и заключили что она соответствует тематике нашего диссертационного совета. В деле имеются все документы, оформленные в соответствии с требованиями ВАК. С вашего позволения зачитывать я дело целиком не буду. Если у вас есть вопросы, то я готов ответить.

Председатель

Ну, я думаю, что ситуация ясная, поскольку заключение комиссии у нас есть, вопросов не возникло. Сергей Николаевич, пожалуйста, Вам слово. В пределах 20 минут.

Рязанцев С.Н.

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

Председатель

Спасибо, Сергей Николаевич. Пожалуйста, вопросы. Да, Олег Федорович.

Петров О.Ф.

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

Рязанцев С.Н.

Да, поле импульсное.

Петров О.Ф.

Можно я тогда сразу второй вопрос задам. Второй вопрос носит, так сказать, некий философский, может быть, характер. Вы говорите о подобии. Здесь возникает сразу два очевидных вопроса. Чтобы говорить о подобии надо знать параметры струй на астрофизических масштабах. И второй: О критериях подобия что вы можете рассказать? Получилось вопросов, наверное, три. Первый – времена магнитного поля, второй – что известно об астрофизических струях, и третий – критерии подобия.

Рязанцев С.Н.

Понял. Спасибо за вопрос. Изготовление данных катушек Гельмгольца является результатом работы зарубежных коллег. В связи с этим, они имеют полные результаты промера зависимости магнитного поля в определенной области пространства от времени. Характерное время нарастания поля — это микросекунды, сотни микросекунд. При этом характерные времена эксперимента – это наносекунды, десятки наносекунд. В связи с этим на масштабе времени существования плазмы поле можно считать однородным.

Председатель

Однородным или постоянным?

Рязанцев С.Н.

Постоянным. Величину индукции можно считать постоянной.

Петров О.Ф.

Однородным оно будет по конфигурации. Далее вопрос про параметры астрофизических струй и критерии подобия.

Рязанцев С.Н.

Во всех экспериментах главным критерием подобия являлось соотношение скорости струи, времени и размеров, которые вместе формируют число Струхала. То есть это масштабные параметры. В частном случае, хорошей степенью моделирования считается то, что как для лабораторной плазмы, так и для астрофизической значение ряда параметров много больше единицы. В этом случае можно сказать, что критерии подобия выполнены. Следует отметить, что целью конкретно моей работы не являлось обсуждение подобия плазмы, образующейся в описанных экспериментах, с реальными астрофизическими струями. Целью являлось изучение образующейся рекомбинирующей плазмы.

Воробьев В.С.

Насколько я уловил, вы при определении концентрации возбужденных атомов решали систему уравнений каскадной матрицы для стационарных условий. Туда входят вероятности радиационных процессов. Как вы учитывали реабсорбцию спектральных линий, особенно в случае нижних возбужденных состояний? Или вы брали приближение оптически тонкого слоя? У Вас реабсорбция играла роль?

Рязанцев С.Н.

В данном случае рассматривалась оптически тонкая плазма.

Воробьев В.С.

Какие основания для этого?

Рязанцев С.Н.

Основанием в данном случае являются оценочные расчеты, в соответствии с которыми для параметров плазмы характерных для экспериментов условие оптической тонкости выполняется.

Воробьев В.С.

И на основное состояние?

Рязанцев С.Н.

Да.

Воробьев В.С.

1018 концентрация у Вас.

Рязанцев С.Н.

Температуры очень высокие. Реально в непосредственной близости от мишени на уровне 2-3 сотен электронвольт, а дальше спад.

Председатель

Так все-таки не учитывалась реабсорбция?

Рязанцев С.Н.

Рабсорбция не учитывалась.

Председатель

Ну, хорошо. Ответ получен

Амиров Р.Х.

На ту же тему вопрос. Вы, конечно, в расчете должны рассматривать конечное число возбуждённых состояний. По моим понятиям, в рекомбинирующей плазме число состояний, которое вы должны учитывать, должно меняться, потому что, так сказать, самые высокие состояния реализовываться не будут. Это у вас как-то в диссертации освещено?

Рязанцев С.Н.

Естественно, все решено было в определённых пределах. Это освещено в диссертации, полное описание модели.

Амиров Р.Х.

Как вы определяли число состояний каждый раз? В каких пределах оно у вас менялось?

Рязанцев С.Н.

Мы выбрали определенную совокупность уровней.

Амиров Р.Х.

Она было строго задана в всех вычислениях?

Рязанцев С.Н.

Да.

Амиров Р.Х.

Спасибо.

Председатель

Еще вопросы, пожалуйста.

Васильев М.Н.

Можно вернуться к вопросу Олега Федоровича, хотя это на защиту и не выносится. Я про эксперимент. Какой объем магнитного поля был в ваших экспериментах?

Рязанцев С.Н.

Порядка одного кубического сантиметра, если мне не изменяет память.

Васильев М.Н.

То есть маленький. Тогда следующий вопрос. Тоже из любопытства. Из чего были сделаны катушки Гельмгольца?

Рязанцев С.Н.

Сам материал корпуса?

Васильев М.Н.

Нет, обмотка. Из обычной меди?

Рязанцев С.Н.

Да.

Председатель

Ответ получен. Еще есть желание спросить у кого-то? Сергей Николаевич, можно я задам более простой вопрос для того чтобы понять ваш личный вклад. Вот, например, первый пункт: «Методика определения электронной температуры...». Понятно, что вы используете некую модель. Вы разрабатывали модель или использовали модель? Это первый вопрос. Вы приводите экспериментальные данные. Вы почувствовали в эксперименте или брали только данные этих экспериментов? Ваш личный вклад и в эксперимент, и в теорию в чем?

Рязанцев С.Н.

Если говорить про самые базовые вещи теоретического описания, то есть про квазистационарное приближение, то оно не является моей идеей. Оно было взято из классических работы Маквиртера. Я претендую на решение системы уравнений для населенности и непосредственный расчет относительных интенсивностей линий гелиеподобного иона фтора и формулирование на их основе методики. Что касается экспериментов, то я принимал непосредственное участие как в формулировании конечных целей, так и в решении конкретных экспериментальных задач. В частности, я проводил настройку спектрометрического оборудования для регистрации спектров с пространственным разрешением.

Председатель

Понятно, спасибо большое. Еще вопросы есть?

Дьячков Л.Г.

Можно показать слайд. Я там не все успел рассмотреть. Там показан спектр, обозначены линии $He\alpha$ и $Lu\alpha$. Да вот этот. Это какие линии? Чьи?

Рязанцев С.Н.

Фтор.

Дьячков Л.Г.

Это какой ион?

Рязанцев С.Н.

Гелиеподобный ион фтора.

Дьячков Л.Г.

А $Lu\alpha$ это что?

Рязанцев С.Н.

Это водородоподобный ион фтора.

Дьячков Л.Г.

Водородоподобный ион фтора. А, вообще, казалось бы, что по спектру они должны быть очень сильно разнесены, а они вот совсем соседствуют рядом.

Рязанцев С.Н.

Табличные значения для линии $He\alpha$...

Председатель

Тут масштаба нет!

Рязанцев С.Н.

Да. К сожалению, да. Это является недоработкой. Тем не менее шкала здесь линейная. Данная длина волны у линии He β 14.5 ангстрем, а у линии Ly α приблизительно 15 ангстрем. Там дублет на самом деле.

Дьячков Л.Г.

Казалось бы, лаймановская линия должна быть намного более сильной по энергии.

Рязанцев С.Н.

Это же линия He β , то есть не головная линия серии гелиеподобного иона. Я согласен, что из общих соображений следует, что Ly α должна соответствовать большей энергии, но тем не менее это все согласуется с табличными данными.

Воробьев В.С.

Можете еще вернуться к положениям, выносимым на защиту. Вот первый пункт с небольшой редакцией содержится в книге Очкина «Спектроскопия плазмы» и в нем нет новизны. Он связан с замечанием, которое я делал раньше. «Интенсивности переходов резонансной серии...». Резонансные серии при концентрации 10¹⁹ сильно реабсорбируют. Не просто, а очень сильно. Вот я бы не стал этот пункт выносить.

Председатель

Владимир Сергеевич ну поздно уже.

Воробьев В.С.

Но замечания я могу сделать.

Председатель

Конечно.

Воробьев В.С.

Это традиционный метод, который всегда использовался и был известен еще до войны.

Петров О.Ф.

Здесь все-таки речь идет о методике. Есть метрологический метод и методика. Методика предполагает то, что автор воспользовался известным методом, но адаптировал под свои условия и экспериментальные процедуры. Я так понимаю автор именно на это претендует. Вы же не претендуете на то, что вы открыли этот способ диагностики.

Рязанцев С.Н.

Конечно, я не претендую на то, что я придумал рентгеноспектральную диагностику плазмы.

Председатель

Сергей Николаевич же сказал, что он решал конкретные уравнения для обозначенных условий.

Амиров Р.Х.

В заключении сформулировано достаточно точно то, о чем говорил Олег Федорович: «Проведены расчеты интенсивностей... на основе которых сформулирована методика определения электронной температуры». Далее здесь указано, что это конкретные ионы и так далее. То есть в заключении все это отражено правильно.

Председатель

Еще вопросы? Раз тут к картинкам стали обращаться, то можно вас попросить перелистать назад, туда, где вы плотность определяли по пересечению зависимостей с экспериментальным значением. Несколько кривых там было. Вы сказали, что из-за резкой зависимости можно определять параметры. В левой части они, действительно, расходятся, а в правой части они все пересекаются в одной точке.

Рязанцев С.Н.

В данном случае это неудачный пример. Если бы экспериментальная линия шла выше, то тут все было бы более очевидно.

Председатель

Если бы она шла выше понятно, но все равно вся правая часть фактически мало пригодна для диагностики. Смотрите, где бы она не пересеклась.

Дьячков Л. Г.

Внизу пригодна.

Председатель

Да, там, где они разошлись пригодна, а вот в диапазоне порядка единицы вроде бы совсем непригодна.

Рязанцев С.Н.

Если все вместе одновременно четыре отношения анализировать, то есть собрать всю совокупность пересечений экспериментальной прямой и расчетных кривых, то, на самом деле, можно сделать выбор.

Председатель

Это, по-видимому, просто неудачный пример.

Рязанцев С.Н.

Да, просто неудачный пример.

Председатель

Хорошо, спасибо. Если больше нет вопросов, то тогда, Сергей Алексеевич, пожалуйста, как руководитель расскажите не о работе, а о человеке.

Пикуз С.А.

То есть комментировать вопрос по поводу оптической толщины не стоит.

Председатель

Нет, нет. Это не ваша задача.

Пикуз С.А.

Я хотел бы отметить, что Сергей пришел к нам в лабораторию уже будучи на втором курсе аспирантуры, самостоятельно решив резко поменять тематику. Его предыдущая тема совсем не имел отношения к рентгеновской спектроскопии, он занимался другими задачами в НИИЯФ МГУ, где и обучается в аспирантуре. Придя к нам весной 2015, фактически за два года смог освоить совершенно новую для него тему, провести вполне самостоятельную работу, самостоятельное исследование. В совокупности получается, что за два с половиной года была подготовлена эта диссертация. На мой взгляд, с заметным превышением, по крайней мере,

публикационной активности. Работа, которая здесь представлена, имеет продолжение. Результаты, которые вошли в диссертацию были получены в экспериментах на установке в Лаборатории использования интенсивных лазеров Политехнической школы во Франции. При этом, у этой же темы есть продолжение в рамках работ по мегагранту, выделенному Институту прикладной физики РАН в Нижнем Новгороде. Там было сделано несколько экспериментов подобного плана на установке PEARL, но не в петаваттном режиме, а с использованием длинных импульсов. Сергей тоже принимал в них участие. В настоящее время готовится публикация по похожему эксперименту с плазменными струями, разлет которых происходит перпендикулярно направлению силовых линий магнитного поля. Таким образом, работа продолжается, в том числе и в России. Помимо этого, Сергей проявлял инициативу в плане участия в других работах, связанных с экспериментами со сверхинтенсивными лазерными полями. Ему была поручена большая часть организационной работы лаборатории, поэтому я его рассматриваю, как одну из опор жизни нашей лаборатории.

Председатель

Он остается в лаборатории?

Пикуз С.А.

Он остается. Конкурс на его ставку уже объявлен, так что в ближайший месяц он получит, как говорится, постоянную позицию в нашем институте. Считаю, что он заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук.

Председатель

Спасибо, Сергей Алексеевич. Перейдем к письменным отзывам от ведущей организации, а также на автореферат.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги, в деле имеется отзыв от ведущей организации. В качестве ведущей организации выступал Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИмаш). Отзыв положительный. Он содержит структуру диссертации, описывает научную новизну, практическую значимость диссертационной работы, обсуждение достоверности полученных результатов. С вашего позволения зачитывать полностью отзыв не буду. Остановлюсь на замечаниях, которые сформулированы в отзыве:

В целом понятно, как при помощи совокупности экспериментальных данных и расчётных кривых для отношений интенсивностей решать задачу определения параметров плазмы, но в тексте диссертации не лишним бы было привести конкретный пример получения любой точки пространственных профилей электронной температуры и плотности, приведенных в третьей главе.

Представление населенностей возбужденных уровней в виде выражения (2.6) только через коэффициенты рекомбинационного и ионизационного заселения за счет электрон-ионных соударений требует обоснования.

В главе 3 явно не указано каким именно из представленных в главе 1 критериев подобия отвечают плазменные струи, полученные в экспериментах, которые описаны в главе.

Существует ряд недочетов, связанных с представлением полученных материалов диссертации и затрудняющих ее восприятие. Так, например, на рис. 2.9, на котором представлена зависимость интенсивностей спектральных линий от электронной плотности не указан ион, для которого они рассчитаны, хотя из контекста следует, что это водородоподобный кислород. На рис. 4.5, на котором представлены реальные сигналы фотодиодов не указан момент начала отсчета времени измерений.

В тоже время представленные замечания не снижают качества работы. Также отмечено, что она соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения

ученых степеней, а Рязанцев С.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Также на разосланный автореферат поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные, однако содержат замечания. Первый отзыв поступил из Института лазерных и плазменных технологий, «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Отзыв подписан Кузнецовым А.П. Отзыв положительный, но есть замечание.

В целом автореферат в достаточно полно отражает суть исследования, хорошо структурирован, содержит поясняющие таблицы и иллюстрации. Однако на стр. 20 (автореферата), где речь идет о диагностике неон- и азотосодержащей стационарной плазмы, не объяснено почему именно эти линии являются наиболее удобными для диагностики, хотя по спектру неонсодержащей плазмы, приведенному на рис. 9(б) видно, что регистрируется еще ряд линий, интенсивности которых использованы не были.

Следующий отзыв поступил из МГУ им. М.В. Ломоносова, подписан доктором физико-математических наук Савельевым-Трофимовым Андреем Борисовичем. Отзыв положительный, содержит ряд замечаний:

используемый в работе термин «нестационарность», на мой взгляд не совсем соответствует реально осуществленным исследованиям, поскольку расчеты и измерения проводятся интегрально по времени. Авторы используют изящный метод решения сложной системы уравнений для кинетики населенностей уровней ионов, однако сравнение с соответствующим стационарным распределением (на основе уравнений Саха) не приводится. Кроме того, в работе плазма считается «вмороженной» в пространство (без гидродинамики), т.е. предполагается неизменность концентрации и температуры в каждой точке плазмы в процессе измерения, что, как минимум, требует обоснования.

из текста автореферата не ясно, насколько используемая авторами ударно-излучательная модель соответствует астрофизическим условиям в плазме

в автореферате имеется ряд опечаток, повсеместно используется термин «плотность», хотя подразумевается концентрация электронов.

В третьем отзыве, который поступил из Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина и подписан доктором физико-математических наук Лободой Петром Анатольевичем, содержится одно замечание:

следует отметить, что как для результатов диагностики нестационарной плазмы, которой посвящена большая часть диссертации, так и для плазмы, рассмотренной в 4 главе в рамках модели стационарной кинетики, не приведены данные о погрешностях выбранных методов диагностики.

Четвертый отзыв поступил из ИПФ РАН. Отзыв подписан заведующим лабораторией Стародубцевым Михаилом Викторовичем. Отзыв положительный и содержит следующее замечание:

Автореферат корректно отражает основные результаты проведенной работы, содержит качественные наглядные иллюстрации. Однако следует отметить, что в полученном мной печатном экземпляре автореферата все рисунки выполнены в градациях серого, хотя в подписях фигурирует цвет кривых (например, рис. 5), а также содержится несколько пунктуационных ошибок. Естественно, никаким образом это не снижает общего высокого уровня диссертации.

И, наконец, пятый отзыв поступил из ТРИНИТИ – госкорпорация «Росатом». Составлен и подписан доктором физико-математических наук Гавриловым Валерием Васильевичем. Отзыв положительный. Сформулировано следующее

в качестве недостатка автореферата не могу не отметить некоторую небрежность, проявленную автором при его оформлении. Это касается языка и иллюстраций. Например, иногда употребляются жаргонные выражения, такие как «излучаемый плазмой спектр...» в первом же абзаце автореферата. А пассаж в самом конце с. 18 изложен так, что его вообще очень трудно понять. На рис. 4 надо было определить ось абсцисс, а на Рис. 6 показать экспериментальную ошибку.

Председатель

Можно вас попросить не концентрироваться на формальных вполне очевидных замечаниях, с которыми Вы, я надеюсь, согласны. Лучше обратите внимание на вопрос, который касается нестационарности, который является принципиальным для диагностики нестационарной плазмы, в особенности для случая регистрации спектра с «открытым забралом»

Рязанцев С.Н.

Хорошо. Тогда с этого вопроса и начну. В замечании говорится, что сравнение со стационарным распределением в автореферате не приведено. Это так, но следует отметить, что в самом тексте диссертации этот вопрос рассмотрен. При этом стационарные распределения, а точнее, спектры, рассчитанные в рамках стационарного распределения, не могут описать наблюдаемые экспериментальные спектры.

Что касается вмороженности и неучета гидродинамики – мы используем приближение стационарного разлета, которое для наносекундных импульсов является широко распространенным. Возможно, для фемтосекундных импульсов это было бы неправильно, и нужен был бы совершенно другой подход. Но согласованность данных, например по плотности, интерферометрической и рентгеновской диагностик в целом подтверждает адекватность нашего приближения.

Не знаю, является ли вопрос о термине электронной плотности формальным. Тем не менее, на основе изученной мной литературы могу сказать, что термин «электронная плотность» является устоявшимся, но в данном случае с физической энциклопедией я не сверялся.

Мне отвечать на все отзывы, в том числе отзыв ведущей организации?

Председатель

Да.

Рязанцев С.Н.

В отзыве ведущей организации содержится замечание, что я не приводил конкретного примера получения какой-либо точки профилей (плазменных струй). Наверное, это является недостатком. Сейчас в докладе я тоже привел не слишком удачный пример, но все же некоторое пояснение по этому поводу было дано. В диссертации этот вопрос действительно не рассмотрен подробно. Это является недостатком, я согласен с этим замечанием.

По поводу замечания о выражении населенностей через коэффициенты ионизационного и рекомбинационного заселения. Да, в общем случае этого сделать действительно нельзя, но можно сделать в рамках квазистационарного приближения, которое и использовалось в диссертации. Критерии применимости такого разложения полностью совпадает с критерием применимости квазистационарного приближения.

Сегодня уже поднимался вопрос соответствия лабораторной плазмы моделируемому астрофизическому объекту. Подобие в данном случае реализовано по числу Струхалия и по числу Маха. Если произвести конкретные расчеты, то мы можем утверждать, что изученная плазма обладает астрофизическим подобием. Но рассмотрение подобия напрямую не являлось целью моей диссертации.

Замечание из ТРИНИТИ. Было формальное замечание об использовании термина «испускаемый спектр». По этому вопросу я сверился с физической энциклопедией и могу сказать, что использованный в диссертации термин «спектр испускаемый плазмой» является жаргоном. Я согласен с этим замечанием.

Про «пассаж». Не совсем понятно, о чем конкретно идет речь.

Председатель

Речь идет об абзаце на 18 странице автореферата.

Рязанцев С.Н.

На 18 странице существует короткий 4-х строчный абзац, в котором содержится мысль о том, что плазма может существовать достаточно долго для установления стационарных значений. В этом утверждении, как и в целом во всей диссертации, речь идет о стационарности либо нестационарности кинетики плазмы. Поэтому я подумал, что в автореферате уточнение о кинетике или определение «кинетический» можно не употреблять, из-за чего утверждение в данном абзаце получилось, возможно, непонятным.

Отзыв из МИФИ. Я покажу слайд с рисунком, к которому апеллируют авторы отзыва. Было сказано, что в случае Ne на спектре видно 4 линии (от a до d). Упоминаются линии b и c, которые не используются для диагностики. Мы выбирали для диагностики наиболее удобные линии, сильно зависящие от температуры в данном диапазоне. Эти зависимости показаны в левой части слайда. На основании этих линий мы продиагностировали параметры плазмы. На рисунке модельный спектр показан пунктиром, а экспериментальный – сплошной черной линией. Видно, что модельных и экспериментальный спектры в области этих линий (b и c) также хорошо совпадают. В связи с этим использование этих линий для диагностики будет в некотором смысле избыточным.

Отзыв по поводу погрешностей. Для случая двойного импульса погрешности определены и приведены на данном рисунке. Вообще говоря, эти погрешности всегда определялись, их величина напрямую следует из погрешности определения относительных интенсивностей спектральных линий. При этом наличие таких погрешностей не являлось определяющим для выполненной работы.

Председатель

Спасибо, Сергей Николаевич. Я думаю, что мы можем перейти к отзывам оппонентов. Первый оппонент у нас из ИОФ РАН, Андреев Степан Николаевич. Степан Николаевич, пожалуйста, вам слово.

Андреев С.Н.

Первое, что я хотел бы сказать, что работа Сергея Николаевича актуальна. Во-первых, новая разновидность рентгеноспектральной диагностике всегда полезна. Особенно, если это используется, в том числе, в экспериментах со сверхинтенсивными лазерными импульсами.

Тут прозвучал термин «лабораторная астрофизика». Мне он очень нравится, поскольку, что касается, самой астрофизики, то есть наблюдательной науки, то лично у меня всегда очень много вопросов. Модели есть, что-то в телескоп видно, а соответствие модели и наблюдаемых величин проверить очень сложно. Туда, ведь, не слетаешь, не измеришь. Тут появляется возможность при помощи критериев подобия все-таки исследовать объект всеми доступными способами. Вот он здесь, на столе. Это, конечно, на мой взгляд, шаг вперед по реальному изучению космоса, пусть и в лаборатории. Таким образом, работа, конечно, является актуальной. Сейчас в дискуссии многое довольно подробно обсуждалось, поэтому, наверное, я не буду останавливаться на содержании диссертации, а сразу перейду к замечаниям.

Первое замечание тут уже в половине случаев звучало, но я, тем не менее, попробую у диссертанта получить ответ на тему вопросов, от ответа на которые он уклонялся всеми силами. В названии диссертации фигурирует слово «астрофизика». Если бы не фигурировало, то можно было бы сказать, что это немного не наша основная тема. Однако слово звучит, поэтому все-таки, Сергей Николаевич, ответьте нам, есть ли в космосе конкретный объект, который подобен плазменной струе, изучаемой в ваших экспериментах. Как он называется? Туманность это или еще что-нибудь?

Председатель

Сначала все вопросы, потом все ответы.

Андреев С.Н.

Также вопрос касающийся модели, на основе которой дальше уже строились спектры и проводилось сравнение. Поскольку речь идет о рекомбинации плазмы, то у расчетных линий и измеренных линий должны быть некие характерные особенности, соответствующие рекомбинации. Если посмотреть на экспериментальный график, то такие особенности, действительно, есть. Например, линия He γ , она может быть даже больше, чем линия He β . Вот здесь на слайде это видно, значит реализуется рекомбинация. При этом на том же слайде приведен расчетный спектр, на котором этом не реализуется. Пожалуйста, поясните, почему так.

Дальше замечание, которое тоже уже было.

Есть спектроскопические методы, на которых делается акцент. Они интегрированы по всему времени измерения. При этом они сравниваются с интерферометрическими данными, которые, как я понял, предоставили Ваши коллеги.

Рязанцев С.Н.

Да. Они не выносятся на защиту.

Андреев С.Н.:

Интерферометрические данные – это мгновенные значения электронной плотности. Как адекватно сравнивать эти две методики измерений? Говорить о сравнении ничего не поясняя, это не совсем правильно. Если вы говорите о соответствии, то надо пояснить в каком смысле. Приводятся профили электронной температуры на графиках вдоль оси распространения струи. Это основной результат, но при этом ничего не говорится про радиальное распределение. Не могли бы вы уточнить какой радиальной координате ваши измерения соответствуют.

И, наконец, последний вопрос к последней главе. Очень интересной тоже, на мой взгляд. Для того чтобы эти эксперименты вести не нужно ездить никуда, можно их проводить гораздо ближе. По поводу газов, которые использовались в эксперименте. Это смеси неона или азота с дейтерием. При этом указана концентрация неона - 25%, а вот про концентрацию азота ничего не сказано. Какая там была концентрация азота?

Хотелось бы еще сделать общее замечание. Вполне очевидно, что яркий рентгеновский источник должен зависеть от концентрации газов, поэтому вопрос-предложение, что стоило бы поэкспериментировать и проанализировать различные концентрации газов, чтобы провести оптимизацию этого источника.

В целом, работа хорошая, ясная. Мне кажется написана по-русски очень даже неплохо. Бывает гораздо хуже. Поэтому диссертационная работа Рязанцева С.Н. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о присуждения ученых степеней, а ее автор Рязанцев Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Степан Николаевич, за ясные вопросы. Прошу вас, Сергей Николаевич, по возможности, ответить.

Рязанцев С.Н.

Первый и самый главный вопрос про буквы в названии реального объекта. Есть ли он на самом деле? Если придерживаться концепции бесконечной вселенной, я уверен, он существует. В данном случае результаты методики представляют собой некую инструкцию по поводу того, что надо будет делать, когда он будет обнаружен. В самом начале диссертации я говорил про объекты Хербига-Аро, которые являются прямой мотивацией для проведения таких исследований по лабораторной астрофизике на экспериментальных установках в Лаборатории использования интенсивных лазеров (LULI) и в ИПФ РАН. Если ссылаться на объект Хербига-

Аро НН 137, то выполняется соответствие по числу Маха, по числу Струхаля, то есть по масштабным параметрам. Для этих объектов существует на данный момент ряд теорий. То есть магнитное поле, про которое я говорил, – это всего лишь одна из теорий эволюции этих объектов. Результаты, полученные при помощи моей методики, могут быть использованы для верификации моделей таких объектов, которые в большом количестве наблюдаются как в нашей галактике, так и в соседних.

Второй вопрос, который по поводу графика на слайде. Данный расчет проведен для двух конкретных плотностей. Красная линия — это для 1018 обратных кубическим сантиметров, а синяя линия для 1019. Оба расчета для фиксированной температуры, если мне не изменяет память, на уровне 80 электронвольт. И вот в предложении из диссертации, которое упомянуто Степаном Николаевичем, где об этом идет речь, фигурирует, но не совсем корректно ссылка на расчетные исходные кривые. Вот эти (показывает на кривые отношений интенсивностей). Они в диссертации фигурируют под номерами 2.2–2.8. На них видно, что отношение интенсивностей $Ne\alpha$ к $Ne\beta$ может быть равно 1.6, например, для плотности 1018 и температуре 9.6 эВ. В данном случае имела место неточность формулировки.

Я уже упоминал сегодня в рамках рассказа эти замечания по поводу способа сравнения интерферометрических данных и наших данных рентгеноспектральной диагностики. Наиболее корректным сравнением в данном случае является усредненных по времени данных интерферометрии. С математической точки зрения это наиболее корректно, так как тогда мы получаем интегральные характеристики по одной и той же переменной. Важно отметить, что даже при помощи интегральных по времени рентгеновских спектров мы зарегистрировали вот эту ступеньку (показывает на слайде подъем в области 3–10 мм от мишени), которая соответствует распространению возмущений вдоль оси, которые являются результатом коллимации за счет взаимодействия с магнитным полем.

Вопрос, который касается этих же графиков, по поводу того, что здесь введена только одна координата и это координата вдоль оси Z , которая перпендикулярна мишени. Спектрометр, при помощи которого регистрируется излучение, имеет пространственное разрешение по одной координате. Соответственно, по второй координате это полный интеграл, собранный по всей области существования плазменного факела.

В экспериментах в ТРИНИТИ концентрация смеси с неоном приведена, а для смеси с азотом этот параметр, действительно, опущен. Это является недоработкой, но она известна и равна 3%. Что касается дальнейших исследований. Частично для других газов такие исследования уже проводились. Я должен напомнить, что, в целом, цель исследований на этой установке – это варьирование параметров для эмпирического получения максимального выхода излучения даже не в конкретном диапазоне, а в конкретной линии. Поэтому эксперименты с варьированием параметров, необязательно концентрации, для других смесей проводилось, но для этих конкретных газов такое исследование также необходимо. Я полностью согласен.

Спасибо большое, Степан Николаевич, за отзыв.

Председатель

Степан Николаевич, ответ получен, поэтому можем перейти к отзыву второго оппонента. Владимир Александрович Терехин, пожалуйста. Владимир Александрович, я думаю, что все-таки излагать основное содержание диссертации нет необходимости, поскольку, действительно, мы ее достаточно хорошо изучили.

Терехин В.А.

Я очень кратко. Актуальность работы очевидна. Она очевидна с шестидесятых годов, когда Крохин с Басовым, а позднее Дайсон, предложили с помощью лазера, который в то время появился, создавать маленькую капельку, обладающую уникальными характеристиками. После чего ребята из Лос-Аламоса стали с помощью этого инструмента анализировать эксперименты по высотным ядерным взрывам, проводившимся в то время. Поэтому иметь в таких экспериментах бесконтактную методику, которая позволяет определить температуру,

плотность и так далее — это актуальная задача до сих пор, поскольку в Калифорнийском университете эти эксперименты продолжаются, и они крайне важны и интересны. Любая такая методика бесконтактная крайне интересна. Она интересна для ребят из Новосибирска, которые сейчас на КИ-1 такие эксперименты проводят, для Института прикладной физики и так далее, поэтому это, конечно, очень актуально. По поводу того, как это хорошо сделано Сергей уже все нормально рассказал. Есть небольшие замечания.

С учетом четвертой главы, где эта методика использовалась для задач, совершенно не имеющих отношение к астрофизике, но имеющих отношение к практическим вещам, а именно, созданию мощного источника рентгеновского излучения для технологических целей, я бы вычеркнул «астрофизических». Просто оставил бы просто «методика...». Это замечание, которое упростило бы вопросы, которые здесь задавались.

Есть еще замечание про не совсем корректное цитирование. В диссертации, когда автор рассказывал про свои эксперименты с магнитным полем, он процитировал несколько работ, в том числе классическую работу Захарова Юрия Петровича из Новосибирска. При этом сказал, что в этой работе плазма слабо замагничена. На самом деле в этой работе замагничивание было достаточно хорошее, то есть отношение Ларморовского радиуса к радиусу остановки в магнитном поле там было примерно 0.3. Такие результаты, дай Бог, получить в этих европейских экспериментах. В тексте было сказано неаккуратно. Точнее руководитель не вычитал диссертацию. Это не относится к защищающемуся.

Еще одно замечание. В реферате встречается слово «показано». Ну, думаю, сейчас начну читать диссертацию и увижу новые хорошие критерии подобия для астрофизики, не те что уже были напечатаны ранее. Начинаешь читать и оказывается, что не показаны, а рассказаны. Сделан хороший обзор, но это не «показано», а рассказано. За этим надо тщательно следить, но руководителю, а не диссертанту.

В целом, конечно, если серьезнее относиться к этим замечаниям, а к ним можно относиться несерьезно, то у меня было две проблемы. Один мой хороший знакомый, ныне покойный, Антон Николаевич Нечаев, когда я писал первые отзывы на диссертации, мне говорил: «Ты прочитал диссертацию? Она удовлетворяет всем требованиям? Значит диссертант заслуживает присвоения ему звания. Ты прочитал, тебе понравилось, и ты увидел в ней что-то новое? Тогда диссертант несомненно заслуживает». Поэтому в данном случае я могу сказать, что диссертант несомненно заслуживает присвоения звания кандидата физико-математических наук по специальности физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Владимир Александрович, за замечательный отзыв. Мы очень много почерпнули. Сергей Алексеевич, вам бы отвечать на эти вопросы, но мы отложим до следующего раза. Сергей Николаевич, вам, наверное, нечего добавить по существу?

Рязанцев С.Н.

Я полностью соглашаюсь, но я скажу, что это мои недоработки. В данном случае точность использования формулировок явно не мой конек, что уже стало понятно.

Председатель

Меня тут правильно поправляют. На самом деле, защита состоит не только в том, чтобы доложить то, что вы сделали, но и в том, чтобы научиться чему-то на будущее. Все эти замечания чрезвычайно важны именно для вас, для вашей будущей работы, так что, пожалуйста, учтите их. Аккуратная работа с литературой, конечно, необходимое требование качественной научной работы. Пожалуйста, дискуссия.

Василяк Л.М.

Мне работа понравилась. Я хотел бы обратить внимание ученого совета, что даже при известном методе измерения методик обычно очень много. В данном случае рассмотрен

спектроскопический метод, который известен очень давно, но применение в каждом конкретном случае требует учета огромного количества механизмов заселения, расселения, которые там есть. Это очень кропотливая длительная работа. Я должен сказать, что в этом году вышли два огромных обзора известных специалистов физики плазмы, Лебедева и Шахатова. Это огромные обзоры по известной методике спектроскопии водорода. Они обращают внимание какие линии обычно используются. Поэтому очень многое из того что автор сделал осталось за кадром. Это, действительно, большая работа. В частности, это вопрос на ответ на замечание по поводу того, почему не использовались более сильные линии. Потому что из анализов спектров не всегда следует, что более сильная линия является лучшей. В этом смысле продвижение по диагностике является очень важным, особенно в такой быстро развивающейся области как лазерное воздействие высоких плотностей энергии. Несомненно, это хорошее достижение. Я думаю основное время автор затратил на обоснование диагностики и сами измерения. На мой взгляд, работа очень хорошая. Я предлагаю поддержать ее и проголосовать «за».

Председатель

Спасибо большое. Еще кто-нибудь хочет высказаться. Да, пожалуйста, Олег Федорович.

Петров О.Ф.

Я работу не просто поддерживаю, а как любит говорить Игорь Львович, категорически поддерживаю. На это есть несколько причин. Одна из них практически историческая. Научный руководитель занимается предметом, связанным с моделированием астрофизических ситуаций, довольно давно. По-видимому, та экспериментальная школа, которая формируется здесь, она уже дает свои плоды, один из которых мы сегодня и видим. Работа выполнена на просто великолепном экспериментальном уровне. Я хотел бы здесь только пожелать одного. Естественно, успехов. Успехов в создании достаточно мощной экспериментальной базы в рамках этого института. С Сергеем Алексеевичем мы на этот счет не то чтобы вели дискуссии, но в беседах вопрос затрагивали. Там есть, как всегда, свои причины объективного и субъективного характера, но это совершенно нормальное дело. Мое пожелание, чтобы претендент на присуждение степени в будущем приложил немало усилий и в создании экспериментального железа в этих стенах, а работу, конечно поддерживаю.

Воробьев В.С.

Работа преимущественно экспериментальная и здесь получены результаты, которые все мы поддержали, но в части интерпретации я хотел обратить внимание на замечание, которое я уже частично озвучивал. Вот пункт первый. «Разработана методика определения электронной температуры и плотности плазмы с рекомбинационным типом нестационарности, основанная на анализе относительных интенсивностей переходов резонансной серии гелиеподобных многозарядных ионов». Резонансная серия – это реабсорбция сильная. С первых работ, посвященных кинетике высоковозбужденных состояний – Бейтс, Маквиртер – делалась простая вещь: оптически тонкий слой, значит полностью резонансная серия заперта. Все! Вопрос сразу решается насколько результат будет меняться от этого. В конце концов, можно взять коэффициент 0.3 в качестве фактора ослабления линий резонансной серии. Этот пункт мне несколько режет глаза, и я бы все-таки советовал его убрать как первый. Тут уже обращалось внимание, что складывается впечатление, что вся эта спектроскопия лежит на пустом месте, то есть мало ссылок на предыдущие работы. Людей масса работала по спектроскопии плазмы и надо как-то это отметить. А так, конечно, потому что работа преимущественно экспериментальная, то, думаю, ее надо поддержать.

Председатель

Спасибо, Владимир Сергеевич. Я еще раз должен сказать, что мы не можем изменить ничего ни в автореферате, ни в диссертации, но в заключении совета давайте учтем. Где-нибудь

если написано, что впервые разработана и что-нибудь такое, то с учетом того, что мы вряд ли можем добавить что-нибудь, а только не писать лишнее, так что давайте это отметим.

Пикуз С.А.

А я могу поучаствовать в дискуссии?

Председатель

В дискуссии можете.

Пикуз С.А.

Просто я хотел бы все-таки прокомментировать вопрос с оптической толщиной, потому что Сергей как-то не вполне уверенно ответил. Я могу сказать только то, что мы по-честному проводили все оценки, связанные с оптической толщиной и ее влиянием на интенсивности наблюдаемых спектральных линий, то есть оценки доли интенсивности спектральных линий, которые могут поглощаться и как за счет этого поглощения могут измениться наблюдаемые интенсивности относительно изначально излученных. Для тех конкретных параметров плазмы в области значений температур на уровне десятков электронвольт и плотность 10^{18} реализуется поглощение на уровне максимум 5-7 % от интенсивности спектральных линий, что находится, на самом деле на уровне точности измерений. Поэтому мы решили упростить эту задачу до оптически тонкого случая. Где бы это могло играть роль? Вы говорили про основные состояния, но здесь то рассматривается рекомбинирующая плазма, то есть нет необходимости учитывать механизмы возбуждения. Мы на начальной стадии воздействия лазерного импульса сформировали зарядовое состояние и после этого все рекомбинируют за период временной и пространственной эволюции плазмы, где нам и интересно.

Воробьев В.С.

Но они высвечиваются на основной уровень.

Пикуз С.А.

На основной уровень, но вопрос же в том какая концентрация должна быть у возбужденных состояний. Для интенсивности линий важна населенность верхнего уровня.

Воробьев В.С.

А для поглощения населенность нижнего.

Пикуз С.А.

Я сказал по поводу ионизационного состава и по поводу поглощения. Для поглощения мы оценивали какая оптическая толщина должна играть роль и это 5-7 процентов.

Воробьев В.С.

Такой ответ хотелось бы, конечно, услышать от диссертанта.

Пикуз С.А.

Я понимаю.

Председатель

Спасибо. Еще кто-нибудь?

Терехин В.А.

Вот есть если бы в первом защищаемом положении стояла не точка, а запятая и после запятой было написано «позволившая...» и перечислено несколько результатов, то никаких бы вопросов не было. Это опять же замечание к научному руководителю.

Председатель

Спасибо за замечание. Еще есть желающие выступить? Если нет, тогда заключительное слово.

Рязанцев С.Н.

Я хотел бы поблагодарить оппонентов за отзывы, которые, действительно, повлияют на мою дальнейшую работу. Я отвечу лично на вопрос, который был здесь задан. Я собираюсь продолжать работу в лаборатории Сергея Алексеевича в ОИВТ РАН. Хотелось бы также поблагодарить всех собравшихся за время, уделенное моей работе и это все что я хотел бы сказать.

Председатель

Уважаемые члены совета, мне кажется, что мы глубоко удовлетворены работой счетной комиссии, поэтому я предлагаю оставить ее состав без изменений (Храпак Алексей Георгиевич, Дьячков Лев Гавриилович, Грязнов Виктор Константинович). Если нет возражений, то давайте проголосуем, как полагается (Счётная комиссия выбирается единогласно) и перейдем к голосованию. Если кто-нибудь за это время может сообщить конкретные замечания по проекту заключения, то, пожалуйста. (Проводится процедура тайного голосования).

Председатель

Уважаемые члены совета, давайте мы заслушаем результаты работы счетной комиссии.

Грязнов В.К.

Итак, результаты голосования по диссертации Рязанцева Сергея Николаевича. В составе совета **31** человек. Присутствовало - **24**. Роздано бюллетеней - **24**. Осталось не розданными - **7**. В урне оказалось бюллетеней - **24**.

Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук Рязанцеву Сергею Николаевичу:

за – **24**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель

Спасибо. Если нет возражений, то давайте утвердим и поздравим. *(Результат голосования утверждается единогласно)*.

Чтобы завершить этот этап заседания нам нужно заслушать замечания в проект заключения.

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения). Если больше нет желающих обсуждать проект, тогда мы должны его проголосовать с теми замечаниями, которые были высказаны. Кто за заключение с замечаниями, которые были указаны? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Спасибо, принято единогласно.

(Проект заключения принят единогласно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02
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 20.12.2017 протокол № 20

О присуждении Рязанцеву Сергею Николаевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Рентгеноспектральная диагностика рекомбинирующей плазмы для задач лабораторной астрофизики» в виде рукописи по специальности 01.04.08 – Физика плазмы, принята к защите 04.10.2017г., протокол № 14, 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, iht.ru, (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012г. № 105/нк.

Соискатель Рязанцев Сергей Николаевич 1991 года рождения, в 2013 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

С 2014 года обучается в очной аспирантуре физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена в Лаборатории № 1.2.5 – диагностики вещества в экстремальном состоянии НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Работает младшим научным сотрудником Лаборатории № 1.2.5 – диагностики вещества в экстремальном состоянии НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Пикуз Сергей Алексеевич, заведующий лабораторией 1.2.5 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, НИЦ-1.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, Грум-Гржимайло Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, Андреев Степан Николаевич, ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук;

доктор физико-математических наук, Терехин Владимир Александрович, главный научный сотрудник Института теоретической и математической физики Федерального государственного унитарного предприятия Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения" (г. Королев), в своем положительном заключении, составленном заместителем начальника отдела 1114, доктором

физико-математических наук Матафоновым А.П. (утвержденном генеральным директором ФГУП ЦНИИмаш, д.т.н. профессором Горшковым О.А.), указала что:

В настоящее время существует определенный интерес к исследованию такой плазмы, связанный с лабораторно-астрофизическими исследованиями плазменных струй, выбрасываемых из звезд на ранних стадиях их эволюции, поэтому развитие методов рентгеноспектральной диагностики плазмы, применимых в случае рекомбинационной нестационарности ее ионизационного состояния, обосновывает актуальность работы Рязанцева С.Н. В диссертации предложен новый метод рентгеноспектральной диагностики рекомбинирующей плазмы, который применялась для интерпретации результатов экспериментов по созданию коллимированных струй лабораторной плазмы при помощи внешних аксиальных магнитных полей.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, так как для экспериментальных измерений использовалось современное высокоточное оборудование, а данные, полученные при помощи предлагаемой автором методики, находятся в хорошем согласии с результатами интерферометрической диагностики. Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Институте прикладной физики РАН, Институте общей физики РАН им. А.М. Прохорова, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», в Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт", в МГУ им. М.В. Ломоносова, в ФГУП ЦНИИмаш и во многих других научных учреждениях.

Соискатель имеет 8 опубликованных статей в реферируемых журналах, включенных в реферативную базу данных Web of Science, более 10 тезисов в сборниках трудов конференций:

Основные работы:

1. Diagnostics of laser-produced plasmas based on the analysis of intensity ratios of he-like ions x-ray emission / S. N. Ryazantsev, I. Y. Skobelev, A. Y. Faenov et al. // *Physics of Plasmas*. — 2016. — Vol. 23. — P. 123301(1)–123301(7)
2. X-ray spectroscopy diagnostics of a recombining plasma in laboratory astrophysics studies / S. N. Ryazantsev, I. Y. Skobelev, A. Y. Faenov et al. // *JETP Letters*. — 2015. — Vol. 102, no. 11. — P. 707–712
3. Detailed characterization of laser-produced astrophysically-relevant jets formed via a poloidal magnetic nozzle / D. P. Higginson, G. Revet, B. Khair et al. // *High Energy Density Physics*. — 2017. — Vol. 23. — P. 48–59.
4. Plasma diagnostics from intensities of resonance line series of he-like ions / S. N. Ryazantsev, I. Y. Skobelev, A. Y. Faenov et al. // *Plasma Physics Reports*. — 2017. — Vol. 43, no. 4. — P. 480–485
5. Laboratory unravelling of matter accretion in young stars / G. Revet, S.N. Chen, R. Bonito, B. Khair et al. // *Science Advances*. — 2017. — Vol. 3, I. 11. — e1700982(1)-e1700982(10)
6. Твердотельные трековые детекторы в исследованиях лазерной плазмы / С. А. Пикуз мл, И. Ю. Скобелев, А. Я. Фаенов и др. // *Теплофизика высоких температур*. — 2016. — Т. 54, № 3. — С. 453–474.
7. Diagnostics of recombining laser plasma parameters based on he-like ion resonance lines intensity ratios / S. N. Ryazantsev, I. Y. Skobelev, A. Y. Faenov et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2016. — Vol. 774, no. 1. — P. 012116
8. Parameters of supersonic astrophysically-relevant plasma jets collimating via poloidal magnetic field measured by x-ray spectroscopy method / E. D. Filippov, S. A. Pikuz, I. Y. Skobelev et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2016. — Vol. 774, no. 1. — P. 012114

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Государственный научный центр российской федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований госкорпорации «Росатом» (Начальник лаборатории исследования эмиссии плазмы отделения магнитных и оптических исследований, д.ф.-м.н. Гаврилов В.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- в качестве недостатка автореферата не могу не отметить некоторую небрежность, проявленную автором при его оформлении. Это касается языка и иллюстраций. Например, иногда употребляются жаргонные выражения, такие как «излучаемый плазмой спектр...» в первом же абзаце автореферата. А пассаж в самом конце с. 18 изложен так, что его вообще очень трудно понять. На рис. 4 надо было определить ось абсцисс, а на Рис. 6 показать экспериментальную ошибку.

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

- Однако на стр. 20 (автореферата), где речь идет о диагностике неона- и азотосодержащей стационарной плазмы, не объяснено почему именно эти линии являются наиболее удобными для диагностики, хотя по спектру неоносодержащей плазмы, приведенному на рис. 9(б) видно, что регистрируется еще ряд линий, интенсивности которых использованы не были.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (д.ф.-м.н., профессор, профессор физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Савельев-Трофимов А.Б.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- используемый в работе термин «нестационарность», на мой взгляд не совсем соответствует реально осуществленным исследованиям, поскольку расчеты и измерения проводятся интегрально по времени. Авторы используют изящный метод решения сложной системы уравнений для кинетики населенностей уровней ионов, однако сравнение с соответствующим стационарным распределением (на основе уравнений Саха) не приводится. Кроме того, в работе плазма считается «вмороженной» в пространство (без гидродинамики), т.е. предполагается неизменность концентрации и температуры в каждой точке плазмы в процессе измерения, что, как минимум, требует обоснования.

- из текста автореферата не ясно, насколько используемая авторами ударно-излучательная модель соответствует астрофизическим условиям в плазме

- в автореферате имеется ряд опечаток, повсеместно используется термин «плотность», хотя подразумевается концентрация электронов

4. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (д.ф.-м.н., заведующий лабораторией моделирования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах Стародубцев М.В.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- ...однако следует отметить, что в полученном мной печатном экземпляре автореферата все рисунки выполнены в градациях серого, хотя в подписях фигурирует цвет кривых (например, рис. 5), а также содержится несколько пунктуационных ошибок

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.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- следует отметить, что как для результатов диагностики нестационарной плазмы, которой посвящена большая часть диссертации, так и для плазмы, рассмотренной в 4 главе в рамках модели стационарной кинетики, не приведены данные о погрешностях выбранных методов диагностики.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н. Терехин В.А. является ведущим специалистом ИТМФ РФЯЦ – ВНИИЭФ в области взаимодействия электромагнитного излучения с плазмой, в том числе космической:

1. Laser plasma simulations of the generation processes of Alfvén and collisionless shock waves in space plasma / Prokopov P.A., Zakharov Y.P., Tishchenko V.N., Shaikhislamov I.F. et al. // J. Phys. Conf. Ser. IOP Publishing, – 2016 – Vol. 769, № 1 – P. 12086.

2. Soldatov A. V., Terekhin V.A. Propagation of an ultrawideband electromagnetic signal in ionospheric plasma // Plasma Phys. Reports– 2016 – Vol. 42, № 10– P. 970–977.
3. Generation of laser plasma bunches with a high efficiency of energy concentration for laboratory simulation of collisionless shock waves in magnetised cosmic plasma / Zakharov Y.P., Ponomarenko A.G., Tishchenko V.N., Antonov V.M. et al. // Quantum Electron.– 2016 – Vol. 46, № 5– P. 399–405.

- д.ф.-м.н. Андреев С.Н. является специалистом в области численного моделирования процессов взаимодействия интенсивного лазерного излучения с веществом;

1. Andreev, S.N., Gabyshev, D.N., Ereimeicheva, Y.I., Makarov, V.P., Rukhadze, A.A. & Tarakanov, V.P. 2015, "Motion of a charged particle in a plane electromagnetic pulse", Laser Physics, vol. 25, no. 6.
2. Andreev, S.N., Ereimeicheva, Y.I. & Tarakanov, V.P. 2013, "Features of femtosecond laser pulse reflection from a sharp boundary of relativistic laser plasma", Bulletin of the Lebedev Physics Institute, vol. 40, no. 8, pp. 225-229.
3. Andreev, S.N., Garanin, S.G., Yeremicheva, Y.I., Rukhadze, A.A., Tarakanov, V.P. & Yakutov, V.P. 2012, "Optimisation of neutron yield under ultra-intense laser impact on deuterated polyethylene targets", Quantum Electronics, vol. 42, no. 7, pp. 600-604.

Выбор Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» в качестве ведущей организации обусловлен тем, что ФГУП ЦНИИмаш является ведущей организацией по фундаментальным астрофизическим исследованиям в структуре Государственной корпорации «Роскосмос», в том числе в области лабораторной астрофизики с использованием лазерных импульсов.

1. В.С. Беляев, П.А. Батищев, В.В. Большаков, К.С. Ёлкин, Г.Ф. Карабаджак, Д.В. Ковков, А.П. Матафонов, Г.Г. Райкунов, Р.А. Яхин, С.А. Пикуз, И.Ю. Скобелев, А.Я. Фаенов, В.Е. Фортов, В.П. Крайнов, В.Б. Розанов, Перспективные направления исследований в области лабораторной астрофизики с использованием мощных лазеров, Ядерная физика, том 76, вып. 4, сс. 441-461 (2013).
2. В.С. Беляев, Г.Ф. Карабаджак, Д.В. Ковков, Г.Г. Райкунов, А.П. Матафонов, А.Я. Фаенов, С.А. Пикуз мл., И.Ю. Скобелев, Т.А. Пикуз, Д.А. Фокин, В.Е. Фортов, Г.Н. Игнатьев, С.В. Капитанов, П.С. Крапива, К.Е. Коротков, О возможности получения импульсов некогерентного рентгеновского излучения фемтосекундной длительности с помощью лазерной плазмы, Письма в ЖЭТФ, том 97, вып. 12, сс.782-787 (2013).
3. В.С. Беляев, Д.В. Ковков, А.П. Матафонов, Г.Ф. Карабаджак, Г.Г. Райкунов, А.Я. Фаенов, С.А. Пикуз, И.Ю. Скобелев, Т.А. Пикуз, Д.А. Фокин, Г.Н. Игнатьев, С.В. Капитанов, П.С. Крапива, К.Е. Коротков, В.Е. Фортов, Временная структура импульсов рентгеновского излучения пикосекундной лазерной плазмы, Квантовая Электроника, Том 43, № 9, с. 865-870 (2013).

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

- Показано, что для диагностики рекомбинирующей плазмы можно использовать относительные интенсивности переходов $1snp \ ^1P_1 - 1s^2 \ ^1S_0$ с $n=3-7$ в He-подобных многозарядных ионах (линии He⁺, He²⁺, He³⁺, He⁴⁺, He⁵⁺, соответственно). Для ионов с зарядом ядра $Z_n \sim 10$ область чувствительности отношений интенсивностей к плотности плазмы составляет $10^{15}-10^{19} \text{ см}^{-3}$ при температурах 10–130 эВ.

- Конкретные расчеты, проведенные для иона F VIII, позволили определить параметры плазменных струй, создаваемых на наносекундной лазерной установке ELFIE (Ecole Polytechnique, Франция) с целью моделирования астрофизических явлений, а именно, продемонстрировано, что при наложении однородного магнитного поля с индукцией 20 Т электронная плотность плазмы, сформированной наносекундным лазерным импульсом, сфокусированным в пятно размером в несколько сотен микрон, остается на уровне 10^{18} см^{-3} на значительном расстоянии от мишени (до 10 - 12 мм), а электронная температура на уровне 10-15 эВ.

- Продемонстрировано, что в месте столкновения потоков низкотемпературной плазмы, содержащих ионы азота или неона, двигавшихся навстречу друг другу со скоростью до 4×10^7 см/с в продольном магнитном поле, формируется плазма многозарядных ионов с электронной температурой 100-120 эВ для азотосодержащей плазмы и 160-170 эВ для неоносодержащей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- проведен расчет интенсивностей спектральных линий нестационарной плазмы, содержащей He-подобные ионы фтора F VIII на основе которого сформулирована методика определения электронной температуры и плотности плазмы с рекомбинационным и ионизационным типом нестационарности;

- приведены соотношения, позволяющие обобщить приведенные в диссертации результаты для He-подобного иона фтора на случае произвольного He-подобного иона со спектроскопическим символом Z.

- полученные при помощи авторской методики пространственные профили электронной температуры и плотности позволяют создать комплексное описание разлета лазерной плазмы с астрофизическим подобием;

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

- Предложенная методика рентгеноспектральной диагностики плазмы успешно применяется для интерпретации результатов экспериментов по лабораторному моделированию астрофизических плазменных струй, выполняемых широкой международной коллаборацией на установках в Лаборатории применения интенсивных лазеров (LULI: Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses) в Политехнической школе (Париж, Франция), в Институте Прикладной Физики РАН (Нижний Новгород, Россия), а также в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory) в США.

- Полученные при помощи авторской методики данные экстраполированные при помощи принципов подобия на астрофизические масштабы позволяют верифицировать существующие на данный момент модели эволюции космических объектов.

- Данные о зависимости электронной температуры плазмы, получаемой при столкновении низкотемпературных плазменных потоков на установке 2МК-200 в Троицком Институте Инновационных и Термоядерных Исследований (г. Москва г. Троицк), от скорости потоков и их компонентного состава, позволяют оптимизировать параметры установки для создания сверхъяркого импульсного рентгеновского источника со значительными размерами излучающей области, который может быть использован, как для фундаментальных исследований в области ядерной энергетики, так и для создания технологических устройств для упрочнения материалов и деталей вспышками излучения.

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, ФГУП РФЯЦ ВНИИТФ, 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;

- установлено хорошая корреляция авторских результатов и представлений с результатами других диагностических методов (в частности интерферометрической диагностики);

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автором проведены кинетические расчеты относительных интенсивностей линий He_{β} , He_{γ} , He_{δ} , He_{ϵ} , He_{ζ} резонансной серии He-подобного иона фтора F VIII в рамках квазистационарной столкновительно-радиационной модели. На основании полученных зависимостей автором предложена рентгеноспектральная методика определения электронной температуры и плотности плазмы с нестационарным ионизационным состоянием.

Автор принимал непосредственное участие в подготовке и проведении экспериментов по лабораторному моделированию астрофизических струй плазмы путем облучения твердотельных тефлоновых мишеней лазерными излучением с плотностью потока на уровне 10^{13} Вт/см². При помощи разработанной методики рентгеноспектральной диагностики автором были получены и интерпретированы пространственные профили электронной температуры и плотности генерируемой лазерной плазмы.

В рамках модели стационарной кинетики автором проведены расчеты относительных интенсивностей ряда спектральных линий H- и He-подобных ионов азота, а также He- и Li-подобных ионов неона. На основании этих расчетных зависимостей автором были получены значения электронной температуры плазмы, образующейся при столкновении низкотемпературных плазменных потоков со скоростями на уровне 4×10^7 см/сек.

Апробация результатов исследования проводилась на более чем 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.

На заседании от 20.12.2017г. диссертационный совет принял решение присудить Рязанцеву С.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 31 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней 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
к.ф.-м.н.



Васильев М.М.
20.12.2017г.