

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета 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.

Диссертационная работа Абузалам Алаа Мохамед Ахмед посвящена изучению процесса пеннинговской ионизации (ПИ) в холодных газовых средах ридберговских атомов щелочных металлов с использованием бинарной модели Смирнова-Кацууры и оригинальной модификации квазиклассического подхода.

Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения, списка литературы и приложений. Ее результаты были представлены на шести российских и международных конференциях. По материалам работы опубликовано пять статей в рейтинговых журналах.

Была проделана интересная и большая работа, которая довольно подробно и хорошо представлена в тексте диссертации.

В начале диссертации дается описание роли ридберговских атомов в таких областях науки и техники, как физика ультра-холодной плазмы, астрофизика, геофизика, квантовая информатика. Это указывает на актуальность проведенных исследований.

В работе использованы оригинальные методы, развитые в группе научного руководителя. Получены интересные результаты, представляющие практическое значение. Среди них можно выделить следующие.

В работе указаны представления для пеннинговских автоионизационных ширин через радиальные интегралы для связано-связанных и связанно-свободных атомарных оптических переходов. В рамках квазиклассического приближения предложены унифицированные формулы для расчётов радиальных интегралов. Важной особенностью подхода является учёт высших квантовых поправок, повышающих точность вычислений до уровня 3% для всех связанных квантовых состояний и 5.5% для состояний сплошного спектра. Случай ридберговских состояний приводит к существенным упрощениям, оставляя единственный доминирующий член в квазиклассическом представлении радиальных интегралов. Квазиклассические подходы, в отличие от вычислительных методов, предоставляют уникальную возможность получения аналитического описания констант скоростей с перспективой дальнейшего развития теории исследуемых процессов.

Важной с практической точки зрения особенностью ПИ оказалась нетривиальная зависимость его эффективности от размеров взаимодействующих частиц. Были выявлены и аналитически описаны оптимальные, сильно асимметричные конфигурации ридберговских пар для всех атомов щелочных металлов. Возбуждённые состояния атомов в этих парах сильно асимметричны, что приводит к большой разнице в размерах атомных оболочек. По сравнению с симметричными парами оптимальные асимметричные пары демонстрируют значительное (на несколько порядков) увеличение значений их пеннинговских автоионизационных ширин.

Получение квазиклассических аналитических представлений для пеннинговских автоионизационных ширин содержащих два параметра. Они учитывают особенности диполь-дипольного взаимодействия для разных типов атомов щелочных металлов. Один

из параметров (параметр калибровки) устанавливает абсолютное значение пеннинговских ширин. Другой (параметр формы) отвечает за форму автоионизационных ширин как функции эффективных квантовых чисел ридберговских состояний. Значения параметров представлены в виде таблиц, что позволяет оценивать константы скоростей ПИ для всех основных пар атомов щелочных металлов.

Полученные оригинальные аналитические формулы предсказывают существенное влияние резонанса Фёрстера на константы скорости ПИ, значения которых должны увеличиться почти в пять раз в окрестности резонанса. Резонанс Фёрстера используется в качестве управляющего механизма для изменения дальнедействующих межатомных взаимодействий, а именно диполь-дипольного взаимодействия холодных атомов, и имеет множество приложений в прикладных задачах ридберговских сред.

В качестве небольших замечаний отмечу следующее.

1. В таблице 1.1 в двух предпоследних строках используется неудачное название – энергия электрона в поле. Лучше подходит – энергия атомного диполя в поле.

2. В главе 4 приводятся результаты расчета эффекта усиления ПИ. Они относятся к плотности ридберговских атомов $\sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ (рис. 4.1). При этом рассматриваются состояния вплоть до $n \sim 100$. Для таких состояний указанная плотность близка к максимальной и становится велик вклад не только двух-частичных но и трех-частичных взаимодействий. Для исключения роли трех-частичных взаимодействий плотность ридберговских атомов должна быть уменьшена примерно на два порядка до $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

3. Как формула (6.3) для радиального интеграла соответствует эрмитовости дипольного взаимодействия. Матричный элемент должен меняться на комплексно сопряженный при перестановке начального и конечного состояний. Очевидно, определение радиального интеграла (2.9) этому условию удовлетворяет, а выражение (6.3) нет. Оно должно быть четной функцией разности квантовых дефектов $\Delta\mu$. В противном случае возникает асимметрия при движении ‘вверх’ и ‘вниз’ по уровням. Тот же вопрос для формулы (6.4).

Эти замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации.

Диссертация Абузалам Алаа Мохамед Ахмед на тему: «Процессы Пеннинговской ионизации в холодных ридберговских средах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», 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

доктор физико-математических наук, доцент, профессор Санкт-Петербургского государственного университета



Смирнов Валерий Владимирович

Дата 07.07.2021