

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 04.10.2017г., протокол № 11

О присуждении Кавыршину Дмитрию Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Получение и исследование сильноионизованной квазистационарной плазмы гелия атмосферного давления» по специальности 01.04.08 – физика плазмы, принята к защите 31.05.2017г., протокол № 7, 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, jiht.ru, 8(495)485-83-45), утвержденным Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 11.04.2012 г. №105/нк.

Соискатель Кавыршин Дмитрий Игоревич 1988 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

В 2016 году окончил аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Работает научным сотрудником лаборатории 2.2.2.1 (экспериментальных исследований гетерогенных плазменных потоков) Научно-исследовательского центра физико-технических проблем энергетики (НИЦ-2 ФТПЭ) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории 2.2.2.1 (экспериментальных исследований гетерогенных плазменных потоков) Научно-исследовательского центра физико-технических проблем энергетики (НИЦ-2 ФТПЭ) Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., с.н.с. Чиннов Валерий Федорович, г.н.с. лаборатории №2.2.2.2. - оптической спектроскопии, (НИЦ-2 ФТПЭ) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН).

Официальные оппоненты:

- к.ф.-м.н. Огинов Александр Владимирович, в.н.с. лаборатории проблем новых ускорителей Отделения ядерной физики и астрофизики, ФГБУН Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН (119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН, т. (499) 132-6468, e-mail: oginov@lebedev.ru, lebedev.ru);

- д.ф.-м.н. Шахатов Вячеслав Анатольевич, в.н.с. лаборатории №14 «Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов» Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева Российской академии наук (119991, Россия, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, 29, ИНХС РАН, т. (985) 158-0586; e-mail: shakhatov@ips.ac.ru, ips.ac.ru).

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук (119991, Москва, ул. Вавилова, 38, ИОФ РАН, Т. 8 499 135 41 65, e-mail: kossyi@fpl.gpi.ru, gpi.ru) в своем положительном заключении, составленном зав. лаб. газодинамических явлений в СВЧ-разряде д.ф.-м.н. Коссым Игорем Антоновичем и утвержденным зам. председателя Учёного совета отдела физики плазмы, д.ф.-м.н. Щепетовым Сергеем Викторовичем отметила актуальность, научную новизну и практическую значимость работы. Вместе с тем по диссертации имеются следующие замечания:

1. Столкновительно-радиационная модель гелиевой плазмы, представленная в главе 1, по-видимому, будет иметь некоторые сложности с описанием экспериментально исследованной в работе сильно неоднородной плазмы.

2. Плазма гелия, как элемента с самым высоким потенциалом ионизации, должна быть очень чувствительна к присутствию в ней даже незначительных примесей. Однако в диссертации вопрос о влиянии возможных примесей на состояние плазмы практически не затрагивается.

3. Не рассмотрена, а лишь упомянута, возможность определения электронной температуры по абсолютным и относительным интенсивностям непрерывного излучения плазмы гелия.

Полученные результаты могут быть применены в следующих организациях: ОИВТ РАН, ИОФ РАН, ИСЭ РАН, ТРИНИТИ, ФИАН, МИФИ, ИНХМ РАН, МФТИ, МГТУ и других научных учреждениях.

По материалам диссертационной работы опубликовано 6 статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 5 из которых индексируемы в базе Web of Science:

1. Исакаев Э.Х., Чиннов В.Ф., Саргсян М.А., Кавыршин Д.И. «Неравновесность сильноионизованной гелиевой плазмы атмосферного давления». Теплофизика высоких температур, 2013, том 51, № 2, с. 163–169.

2. D.I. Kavyrshin, V.F. Chinov and A.G. Ageev. “Model for describing non-equilibrium helium plasma energy level population”, Journal of Physics: Conference Series 653 (2015) 012115 IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/653/1/012115

3. O.V. Korshunov, V.F. Chinov, D.I. Kavyrshin and A.G. Ageev. Spectral measurements of electron temperature in nonequilibrium highly ionized He plasma // Journal of Physics: Conference Series. 774 (2016). 012199 doi:10.1088/1742-6596/774/1/012199

4. V.F. Chinov, D.I. Kavyrshin, A.G. Ageev, O.V. Korshunov, M.A. Sargsyan and A.V. Efimov. Study of spatial distributions of highly ionized nonequilibrium helium plasma at atmospheric pressures // Journal of Physics: Conference Series. 774 (2016). 012200 doi:10.1088/1742-6596/774/1/012200

5. А.В. Лазукин, Д.И. Кавыршин, С.А. Кривов, С.Д. Федорович. Влияние частоты питающего напряжения и материала диэлектрического барьера на спектральный состав излучения плазмы поверхностного разряда // Вестник МЭИ. 2016. №6. С. 24 -30

6. О. В. Коршунов, В. Ф. Чиннов, Д. И. Кавыршин. “Кинетическая модель окисления Al в гетерогенной алюмо-водяной плазме. Отрицательные ионы”. Теплофизика высоких температур. УДК: 533.92, 2017, том 55, № 2, с. 189–196 <http://mi.mathnet.ru/tvt9885>

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное Государственное Унитарное Предприятие “Центральный научно-Исследовательский Институт “Прометей” (ФГУП ЦНИИ КМ “Прометей”)**, г. Санкт-Петербург (к.ф.-м.н. Гаврилова Т.В.) – отзыв положительный, без замечаний.

2. **Национальный исследовательский университет "МЭИ"**, г. Москва (профессор, д.ф.-м.н., Елецкий А.В.) – отзыв положительный, без замечаний.

3. **Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский институт" (НИЦ "Курчатовский институт")**, г. Москва (д.ф.-м.н., в.н.с. Щеглов Д.А.) – отзыв положительный, с замечаниями:

-В числе недостатков работы следует отметить отсутствие в автореферате описания системы электрических измерений, благодаря которой была получена осциллограмма силы тока при импульсном подогреве плазмы стационарно горящего дугового разряда.

4. **Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"**, г. Москва (к.ф.-м.н. Казиев А.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

-Незначительным замечанием к автореферату является отсутствие погрешностей на кривых распределения электронной плотности, хотя в тексте приведены данные о погрешности определения ширин линий (~10-20%).

5. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)**, г. Томск (д.ф.-м.н., профессор Королев Ю.Д.) – отзыв положительный, без замечаний.

6. **Акционерное общество "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований" (АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ")**, г. Троицк (д.ф.-м.н. Акишев Ю.С.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Известно, что в плазме гелия могут образовываться молекулярные ионы гелия. Возможно, что в гелиевой плазме они разрушаются за счет высокой температуры, однако анализ, подтверждающий малость вклада молекулярных ионов в состав заряженных частиц плазмы гелиевой дуги, в автореферате отсутствует.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается проводимыми ими исследованиями по теме диссертации.

Выбор Огинова Александра Владимировича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является ведущим ученым в области исследования электрических дуг атмосферного давления. Основные публикации Огинова А. В., близкие к теме диссертации:

1. A. V. Agafonov, A. V. Oginov, K. V. Shpakov. Prebreakdown. Phase in Atmospheric Discharges // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2012, Vol. 9, No. 4–5, pp. 380–383.
2. В. А. Богаченков, А. В. Огинов, С. А. Чайковский, К. В. Шпаков. Исследование влияния внешней инжекции электронов и состава окружающей среды на развитие атмосферного разряда // Вестник национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2012, том 1, № 2, с. 133–138.
3. A.V. Agafonov, A.V. Bagulya, O. D. Dalkarov, M. A. Negodaev, A. S. Rusetskiy, A. V. Oginov, V. A. Ryabov, K.V. Shpakov. Observation of Neutron Bursts Produced by Laboratory High-Voltage Atmospheric Discharge // Phys.Rev.Lett., 2013, vol. 111, 115003. doi: 10.1103/PhysRevLett.111.115003.

Выбор Шахатова Вячеслава Анатольевича в качестве оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом в области спектроскопии и плазменной кинетики. Основные публикации Шахатова В. А., близкие к теме диссертации:

1. Шахатов В.А., Лебедев Ю.А. (2013). Метод эмиссионной спектроскопии в исследовании влияния состава смеси гелия с азотом на характеристики тлеющего разряда постоянного тока и свч-разряда // Теплофизика высоких температур. 2012. Т. 50. № 5. С. 705.
2. Shakhator V.A., Mavlyudov N.B., Lebedev Y.A. Studies of the distribution functions of molecular nitrogen and its ion over the vibrational and rotational levels in the dc glow discharge and the microwave discharge in a nitrogen-hydrogen mixture by the emission spectroscopy technique // High Temperature. 2013. T. 51. № 4. C. 551-565.
3. Shakhator V.A., Lebedev Y.A. Radiation spectroscopy in the study of the influence of a helium-nitrogen mixture composition on parameters of dc glow discharge and microwave discharge // High Temperature. 2012. T. 50. № 5. C. 658-681.

Выбор Института общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН) в качестве ведущей организации обусловлен тем, что данный институт проводит исследования, близкие по тематике к теме диссертации, в том числе посвященных оптической спектроскопии в УВИ диапазоне. Основные публикации ИОФ РАН, по теме диссертации:

1. Козлов Д.Н., Кобцев В.Д., Стельмах О.М., Смирнов В.В., Степанов Е.В. Определение локальных концентраций молекул H₂O и температуры газа в процессе нагрева водородно-кислородной газовой смеси методами линейной и

нелинейной лазерной спектроскопии // Квантовая электроника. 2013. Т. 43. № 1. С. 79-86.

2. Vavrukh M.V., Stelmakh O.M., Tyshko N.L., Vasil'eva I.E. Continuous absorption and depression in the solar spectrum at wavelengths from 650 to 820 nm // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. 2016. Т. 32. № 3. С. 129-144.

3. Кобцев В.Д., Козлов Д.Н., Кострица С.А., Смирнов В.В., Стельмах О.М., Туманов А.А. Лазерный спектрометрический измерительный комплекс для локальной экспресс-диагностики пламени при горении жидких углеводородных топлив // Оптика и спектроскопия. 2016. Т. 120. № 3. С. 519-527.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) Создан экспериментальный стенд для получения и исследования сильноионизованной (со степенью ионизации более 50%) стационарной плазмы гелия атмосферного давления с температурой электронов до 35 000 К и до 43 000 К при импульсном квазистационарном подогреве. Созданы процедуры автоматизированной обработки эмиссионных спектров для определения на основе экспериментальных данных радиальных распределений концентрации и температуры электронов в столбе дуги и температуры тяжелых частиц на оси разряда;

2) Получено экспериментальное распределение абсолютных заселенностей атомов гелия по возбужденным состояниям в более широком, чем в прежних исследованиях, диапазоне энергий возбуждения $20.9 \div 24.2$ эВ. Заселенности высоковозбужденных состояний HeI с энергией связи, много меньшей реализованной в эксперименте температуры электронов, существенно ниже своих равновесных значений, при этом наблюдаемая крутизна спада заселенностей возрастает по мере приближения к порогу ионизации;

3) Экспериментально получены данные о динамике изменений температуры и концентрации электронов при импульсном подогреве плазмы стационарной дуги и определение с их помощью величины отрыва электронной температуры от газовой;

4) Установлены характер и механизмы неравновесности исследованной сильно ионизованной пространственно неоднородной плазмы гелия. Обнаруженная в исследуемых дугах аномальная, неравновесная заселенность высоковозбужденных состояний HeI обусловлена ионизацией этих состояний электронным ударом и доминирующей, по отношению к обратному процессу

трехчастичной электрон-ионной рекомбинации, ролью механизма потерь заряженных частиц в результате амбиполярной диффузии;

5) Сделан вывод о том, что наблюдаемая в стационарном и квазистационарном разрядах неравновесность ионизационного типа вызвана высокой пространственной неоднородностью среды, которая обуславливает интенсивный поток амбиполярной диффузии, соответствующий потоку ступенчатой ионизации в горячей зоне дуги.

Новых понятий и терминов не вводилось.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

Созданная установка обеспечивает получение сильноионизованной (со степенью ионизации более 50%) стационарной плазмы гелия атмосферного давления с температурой электронов T_e до 35 000 К, и до 43 000 К при ее импульсном квазистационарном подогреве.

Получены количественные данные о заселенностях возбужденных состояний HeI в более широком, чем в прежних исследованиях, диапазоне энергий возбуждения 20.9 ÷ 24.2 эВ, экспериментальное распределение которых не описывается законом Больцмана с электронной температурой.

Установлены характер и механизмы неравновесности такой плазмы и обоснованы методики определения ее основных параметров. Для метода определения температуры электронов T_e по отношению интенсивностей атомарных и ионных спектральных линий даны рекомендации по выбору таких пар линий HeI и HeII, отношение интенсивностей которых наименее чувствительно к неравновесности заселения их излучающих уровней.

Показано, что обнаруженная ионизационная неравновесность вызвана амбиполярной диффузией, которая становится основным механизмом потерь заряженных частиц для исследованной плазмы.

Выполнено независимое измерение одного из важнейших параметров неравновесной плазмы – температуры тяжелых частиц, с использованием смешанного контура редко исследуемой инфракрасной линии HeI 1083 нм.

Благодаря абсолютной калибровке интенсивностей излучения и высокому спектральному разрешению были проверены и уточнены литературные данные о константах Штарк-эффекта и вероятностях спонтанных переходов большой группы линий HeI, используемых при анализе заселенностей возбужденных состояний и независимом определении концентрации электронов n_e в плазме.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Полученные количественные данные по неравновесной заселенности большого числа (более 20) возбужденных состояний HeI в диапазоне энергий $20.9 \div 24.2$ эВ (при потенциале ионизации $I = 24.59$ эВ) послужат дальнейшему развитию теоретических моделей описания кинетики заселения-расселения возбужденных состояний атомов сильноионизованной гелиевой плазмы.

Разработанные методики определения параметров гелиевой плазмы и константы Штарк-эффекта линий HeI найдут применение в задачах диагностики неравновесной плазмы гелия.

Результаты работы могут быть использованы в следующих организациях: ОИВТ РАН, ИОФ РАН, ИСЭ РАН, ТРИНИТИ, ФИАН, МИФИ, ИНХМ РАН, МФТИ, МГТУ и других научных учреждениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Экспериментальные данные получены при помощи современных измерительных средств, обеспечивающих высокое пространственно-временное и спектральное разрешение. Достоверность результатов анализа обеспечивается путём использования всей совокупности развитых в плазменной диагностике независимых спектроскопических методик и модельных описаний, а также критического анализа границ их применимости.

Личный вклад соискателя:

Все представленные в работе результаты были получены автором лично или при его определяющем участии. Автор принимал активное участие в постановке целей и задач научного исследования, в составлении программы экспериментов и их подготовке. Автором разработан и реализован экспериментальный стенд для получения и исследования сильноионизованной плазмы гелия атмосферного давления. Проведены экспериментальные исследования и анализ полученных результатов, на основе которых были сформулированы выводы и положения, вошедшие в диссертацию. Результаты были представлены автором лично на российских и международных конференциях.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.

На заседании 04 октября 2017 года диссертационный совет Д 002.110.02 принял решение присудить Кавыршину Д.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 11 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 22, 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.

М.П.



04.10.2017 г.