

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.028.01 (д 003.005.02)
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «30» июня 2026 г. № 4

О присуждении Шепелину Артему Витальевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование кинетики уровней атомов и ионов для спектральной диагностики и расчета энергетического баланса в атмосферах экзопланет» по специальности 1.3.6. «Оптика» принята к защите «24» апреля 2026 г. протокол № 2 диссертационным советом 24.1.028.01 (д 003.005.02) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1, приказ Минобрнауки России 255/нк от 28 марта 2020 года.

Соискатель Шепелин Артем Витальевич 13.10.1997 года рождения, в 2021 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), в 2025 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН), **работает** в должности младшего научного сотрудника, Лаборатории нелинейной

спектроскопии газов (02) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН).

Диссертация выполнена в научно-исследовательской группе численного моделирования электромагнитных и плазменных процессов Лаборатории энергетики мощных лазеров Отдела лазерной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЛФ СО РАН).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук **Шайхисламов Илдар Фаритович**,

руководитель Отдела лазерной плазмы - 3.0 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЛФ СО РАН), г. Новосибирск.

Официальные оппоненты:

Тригуб Максим Викторович, д.т.н., доцент, главный научный сотрудник Лаборатории квантовой электроники.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН), г. Томск.

Снытников Валерий Николаевич, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Отдела гетерогенного катализа.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН), г. Новосибирск.

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва

в своем положительном заключении, подписанном:

- О.И. Кораблев, д.ф.-м.н., член-корр. РАН, заведующий Отделом физики планет и малых тел Солнечной системы ИКИ РАН

заверенном:

- Анатолий Алексеевич Петрукович, д.ф.-м.н., академик РАН, директор Института космических исследований РАН,
указала, что диссертационная работа Шепелина Артема Витальевича «Моделирование кинетики уровней атомов и ионов для спектральной диагностики и расчета энергетического баланса в атмосферах экзопланет» полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. - «Оптика».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью и признанным авторитетом в областях оптики атмосферы, спектроскопии и численного моделирования астрофизических объектов.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5, из них 4 научные работы в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Rumenskikh M.S., Khodachenko M.L., Shaikhislamov I.F., Miroshnichenko I.B., Berezutsky A.G., Shepelin A.V., Dwivedi N.K. Mysterious non-detection of HeI (23S) transit absorption of GJ436b // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Oxford University Press (OUP), 2023. P. 4120–4129
2. Shaikhislamov I.F., Miroshnichenko I.B., Rumenskikh M.S., Shepelin A.V., Berezutsky A.G., Sharipov S.S., Golubovsky M.P., Chibrarov A.A., Khodachenko M.L. Aeronomy of the atmosphere of ultra-hot jupiter Kelt9b with allowance for the kinetics of hydrogen atom levels // Astronomy Reports. Pleiades Publishing Ltd, 2024. Vol. 68, №8. P. 802–817.
3. Shaikhislamov I.F., Golubovsky M.P., Shepelin A.V., Miroshnichenko I.B.,

Sharipov S.S., Rumenskikh M.S., Berezutsky A.G., Chibranov A.A., Khodachenko M.L. Kinetic simulation of ultra-hot jupiter KELT-9b // Solar System Research. Pleiades Publishing Ltd, 2025. Vol. 59, №3. P. 23.

4. Shaikhislamov I.F., Miroshnichenko I.B., Sharipov S.S., Rumenskikh M.S., Golubovsky M.P., Berezutsky A.G., Shepelin A.V., Chibranov A.A., Khodachenko M.L. Aeronomy of the upper atmosphere of KELT-9 b // Astronomy & Astrophysics. EDP Sciences, 2025. Vol. 696. P. A211.

Разработан программный комплекс «Астрея: Экзопланеты». Прошел государственную регистрацию (свидетельство № 2025684208 от 11.09.2025)

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая физическая модель кинетики квантовых уровней атомов и ионов для неравновесной плазмы атмосфер экзопланет, реализованная в виде программного комплекса *Astrea*, интегрирующего не-ЛТР кинетику, синтез спектров поглощения и детальный анализ энергетического баланса с учетом вклада отдельных процессов и энергетических уровней элементов, а также поддерживающего многомерные 1D/2D/3D входные данные;

предложены оригинальные методики спектральной диагностики: соотношение интенсивностей линий атомарного кислорода 130,4 нм и 777,4 нм как чувствительный индикатор температуры верхних слоев атмосфер экзопланет (2000–12 000 К) и методика моделирования усиления сигналов от экзопланетных атмосфер вследствие звездных вспышек для линий H-альфа и Лайман-альфа;

доказана ключевая роль иона Fe II в тепловом балансе атмосфер ультрагорячих юпитеров: показано, что совокупное действие множества слабых переходов Fe II обеспечивает эффективное охлаждение за счет интенсивного переизлучения в УФ-области, а полный учет не-ЛТР кинетики уровней Fe II необходим для корректной интерпретации наблюдаемых спектров;

введены новые диагностические критерии для планирования наблюдений экзопланет, включая карты обнаружения линий кислорода в параметрическом пространстве «масса—температура» и оптимальные временные окна для регистрации вспышечно-индуцированных изменений в линиях водорода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

доказаны закономерности формирования спектральных линий кислорода и водорода в условиях не-ЛТР, установлена температурная чувствительность соотношения линий O I 130,4 нм и 777,4 нм, а также определены характерные времена релаксации населенностей уровней водорода после звездных вспышек (1–3 часа).

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использован комплекс современных методов вычислительной физики, включая численное решение жестких систем линейных уравнений методом LU-разложения, алгоритмы синтеза спектра поглощения с учетом оптических глубин и эффекта Доплера, интеграцию с гидродинамическими и гидростатическими моделями атмосфер;

изложены физические механизмы формирования исследованных спектральных линий (O I 130,4 нм, O I 777,4 нм, Na, Lyman- α), включая радиационные и столкновительные процессы, фотоионизацию и рекомбинацию, а также процессы нагрева и охлаждения, обусловленные возбужденными состояниями атомов и ионов;

раскрыты ранее не учитывавшиеся каналы энергообмена в атмосферах ультрагорячих юпитеров, в частности, доминирующая роль Fe II в охлаждении и количественный вклад отдельных групп уровней в тепловой баланс;

изучены связи между спектроскопическими характеристиками (соотношение интенсивностей линий, профили поглощения) и термодинамическими параметрами атмосфер (температура, плотность, степень ионизации), что позволяет проводить независимую диагностику по наблюдательным данным;

проведена модернизация существующих подходов к моделированию экзопланетных атмосфер путем создания унифицированной кинетической модели, объединяющей не-ЛТР расчеты населенностей уровней, синтез спектра и расчет энергетического баланса, что обеспечивает получение новых результатов по теме диссертации.

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

разработаны и внедрены в виде официально зарегистрированного программного комплекса «Астрея: Экзопланеты» - доступного для использования научным сообществом инструмента для спектральной диагностики атмосфер экзопланет, планирования и интерпретации наблюдательных данных современных и перспективных телескопов (HST, JWST, VLT, ARIEL, LUVOIR, Спектр-УФ);

определены пределы и перспективы практического использования полученных результатов: установлены температурные диапазоны наблюдаемости линий кислорода (оптимальный интервал 5000–8000 К), параметры звездных вспышек (энергия 1030–1034 эрг), при которых возможно усиление сигнала Н-альфа на ~ 0,25 % для горячих юпитеров и на 10–25% для суперземель, а также рекомендации по временным окнам наблюдений;

создана система практических рекомендаций для автоматического поиска кислорода и других биомаркеров в атмосферах экзопланет, основанная на рассчитанных картах обнаружения линий и соотношениях интенсивностей;

представлены методические рекомендации для более точных расчетов аэрономии, термодинамики и эволюции атмосфер экзопланет, а также для расширения существующих МГД-пакетов моделирования космической плазмы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:
экспериментальные результаты получены с использованием верифицированных атомных данных, показана их воспроизводимость и согласие с независимыми расчетными и наблюдательными данными;

теория построена на известных, проверяемых данных атомной физики и спектроскопии (базы данных NIST ASD, Kurucz, CHIANTI), согласуется с опубликованными экспериментальными данными и результатами других моделей (Cloudy), что подтверждено верификацией функций охлаждения элементов и сравнением с аналитическими решениями;

идея базируется на анализе практики современной наблюдательной астрофизики и обобщении передового опыта в области моделирования звездных и экзопланетных атмосфер;

использованы сравнение авторских данных с результатами, полученными ранее по рассматриваемой тематике (в том числе с работами Fossati et al., García Muñoz et al.), показавшее качественное и количественное согласие при учете полной системы уровней Fe II и эффектов самопоглощения;

установлено, что расхождения с предыдущими моделями (в частности, по тепловому балансу KELT-9 b) разрешаются при учете ранее недостаточно рассмотренных механизмов охлаждения, что подтверждает корректность развитого подхода;

использованы современные методики численного решения жестких систем дифференциальных уравнений, синтеза спектра с учетом эффекта Доплера и оптических глубин, а также методы интерполяции многомерных данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

- полной разработке программного комплекса Astrea, включая кинетический модуль для расчета населенностей квантовых уровней, модулей для построения гидростатических моделей атмосфер экзопланет,
- работе с 3D гидродинамическими и гидростатическими моделями, спектрального синтеза, энергетического баланса и моделирования звездных вспышек;
- проведении тестирования и сравнения с многочисленными работами по исследованию экзопланет и звезд, а также с другими программными кодами;
- личном участии в апробации результатов на 13 международных и всероссийских конференциях; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание о «скрытой» нелинейности кинетических уравнений, не отображенной в использованных обозначениях.

Шепелин Артем Витальевич с замечанием согласился.

На заседании 30 июня 2026 года диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, имеющей значение для развития оптики и её приложения в астрофизике, а именно за разработку новых методов спектральной диагностики и моделирования энергетического баланса атмосфер экзопланет в

условиях неравновесной плазмы, присудить Шепелину Артему Витальевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человека, из них 6 членов диссертационного совета по специальности 1.3.6. «Оптика» - физико-математические науки, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19 , против 0 , недействительных бюллетеней 0 .

Председатель диссертационного
совета 24.1.028.01 (д 003.005.02)
академик РАН



Шалагин Анатолий Михайлович

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.028.01 (д 003.005.02)
д. ф.-м. н.

Ильичев Леонид Вениаминович

«8» июля 2026 г.