

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию **Абузалам Алаа Мохамед Ахмед** на тему: «Penning ionization processes in Rydberg cold media» («Процессы Пеннинговской ионизации в ридберговских холодных средах»), представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы

Диссертационная работа Абузалам А. М. А. посвящена исследованию особенностей процессов Пеннинговской ионизации (ПИ) в холодных газовых средах щелочных металлов с целью выявления их вклада в образование первичных заряженных частиц при эволюции холодного ридберговского газа в холодную плазму. Нетривиальная зависимость константы скорости ПИ от размеров сталкивающихся частиц приводит к росту скорости появления электронов на несколько порядков, что может быть источником первичных электронов при возникновении плазмы. В настоящее время холодные ридберговские среды рассматриваются как важный инструмент для решения целого ряда прикладных задач, включая вопросы квантовой обработки информации и физики образования уникальной ультрахолодной плазмы. Тема диссертационной работы Абузалам А. М. А., безусловно, является чрезвычайно интересной и **актуальной**.

Инструментом исследования выбрана бинарная модель Смирнова-Катцууры для ионизационных столкновительных реакций и оригинальная модификация квазиклассического приближения. Это позволило провести детальный анализ Пеннинговской ионизации в зависимости от квантовых состояний сталкивающихся ридберговских атомов, получить аналитические выражения для автоионизационных ширин и оценить константы скоростей ПИ для основных орбитальных конфигураций пар атомов щелочных металлов.

Основные результаты диссертации, обладающие несомненной **новизной**, могут быть сформулированы следующим образом.

1. На основе бинарной модели Смирнова-Катцууры предложена численная схема расчёта констант скоростей процессов ПИ, обусловленных дальнедействующим диполь-дипольным взаимодействием между высоковозбужденными атомами щелочных металлов в ультрахолодных гомогенных газовых средах.
2. Указаны представления для Пеннинговских ширин  $\Gamma_{DI}$  через радиальные интегралы  $R_{\epsilon}^{\epsilon'}$  для связано-связанных и связанно-свободных атомарных оптических переходов. В рамках квазиклассического приближения предложены унифицированные формулы для расчёта радиальных интегралов  $R_{\epsilon}^{\epsilon'}$ .
3. Продемонстрирована нетривиальная зависимость констант скорости ПИ от размера электронных оболочек атомов. Найдены и аналитически описаны оптимальные, сильно асимметричные конфигурации ридберговских пар всех атомов щелочных металлов, приводящие к существенному усилению (на несколько порядков) рождения свободных электронов за счет процессов ПИ.

4. Выявлено влияние резонанса Фёрстера на константы скорости ПИ, значения которых увеличиваются примерно в пять раз в окрестности резонанса, что важно для использования резонанса Фёрстера в качестве управляющего элемента при диполь-дипольном взаимодействии холодных атомов.
5. Показано, что в отличие от случая атомов водорода, разброс значений квантовых дефектов в атомах щелочных металлов приводит к появлению двух каналов ПИ, обусловленных изменением  $\Delta l = \pm 1$  при связано-связанных дипольных атомных переходах. Это вызывает появление близко расположенных (дублетных) конфигураций оптимальных пар.
6. Показано, что при эволюции ридберговского газа в холодную плазму со значительным перераспределением возбуждённых состояний в широком диапазоне  $n, l$  – квантовых чисел исходные симметричные пары  $(n_0 l_0, n_0 l_0)$  (образованные во время лазерного возбуждения) могут эволюционировать в оптимальные пары  $(n_d^{*(opt)} l_d, n_i^{*(opt)} l_i)$  с взрывным повышением (до пяти порядков) эффективности ПИ.

Без сомнений можно утверждать, что соискатель проделал большую работу. Прежде всего, хочу отметить прекрасный обзор литературы, посвященный элементарным процессам, включая ионизационные, в холодных газовых средах, а также описание связанных с ними фундаментальных и прикладных проблем. Показана важная роль ридберговских атомов в процессах ПИ и возникающих при этом нетривиальных эффектов, обусловленных, например, сильно асимметричными конфигурациями ридберговских пар атомов щелочных металлов. Задачи исследований и результаты работы сформулированы четко и понятно. Диссертация хорошо структурирована, прекрасно оформлена, написана ясным языком.

По работе имеется одно **замечание**, которое, скорее, можно считать пожеланием. В диссертации получен целый ряд новых очень интересных и нетривиальных результатов. Хотелось бы получить экспериментальное подтверждение этих результатов.

Сделанное замечание не носит принципиального характера и не отражается на общей положительной оценке работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК, доложены на международный и российских научных конференциях. Работа характеризуется новизной подходов и достоверностью результатов, полученных при решении поставленных задач. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.08 - «Физика плазмы». Результаты, изложенные в диссертационной работе, могут найти применение в научных организациях, где изучаются процессы с участием высоковозбужденных атомов в различных условиях: СПбГУ, МГУ им. М. В. Ломоносова, Новосибирский ГУ и др. Результаты исследований могут также использоваться в преподавании дисциплин: физика плазмы, физика газового разряда, элементарные процессы в плазме и их квантовомеханическое описание.

Диссертационная работа Абузалам М. А. М. представляет собой законченное научное исследование, соответствующее критериям, установленным «Порядком присуждения в Санкт-Петербургском государственном университете учёной степени кандидата наук, степени доктора наук», согласно Приказу от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Пункт 11 указанного Порядка не нарушен. Считаю, что соискатель **Абузалам Алаа Мохамед Ахмед** заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы.

Председатель диссертационного совета  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой оптики



Н.А. Тимофеев

12 июля 2021 г.