

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20 октября 2025 г № 91

О присуждении Лагунову Владимиру Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Количественная спектроскопия молекул воды и кислорода, участвующих в объемных и гетерогенных процессах в газе и плазме» по специальности 1.3.6 — Оптика принята к защите 27 июня 2025 года, (протокол заседания № 88) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Лагунов Владимир Владимирович, 18 февраля 1993 года рождения, в 2016 году окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «Физика» со специализацией «Оптика и спектроскопия». С 2016 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и закончил её в 2020 году. С 2015 года работает в ФИАН, в настоящее время в должности высококвалифицированного младшего

научного сотрудника Отдела оптики низкотемпературной плазмы Отделения оптики ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Очкин Владимир Николаевич, специалист в области оптики и спектроскопии плазмы, работает в должности главного научного сотрудника Отдела оптики низкотемпературной плазмы Отделения оптики ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Степанов Евгений Валерьевич, доктор физико-математических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего Отделом молекулярной физики и диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН) (г. Москва);
2. Трушкин Николай Иванович, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории физики плазмы Отделения теоретической физики, вычислительной математики и перспективных исследований акционерного общества "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований" (АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ") (г. Москва)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ), в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук, доцентом Каменских Ириной Александровной, заместителем заведующего кафедрой Оптики, спектроскопии и физики наносистем Физического факультета МГУ, доктором физико-математических наук Федосеевым Анатолием Ивановичем, профессором кафедры Оптики, спектроскопии и физики наносистем Физического факультета МГУ, доктором физико-

математических наук, профессором Белокуровым Владимиром Викторовичем, и.о. декана Физического факультета МГУ, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, проректором МГУ им. М. В. Ломоносова, начальником управления научной политики, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель, Лагунов В.В., заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6—Оптика.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 30 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 14 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Лагуновым В.В. работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Bernatskiy, A. V., Lagunov, V. V., Ochkin, V. N., Tskhai, S. N. Study of water molecule decomposition in plasma by diode laser spectroscopy and optical actinometry methods // Laser Physics Letters. – 2016. – V. 13. – No. 7. – P. 075702. – DOI: 10.1088/1612-2011/13/7/075702.
2. Bernatskiy, A. V., Kochetov, I. V., Lagunov, V. V., Ochkin, V. N. Electric fields and concentrations of charged and neutral hydrogen isotopic particles in the plasma of low pressure DC discharge // Physics of Plasmas. – 2019. – V. 26. – No. 8. – P. 083511. – DOI: 10.1063/1.5118830.
3. Lagunov, V. V., Nikolaev, I. V., Ochkin, V. N. High-resolution and high-sensitivity absorption spectroscopy in external optical resonators with fast frequency tuning // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and

Biomolecular Spectroscopy. – 2021. – V. 246. – P. 119060. – DOI: 10.1016/j.saa.2020.119060.

4. Ochkin, V. N., Lagunov, V. V., Bernatskiy, A. V. Influence of the surface state on the dynamics of the bulk density of O₂ molecules in mixtures with inert and molecular particles in gas and glow discharge // Applied Physics B. – 2022. – V. 128. – No. 4. – P. 75. – DOI: 10.1007/s00340-022-07800-3.

5. Bernatskiy, A. V., Kochetov, I. V., Lagunov, V. V., Ochkin, V. N. Parallel monitoring of the dynamics of oxygen and water molecule concentrations under the action of a glow discharge using diode laser spectroscopy // Physics of Wave Phenomena. – 2024. – V. 32. – № 6. – P. 410–422. DOI: 10.3103/S1541308X24700419.

Выбор Степанова Евгения Валерьевича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области диодной лазерной спектроскопии.

Выбор Трушкина Николая Ивановича в качестве официального оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области физики плазмы.

Выбор ведущей организации обоснован её репутацией ведущего научного центра, проводящего исследования в области лазерной спектроскопии и физики плазмы.

Диссертационная работа Лагунова В.В. посвящена исследованию динамики концентраций нейтральных молекул в газе и плазме в условиях их взаимодействия со стенками разрядной камеры методом диодной лазерной спектроскопии с использованием внешнего резонатора. Актуальность исследования определяется необходимостью неинвазивной диагностики плазмы при создании и подготовке режимов работы плазмохимических и энергетических реакторов. Значительный интерес представляют гетерогенные процессы с участием молекул воды и их производных – молекул кислорода,

которые оказывают существенное влияние на формирование состава плазмы и протекание реакций.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Разработан метод двухканальной диодной лазерной спектроскопии с высокой чувствительностью по поглощению (10^{-7} см^{-1}) и спектральным разрешением 10^{-4} см^{-1} , который позволяет исследовать объемные и гетерогенные процессы в плазме и газе низкой плотности. Разработанный метод позволил провести одновременные измерения концентраций воды и кислорода в плазме тлеющего разряда с временным разрешением (1-15) с.

2. Предложен алгоритм минимизации влияния обнаруженных экспериментально искажений контура спектра поглощения на точность измерений концентраций частиц и температуры газа при быстром детектировании спектра в диапазонах скоростей $(10-10^4) \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

3. Для интерпретации результатов экспериментов по адсорбции и десорбции паров воды на поверхности кварца при низком давлении (0.1-1 мбар) была разработана кинетическая модель. Показано, что установившийся баланс частиц по окончании адсорбции обусловлен формированием химических связей между молекулами воды и поверхностью. При этом, начальная стадия процесса и быстрый обмен частицами между поверхностью и объёмом камеры объясняются ван-дер-ваальсовским взаимодействием. Определено характерное время спонтанной десорбции молекулы воды с поверхности камеры из плавленого кварца в вакуум $t=33 \pm 3 \text{ с}$ и фактор шероховатости поверхности кварца $F=50$.

4. Показано, что примесь кислорода в плазмообразующих газах изменяет адсорбционно-десорбционные свойства стенок разрядной камеры во время разряда и после его выключения; предложен механизм

этого изменения. Изучено высвобождение частиц с адсорбционных центров активированной стенки при длительном (~10 часов) вакуумировании и введении в плазмообразующую смесь невозбужденных добавок. В результате взаимодействия адсорбата с добавками наблюдается выделение молекул кислорода в объем с характерными временами (1-10) с.

5. Обнаружено нарушение баланса частиц в разрядах в смесях гелия с кислородом и водой. Разработанная плазмохимическая модель позволила определить причину нарушения баланса частиц – гетерогенную реакцию адсорбированных молекул воды с наработанными в разряде атомами кислорода.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые реализованы эксперименты по одновременному мониторингу концентраций молекул воды и кислорода в плазме с временным разрешением в двухканальном режиме с использованием двух источников излучения и дихроичной оптики,
- Впервые изучены характеристики влияния свойств высокочастотного резонатора с зеркалами с отражением $R=(99-99.99\%)$ и скорости перестройки частоты зондирующего излучения $(10-10^4)$ см⁻¹·с⁻¹ на регистрируемую форму контура линии поглощения,
- Впервые исследованы свойства процессов адсорбции и десорбции воды на плавленом кварце в условиях сопоставимых концентраций молекул на стенках и в объеме ($10^{14}-10^{15}$ см⁻³),
- Впервые исследовано влияние газового разряда на активность стенок реактора в процессах формирования объемного состава плазмы,

Практическая значимость представленных соискателем результатов и методик подтверждается важностью одновременного мониторинга молекул воды и кислорода в плазме, который может применяться для диагностики

компонентного состава плазмы с высокой чувствительностью и временным разрешением. Разработанная математическая интерпретация искажения формы контуров линий поглощения с ростом скорости перестройки частоты может быть использована для уменьшения ошибок измерения температуры при измерениях слабого поглощения методом диодной лазерной спектроскопии. Обнаруженная в работе гетерогенная реакция, приводящая к нарушению баланса элементов в плазме, может быть использована для расширения существующих моделей плазмохимической кинетики. Показанные в работе гетерогенные процессы, приводящие к высвобождению адсорбированных молекул, могут быть использованы для глубокой очистки стенок вакуумных установок.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях плазмы, которые проводятся в таких организациях, как Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН, Институт общей физики РАН, Московский инженерно-физический институт, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ), Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Объединённый институт высоких температур РАН.

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертации, обеспечена проведением экспериментальных измерений на современном научном оборудовании с высокой точностью и воспроизводимостью результатов; соответствием экспериментальных результатов имеющимся литературным данным и теоретическим моделям, которые были развиты диссертантом.

Все научные результаты, включенные в диссертацию Лагунова В.В., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор принимал участие в разработке, сборке и юстировке экспериментальной установки, в описанных в работе экспериментах, обрабатывал экспериментальные данные, проводил теоретические расчеты. Помимо этого, автором была предложена оригинальная модель описания искажения контуров

линий поглощения при росте скорости перестройки частоты при измерениях в высокочастотных резонаторах, автор также участвовал в разработке модели процессов адсорбции-десорбции молекул воды на кварце и плазмохимической модели. Подготовка публикаций проводилась совместно с соавторами, при этом вклад соискателя был определяющим.

В ходе защиты соискатель Лагунов В.В. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 20 октября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Лагунову В.В. учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по установлению влияния гетерогенных процессов с участием молекул воды и кислорода на состав плазмы тлеющего разряда, что необходимо для развития научной области, связанной с разработкой эффективных плазмохимических реакторов.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.6 — Оптика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 20,

против присуждения учёной степени - 0,

недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
академик РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотко Александр Степанович

20 октября 2025 г.