

ОТЗЫВ

официального оппонента, ведущего научного сотрудника отдела «Вычислительной физики и кинетических уравнений» Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, доктора физико–математических наук Баско Михаила Михайловича на диссертационную работу Бутлицкого М. А. «Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 — теплофизика и теоретическая теплотехника

Изучение термодинамики систем из сильно взаимодействующих частиц является важной и актуальной фундаментальной задачей в области физики плазмы и статистической физики. Диссертация Бутлицкого М. А. «Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы» посвящена численному исследованию термодинамических свойств сильно неидеальной классической кулоновской системы. В качестве основного объекта исследования выбрана ридберговская плазма, состоящая из сильно разреженной смеси однократных ионов, свободных электронов и нейтральных атомов в высоковозбужденных ридберговских состояниях при низких и ультра-низких температурах $T < 10 - 100$ К. Поскольку эксперименты по созданию и изучению этого вида плазмы были начаты сравнительно недавно, её свойства пока не очень хорошо известны, и она несомненно представляет собой интереснейший объект для приложения и развития современной теории неидеальной плазмы. Тем самым объясняется актуальность выбора темы диссертации М.А. Бутлицкого. В отличие от предыдущих теоретических работ на эту тему, где в основном изучались вопросы кинетики неравновесных состояний ридберговской плазмы, М.А. Бутлицкий поставил перед собой задачу исследовать её промежуточное квазиравновесное состояние, характеризующееся (вследствие сильно замедленной скорости рекомбинации) практически нулевой заселённостью низких уровней дискретного спектра с главным квантовым числом $n < 10 - 50$.

В первой главе (введении) кратко описаны цели исследования и постановка задачи, сформулированы основные результаты и положения, выносимые на защиту, а также научная новизна и практическая значимость проделанной работы.

Несомненным достоинством диссертации является приведённый во второй главе обзор экспериментальных и теоретических исследований ридберговской плазмы, дающий неплохое представление об исследуемом объекте. Следует, однако, отметить, что по ясности изложения обзор теоретических работ уступает обзору экспериментальных результатов.

В третьей главе сформулирована модель двухкомпонентной плазмы, позволяющая без дополнительных приближений, из первых принципов, численно исследовать термодинамику такой системы. Модель основана на расчете псевдопотенциалов электрон-

ионного взаимодействия по водородным волновым функциям. Для обоснования применимости методов равновесной термодинамики, диссертант опирается на экспериментально обнаруженное замедление рекомбинации и сделанные в других теоретических работах оценки времен релаксации электронной и ионной температур. Это позволяет указать временные границы, в рамках которых применима разработанная в диссертации модифицированная псевдопотенциальная модель, а также оценить нижнюю границу по главному квантовому числу для заселённых дискретных уровней энергии.

В четвертой главе диссертации приведены и проанализированы результаты расчетов классическим методом Монте-Карло в каноническом ансамбле термодинамических и корреляционных свойств ридберговской плазмы в широком диапазоне плотностей и температур, включая значения, при которых были выполнены измерения. В рамках построения модели, в парных корреляционных функциях обнаружено формирование ближнего и дальнего порядка, обнаружены области, где плазма формирует структуру наподобие кристаллической решетки при отрицательной удельной внутренней энергии системы.

Пятая глава посвящена более детальному исследованию вопроса о возможности фазового перехода в ридберговской плазме. Для этого использована упрощенная базовая модель псевдопотенциала двухкомпонентной плазмы в виде «кулона с полочкой», которая, с одной стороны, хорошо аппроксимирует псевдопотенциалы, полученные в третьей главе из первых принципов, а с другой стороны, позволяет провести более детальные расчеты термодинамических свойств методом Монте-Карло. В результате обнаружен ярко выраженный фазовый переход типа «газ-жидкость», что является важным и интересным новым результатом работы. Параметры фазового перехода в модели «кулон с полочкой» качественно согласуются с данными, полученными в рамках модифицированной псевдопотенциальной модели. Вычислены параметры критической точки, положение бинодали и спинодали найденного перехода.

Достоверность полученных результатов определяется сравнением промежуточных результатов расчетов с существующими аналитическими и экспериментальными данными, другими работами, и вряд ли может вызвать сомнения. Обоснованность научных положений и выводов обусловлена тем, что построение моделей и расчеты выполнены либо из первых принципов (как, например, при расчете псевдопотенциалов электрон-ионного взаимодействия по водородным волновым функциям), либо основываются на уже известных в литературе данных и результатах (например, определение бинодали в модели «кулон с полочкой»).

Практическая ценность результатов диссертации определяется тем, что полученные в ней данные представляют фундаментальный научный интерес как с точки зрения новых теоретически предсказанных свойств ридберговского вещества, так и с точки зрения новых сведений о фазовых переходах в системах многих частиц (в частности, в двухкомпонентной плазме в рамках приближения «кулон с полочкой»).

По представленной диссертации можно высказать следующие замечания и пожелания:

- для выявления области применимости исследуемой автором термодинамически квази-равновесной модели ридберговской плазмы принципиально важно уметь правильно оценивать скорость рекомбинации на нижние дискретные уровни соответствующих ионов; в диссертации, однако, в отличие от скоростей электрон-электронной и электрон-ионной релаксаций, не приведено ни конкретных формул, ни детального анализа того, как характерное время рекомбинации зависит от плотности и температуры свободных электронов, и, самое важное, от граничного значения n_0 главного квантового числа, ниже которого дискретные уровни допустимо исключать из рассмотрения;
- один из выводов главы 3 состоит в том, «что точность приближенного квазиклассического расчета псевдопотенциала тем лучше, чем ниже температура системы»; автор, однако, не дает четкого объяснения, почему это так, и не раскрывает, как эта точность связана с выбором нижней границы n_0 по главному квантовому числу и пороговой энергии E' перехода к квазиклассическому приближению;
- в диссертации имеется ряд описок, как то
 - подпись к рис. 7: « 3×10^4 см атомов», « 8×10^4 см атомов», тогда как должно, по-видимому, быть « 3×10^4 см⁻³ атомов», ...
 - по оси ординат на рис. 14 и 15 должно, по-видимому, быть $\beta\Phi_{ei}$, а не $\beta\Phi_{ee}$;
 - стр. 84: «...исследована область концентраций $n < 10^{-15}$ см⁻³ ...», а должно очевидно быть «... $n < 10^{15}$ см⁻³ ...»;

впрочем, общее число описок не велико.

Здесь следует подчеркнуть, что отмеченные недостатки ни в коей мере не снижают общей положительной оценки работы.

Подводя итог, можно сказать, что цели и задачи исследования сформулированы достаточно четко, работа им полностью соответствует. Выводы диссертационной работы объективны, научно обоснованы, вытекают из содержания работы и полностью соответствуют сформулированным целям и задачам исследования. Диссертационная работа написана квалифицированно и хорошо оформлена. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Бутлицкого Михаила Анатольевича «Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы» является завершенной научной работой, в которой получены важные новые результаты по термодинамике ультрахолодной ридберговской плазмы, достоверность и научная ценность которых не вызывает сомнения. Основные результаты исследования хорошо и подробно опубликованы в отечественных и международных журналах, в трудах национальных и международных конференций. Представленная диссертация представляет собой законченную научно-

квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Бутлицкий Михаил Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 — теплофизика и теоретическая теплотехника.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Ведущий научный сотрудник отдела «Вычислительной физики и кинетических уравнений» Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, доктор физико-математических наук **Баско Михаил Михайлович**

« 16 » ноября 2015 года



125047, Москва, Миусская пл., д.4, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, тел.: +7 499 250-79-31, эл. почта: mmbasko@kiam.ru

Подпись ведущего научного сотрудника отдела «Вычислительной физики и кинетических уравнений» Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, доктора физико-математических наук Баско Михаила Михайловича заверяю.

Ученый секретарь ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, к. ф.-м. наук
Маслов Александр Иванович

« 16 » ноября 2015 года



125047, Москва, Миусская пл., д.4 , тел.: +7 499 973-25-80, факс: +7 499 972-07-37, эл. почта: maslov@imamod.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4, тел.: +7 499 978-13-14, факс: +7 499 972-07-37, эл. почта: office@keldysh.ru