

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Вичева Ильи Юрьевича

«Моделирование плазмы в столкновительно-излучательном равновесии»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы

и комплексы программ

Диссертационная работа Вичева И.Ю. посвящена решению важной и актуальной задачи – разработке и численной реализации алгоритмов для расчета радиационных и термодинамических характеристик плазмы с произвольным полем излучения и учётом эффектов непрозрачности при конечных размерах плазмы в рамках модели столкновительно-излучательного равновесия. Область практического применения связана с решением широкого круга задач радиационной газовой динамики и физики плазмы.

Строительство в России и во всём мире крупных установок класса мегасайенс, направленных на исследования в различных областях науки и техники, является важным стимулом развития новых технологий и аппарата физико-математического моделирования. Особое значение для исследования экстремальных состояний вещества и плотной плазмы имеют лазерные установки, позволяющие достигать рекордных параметров по температуре и давлению. Подобные устройства, в частности, активно используются для реализации идеи инерциального термоядерного синтеза. **Актуальность диссертационной работы**, таким образом, обосновывается развитием методов и разработкой вычислительных программ для детального изучения и моделирования процессов в плазме, определяющую роль в которых играет излучение.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит обзор существующих моделей и современное состояние исследований, а также обоснование актуальности, практической и

теоретической значимости, цель и научную новизну, выносимые на защиту научные положения.

Первая глава посвящена формулировке модели столкновительно-излучательного равновесия. Подробно описаны элементарные процессы в плазме, учитываемые в модели. Предложены алгоритмы расчета термодинамических и радиационных характеристик плазмы с произвольным полем излучения. Важное усовершенствование модели произведено за счет включения учета плотностных эффектов и фиксированной доли быстрых электронов с температурой намного больше, чем температура самой плазмы.

Вторая глава содержит аналитические результаты для спектрального потока энергии и плотности энергии для однородного и неоднородного слоя в случае плоской, цилиндрической и сферической геометрий. Также описан оригинальный алгоритм совместного решения уравнения переноса излучения и системы кинетических уравнений для одномерных модельных систем различного типа симметрии.

Третья глава посвящена анализу влияния различных эффектов, учтенных в предложенной модели, на свойства плазмы, а также сравнению результатов расчетов с другими моделями. Приведены результаты верификации аналитических моделей, предложенных в главе 2, для предельных случаев оптически прозрачной и оптически плотной плазмы. Также с помощью разработанной автором диссертации программы THERMOS_Layer выполнена интерпретация экспериментальных данных по измерению спектра прохождения мягкого рентгеновского излучения через слой фотоионизированной кремниевой плазмы.

В *Заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы и планы по будущему развитию разработанных программ.

В диссертации получен ряд **новых** результатов: разработаны и реализованы алгоритмы расчёта радиационных и термодинамических свойств плазмы с произвольным полем излучения в рамках усовершенствованной модели столкновительно-излучательного равновесия, в которой учтены эффекты плотности и быстрые электроны; предложен оригинальный алгоритм поиска согласованного решения кинетической системы совместно с уравнением переноса излучения для ряда одномерных модельных систем различного типа симметрии – плоской, цилиндрической и сферической.

Достоверность результатов работы обусловлена тем, что модель, алгоритмы и разработанные программы апробированы в численных

экспериментах, проведены сравнения с экспериментальными данными, аналитическими решениями и результатами других авторов. Результаты выполненной работы отражены в более чем 13 публикациях в изданиях, рекомендуемых ВАК и индексируемых в международных системах цитирования, включая одну монографию. На разработанные программы получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе:

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 больцмановского 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.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационная работа Вичева И.Ю. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне и имеющей несомненную теоретическую и практическую значимость. Все результаты работы полноценно

представлены в публикациях соискателя. Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа «Моделирование плазмы в столкновительно-излучательном равновесии» удовлетворяет требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 26.09.2022) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Вичев Илья Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,

заведующий теоретическим отделом №7 им. Л.М. Бибермана ОИВТ РАН

к. ф.-м. н.



Левашов Павел Ремирович

«25» января 2023г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)

Почтовый адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Официальный сайт: <https://jiht.ru/>

Телефон: +7 (495) 4842456

E-mail: pasha@jiht.ru

Подпись Левашова Павла Ремировича удостоверяю:

Зам. директора ОИВТ РАН,

д.ф.-м.н.

А.В. Гавриков

