

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАФИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

заседание диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук
от 23 декабря 2015 г. (протокол №18)

Повестка дня:

Защита диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Бутлицкого Михаила Анатольевича

на тему

«Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы»

Специальность 01.04.14 — теплофизика и теоретическая теплотехника

Москва — 2015

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02
при Федеральном государственном бюджетном учреждении наук
Объединенном институте высоких температур Российской академии наук
Протокол №18 от 23 декабря 2015 г.

Председатель – Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д. ф.-м. н., профессор Андреев Н. Е.

Секретарь – Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02

к. ф.-м. н., с. н. с. Васильев М. М.

Председатель:

Уважаемые члены Совета, кворум имеется. Совет утверждён в составе **31** человека.
На заседании присутствуют **26** членов совета, из них докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **14**.

1. Фортов В.Е.	академик	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	присутствует
14. Гордон Е.Б.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует
15. Грязнов В.К.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.04.14	присутствует
16. Еремин А.В.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
17. Зейгарник Ю.А.	д.т.н., с.н.с.	01.04.14	присутствует
18. Иванов М.Ф.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
19. Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.08	присутствует
20. Кириллин А.В.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.14	присутствует
21. Лагарьков А.Н.	академик	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.	чл.-корр. 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.	чл.-корр. 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	отсутствует

Ученый секретарь:

Уважаемые коллеги, в наш диссертационный совет обратился Бутлицкий Михаил Анатольевич с просьбой принять к защите диссертацию на тему «Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. В деле имеются все необходимые документы, оформленные в соответствии с требованиями ВАК.

Зачитывает сведения о соискателе по материалам дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.

Председатель:

Есть ли вопросы по документам? Нет. Переходим к основному докладу соискателя, Михаил Анатольевич, пожалуйста, 20 минут.

Бутлицкий М. А.:

Докладывает диссертационную работу (выступление не стенографируется, доклад Бутлицкого М. А. прилагается)

Председатель:

Спасибо, Михаил Анатольевич. Пожалуйста, вопросы к докладчику.

Петров О. Ф.:

Вы показывали трехмерные графики. Вопрос сначала уточняющий — что здесь показано зеленым цветом, а что красным?

Бутлицкий М. А.:

Красным электроны, зеленым — ионы. Но на самом деле система симметрична.

Петров О. Ф.:

Получается, что у вас структура формируется только у ионов, а электроны структуры не образуют? На вашем слайде — что формирует структуру?

Бутлицкий М. А.:

Это не так. Структура формируется у зарядов обоих знаков.

Петров О. Ф.:

Если говорить о переходе газ-жидкость, для чего рассматривается переход, по какой компоненте? Какая компонента переходит из газового в жидкостное состояние?

Бутлицкий М. А.:

Обе компоненты меняют свою структуру и формируют фазу.

Петров О. Ф.:

Для фазового перехода необходим механизм притяжения и надо определиться, что у вас находится в газовом состоянии, а что в жидкостном? Какова физическая природа механизма притяжения и фазового перехода?

Бутлицкий М. А.:

Вопрос хороший и непростой. Чем определяется переход, паритетом кулоновских сил притяжения и отталкивания, или может быть образованием нейтральных атомов, в этой модели в расчете Монте-Карло в каноническом ансамбле сказать невозможно. Поэтому это — модельный фазовый переход.

Петров О. Ф.:

В работах по пылевой плазме получен фазовый переход жидкость-кристалл. От этого отталкивались потом другие авторы. А в чем новизна ваших результатов, по сравнению с ранними работами в пылевой плазме?

Бутлицкий М. А.:

Новизна прежде всего в том, что в этой области параметров ультрахолодной плазмы еще не было исследовано термодинамики и обнаружено фазовых переходов.

Петров О. Ф.:

Вы выносите на защиту в одном из положений — фазовый переход. А в однокомпонентной модели, например, фазовый переход тоже наблюдается.

Бутлицкий М. А.:

Однокомпонентная модель плазмы это совсем другая модель, она применима к жидким металлам и электролитам. Это совсем другая область параметров.

Ломоносов И. В.

У меня вопрос как вы получили критическую точку, спинодаль и бинадаль? Вами построена аппроксимация расчетов и далее вы ищите нули полинома. Вообще нулей у полинома пятой степени может быть много. Где гарантия, что вы выбрали правильные нули?

Бутлицкий М. А.:

Были выбраны первые нули. И с точки зрения расчета это единственные нули, которые существуют в области гамма, не выходящей за границу применимости модели (вырождение).

Ломоносов И. В.

Каким образом вы на основании построенной спинопдали и крит. точки рассчитали бинадаль?

Бутлицкий М. А.:

Можно рассчитать по правилу Максвелла, но здесь оно не работает. Потому что область между границами спинопдали нефизична, в ней нельзя считать интеграл и вообще доверять данным. Был использован способ, описанный в книге Кубо по статистической термодинамике. Суть его заключается во взятии интеграла в обход нефизичной области и приравнении хим. потенциала двух фаз.

Воробьев В. С.:

Вы показали разложение по степеням гамма. Но известно, что при малых гамма это разложение должно содержать дробные степени. В частности дебаевская поправка, куда входит корень из гамма. Значит ваше приближение не будет работать при малых гамма?

Бутлицкий М. А.:

Вы совершенно правы. Когда я строил аппроксимацию полиномами, в области малых гамма аппроксимации ложились плохо на данные расчетов. Но эти гамма меня не интересовали, т. к. они далеко от области фазового перехода.

Иосилевский И. Л.:

Если вы считали методом Монте-Карло, вы должны были увидеть как система расслаивается на две фазы. Наблюдали ли вы это расслоение в вашем моделировании?

Второй вопрос: вы показали кристалл. структуру, рассчитывали ли вы методом Монте-Карло плавление?

Бутлицкий М. А.:

Спасибо за хороший вопрос. Действительно в области спинодали в расчетах была очень хорошо видна нестабильность результата.

Плавление это следующая наша задача, над которой сейчас идет работа.

Иосилевский И. Л.:

Все-таки уточню первый вопрос, когда вы находились под спинодалью вы наблюдали как часть системы как вода в кастрюле опустилась вниз?

Бутлицкий М. А.:

В трехмерном представлении в ячейка такого не наблюдалось. Но результат для энергии получался такой, как если бы система разделилась на две фазы.

Гордон Е. Б.:

А спиновое взаимодействие вы учитывали? У вас не очень низкие температуры, но можете возбудить атомы и тогда Бозе конденсация наступит и при более высоких температурах.

Бутлицкий М. А.:

В моей работе области параметров такие, что система разрежена и слетеровская сумма не учитывает квантовые эффекты на малых расстояниях.

Гордон Е. Б.:

Но вы показали рисунки, где у вас электроны очень близко находятся.

Бутлицкий М. А.:

Масштаб точек на приведенных графиках ни в коей мере не отражает размеры частиц. Точками отмечены только положения центров частиц. Иначе бы на рисунке невозможно было что-то увидеть. Расстояния же между частицами очень большое — сотни радиусов Бора и больше.

Петров О. Ф.:

А что за корр. функции у вас построены?

Бутлицкий М. А.:

Красная линия — электрон-ионные. Синяя и зеленая — электрон-электронные и ион-ионные

Иосилевский И. Л.:

А на этом рисунке где у вас полочка кончается?

Бутлицкий М. А.:

На этом рисунке полочка примерно тысяча — две тысячи радиусов Бора.

Председатель:

Спасибо. Больше вопросов нет? Тогда слово предоставляется научному руководителю Зеленеру Борису Вигдоровичу

Зеленер Б. В.:

Зачитывает отзыв (выступление не стенографируется, письменный отзыв имеется в деле)

Председатель:

Спасибо, Борис Вигдорович. Слово предоставляется ученому секретарю Васильеву М. М. для ознакомления членов диссертационного совета с отзывом ведущей организации и отзывами, поступившими на автореферат диссертации.

Ученый секретарь:

Уважаемые коллеги, начну с отзыва ведущей организации, **Московского физико-технического института**.

(пересказывает основное содержание отзыва ведущей организации, письменный отзыв имеется в деле)

В отзыве имеются следующие замечания:

1. новые теоретические выводы работы носят, в основном, предсказательный характер, и им не достаёт убедительного сравнения с экспериментальными результатами;
2. интересным было бы выявить вероятное изменение термодинамических свойств ридберговской плазмы при повышении её концентрации, как эффект вырождения плазмы.

Оценка работы положительная, отзыв составлен и подписан доктором физико-математических наук, профессором, деканом факультета проблем физики и энергетики Московского физико-технического института Леоновым Алексеем Георгиевичем и утвержден ученым секретарем МФТИ, кандидатом физико-математических наук, доцентом Скалько Юрием Ивановичем.

На автореферат диссертации поступило три отзыва:

1. **Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва** (доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры физики твердого тела и наносистем Кашурников В. А.) — отзыв положительный, с замечанием: — Вызывает сомнение справедливость некоторых из расчетов, сделанных в работе. Следует более точно определить область применимости предложенной схемы расчета;
2. **Казахский национальный университет им. аль-Фараби, КазНУ, г. Алматы** (Зам. декана физико-технического факультета доктор физ.-мат. наук, профессор Джумагулова К. Н.) — отзыв положительный, без замечаний;
3. **Объединенный институт высоких температур РАН, ОИВТ РАН, г. Москва** (Главный научный сотрудник теоретического отдела №1.2.4. им. Л. М. Бибермана, доктор физ.-мат. наук Хомкин А. Л.) — отзыв положительный, с вопросом: — хотелось бы знать мнение автора о составе фаз полученного фазового перехода;

Председатель:

Спасибо. Михаил Анатольевич, у вас есть возможность ответить на высказанные замечания.

Бутлицкий М. А.:

Начну с отзыва Кашурникова В. А. (МИФИ). Метод Монте-Карло использованный в работе — способ численного расчета конфигурационного интеграла. Выражение для конфигурационного интеграла квантовой системы при этом записывается в приближении, где точная слэтеровская сумма системы выражается через произведение парных.

Граница применимости такого приближения была исследована в работах Зеленера, Нормана, Филинова для низкотемпературной плазмы и определяется двумя факторами: вырождением системы, образованием 3-х частичных и более квантовых состояний.

В нашем случае ультрахолодной разреженной плазмы это приближение тем более применимо: газ электронов не вырожден, а средние расстояния таковы, что вероятность даже двум частицам сблизиться на расстояния несколько радиусов Бора крайне малы.

Часть показанных результатов действительно выходит за рамки применимости псевдопотенциальной модели. Эти результаты были получены с целью изучить поведение модели.

К вопросу ведущей организации о сравнении с экспериментальными результатами:

Эксперименты по созданию ультрахолодной плазмы, от которых в первую очередь отталкивается работа, пока очень немногочисленны. Экспериментальных данных получено довольно мало, что связано с большой сложностью экспериментов.

Поэтому моя работа прежде всего исследует свойства моделей. Но результаты работы имеют и практическое значение. Сейчас в нашей группе лаборатории 1.2.3.3. ОИВТ РАН создана установка: с помощью лазерного охлаждения возможно получение возбужденных атомов лития при ультранизких температурах.

Разрабатывается методика изучения структуры в ридберговской плазме. Одна из ближайших целей этого эксперимента — проверка теоретических выводов моей работы.

Что касается вопроса о вырождении системы:

Это действительно интересный вопрос. Причем не ясно — можно ли будет применить использованные в работе алгоритмы с способы расчета, модифицировав их, и расширив область применимости модели. Или потребуются принципиально другие методы расчета свойств системы, например квантовые методы Монте-Карло. Вопрос требует отдельного рассмотрения и возможно будет исследован в нашей группе в ближайшем будущем.

К вопросу Хомкина А. Л. о природе фазового перехода и составе фаз:

Вопрос анализа физической природы фазового перехода, обнаруженного в модели, сложен и неоднозначен. Чем обусловлен переход — паритетом кулоновских сил или другими процессами (например, образованием нейтральных атомов) — в рамках расчета методом Монте-Карло в каноническом ансамбле сказать невозможно.

Можно придумать какой-нибудь условный критерий образования атома в модели “кулон с полочкой”, например считать, что если пара частиц электрон-протон сблизилась на расстояние меньше размера полочки, то они образовали атом. В этом случае по парным корр. функциям можно оценить долю таких “атомов” в системе.

Как видно из рисунка этот критерий не вносит ясности в понимание. Возможность экспериментального обнаружения найденного фазового перехода обсуждается в последней статье ТВТ. Оценки показывают, что для равновесной плазмы такой фазовый переход находится в области температур, где преобладают нейтральные атомы и не применима модель “кулон с полочкой”.

Поэтому вопрос о физической природе данного фазового перехода пока остается открытым.

Председатель:

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту Баско Михаилу Михайловичу.

Баско М. М.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Есть ли у членов совета вопросы к официальному оппоненту Баско Михаилу Михайловичу? Вопросов нет. Михаил Анатольевич, вы можете ответить на замечания.

Бутлицкий М. А.:

Моя работа опирается на оценки замедления рекомбинации, значения главного квантового числа и времени релаксации, сделанные в экспериментальных и теоретических работах других авторов. Анализом рекомбинации неидеальной плазмы занимается множество групп — группа нашей лаборатории, группа Г. Э. Нормана, ряд других исследователей.

Важно, что в разработанной модели расчета термодинамики значение главного квантового числа, ниже которого дискретные уровни исключаются, играет роль параметра, наравне с плотностью и температурой. В этом смысле модель универсальна и может быть применена к любым подобным системам, находящимся в неполном термодинамическом равновесии.

Вопрос же анализа кинетики конкретного эксперимента находится за рамками данной работы.

Что касается анализа точности квазиклассического приближения. В ранних работах Зеленера, Нормана, Филинова по низкотемпературной плазме, в ранних работах нашей группы, псевдопотенциалы электрон-ионного взаимодействия рассчитывались квазиклассически. Только несколько нижних уровней дискретного спектра рассчитывались по волновым функциям, все остальные дискретные уровни и непрерывный в квазиклассическом приближении.

Оказалось, что такой подход дает хороший результат только при очень низких температурах. Детальный анализ влияния параметров квазиклассического расчета и причин этого осталось за рамками работы и требует отдельного изучения.

За опечатки приношу свои извинения.

Председатель:

Спасибо, Михаил Анатольевич. Второй оппонент Воронцов-Вельяминов Павел Николаевич у нас отсутствует, передаю слово ученому секретарю.

Ученый секретарь:

Второй оппонент отсутствует по уважительной причине, о чем в деле имеется соотв. документ. Ознакомлю вас с отзывом оппонента.

(Зачитывает отзыв Воронцова-Вельяминова П. Н., письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Слово предоставляется Михаилу Анатольевичу для ответа на замечания официального оппонента.

Бутлицкий М. А.:

Взаимодействие при расчете рассмотренных моделей учитывалось методом ближайшего образа. Влияние обрезания кулоновского дальнего действия в зависимости от размера ячейки Монте-Карло (а значит числа частиц) было проверено дополнительными расчетами, обнаружилась хорошая сходимость результатов.

Для примера привожу график внутренней энергии в модели «кулон с полочкой» для полочки 15кТ на линии бинодали со стороны жидкой фазы, в зависимости от числа частиц. Это гамма около трех. Ожидается (например, это показано в известной работе Браша, Салина, Теллера 66 г. для однокомпонентной плазмы), что с ростом гамма, там где в псевдопотенциальной модели формируется крист. структура, точность метода ближайшего образа может ухудшаться. Вопрос уточнения результатов в этой области безусловно планируется учесть в следующих работах.

Председатель:

Спасибо. Переходим к дискуссии. Все присутствующие приглашаются высказать свое мнение о представленных материалах.

Д. ф.-м. н., г. н. с. ОИВТ РАН, профессор Хомкин А. Л.:

Я был свидетелем рождения этой модели с полочкой. И после 30 лет перерыва интерес к модели вернулся. В 70-е годы Норман и Воронцов-Вельяминов считали похожие модели: «кулон с полочкой» и модель кулоновских твердых сфер. Однако тогда фазовый переход в модели «кулон с полочкой» нащупать не удалось. Позже модель шаров была обчислена полностью. А модель «кулон с полочкой» до сих пор была не исследована.

А в этой работе впервые появились сведения о фазовой диаграмме и крит. точки «кулона с полочкой». Обратите внимание на крит. температуру. Всего одна тринадцатая. Это очень низкая температура. В равновесной плазме там практически нет зарядов. Про это в ТВТ недавно вышла наша работа. Мы считаем, что этот переход — обычный переход газ-жидкость в нейтральных атомах. Результат считаю очень интересным и призываю членов ученого совета поддержать работу.

Норман Г. Э.:

Я слушал Михаила на конференции в Эльбрусе и обратил внимание, что Михаил выступает очень честно, что сделал, то и рассказывает. Его выступление сегодня тоже было честно, он понятно рассказал что сделал. Что касается модели, она имеет очень ограниченную область применения. Я бы не рискнул искать в самой модели очень глубокий смысл. Я буду голосовать «за».

Касательно замечания Баско М. М. по поводу рекомбинации и времени жизни состояния: есть формула Саши Ланкина, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными и дает занижение скорости рекомбинации порядков на десять. Работа вышла 6 лет назад. Но диссертант на эту работу не ссылается по некоторым не зависящим от него обстоятельствам. Я буду голосовать «за» и надеюсь, что совет тоже.

Баженова Т. В.:

Хотелось бы обратить внимание на практическую сторону замедления рекомбинации, которое иногда называют закалкой. Это имеет место, например, в факеле реактивного двигателя. Плазма, вырывающаяся из сопла, имеет низкую, комнатную температуру. Однако там полно свободных электронов, это имеет огромное влияние на управление космическими аппаратами. Поскольку радиолучи, проходящие через сопло, могут искажаться. Будем надеяться, что работа найдет и в этом практическое применение.

Воробьев В. С.:

Хочу сказать, что эта работа рождена не просто как чисто теоретическая. Михаил входит в лабораторию Зеленера Бориса Борисовича, где создана уникальная установка по ультрахолодной плазме. И проведение подобного термодинамического анализа просто необходимо, как теоретическое сопровождение экспериментальных работ.

Хотелось добавить несколько слов о псевдопотенциальной модели. История такова. Мне в руки попала диссертация Эбелинга о псевдопотенциалах, мы с Норманом опубликовали статью, после чего модель стала набирать популярность.

Подчеркну, что эта работа связана тесно с экспериментом и выполнена на должном уровне, ее надо поддерживать.

Иосилевский И. Л.:

Буду краток. Первое достоинство работы: диссертант удержался от соблазна построить бинодаль по правилу Максвелла.

45 лет назад я обсчитал псевдопотенциал Глоубермана, и там есть притяжение, но фазового перехода вообще нет. Поведение потенциалов на коротких расстояниях может оказать большее влияние, чем кулоновский хвост.

Работу предлагаю поддержать.

Петров О. Ф.:

По-моему вопросов не осталось и работу однозначно надо поддерживать. На свои вопросы я ответы получил.

Андреев Н. Е.:

Вопрос о времени существования квазиравновесного состояния очень интересный. Мы фактически в двух разных диссертациях, разных системах, увидели одну и ту же физическую ситуацию. Мне кажется это вопрос выходит за рамки представленного материала, материал же представленной работы достаточно полный и замкнутый. Но вопрос квазиравновесности остается открытым и это предмет для дальнейших исследований обоих диссертантов.

Председатель:

Если больше нет желающих выступить, для проведения тайного голосования предлагаю избрать счетную комиссию в составе: Еремин А. В., Иванов М. Ф. (председатель комиссии), Гордон Е. Б. Прошу голосовать. *(Счетная комиссия выбирается единогласно).*
(Проводится процедура тайного голосования).

Председатель:

Слово для оглашения результатов тайного голосования предоставляется председателю счетной комиссии Иванову М. Ф.

Иванов М. Ф.:

Роздано **26** бюллетеней, в урне оказалось **26** бюллетеней, за — 26, недействительных нет, против — нет.

Результаты голосования:

За присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук **Бутлицкому Михаилу Анатольевичу** проголосовало **26** членов диссертационного совета, **против – нет, недействительных бюллетеней – нет.**

Председатель:

Предлагается утвердить протокол счетной комиссии. Прошу голосовать. (*Протокол счетной комиссии утверждается единогласно*). Давайте завершим нашу работу, утверждением заключения по диссертации Бутлицкого М. А.. Проект заключения роздан. У кого есть замечания или дополнения?

(*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*).

Предлагается принять заключение с обсужденными нами изменениями. Прошу голосовать. (*Утверждается единогласно открытым голосованием*). Заседание диссертационного совета объявляется закрытым.

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 23.12.2015 № 18

О присуждении Бутлицкому Михаилу Анатольевичу, гражданину РФ ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Термодинамика ультрахолодной ридберговской плазмы» по специальности 01.04.14 — теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 14.10.2015 г., протокол № 15, 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, +7 (495) 485-83-45), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012 г. № 105/нк.

Соискатель Бутлицкий Михаил Анатольевич 1982 года рождения, в 2005 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский инженерно-физический институт (государственный университет).

В 2008 году окончил очную аспирантуру Московского инженерно-физического института (государственного университета).

Работает младшим научным сотрудником Лаборатории № 1.2.3.3. — теплофизических свойств материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (г. Москва).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук, в лаборатории № 1.2.3.3. — теплофизических свойств материалов.

Научный руководитель — Зеленер Борис Вигдорович, к. ф.-м. н., заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Воронцов–Вельяминов Павел Николаевич, д. ф.-м. н., Санкт–Петербургский государственный университет (199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9, тел: +7 (812) 328-20-00, эл. почта: srbu@spbu.ru), профессор кафедры молекулярной биофизики и физики полимеров;

Баско Михаил Михайлович, д. ф.-м. н., 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), ведущий научный сотрудник отдела Вычислительной физики и кинетических уравнений; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», в своем положительном заключении, подписанном деканом факультета проблем физики и энергетики, доктором физико-математических наук, профессором Леоновым А. Г. (утвержденном ученым секретарем канд. физ.-мат. наук доцентом Скалько Ю. И.), указала что:

1. В диссертации для расчета термодинамики ультрахолодной плазмы использована модифицированная псевдопотенциальная модель, где вклад во взаимодействие связанных состояний ридберговских атомов учтен из первых принципов в разложении по водородным волновым функциям.
2. Впервые исследована в широком диапазоне параметров модель плазмы «кулон с полочкой».
3. В модифицированной псевдопотенциальной модели ридберговской плазмы обнаружена область формирования квазикристаллической структуры. Сделано предположение о возможности существования метастабильных периодических структур в ридберговской плазме.
4. Предсказывается возможность фазового перехода первого рода типа «газ–жидкость» в модели плазмы «кулон с полочкой».

Соискатель имеет 5 опубликованных научных статей по теме диссертации, 5 из них — в реферируемых журналах из списка ВАК.

Основные работы:

1. *Butlitsky M.A., Fortov V.E., Manykin E.A., Zelener B.B., Zelener B.V.* Thermodynamics of nonideal Rydberg plasma created by dye laser // *Laser Physics*. – 2005. – Vol. 15. N 2. – С. 1-6
Статья посвящена расчету термодинамических свойств ридберговской плазмы в рамках модифицированной псевдопотенциальной модели. Личный вклад автора 4.5 из 6 страниц.
2. *Бутлицкий М.А., Зеленер Б.Б., Зеленер Б.В., Маныкин Э.А.* Двухчастичная матрица плотности и псевдопотенциал электрон–протонного взаимодействия для ультранизких температур // *Жур. выч. мат. и мат. физ.* – 2008. – Т. 48. №1. – С. 156–160.
Статья посвящена точному численному расчету псевдопотенциалов электрон–ионного взаимодействия в разложении по водородным волновым функциям. Личный вклад автора 4 из 5 страниц.

3. *Бутлицкий М. А., Зеленер Б. Б., Зеленер Б. В., Манькин Э. А., Хихлуха Д. Р.* Функция распределения и кинетические процессы в ультрахолодном ридберговском веществе // *Ядерная физика и инжиниринг.* – 2012. – Т. 3. №2. – С. 151-157

Статья посвящена анализу кинетики и влиянию термодинамических и структурных свойств ридберговской плазмы на замедление рекомбинации. Личный вклад автора 2 из 7 страниц.

4. *Butlitsky M. A., Zelener B. B., Zelener B. V.* Critical point of gas–liquid type phase transition and phase equilibrium functions in developed two–component plasma model // *J. Chem. Phys.* – 2014. –N 141. – P. 024511(1-6)

Статья посвящена анализу термодинамики модели «кулон с полочкой» и расчету параметров критической точки фазового перехода. Личный вклад автора 5 из 6 страниц.

5. *Бутлицкий М. А., Зеленер Б. Б., Зеленер Б. В.* К вопросу о кулоновском фазовом переходе // *ТВТ.* — 2015. — Т. 53 № 2. — С. 163–168.

Статья посвящена анализу модели «кулон с полочкой» и расчету линий спинодали, бинодали фазового перехода. Анализируется также возможность экспериментального обнаружения фазового перехода в модели «кулон с полочкой». Личный вклад автора 5 из 6 страниц.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- 1. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва** (доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры физики твердого тела и наносистем Кашурников В. А.) — отзыв положительный, с замечанием:

— Вызывает сомнение справедливость некоторых из расчетов, сделанных в работе. Следует более точно определить область применимости предложенной схемы расчета;

- 2. Казахский национальный университет им. аль-Фараби, КазНУ, г. Алматы** (Зам. декана физико-технического факультета доктор физ.-мат. наук, профессор Джумагулова К. Н.) — отзыв положительный, без замечаний;

- 3. Объединенный институт высоких температур РАН, ОИВТ РАН, г. Москва** (Главный научный сотрудник теоретического отдела №1.2.4. им. Л. М. Бибермана, доктор физ.-мат. наук Хомкин А. Л.) — отзыв положительный, с вопросом:

— хотелось бы знать мнение автора о составе фаз полученного фазового перехода;

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

Воронцов-Вельяминов Павел Николаевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, является ведущим ученым в области теоретического исследования свойств многочастичных систем численными методами (в том числе исследования термодинамики и фазовых переходов кулоновских систем методом Монте-Карло):

1. *Voroncov-Velyaminov P. N., Voznesenskiy M. A., Calculation of Canonical Properties of a Quantum System by Path Integral Numerical Methods // Contributions to Plasma Physics Vol. 53, Issue 4-5, 2013, pp. 270–275*

2. *Voroncov-Velyaminov P. N., Silantjeva I. A., Thermodynamic Properties of Star Shaped Polymers Investigated with Wang-Landau Monte Carlo Simulations //*

Macromol. Symp. 2012, v. 317-318, p. 267–275

3. Воронцов-Вельяминов П. Н., Силантьева И. А., Расчет плотности состояний и термических свойств полимерных цепей и звезд на решетке методом Монте-Карло с использованием алгоритма Ванга–Ландау // Вычислительные методы и программирование, 2011, т. 12, вып. 4, с. 397–408

Баско Михаил Михайлович, д-р физ.-мат. наук, является признанным специалистом в области физики плазмы (в том числе неидеальной), теории кулоновского торможения заряженных частиц, инерциального термоядерного синтеза. Автор ряда теоретических и соавтор экспериментальных работ по исследованию свойств плазмы, в том числе численными методами:

1. Basko M. M., Novikov V.G., Grushin A.S. On the structure of quasistationary laser ablation fronts in strongly radiating plasmas // *Physics of Plasmas*, Т. 22, С. 053111, 2015
2. Basko M. M., Faik S., Tauschwitz A., Maruhn J. A., Rosmej O., Rienecker T., Novikov V. G., Grushin A. S. Creation of a homogeneous plasma column by means of hohlraum radiation for ion-stopping measurements // *High Energy Density Physics*, Т. 10, С. 47, 2014
3. Basko M. M., Tauschwitz A., Frank A., Novikov V., Grushin A., Blazevic A., Roth R., Maruhn J.A. 2D radiation-hydrodynamics modeling of laser plasma targets for ion stopping measurements // *High Energy Density Physics*, Т.9, С. 158, 2013

Выбор Московского физико-технического института (государственного университета) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что МФТИ является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе в области термодинамики неидеальной плазмы и кулоновских систем. На кафедрах факультета проблем физики и энергетики, а также на кафедре физической механики активно ведутся работы по исследованию термодинамики сильно неидеальной плазмы, фазовых переходов в кулоновских системах, физики низкотемпературной плазмы, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя:

1. Son E. E., Current Investigations of Thermophysical Properties of Substances // *High Temperature*, 2013, vol. 51, No 3, pp. 351-368
2. Konovalov V. P., Savelev A. S., Son E. E., Probe Measurements of Plasma Parameters in Torch Plasmatron // *High Temperature*, 2014, Vol. 52, No. 2, pp. 145–149
3. Konovalov V. P., Son E. E., Degradation spectra of electrons in the ionosphere // *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2015, 653, 012120

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

— предложен способ расчета термодинамических свойств ридберговской плазмы с сильно замедленной рекомбинацией в рамках модифицированной псевдопотенциальной модели, в которой реализуется только часть уровней дискретного спектра ридберговских атомов. Расчет взаимодействия в модели сделан численно в разложении по водородным волновым функциям

— получены новые данные по структурным свойствам модифицированной псевдопотенциальной модели неидеальной ридберговской плазмы

- предсказана возможность существования в ультрахолодной ридберговской плазме метастабильной квазикристаллической структуры
- в широкой области параметров исследована псевдопотенциальная модель двухкомпонентной плазмы «кулон с полочкой», в ней обнаружен фазовый переход типа газ—жидкость, рассчитаны параметры критической точки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- исследованы модели неидеальной плазмы, построенные из первых принципов, в новой области температур и плотностей системы, в которой на данный момент существуют лишь отдельные экспериментальные данные, но не существует универсальных теоретических моделей;
- обнаружены новые структурные свойства ридберговской плазмы в рамках псевдопотенциальной модели (формирование ближнего и дальнего порядков);
- обнаружен и подробно исследован фазовый переход первого рода в модели плазмы «кулон с полочкой».

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

- разработан алгоритм точного численного расчета псевдопотенциалов электрон-ионного взаимодействия в разложении по водородным волновым функциям. Это позволяет рассчитывать из первых принципов взаимодействие в кулоновских невырожденных системах;
- разработан алгоритм расчета термодинамических свойств двухкомпонентной плазмы методом Марковских цепей для псевдопотенциальной модели;
- обнаруженные структурные свойства и фазовый переход могут служить основой для создания эксперимента, подтверждающего наличие новых свойств в ультрахолодной ридберговской плазме. Результаты работы позволяют оценить области параметров и особенности системы, где можно обнаружить новые свойства;
- отдельно можно подчеркнуть, что результаты работы легли в основу эксперимента по ультрахолодной плазме, который в данный момент реализуется в Объединенном Институте Высоких температур РАН в лаборатории 1.2.3.3, сотрудником которой является соискатель.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ОИВТ РАН, Институте проблем химической физики Российской академии наук, МФТИ, Московском энергетическом институте и многих других научных учреждениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- расчетно-теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах термодинамики и статистической физики. Они согласуются с опубликованными данными по теме диссертации;
- идея диссертационной работы базируется на особенностях ультрахолодной ридберговской плазмы, обнаруженных экспериментально и подтвержденных многочисленными теоретическими результатами и оценками;
- использованы современные методы численного счета;

— установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех областях, где существуют такие результаты;

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Все расчеты и анализ их результатов выполнены лично соискателем. Апробация результатов исследования проводилась на 8 российских и международных научных конференциях и семинарах, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

На заседании 23.12.2015 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., и принял решение присудить Бутлицкому М. А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 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, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 26, 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.

23.12.2015 г.

М.П.

