



680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

№ _____

на _____ № _____

Тел. (4212) 37-51-86
Факс (4212) 72-06-84
Email: mail@pnu.edu.ru
http://pnu.edu.ru/«УТВЕРЖДАЮ»
ректор ТОГУ

С.Н. Иванченко

« 7 » _____ 2015 г.

ОТЗЫВ**ведущей организации**

на диссертационную работу Бульчева Андрея Андреевича «Электронная импульсная спектроскопия легких атомов и молекул в электромагнитном поле», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Актуальность темы исследования

Квазиупругие реакции в атомной физике, когда быстрый электрон налетает на квантовую мишень и выбивает также быстрый электрон, причем угол разлета обоих конечных электронов близок к 90° , позволяют сделать важные заключения о волновой функции выбитого электрона в мишени. Метод исследования, когда оба конечных электрона детектируются на совпадение, называется электронной импульсной спектроскопией квантовой мишени (ЭИС). $(e, 2e)$ реакции в кинематике ЭИС характеризуются большим переданным импульсом и относительно малым импульсом иона, что допускает простейшее теоретическое обоснование этого метода в рамках первого плосковолнового борновского приближения. В настоящее время ЭИС стала рабочим инструментом в исследовании электронной структуры атомов, молекул и тонких пленок. Несмотря на успехи метода ЭИС, дающего прекрасные согласие простейшей теории с экспериментом, следует отметить, что даже $(e, 2e)$ реакция на атоме водорода требует для своего описания привлечения теории рассеяния трех заряженных частиц, многие детали которой еще не достаточно хорошо разработаны.

Особый интерес представляет реакция электронной ударной ионизации атомной мишени в присутствии электромагнитного поля. От таких атомных реакций в поле можно ожидать получения новых данных о квантовой структуре мишени. При этом следует учитывать, что электромагнитное излучение модифицирует как электронные состояния облучаемой мишени, так и динамику различных процессов взаимодействия электронов с мишенью. В диссертации А. А. Бульчева формулируется условие, при котором для описания быстрых рассеянного и выбитого электронов в методе ЭИС в поле необходимо использовать волковские функции вместо плоских волн. Проведено теоретическое исследование чувствительности метода $(e, 2e)$ ЭИС в лазерном поле к выбору волновой функции основного состояния атома гелия. Показано, что в случае возбужденного иона-остатка присутствие поля существенно усиливает зависимость дифференциального сечения от вида пробной функции мишени.

Как известно, процессы двукратной ионизации могут служить источником информации о характере электрон-электронных корреляций в мишени. Таким образом, существующие экспериментальные данные, полученные методом ЭИС в электромагнитном поле, и планирование новых экспериментов, в том числе и по двукратной ионизации, требует построения общей теории $(e, 2e)$ и $(e, 3e)$ ЭИС процессов на атомах в поле. В диссертации проведен теоретический анализ $(e, 3e)$ реакции на атоме гелия в лазерном поле. Показано, что в этом процессе угловое распределение медленного испущенного электрона сильно зависит от модели электрон-электронных корреляций в мишени.

Наряду с $(e, 3e)$ реакциями для изучения электрон-электронных корреляций могут быть использованы процессы двукратной ионизации. Существующие экспериментальные данные по $(\gamma, 2e)$ реакции на молекулярной мишени делает актуальным вопрос о теоретическом предсказании и интерпретации этих результатов для молекулярных квантовых систем. В случае молекул проблему представляет не только построение связанных состояний системы, но и корректное описание двухэлектронного континуума в поле нескольких кулоновских центров. В диссертации проведен анализ реакции $(\gamma, 2e)$ на молекулах водорода и азота. При этом использованы модельные функции начального состояния мишени разной степени корреляции. В свою очередь для описания конечного состояния континуума используется модель коррелированных двухцентровых кулоновских функций. Получено хорошее согласие с результатами экспериментов.

Таким образом, все проведенные исследования посвящены актуальным проблемам современной квантовой теории электронной ударной ионизации и фотоионизации атомов и молекул.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

1. Анализ роли искажения состояний быстрых электронов в поле плоской электромагнитной волны в случае ЭИС атома водорода позволил сформулировать необходимое условие применения приближения волковских функций (вместо традиционного приближения плоских волн) в методе ЭИС.

2. Проведено теоретическое рассмотрение ЭИС атома гелия в электромагнитном поле для случая возбужденного состояния иона-остатка. Установлено, что чувствительность измеряемых в ЭИС дифференциальных сечений к модели электрон-электронных корреляций в мишени (атоме гелия) усиливается по сравнению со случаем отсутствия поля. Для возбужденного иона проявляются различия даже между сильнокоррелированными пробными функциями мишени, которые не наблюдаются в отсутствие поля.

3. Выполнено теоретическое исследование реакции $(e, 3e)$ на атоме гелия в лазерном поле. Показано, что угловое распределение медленного испущенного электрона оказывается сильно зависящим от модели электрон-электронных корреляций в мишени в отличие от случая отсутствия поля.

4. В результате исследования зависимости сечений $(\gamma, 2e)$ реакции на молекулах H_2 и N_2 от функции начального состояния мишени установлено, что электронные корреляции в модели основного состояния двухатомных молекул проявляются в угловом распределении испущенных электронов в процессе двукратной фотоионизации. Использование модели коррелированных двухцентровых кулоновских функций для описания двухэлектронных состояний континуума, позволяет получить хорошее согласие с результатами экспериментов по двукратной фотоионизации молекул водорода и азота.

Положения, вынесенные на защиту, достаточно убедительно обоснованы, все полученные результаты являются новыми и не противоречат известным представлениям, развитым в квантовой теории явлений в атомах и молекулах.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертации в настоящее время используются в планировании ЭИС экспериментов на атоме гелия в лазерном поле и для интерпретации данных экспериментов по двукратной фотоионизации молекул водорода и азота, выполненных во Франкфуртском университете (г. Франкфурт, Германия) и в CNR-IMIP (г. Бари, Италия). Развитые в диссертации теоретические методы и подходы представляют интерес для организаций, в которых ведутся как теоретические, так и экспериментальные исследования свойств атомов и молекул методами электронной ударной ионизации и двукратной фотоионизации: СГУ (г. Саратов), ИАТЭ НИЯУ МИФИ (г. Обнинск), НИИЯФ МГУ (г. Москва), РУДН (г. Москва), ТОГУ (г. Хабаровск), ОИЯИ (г. Дубна), НИЦ Курчатовский институт (г. Москва), Университет Тохоку (г. Сендай, Япония), Университет Лотарингии (Франция), CNR-IMIP (г. Бари, Италия).

Имеющиеся недостатки в диссертации

В качестве недостатков диссертационной работы следует указать следующие:

1. Теоретическое рассмотрение метода ($e, 3e$) ЭИС в лазерном поле было бы более полным, если бы был выполнен анализ роли эффекта лазерного поля на состояние медленного испущенного электрона. Кроме того, представленные расчеты следовало дополнить случаем модели взаимодействия конфигураций (CI) для невозмущенной волновой функции атома гелия, которая также использовалась при теоретическом анализе ($e, 2e$) ЭИС процесса на атоме гелия в лазерном поле.

2. В диссертации расчеты дифференциальных сечений ($\gamma, 2e$) реакций проведены в калибровке скорости. Несомненный интерес представляет исследование, как выбор калибровки влияет на конечные результаты.

Следует отметить, что перечисленные недостатки не снижают высокой оценки представленной работы, а скорее отражают перспективы дальнейших исследований.

Общая оценка работы, соответствие требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертационная работа А. А. Булычева выполнена на высоком теоретическом уровне и представляет законченное научное исследование. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.02 – теоретическая физика. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, все научные положения, вынесенные на защиту, опубликованы в высокорейтинговых журналах. Таким образом, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а А. А. Булычев заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв обсуждался и был одобрен на заседании кафедры физики ТОГУ 6 мая 2015 года.

Профессор кафедры физики
Тихоокеанского государственного
университета,
доктор физ.-мат. наук



Зайцев С.А.