

«Утверждаю»

Вр.ИО Директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт спектроскопии РАН
д.ф.-м.н. Компанец Олег Николаевич



29 сентября 2016 г.

Отзыв

ведущей организации на диссертацию Мирончук Елены Сергеевны «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»

Основной целью диссертационной работы Елены Сергеевны Мирончук являлось теоретическое исследование процесса резонансного тушения высоковозбужденных состояний атомов при их столкновениях с нейтральными атомами и молекулами, способными к образованию отрицательных ионов с малой энергией связи. Исследование динамики физических процессов, происходящих с участием ридберговских атомов, представляет большой интерес для ряда задач спектроскопии высокого разрешения, квантовой оптики и информатики, радиоастрономии и кинетики низкотемпературной плазмы. Значительно возросший интерес к физике высоковозбужденных состояний атомов и молекул определяется недавними работами, посвященными столкновениям с участием ридберговских атомов в ультрахолодных газах, изучению так называемых тяжелых ридберговских систем, в которых внешний электрон заменен отрицательным ионом, а также применениями высоковозбужденных атомов в квантовой информатике, где требуется высокая стабильность квантовых состояний. Отличительными особенностями процессов, происходящих с участием ридберговских атомов, являются огромные размеры сталкивающихся систем, а также дальнедействующий характер взаимодействия в этих системах, что делает неприменимыми многие традиционные теоретические методы описания столкновений нейтральных атомных и молекулярных частиц.

В соответствии с вышесказанным выполненное в диссертации Е.С. Мирончук исследование процесса резонансного тушения ридберговских состояний атомов нейтральными частицам с малым сродством к электрону несомненно является актуальным в современной атомно-молекулярной физике и значимым для приложений в спектроскопии.

Работа состоит из введения, четырех глав основного текста и заключения. Объем диссертации составляет 172 стр., в том числе 5 таблиц, 54 рисунка и 200 наименований списка литературы. Текст диссертации изложен на понятном и грамотном языке.

Введение содержит обоснование актуальности, новизны, научной и практической ценности темы исследования и достоверности полученных результатов. Здесь также автором диссертации адекватным и ясным образом сформулированы цели работы и защищаемые положения.

В первой главе автор излагает современное состояние исследований столкновительных процессов с участием ридберговских атомов, а также перечисляет основные методы получения и теоретического описания слабосвязанных отрицательных атомарных и молекулярных ионов. В конце главы компактным образом сформулированы все основные решаемые в диссертации конкретные задачи.

Вторая глава посвящена процессам столкновения ридберговских атомов в состояниях с заданными значениями главного и орбитального квантовых чисел с атомами щелочноземельных элементов Ca, Sr и Ba в основном состоянии, обладающим очень малым значением энергии сродства к электрону. Изложен применяемый в работе для описания таких процессов теоретический подход, основанный на модифицированной теории Ландау-Зинера и использовании факторов выживания отрицательного иона в поле положительного кулоновского центра. Для вычисления вероятностей неадиабатических переходов в системе в отличие от большинства имеющихся работ по близкой тематике автором было использовано полученное ранее точное аналитическое выражение для параметра ионно-ковалентной связи, которое позволяет учесть изменение волновой функции ридберговского атома на характерном размере аниона. На основе численного анализа поведения вероятностей и сечений сделаны важные выводы о доминировании канала тушения над каналом образования ионной пары и о повышении устойчивости ридберговских состояний по отношению к резонансному опустошению с увеличением орбитального квантового числа. Наряду с этим получены зависимости максимальных сечений исследуемых процессов от скорости относительного движения атомов и энергии сродства возмущающей частицы к электрону.

В третьей главе детально изучены процессы тушения атомами Ca и Sr циркулярных и близких к ним состояний с определёнными значениями орбитального ($l=n-1$) и магнитного, m , квантовых чисел. Для описания динамики электронных переходов в условиях широкой области неадиабатичности в диссертации был предложен и реализован теоретический подход, основанный на решении связанных уравнений для амплитуд вероятностей. С его помощью были получены зависимости сечений резонансного тушения от магнитного квантового числа и ориентации ридберговского атома по отношению к оси сближения частиц. Указана необходимость учета процессов резонансного тушения в экспериментах, использующих большие времена жизни циркулярных состояний.

Четвертая глава обобщает теоретические подходы, развитые в предыдущих главах, на случай тепловых столкновений ридберговских атомов с сильнополярными молекулами. Важно отметить, что результаты проведенных в этой главе расчетов Е.С. Мирончук оказываются в хорошем согласии с имеющимися экспериментальными данными по константам скорости канала образования ионной пары. На основе установленной автором простой полуэмпирической зависимости между положениями максимумов сечений и энергиями сродства сильнополярных молекул к электрону в диссертации предложен оригинальный спектроскопический метод определения величин энергий связи отрицательных ионов по экспериментальным данным для альтернативного канала резонансного тушения ридберговских состояний. Этот метод является дополнительным к предложенному ранее в известной работе Desfrancois (1995) способу определения энергий связи дипольно-связанных анионов по экспериментальным данным для альтернативного канала образования ионной пары и обладает по сравнению с ним определенными преимуществами.

В заключении автором четко сформулированы основные результаты и выводы работы.

В работе Е. С. Мирончук получен ряд новых научных результатов. В частности, в диссертации впервые показано, что канал резонансного тушения в широком диапазоне значений главного квантового числа является доминирующим в реакции столкновительного разрушения высоковозбужденных состояний атомов при взаимодействии с атомами и молекулами, способными образовывать слабосвязанные отрицательные ионы. Автором был развит оригинальный подход, позволяющий корректно описать вероятности электронных переходов между ионным и ридберговским ковалентным термами квазимолекулы в условиях, когда характерные размеры областей неадиабатичности достигают сотни боровских радиусов. С использованием разработанного подхода в диссертации был впервые выполнен систематический расчет вероятностей, сечений и констант скоростей изучаемых реакций для тепловых столкновений высоковозбужденных атомов щелочных металлов с атомами и молекулами, обладающими энергией сродства к электрону в миллиэлектронвольтном диапазоне.

К существенно новым интересным результатам можно также отнести полученные данные по устойчивости циркулярных и близким к ним состояний по отношению к резонансному тушению, а также предложенную в работе полуэмпирическую формулу, позволяющую определить энергию связи дипольно-связанного аниона из экспериментальных данных по величине главного квантового числа, соответствующего максимуму сечения резонансного тушения ридберговских атомов сильнополярными молекулами. Полученные автором результаты представляют интерес для исследователей в различных областях современной физики высоковозбужденных и слабосвязанных атомно-молекулярных систем, для прецизионной лазерной спектроскопии и кинетики низкотемпературной плазмы, а также для физики ультрахолодных газов и плазмы.

По диссертации следует сделать ряд замечаний.

1. При вычислении волновых функций отрицательных ионов в работе используется метод R-матрицы и довольно простые формы короткодействующей части потенциалов взаимодействия электрона с нейтральной частицей (атомом или молекулой). При этом в диссертации отсутствуют ссылки на существующие работы, посвященные более точным квантовомеханическим методам расчета энергий и волновых функций слабосвязанных анионов, а также сравнение соответствующих результатов.
2. В ряде случаев в работе при расчете вероятностей неадиабатических переходов автор выходит за рамки приближения Ландау-Зинера. В то же время в диссертации недостаточно четко указаны критерии применимости использованного более общего подхода, основанного на численном интегрировании связанных уравнений для амплитуд переходов.

Высказанные замечания не снижают общей высокой оценки работы Мирончук Е.С.. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, написана ясным языком, аккуратно оформлена. Работа является законченным научным исследованием. В ней получены оригинальные физические результаты, представляющие значительный интерес для специалистов в области физики атомно-молекулярных столкновений и спектроскопии. Достоверность результатов диссертации подтверждается использованием самосогласованных теоретических подходов и надежных численных методов, а также

хорошим согласием теории с экспериментом в тех случаях, когда такое сопоставление можно выполнить. Полученные результаты были опубликованы в шести статьях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК, а также учитываемых в базах данных Web of Science. Они также были доложены на тринадцати конференциях и симпозиумах в России и за рубежом.

Содержание автореферата правильно отражает основное содержание диссертации. Результаты 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, в Объединенном институте высоких температур РАН и Институте химической физики РАН, в РИЦ "Курчатовский институт", а также в целом ряде других научно-исследовательских центров и университетов РФ.

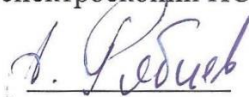
Диссертационная работа «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону» полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ее автор, Мирончук Елена Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – "Оптика".

Диссертационная работа Мирончук Е.С. заслушана и одобрена на семинаре Отдела атомной спектроскопии ИСАН 12 сентября 2016 г.

Отзыв подготовил:

Заведующий отделом атомной спектроскопии ИСАН

д. ф.-м.н.



Рябцев Александр Николаевич

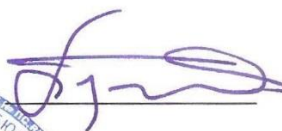
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии
Российской академии наук (ИСАН)

108840 г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, д. 5.

Тел. (495)851-02-25, факс (495)851-08-86, эл.почта: isan@isan.troitsk.ru

Подпись Рябцева А.Н. заверяю

Ученый секретарь ИСАН



Е.Б.Перминов



“27” сентября 2016 г.

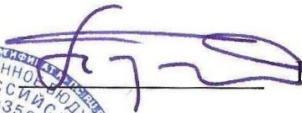
Список

публикаций ведущей организации, опубликованных за последние годы по теме диссертации Мирончук Елены Сергеевны «Резонансное тушение ридберговских состояний атомов нейтральными частицами с малым сродством к электрону», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»: (не более 15)

1. V Y Vanine, K N Koshelev and G H P M Swinkels, "Physical processes in EUV sources for microlithography" J. Phys. D: Appl. Phys. **44**, 253001 (2011)
2. L. Mashonkina, A. Ryabtsev, and A. Frebel. - Non-LTE effects on the lead and thorium abundance determinations for cool stars. - A&A **540**, A98 (2012)
3. . Astakhov, D. I.; Goedheer, W. J.; Lee, C. J.; Ivanov, V. V.; Krivtsun, V. M.; Zotovich, A. I.; Zyryanov, S. M.; Lopaev, D. V.; Bijkerk, F. Plasma probe characteristics in low density hydrogen pulsed plasmas. - Plasma Sources Science and Technology **24**, 055018 (2015)
4. Ivanova E.P. Proposal for precision wavelength measurement of the Ni-like gadolinium x-ray laser formed during the interaction of a nanostructured target with an ultrashort laser beam. - Laser Physics Letters **12**, 105801 (2015).
5. . Ryabtsev, A. N.; Kononov, E. Ya; Kildiyarova, R. R.; Tchang-Brillet, W.-Ü. L.; Wyart, J.-F.; Champion, N.; Blaess, C. Spectra of the W VIII isoelectronic sequence: III. Re IX. - Phys. Scr., **90**, 095401 (2015)
6. A.N.Ryabtsev , E.Ya.Kononov. High lying configurations in the spectrum of three times ionized indium (InIV). - JQSRT **168**, 89(2016).

Ученый секретарь ИСАН




Е.Б.Перминов