

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.02.2023 г. № 3

О присуждении Вичеву Илье Юрьевичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование плазмы в столкновительно-излучательном равновесии» по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 08 декабря 2022 г. (протокол заседания № 8/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», 125047, г. Москва, Миусская пл., д.4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки РФ № 118 от 24 февраля 2021 г.

Соискатель Вичев Илья Юрьевич 04 ноября 1983 года рождения, в 2007 году соискатель окончил магистратуру государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский инженерно-физический институт (государственный университет)» по специальности «Прикладная математика и физика».

В 2010 г. соискатель окончил очную аспирантуру ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН» по направлению подготовки 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в отделе № 6 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Диссертация выполнена в ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН».

Научный руководитель – Валько Виктор Васильевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного казенного учреждения «12 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, г. Сергиев Посад.

Официальные оппоненты:

Рыжков Сергей Витальевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Теплофизика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

Левашов Павел Ремирович, кандидат физико-математических наук, заведующий теоретическим отделом №7 им. Л.М. Бибермана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (г. Москва, г. Троицк) – в своем положительном отзыве, подписанном **Медведевым Вячеславом Валерьевичем**, кандидатом физико-математических наук, заведующим отделом атомной спектроскопии указала, что диссертационная работа Ильи Юрьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области моделирования оптических и термодинамических свойств веществ в рамках модели столкновительно-излучательного равновесия. Разработанные алгоритмы и комплекс расчетных программ вносят существенный вклад в развитие математического моделирования характеристик неравновесной плазмы, что определяет высокую научную значимость работы. Кроме того, работа Ильи Юрьевича имеет огромную практическую значимость. Разработанный

комплекс вычислительных программ позволяет моделировать плазменные источники экстремального ультрафиолетового излучения для литографии нового поколения, которая играет важную роль в развитии отечественной полупроводниковой промышленности. Продемонстрированные в работе результаты свидетельствуют о способности соискателя решать сложные научные задачи. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание и основные результаты. Работа в полной мере соответствует требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Вичев Илья Юрьевич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 32 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях – 19 работ. 12 из 19 вышеуказанных публикаций были опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и/или Web of Science. 13 из перечисленных выше – в изданиях из перечня ВАК. Опубликовано 1 монография. На разработанные программы получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Сведения о публикациях в диссертации достоверны, а приводимые в диссертации результаты полностью опубликованы в работах соискателя.

Наиболее существенные публикации представлены ниже:

1. Ольховская О.Г., Гасилов В.А., Баско М.М., Сасоров П.В., Новиков В.Г., Вичев И.Ю., Галигузова И.И. О расчётах выходной мощности и спектра рентгеновского излучения Z-пинчей на основе многопроволочныхборок // Матем. моделирование. 2016. Т. 28, № 1. С. 3–22. Math. Models Comput. Simul., 8:4 (2016), 422–437. <https://www.mathnet.ru/rus/mm3686>, <https://doi.org/10.1134/S207004821604013X> (ВАК, Scopus 2-s2.0-84978488461, Science Index 25707600 / 27059057)

2. Vichev I.Yu., Solomyannaya A.D., Grushin A.S., Kim D.A. On certain aspects of the THERMOS toolkit for modeling experiments // High Energy Density Physics. 2019. P. 100713. <https://doi.org/10.1016/j.hedp.2019.100713> (Scopus 2-s2.0-85072294434, WOS:000507476300015, Science Index 41626510)
3. Вергунова Г.А., Гуськов С.Ю., Вичев И.Ю. и др. Особенности генерации лазерно-индуцированного рентгеновского излучения и его воздействия на вещество применительно к задачам лазерного термоядерного синтеза // ЖЭТФ. 2022. Т. 161, № 6. С. 887–896. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 134:6 (2022), 754–761. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48612403>, <https://doi.org/10.1134/S1063776122050132> (БАК, Scopus 2-s2.0-85134487275, WOS:000828120100012, Science Index 48612403)
4. Вичев И.Ю., Ким Д.А., Соломянная А.Д., Грушин А.С. THERMOS: Согласованное решение уравнения переноса излучения с поуровневой кинетикой в простейших геометриях // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2020. № 56. С. 30. <https://doi.org/10.20948/prepr-2020-56> (БАК, Science Index 43175543)
5. Грушин А.С., Вичев И.Ю., Ким Д.А., Соломянная А.Д. Методы приближённого учёта неравновесности поля излучения при моделировании свойств плазмы // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2022. № 10. С. 22. <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-10> (БАК, Science Index 48121536)
6. Вичев И.Ю. Столкновительно-излучательная модель неравновесной плазмы с произвольным полем излучения // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2022. № 18. С. 31. <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-18> (БАК, Science Index 48214007)
7. Вичев И.Ю. Моделирование сильно фотоионизованной плазмы кремния // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2022. № 45. С. 15. <https://doi.org/10.20948/prepr-2022-45> (БАК, Science Index 49286658)

В работах [2,4,6-7] были опубликованы основные результаты автора, представленные в диссертационной работе, причем работы [6, 7] являются персональными. В работе [1] совместно с группами экспериментаторов и газодинамиков было проведено сопоставление результатов измерений спектральной интенсивности излучения и выходной мощности вольфрамовой плазмы с расчётами. Вклад автора заключался в проведении большого сравнительного исследования, выполненного в предположении стационарности и однородности плазмы с помощью рассматриваемой модели, а также в подготовке таблиц термодинамических и оптических характеристик плазмы вольфрама в широкой области температур и плотностей для проведения расчётов с помощью кодов радиационной газовой динамики. В работе [3] вклад автора заключался в подготовке таблиц, которые использовались в расчётах особенностей генерации лазерно-индуцированного рентгеновского излучения и его воздействия на вещество применительно к задачам лазерного термоядерного синтеза. В работе [5] на основе разработанного кода было проведено исследование методов приближённого учёта неравновесности поля излучения при моделировании свойств плазмы с помощью предварительно рассчитанных таблиц термодинамических и радиационных свойств плазмы.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы ведущей организации, отзывы оппонентов, а также 4 положительных отзыва на автореферат. Отзывы содержат ряд замечаний.

В отзыве ведущей организации ИСАН:

1. Решение уравнения переноса излучения для неоднородного плоского слоя можно получить более простым способом, чем тот, что приведён в диссертации (секция 2.2.2., стр. 72 – 78): непосредственно из общего решения путём вычисления соответствующего интеграла (секция 2.1., стр. 68) для плоской системы, состоящей из N однородных подслоев.
2. В диссертации приводятся решения уравнения переноса излучения для однородных сферического (секция 2.3.1., стр. 78 – 79) и цилиндрического

источников (секция 2.4.1., стр. 83 – 86), но далее нигде в тексте эти решения не используются.

3. В кодах радиационной газовой динамики часто используются табулированные или аналитическим образом аппроксимированные усредненные коэффициенты поглощения, полученные в приближении локального термодинамического равновесия, которые применимы для широкого круга задач. Но стоит отметить, что в последнее время большой интерес вызывает именно неравновесная плазма. В тексте диссертации говорится, что получаемые с помощью разработанных программ таблицы оптических свойств используются в сложных кодах радиационной газовой динамики, но ничего не сказано про то, каким образом с помощью таблиц учитываются эффекты неравновесности плазмы.

В отзыве официального оппонента Рыжкова С.В.:

1. В диссертационной работе для решения системы линейных уравнений, которая составляется из скоростей столкновительных и радиационных процессов, используется классический метод Гаусса с выделением главного элемента по столбцу. Но хотелось бы видеть сравнение выбранного метода решения с другими существующими методами решения систем.
2. При описании алгоритма поиска согласованного решения для уравнения переноса излучения совместно с системой кинетических уравнений, а также при рассмотрении результатов верификации не было уделено внимание исследованию сходимости согласованного решения в зависимости от количества учитываемых групп по энергии фотонов, сеток по пространству и по направлениям распространения излучения.
3. Для расчета формы спектральных линий используется профиль Фойгта, но ничего не сказано по поводу накладываемых ограничений при расчете профиля вдали от центра спектральной линии.

В отзыве официального оппонента Левашова П.Р.:

1. В главе 1 на стр. 51-52 решение системы кинетических уравнений сводится к системе линейных уравнений с разреженной блочно-трехдиагональной матрицей. Однако в тексте отсутствует анализ возможного вырождения этой матрицы.
2. В главе 2 в разделе 2.2.2 получены выражения для спектрального потока излучения и плотности энергии для случая неоднородного плоского слоя, состоящего из множества однородных слоев. Однако в тексте отсутствует анализ трансформации полученных формул для случая одинаковых слоев в формулы для однородного слоя, приведенные в разделе 2.2.1.
3. В разделе 1.4 приведены формулы для расчета уравнения состояния плазмы, основанные на модели идеального бoльцмановского газа. Однако некоторые используемые в главе 3 входные параметры для вычисления различных свойств плазмы соответствуют ситуации сильнонеидеальной плазмы, в частности, для алюминия при температуре 10 эВ и плотности 10 г/см³. Хотя в диссертации не приводится анализ результатов расчета для уравнения состояния плазмы, очевидно, что предлагаемая модель имеет ограниченную область применимости. К сожалению, серьезное обсуждение этого вопроса в диссертации отсутствует.
4. Важным результатом диссертации являются созданные автором численные коды THERMOS_CRE и THERMOS_Layer. К сожалению, в диссертации отсутствует их техническое описание, а также форматы входных и выходных данных.
5. В тексте диссертации присутствуют некоторые стилистические и орфографические ошибки. В частности, предложение перед и после формулы (2.4) не является завершенным, а на рис. 3.4 не указано, какая величина приведена на графике.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Овечкина Антона Александровича, ведущего научного сотрудника Научно-теоретического отделения №1 ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. И.Е. Забабахина»:

1. На стр. 12 отмечено, что «при построении уравнения состояния (УРС) используется приближение идеального газа». По-видимому, приближение идеального газа используется только для ионов и свободных электронов. Стоило бы указать, как при этом учитывается вклад связанных электронов во внутреннюю энергию (учитываются ли затраты энергии на ионизацию).
2. На стр. 12 в качестве нижней границы области применимости модели указана температура 10^{-3} кэВ (1 эВ). Но при столь низких температурах рассматриваемая модель не может во всем указанном здесь же диапазоне плотностей ($10^{-9} - 10^4$ г/см³) обеспечить точность, которая требуется во многих приложениях (особенно точность термодинамических величин). Более аккуратная оценка нижней границы области применимости модели (по крайней мере, при плотностях порядка нормальной и выше), по-видимому, соответствует температуре $T \sim 10$ эВ или выше. Кроме того, не совсем понятно, чем вызваны ограничения на область применимости модели снизу по плотности вещества ($\rho > 10^{-9}$ г/см³) и сверху по температуре ($T < 10$ кэВ).
3. Средний заряд иона не является наблюдаемой величиной и может быть определён различными способами. Поэтому сравнение средних зарядов ионов на рисунке 1 без указания способа их определения не совсем корректно. Приведённые на рисунке 1 средние заряды ионов, полученные по моделям RESEOS и THERMOS_QZM, несколько отличаются по своему смыслу (по способу определения) от полученных по моделям THERMOS_HFS и THERMOS_CRE, так как не учитывают пространственную неоднородность плотности свободных электронов (средний заряд иона определён как произведение объёма атомной ячейки на плотность электронов за пределами ячейки (RESEOS) или на её границе (THERMOS_QZM)). В модели RESEOS рассчитывается и выдаётся также средний заряд иона, который по своему смыслу (число электронов в состояниях непрерывного спектра) аналогичен получаемому по моделям THERMOS_HFS и THERMOS_CRE. Этот средний заряд иона

испытывает скачки при ионизации давлением, но в целом близок к результатам расчётов по моделям THERMOS_HFS и THERMOS_CRE.

4. При сравнении средних зарядов ионов на рисунке 3 стоило бы отметить, с чем связано отличие результатов расчётов по программам THERMOS_CRE и THERMOS_HFS. По-видимому, при $T < 1$ кэВ это отличие объясняется отличием используемых моделей вещества, а при $T > 1$ кэВ – тем, что расчёты по программе THERMOS_HFS проводились в приближении локального термодинамического равновесия, а в расчётах по программе THERMOS_CRE это приближение не использовалось.
5. При обсуждении расчётов с учётом быстрых электронов на стр. 16 – 17 было бы хорошо показать влияние этого учёта, т.е. сравнить средние заряды ионов, рассчитанные с учётом и без учёта быстрых электронов.
6. На стр. 18 отмечено: «Отклонение в положениях и силах отдельных спектральных линий от экспериментально измеренных объясняются использованием нерелятивистских конфигураций при решении кинетической системы». Этот вывод представляется недостаточно обоснованным, по крайней мере, для сил линий. Отличие расчётных и экспериментальных коэффициентов прохождения значительно больше, чем отличие, которое можно ожидать за счёт релятивистских эффектов для такого относительно лёгкого элемента, как кремний. Второй указанный здесь же возможный источник расхождения эксперимента и расчёта – неоднородность слоя плазмы, – скорее всего, играет большую роль.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Маренкова Евгения Дмитриевича, доцента отделения лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»:

1. В разделе «Актуальность работы» автор ограничился общими словами о пользе математического моделирования. При этом не приводится сравнение с аналогичными по решаемым задачам программами.

2. На рисунках 3 – 4 приведено сравнение расчетов автора с «результатами других кодов-участников семинара». Из текста автореферата не понятно, что это за коды, на каких физических принципах они основаны, следует ли ожидать с ними согласия или расхождения.
3. На рисунке 5 в легенде не обозначена экспериментальная кривая. На стр. 14 и на рис. 1 упоминаются программы THERMOS_QZM и RESEOS без объяснения того, что это за программы.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Орлова Андрея Петровича, ведущего научного сотрудника Научно-производственного центра физики (НПЦФ) Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ):

1. Более логичным было бы не выделять третье защищаемое положение в отдельный пункт, а его содержание отразить в формулировках первого и второго защищаемых положений, которые, соответственно, приобрели бы следующую возможную редакцию: I. «Усовершенствованная модель столкновительно-излучательного равновесия в стационарном приближении и алгоритмы для расчёта термодинамических и радиационных свойств плазмы...»; II. «Согласованные алгоритмы и решения уравнения переноса излучения с системой кинетических уравнений...». При этом итоговое количество защищаемых положений гармонично соответствовало бы трём главам диссертации.

Кроме того, на стр.4 автореферата фраза «..для математического моделирования характеристик неравновесной плазмы в приближении столкновительно-излучательного равновесия...» является не вполне корректной и требует уточнения.

2. При определении скоростей процессов для решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для простоты автором был выбран условно устойчивый прямой метод Гаусса с выделением главного элемента по столбцу. Однако данный метод является затратным по

расчётному времени (число арифметических операций растёт с увеличением количества N неизвестных, как $-N^3$). Для решения рассматриваемых СЛАУ с трёхдиагональными матрицами более оптимальным может служить прямой метод прогонки, который является слабо чувствительным к вычислительным погрешностям и существенно менее затратным (число арифметических операций растёт $\sim N$).

3. При построении уравнения состояния в численном модуле THERMOS_CRE используется приближение идеального газа. Однако, для указанной автором области применимости разработанной усовершенствованной модели по плотности вещества (до 10 кг/см^3) приближение идеального газа не является вполне корректным и более адекватным видится использование широкодиапазонных уравнений состояния.

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Вронского Михаила Александровича, начальника лаборатории ИТМФ Федерального государственного унитарного предприятия Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»):

1. Из текста автореферата неясно, откуда берутся состояния (ks) ионов, в частности, их энергии. Данный вопрос, возможно, связан с упоминаемыми в первом абзаце на с. 4 «атомными базами данных», но не говорится, откуда берутся эти данные.
2. Было бы целесообразно привести типичные размерности системы уравнений относительно заселённостей (общее число состояний (ks)). Если, например, в качестве состояний рассматривать конфигурации с заданными числами заполнения (nl)-оболочек, то это число может быть колоссальным.
3. На с. 12 сказано: «область применимости рассмотренной модели лежит в диапазоне от 10^{-9} до 10^4 г/см^3 для плотности вещества, и в диапазоне от 10^{-3} до 10 кэВ для электронной температуры». Во-первых, есть ли

ограничения по интенсивности излучения? Во-вторых, какая будет точность в этой области применимости (например, точность определения спектральных линий и порогов фотоионизации)? В-третьих, какова будет точность модели СИР при равновесных условиях?

4. Согласие средних степеней ионизации по THERMOS_CRE и THERMOS_HFS, и рассогласование с THERMOS_QZM и RESEOS требует пояснения, чем сходны и чем отличаются способы учёта плотностных эффектов (в основном тексте диссертации на с. 95 сказано, что в «THERMOS_HFS, THERMOS_QZM и RESEOS ... плотностные эффекты учитываются согласованным образом»).
5. Было бы очень интересно получить более подробную информацию о работе процедуры согласования интенсивности излучения с получаемыми коэффициентами поглощения и излучения, например о времени работы одной итерации, типичном числе итераций, получаемой точности в рассмотренных примерах.
6. В работе отсутствуют ссылки на некоторые важные работы отечественных авторов: П. Д. Гаспаряна, Ю. К. Кочубея и др. (см., например: Б. А. Воинов, П. Д. Гаспарян, Ю. К. Кочубей, В. И. Рослов. Расчёт переноса излучения в отсутствие ЛТР - локального термодинамического равновесия. ВАНТ, серия «Математическое моделирование физических процессов», 1993, вып. 2, с. 65-69) посвящённые близким вопросам численного моделирования оптических свойств неравновесной плазмы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их квалификацией и большим опытом в области математического моделирования оптических и термодинамических характеристик веществ в разнообразных, том числе экстремальных, состояниях, что подтверждается их многочисленными научными публикациями по тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **существенно доработана** модель столкновительно-излучательного равновесия для расчёта термодинамических и радиационных свойств плазмы с произвольным полем излучения и возможностью учёта эффектов плотности, а также учёта относительно малой доли горячих электронов с температурой много больше, чем температура плазмы;
- **найденны** согласованные решения уравнения переноса излучения с системой кинетических уравнений в стационарном приближении столкновительно-излучательного равновесия для одномерных модельных систем различного типа симметрии – плоской, цилиндрической, сферической;
- **предложены** алгоритмы для расчёта оптических и термодинамических характеристик веществ в рамках разработанной модели, а также алгоритм согласования с кинетикой решений уравнения переноса излучения в одномерной геометрии для модельных систем различного типа симметрии;
- разработанная модель и предложенные алгоритмы **реализованы** в виде отдельных программных модулей, которые позволяют выполнять серийные расчёты термодинамических и радиационных свойств излучающей плазмы с учётом эффектов неравновесности на современных высокопроизводительных ЭВМ с параллельной архитектурой. Разработанные программы вошли в состав вычислительного комплекса программ THERMOS, разрабатываемого в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН;
- **выполнено исследование** моделей и **верификация** разработанных программ путём сравнительного анализа полученных результатов с экспериментальными данными, с аналитическими решениями и с результатами других программ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработанные алгоритмы для расчёта оптических и термодинамических характеристик плазмы с произвольным полем излучения в рамках модели столкновительно-излучательного равновесия расширяют возможности моделирования на случаи неравновесной плазмы; введенные соискателем в

модель способы учета снижения потенциалов ионизации по Стюарту-Пьятту и Эккеру-Кроллу дают важное расширение области применимости модели в область неидеальной плазмы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что созданная модель и разработанные программы служат инструментом для создания таблиц оптических и термодинамических характеристик различных веществ в широкой области температур и плотностей. Данные таблицы используются в сложных программах радиационной газовой динамики для выполнения производственных расчётов и описания экспериментальных данных, получаемых на современных высокоэнергетических установках. Также разработанные алгоритмы и программные модули могут внедряться в коды радиационной газовой динамики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила качественное и количественное согласие полученных результатов с результатами других научных коллективов, аналитическими решениями, а также экспериментальными данными.

Личный вклад соискателя состоит в усовершенствовании модели столкновительно-излучательного равновесия и разработке алгоритмов для расчёта термодинамических и радиационных свойств плазмы с произвольным полем излучения и нахождении согласованных решений уравнения переноса излучения в одномерной геометрии совместно с системой кинетических уравнений. На их основе соискателем произведена разработка программных модулей с учётом возможности проведения вычислений на современных высокопроизводительных ЭВМ с параллельной архитектурой. Соискателем выполнена верификация разработанных программ путём сравнительного анализа результатов расчётов с экспериментальными данными, аналитическими решениями и результатами расчётов других научных коллективов.

В ходе защиты диссертации вопросы соискателю задали члены диссертационного совета Змитренко Н.В., Тишкин В.Ф., Четверушкин Б.Н., Козлов А.Н., Аристова Е.Н.

Существенных замечаний по диссертации высказано не было. Соискатель ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, согласился с большинством замечаний, указанных в письменных отзывах, и дал комментарии в необходимых случаях.

В дискуссии приняли участие члены совета Аристова Е.Н., Гасилов В.А., Орлов Ю.Н., Четверушкин Б.Н.

На заседании 16 февраля 2023 г. диссертационный совет постановил: за решение актуальной научной задачи математического моделирования оптических и термодинамических характеристик плазмы с произвольным полем излучения, учётом плотностных эффектов, быстрых электронов и учётом эффектов непрозрачности при конечных размерах в одномерной геометрии, имеющей большое значение для развития физико-математического моделирования неравновесной плазмы, присудить Вичеву И.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 24.1.237.01

Четверушкин Борис Николаевич

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.237.01

Корнилина Марина Андреевна

16.02.2023 г.

