

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.03 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 07 декабря 2020 г № 88

О присуждении Кислову Константину Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Резонансные процессы неадиабатического обмена энергии электронов и фотонов с молекулярными ионами в плазме инертных газов» по специальности 01.04.05 - «Оптика» принята к защите 28 сентября 2020 года, протокол № 81 диссертационного совета Д002.023.03, созданного 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 Кислов Константин Сергеевич, 1993 года рождения, в 2016 году окончил Факультет общей и прикладной физики Московского физико-технического института (МФТИ), защитив магистерскую дипломную работу. С 1 октября 2016 года обучался в аспирантуре ФИАН по направлению «Физика и астрономия» по специальности 01.04.05 «Оптика» и окончил её 17 июля 2020 года. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2020 году. С июня 2017 года К.С. Кислов работает в Лаборатории "Оптика наноструктур и атомно-молекулярных систем" Отделения оптики ФИАН; в настоящее время по

результатам конкурса занимает должность высококвалифицированного младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа К.С. Кислова выполнена в Лаборатории "Оптика наноструктур и атомно-молекулярных систем" Отделения оптики ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Лебедев Владимир Сергеевич, руководитель Отделения Оптики ФИАН.

Научный консультант: кандидат физико-математических наук Нариц Александр Александрович, высококвалифицированный старший научный сотрудник Отделения Оптики ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Бычков Владимир Львович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физической электроники Физического факультета Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова;
2. Лисица Валерий Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории теории излучения отдела теории плазмы Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), город Москва, город Троицк, в своем положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук Медведевым Вячеславом Валерьевичем, старшим научным сотрудником отдела атомной спектроскопии ИСАН, доктором физико-математических наук Макаровым Александром Аркадьевичем, главным научным сотрудником отдела лазерной спектроскопии ИСАН и доктором физико-математических наук Рябцевым Александром Николаевичем, исполняющим обязанности заведующего отделом лазерной спектроскопии ИСАН, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Задковым Виктором

Николаевичем, директором ИСАН, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, включая 19 работ по теме диссертации, в том числе 8 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Результаты работы доложены в 11 докладах на российских и международных конференциях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем К.С. Кисловым работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. В.С. Лебедев, К.С. Кислов, А.А. Наритц / Резонансный захват электронов ионами в ридберговские состояния атомов // ЖЭТФ – 2020. – Т. 157. – Вып. 3. – С. 579–595.
2. К.С. Кислов, А.А. Наритц, В.С. Лебедев / Анализ эффективностей процессов захвата электронов ионами в ридберговские состояния и неупругих переходов $n - n'$ в плазме смесей инертных газов // Оптика и спектроскопия – 2020 – Т. 128. – Вып. 4. – С. 462–479.
3. V.S. Lebedev, K.S. Kislov, A.A. Narits / Rydberg states population via three-body and dissociative recombination in low-temperature plasmas of rare gas mixtures // Plasma Sources Sciences and Technology – 2020. – V. 29. – No. 2 – art. no. 025002.
4. К.С. Кислов, А.А. Наритц, В.С. Лебедев / Прямое диссоциативное возбуждение гетероядерных и гомоядерных ионов инертных газов электронным ударом // Оптика и спектроскопия – 2020. – Т. 128. – № 11 – С. 1596-1612.
5. A.A. Narits, K.S. Kislov, V.S. Lebedev / Semiclassical Theory of Resonant Dissociative Excitation of Molecular Ions by Electron Impact // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics – 2020. – V. 53. – No 19 – art. no. 195201.

6. К.С. Кислов, А.А. Нариц, В.С. Лебедев / Температурные зависимости сечений фотодиссоциации в криптоновой плазме // Краткие сообщения по физике – 2020 – № 10, С 24-30.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием у них признанных достижений в области спектроскопии и теории излучения, атомно-молекулярной физики и теории столкновений, физики плазмы.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертации исследованы радиационные и столкновительные процессы, происходящие в плазме инертных газов с участием атомарных и молекулярных ионов и высоковозбужденных состояний атомно-молекулярных систем и приводящие к трехчастичной и диссоциативной рекомбинации, прямому диссоциативному возбуждению молекулярных ионов электронным ударом, к фотодиссоциации и к неупругим переходам между ридберговскими уровнями атомов.

В работе получены следующие результаты:

1. Разработан полуаналитический подход для расчета сечений и констант скоростей резонансных процессов захвата электронов молекулярными и квазимолекулярными ионами. Численные расчеты этих величин проведены для гетероядерных (ArXe^+ и NeXe^+) и гомоядерных (Ne_2^+ , Ar_2^+ , Kr_2^+ и Xe_2^+) ионов инертных газов в широком диапазоне температур электронной и ионной компонент плазмы ($T_e=300\text{--}10000\text{ K}$, $T=300\text{--}1000\text{ K}$). Установлен характер зависимостей сечений и скоростей захвата электронов ионами от параметров плазмы и главного квантового числа n образующегося атома.
2. В рамках импульсного приближения построена теория нерезонансного захвата электронов ионами с образованием атомов в ридберговских состояниях при тройных столкновениях с атомами буферного инертного газа. Выяснена роль нерезонансного механизма захвата при различных значениях главного квантового числа.
3. Рассчитаны вклады процессов диссоциативной рекомбинации гомоядерных Xe_2^+ и гетероядерных RgXe^+ ионов в скорости заселения ридберговских

уровней атомов $\text{Xe}(n)$ в плазме смесей инертных газов. Показано, что роль рекомбинации электронов с гетероядерными ионами в заселении высоковозбужденных уровней является преобладающей, если их концентрация на порядок величины превышает концентрацию ионов Xe_2^+ .

4. Проведено сравнение эффективностей процессов резонансного трехчастичного захвата электронов ионами при столкновениях с атомами инертного газа и нерезонансного захвата электронов ионами в тройных столкновениях со свободными электронами. Для сильносвязанных ионов ($D_0 \gtrsim 0.1 - 1$ эВ) установлено преобладание резонансного механизма захвата электронов в заселении уровней атомов инертных газов с $n \lesssim 15$ при условиях, характерных для импульсных газовых разрядов и плазмы смесей инертных газов, возбуждаемой электронным пучком или в результате оптической накачки.
5. Разработан полуаналитический подход для расчета сечения и константы скорости прямого диссоциативного возбуждения молекулярных ионов электронным ударом в условиях теплового возбуждения всего колебательно-вращательного квазиконтинуума. Показано, что для умеренносвязанных и сильносвязанных ионов ($D_0 \gtrsim 0.1 - 1$ эВ) процесс диссоциативного возбуждения доминирует над процессом диссоциативной рекомбинации при высоких температурах ($T_e \gtrsim 10000$ К).
6. Проведен расчет интегрального вклада всех nJ -уровней иона Kr_2^+ в сечение фотодиссоциации в квазиравновесной криптоновой плазме. Проанализирован вклад ранее неизученных неадиабатических свободно-свободных переходов атомов и ионов в результирующий коэффициент поглощения света. Продemonстрировано, что роль этих переходов становится существенной при высоких газовых температурах $T \gtrsim 3000$ К.

Результаты работы К.С. Кислова оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается адекватным выбором современных спектроскопических данных по электронным термам и параметрам молекулярных

ионов инертных газов, использованием современных вычислительных методов и алгоритмов расчета, хорошим качественным и количественным согласием результатов вычислений с данными предыдущих теоретических и экспериментальных работ. Все результаты диссертации получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Научная новизна полученных результатов обусловлена рассмотрением ранее неизученных механизмов резонансного захвата электронов ионами при тройных столкновениях с участием нейтральных частиц. Наряду с этим, в работе впервые проведено детальное исследование резонансных неадиабатических процессов обмена энергии электронов и молекулярных ионов в случае слабосвязанных ($D_0 = 33$ мэВ для NeXe^+) и умеренносвязанных ($D_0 = 171$ и 400 мэВ для ArXe^+ и KrXe^+) гетероядерных ионов инертных газов.

Практическая значимость работы связана с тем, что представленные в ней теоретические подходы позволяют проводить достаточно высокопроизводительные вычисления сечений и констант скоростей изучаемых процессов и могут применяться для создания новых и модификации имеющихся радиационно-столкновительных моделей лабораторной низкотемпературной плазмы.

В диссертационной работе решена задача определения параметров плазмы, при которых резонансные неадиабатические процессы захвата становятся доминирующими. Это является необходимым шагом при установлении механизмов образования инверсной населенности в лазерах на инертных газах.

Результаты работы могут быть использованы в фундаментальных и прикладных исследованиях, проводимых в Институте спектроскопии РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Институте общей физики РАН, Московском, Санкт-Петербургском и Новосибирском государственных университетах, Московском физико-техническом институте, Объединенном институте высоких температур РАН, Институте химической физики РАН, РНЦ "Курчатовский институт", а также в целом ряде других научно-исследовательских центров и университетов РФ.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 07 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить К.С. Кислову учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.05 - Оптика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 17,

против присуждения учёной степени - 0,

недействительных бюллетеней - 1.

Председатель диссертационного совета,
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

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

Золотко Александр Степанович

07 декабря 2020 г.