

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета проф. Сухомлинова В.С.

на диссертацию Абузалам Алаа Мохамед Ахмед на тему:

«Процессы Пеннинговской ионизации в холодных ридберговских средах»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по научной специальности 01.04.08 – Физика плазмы

Рецензируемая работа Абузалам Алаа Мохамед Ахмед представляет собой развёрнутое теоретическое исследование процессов формирования первичных заряженных частиц, вызванных явлением Пеннинговской ионизации в холодных ридберговских средах атомов щелочных металлов.

Актуальность выбранной темы обусловлена широким внедрением в современную экспериментальную практику методов лазерного охлаждения и оптических ловушек, сочетание которых позволяет в лабораторных условиях получать образцы атомарных сред при сверхнизких температурах. В настоящее время холодные атомы востребованы для решения разнообразных междисциплинарных задач, охватывающих такие вопросы как реализация логических элементов квантового компьютера, запись, хранение и считывание информации на основе оптических ячеек памяти, создание атомных стандартов частоты. Ионизационные процессы с участием высоковозбужденных состояний, являясь важными составляющими явления спонтанной эволюции холодного ридберговского газа в холодную плазму, представляют несомненный интерес для углублённого понимания физики холодных сред.

Изложение оригинального материала, представленного в диссертации Абузалам Алаа Мохамед Ахмед, структурно разбито на шесть глав, заключение и приложение. В первой обзорной главе, даётся краткая характеристика ридберговских сред, очерчена их роль в современных исследованиях по реализации физических носителей элементов квантовой информатики, выявлены различные аспекты влияния высоковозбужденных частиц на физику атмосферных явлений, включая вопросы распространения радиосигналов глобальной системы позиционирования. Рассмотрены особенности радиационной и ионизационной кинетики ридберговских состояний с обоснованием актуальности исследований процессов Пеннинговской ионизации (ПИ) в холодных средах. Во второй главе, часть которой помещена в Приложение, представлена численная схема для расчётов автоионизационных ширин и констант скоростей ПИ, обусловленной дальнедействующим диполь-дипольным взаимодействием между атомами. В основу теоретической модели положен бинарный формализм Катцууры-Смирнова, дополненный элементами квазиклассического приближения для определения радиальных интегралов перекрытия одноатомных волновых функций. Третья глава посвящена разбору результатов численного моделирования особенностей автоионизационных ширин ПИ квазимолекул, составленных из взаимодействующих ридберговских атомных пар, в зависимости от квантовых конфигураций пар. Выявлены и аналитически описаны парадоксальные с классической точки зрения свойства оптимальных атомных пар, формирование которых, как показано в четвертой главе, может интенсифицировать рост констант скоростей ПИ на несколько порядков величин при эволюции холодного ридберговского газа в холодную плазму. Пятая и шестая главы тематически

объединены представленными в них аналитическими результатами по описанию эффектов ПИ, ранее выявленных численно. Детальный вывод формул для автоионизационных ширин сопровождается составлением для всех атомов щелочных металлов таблиц со значениями входящих в формулы двух параметров.

Говоря о работе в целом, следует отметить удачно подобранные и хорошо проиллюстрированные в ее ввводной части те уникальные стороны физики ридберговских состояний, которые делают их актуальными объектами в различных междисциплинарных тематических исследованиях. Решение поставленных в диссертации задач сопровождается подробным анализом используемых допущений и обоснованием точности получаемых результатов. К наиболее впечатляющему достижению соискателя несомненно относится демонстрация взрывного роста эффективности процессов Пеннинговской ионизации для определённых квантовых конфигураций взаимодействующих атомных пар, которые именуется в работе как “оптимальные”, или пары “Том и Джерри” в связи с сильной асимметрией пар по размерам электронных валентных орбиталей. Возникновение оптимальных пар на диффузионной стадии эволюции ультрахолодного ридберговского газа в холодную плазму может привести к увеличению констант скоростей Пеннинговской ионизации вплоть до пяти порядков величин, что в случае атомов Рубидия составляет значение  $25400 \text{ с}^{-1}$ , в сорок пять раз превышающее скорость фотоионизации за счёт фонового излучения абсолютно чёрного тела.

К добротной и хорошо оформленной работе соискателя имеется несколько замечаний.

1) В качестве причин появления оптимальных ридберговских пар на стр. 166 диссертации указаны некоторые специфические свойства радиальных интегралов и сечений фотоионизации как функций своих аргументов, причём сама специфика оказывается скрытой в целом ряде параметров квантовых конфигураций пар, входящих в формулы (2.12), (2.13) на стр. 160. Как пожелание, хотелось бы иметь наглядную визуализацию в виде графиков поведения радиальных интегралов и сечений фотоионизации.

2) Существует противоречия между графиком рисунка 6.2 (стр. 203), критерием возникновения резонанса Фёрстера, представленным в виде формулы (1.5) на стр. 139, и обсуждением на стр. 184 факта пятикратного роста автоионизационных ширин в окрестности резонанса по сравнению с атомом водорода. Однако, согласно формуле (1.5), именно конфигурация уровней атома водорода соответствует критерию резонанса.

3) Рисунок 3.4, приведённый на стр. 165 для иллюстрации эффекта Том и Джерри, интересен с эмоциональной точки зрения, но, как иллюстрация к самому эффекту, ничего нового не добавляет.

4) При описании квазиклассических формул (A7) - (A9) в Приложении А на стр. 223 подчёркивается важная роль квантового фактора  $\Lambda_q$  в улучшении точности квазиклассических расчётов. Из текста диссертации не ясно, каким образом был получен этот фактор.

Озвученные замечания, не снижают общее благоприятное впечатление о диссертации Абузалам Алаа Мохамед Ахмед. Основные результаты представлены в пяти журнальных статьях (включая одну обзорную) в ведущих российских и международных рецензируемых изданиях и поэтому не вызывают сомнений в достоверности. Материалы диссертации прошли апробацию на семи Всероссийских и Международных конференций. Научная направленность и содержание работы

указывают на профессиональное умение автора решать актуальные задачи в области элементарных процессов применительно к физике ионизированных газов.

Диссертация Абузалам Алаа Мохамед Ахмед на тему: «Процессы Пеннинговской ионизации в холодных ридберговских средах» представляет из себя квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, и соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Абузалам Алаа Мохамед Ахмед заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.04.08 – Физика плазмы. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета,  
профессор кафедры Оптики  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки ВО  
«Санкт-Петербургский государственный университет»,  
доктор физико-математических наук



В.С. Сухомлинов

Адрес: 198504, г. Санкт-Петербург,  
ул. Ульяновская, д.3,  
Тел. +7 (909) 583-86-86  
E-mail: v\_sukhomlinov@mail.ru

06.07.2021