

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Вичева Ильи Юрьевича

«Моделирование плазмы в столкновительно-излучательном равновесии»,
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.2 («Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»)

Диссертация И.Ю. Вичева посвящена развитию и совершенствованию радиационно-столкновительной модели в комплексе программ THERMOS, предназначенной для расчёта радиационных и термодинамических характеристик плазмы, не находящейся в состоянии локального термодинамического равновесия. Необходимость моделирования свойств такой плазмы возникает в целом ряде задач физики высоких плотностей энергии, включая подготовку и интерпретацию экспериментов на мощных лазерных и электрофизических установках, разработку перспективных источников излучения и некоторые астрофизические задачи. Задача описания свойств неравновесной плазмы в общем случае требует совместного решения уравнений переноса излучения и баланса энергии и уравнений радиационно-столкновительного баланса (кинетических уравнений), число которых может быть очень большим. В результате расчёты очень сильно усложняются по сравнению со случаем локального термодинамического равновесия. Прделанная диссертантом работа вносит существенный вклад в решение этой сложной, комплексной задачи. В модели, разрабатываемой при активном участии И.Ю. Вичева, явно учитываются электронные конфигурации ионов, которые могут реализоваться в плазме с заметной вероятностью. Такая модель может обеспечить высокую точность рассчитываемых характеристик плазмы, но в то же время требует значительно более трудоёмких расчётов по сравнению с другими часто используемыми радиационно-столкновительными моделями, такими как слэтеровская водородоподобная модель или неравновесная модель среднего атома. И.Ю. Вичев проделал большой объём работы для того, чтобы обеспечить возможность проведения расчётов за приемлемое время (совершенствование численных алгоритмов, подготовка входных данных и разработка методов работы с ними), а также чтобы повысить точность модели, расширить её область применимости (учёт плотностных эффектов) и снабдить её новыми возможностями (учёт быстрых электронов, совместное решение стационарных уравнений радиационно-столкновительного баланса и стационарного уравнения

переноса излучения). Полученные И.Ю. Вичевым результаты прошли всестороннюю верификацию, включающую сравнение с экспериментальными данными и с результатами расчётов других авторов, представленными на международных семинарах по сравнению неравновесных кодов, где программа THERMOS хорошо себя зарекомендовала.

По тексту автореферата можно сделать несколько замечаний.

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 всём 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: «Отклонения 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.

Высказанные замечания не снижают впечатления о высоком качестве работы. Ознакомление с авторефератом позволяет сделать вывод о том, что диссертация И.Ю. Вичева представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. Вичев Илья Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 («Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»).

Я, Овечкин Антон Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Вичева Ильи Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник Научно-теоретического отделения № 1 Российского Федерального Ядерного Центра — Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»), к.ф.-м.н. Овечкин Антон Александрович.

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева 13, (35146) 5-65-60,
a.a.ovechkin@vniitf.ru

Овечкин 21.12.2022

Отзыв заверил ученый секретарь диссертационного совета Российского Федерального Ядерного Центра — Всероссийского научно-исследовательского института технической физики имени академика Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина») ДС74.1.005.01, д.ф.-м.н. Лобода Пётр Анатольевич.

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева 13, (35146) 5-63-63,
p.a.loboda@vniitf.ru



ГЕРБОВАЯ ПЕЧАТЬ

Федеральное государственное унитарное предприятие Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина») 456770, Снежинск, Челябинская область, ул. Васильева, 13, а/я 245., 8 (35146) 5-51-20, vniitf@vniitf.ru